

E-ISSN : 2807-5579

P-ISSN : 2807-5889

BOUWPLANK

Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Lingkungan

VOLUME 06 NOMOR 01, APRIL 2026

**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 06, NOMOR 01, APRIL 2026

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 06, NOMOR 01, APRIL 2026

PENGANTAR REDAKSI

BOUWPLANK Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Lingkungan Volume 06 Nomor 01, April 2025 ini terdiri atas 6 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 06, NOMOR 01, APRIL 2026

DAFTAR ISI

Dewan Redaksi	i
Pengantar dari Redaksi	iii
Daftar Isi	iv
Analisis Pengaruh U-Turn Terhadap Kemacetan Lalulintas Kota Malang	
<i>Pedro Kali Bau, Aji Suraji, Mohammad Cakrawala</i>	<i>1-9</i>
Pengaruh Penambahan Polycarboxylate Pada Beton Self Compacting Concrete Mutu 40 MPa Terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas	
<i>Murniati Novem Wijaya Ningrum, Abdul Halim, Candra Aditya</i>	<i>10-17</i>
Pengaruh Kesadaran dan Pelatihan K3 Terhadap Produktivitas Pekerja Konstruksi Pada Proyek Perumahan Bedali Hills, Kecamatan Lawang, Kabupaten Malang	
<i>Andreas Avelino Delis, Dafid Irawan, Agus Tugas Sudjianto</i>	<i>18-27</i>
Kajian Keretakan Pelat dan Daya Serap Air Dengan Penambahan GGBFS Pada Campuran Mortar	
<i>Isidoro M. Soares, Abdul Halim, Candra Aditya, Anis Purwaningsih</i>	<i>28-38</i>
Studi Experimental Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Pada Beton SCC (Self Compacting Concrete) Dengan Penambahan Sika Viscocrete 3115N	
<i>Khinanti Puspita Sari, Abdul Halim, Riman</i>	<i>39-46</i>
Analisis Kerusakan Jalan Aspal Pada Ruas Pojok-Plemahan Kabupaten Kediri Menggunakan Metode SDI (Surface Distress Index)	
<i>Marta Rizky Dwiyono, Aji Suraji, Mohammad Cakrawala</i>	<i>47-56</i>

Analisis Pengaruh U-Turn Terhadap Kemacetan Lalulintas Kota Malang

Pedro Kali Bau^{1*}, Aji Suraji², Mohammad Cakrawala³

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

*Email Korespondensi: pedrokali60@gmail.com

ABSTRAK

Laju pertumbuhan penduduk di Kota Malang yang semakin tinggi mengakibatkan peningkatan kebutuhan masyarakat akan transportasi. Peningkatan kebutuhan yang berupa transportasi harus diimbangi dengan fasilitas jalan yang mampu meminimalisir peningkatan volume lalulintas kendaraan dengan cara memanfaatkan fasilitas putar balik. Fasilitas putar balik harus direncanakan sesuai dengan standar sehingga tidak menimbulkan permasalahan dikemudian hari. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis volume lalulintas, kapasitas jalan dan tingkat pelayanan jalan pada ruas Jalan Borobudur Kecamatan Blimbing Kota Malang. Metode analisis data menggunakan metode PKJI 2023 dengan parameter kapasitas jalan, derajat kejenuhan, dan tingkat pelayanan jalan. Hasil penelitian didapatkan volume lalulintas titik survei A pada arah putar balik tertinggi terjadi pada hari rabu pukul 16:00-17:00 dengan jumlah 863 kend/jam sedangkan volume lalulintas titik survei B pada arah putar balik tertinggi terjadi pada hari rabu pukul 16:00-17:00 dengan jumlah 959 kend/jam. Hasil perhitungan kapasitas jalan pada titik survei A sebesar 1.381,95 smp/jam dan kapasitas jalan pada titik survei B sebesar 1.396,65 smp/jam. Tingkat pelayanan jalan pada ruas Jl. Borobudur Blimbing Kota Malang pada titik survei A memiliki tingkat pelayanan B dan titik survei B memiliki tingkat pelayanan C.

Kata kunci : Lalulintas, Putar Balik, Kapasitas Jalan, Derajat Kejenuhan, Tingkat Pelayanan

ABSTRACT

The increasingly high population growth rate in Malang City has led to a rise in public demand for transportation. This increased demand for transportation must be balanced with road infrastructure capable of minimizing the rise in vehicle traffic volume by utilizing U-turn facilities. U-turn facilities must be designed in accordance with standards so as not to cause problems in the future. This study aims to analyze traffic volume, road capacity, and level of service on a section of Borobudur Street in Blimbing District, Malang City. The data analysis method used the PKJI 2023 method with parameters including road capacity, degree of saturation, and level of service. The results show that the highest traffic volume at survey point A in the U-turn direction occurred on Wednesday between 4:00 PM and 5:00 PM, with 863 vehicles per hour, while the highest traffic volume at survey point B in the U-turn direction occurred on Wednesday between 4:00 PM and 5:00 PM, with 959 vehicles per hour. The calculated road capacity at survey point A was 1,381.95 smp/hour, and the road capacity at survey point B was 1,396.65 smp/hour. The level of service on the section of Jl. Borobudur Blimbing in Malang City at survey point A was rated as Level B, while survey point B was rated as Level C.

Keywords : Traffic, U-turn, Road Capacity, Degree of Saturation, Level of Service

1. PENDAHULUAN

Transportasi mempunyai peranan penting dalam kehidupan masyarakat modern di mana teknologi berkembang semakin pesat, juga laju pertumbuhan penduduk yang semakin tinggi sehingga mengakibatkan peningkatan kebutuhan masyarakat akan transportasi. Jalan sebagai salah satu prasarana perhubungan darat, mempunyai fungsi dasar yakni memberikan pelayanan yang optimum pada arus lalu lintas seperti, aman dan nyaman kepada pemakai jalan. Pada jalan kota dengan median, dibutuhkan untuk kendaraan melakukan gerakan U-Turn pada bukaan median yang dibuat sebagai kebutuhan khusus [1].

Penyebab salah satu kemacetan pada studi kasus di Kota Malang ini dikarenakan adanya fasilitas putar balik arah (U-Turn). Hasil temuan pada ruas Jalan Soekarno-Hatta Kota Malang menunjukkan bahwa tingkat pelayanan jalan adalah D [2]. Banyaknya arus lalu lintas ini menyebabkan terhambatnya kendaraan saat ingin melakukan putar balik arah atau searah. Peningkatan volume lalu lintas kendaraan yang tidak diimbangi dengan kinerja jaringan jalan di masa sekarang ini yang baik dapat mengakibatkan permasalahan arus lalu lintas seperti kemacetan. Beberapa hal yang menimbulkan kemacetan yaitu: volume kendaraan yang tinggi, kapasitas jalan yang rendah, aktivitas yang mengganggu arus lalu lintas serta perilaku pengguna jalan yang kurang memadai [3].

Langkah dalam mengurangi permasalahan lalu lintas pada fasilitas U-Turn perencanaan bukaan median. Bila median difungsikan sebagai pembatas atau pemisah jalur, maka bukaan median difungsikan sebagai perubahan arah kendaraan saat melakukan gerakan putar balik arah. Perencanaan bukaan median bertujuan untuk mengurangi perlambatan kendaraan [4]. Hal ini dijelaskan lebih lanjut bahwa kemampuan manuver kendaraan umumnya dibatasi oleh lebar badan jalur, lebar median dan bukaannya, serta arus lalu lintas yang ada pada jalur yang searah maupun jalur berlawanan arah yang menjadi tujuan kendaraan U-Turn [5].

Menurut Wowor fasilitas U-Turn tidak secara keseluruhan dapat mengatasi permasalahan yang terjadi pada arus lalu lintas, sebab U-Turn itu sendiri dapat menimbulkan permasalahan tersendiri yaitu hambatan baik arus lalu lintas yang berlawanan arah maupun arus lalu lintas searah [6]. Perlambatan kendaraan Ketika melakukan U-Turn menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi kecepatan kendaraan di mana kendaraan akan melambat dan berhenti. Pergerakan perlambatan ini yang dapat menyebabkan tingginya tundaan kendaraan, kecepatan semakin rendah maka semakin tinggi juga kepadatan kendaraannya [7].

Kemacetan lalu lintas akibat U-Turn ini perlu di analisa kembali pada ruas jalan tersebut karena pada jalan tersebut sering terjadi kemacetan yang disebabkan arus lalu lintas yang terlalu tinggi, dan dipengaruhi oleh beberapa aktivitas tempat seperti pasar, pertokoan, sekolah yang berada di ruas jalan tersebut. Hal yang serupa ditemukan oleh Setiawan, bahwa fasilitas putar balik akan memiliki kinerja yang tinggi saat berlokasi yang sama dengan lingkungan yang beraktivitas tinggi [8]. Arus lalu lintas dan aktivitas hambatan samping yang tinggi dapat menghambat perkembangan ekonomi dan Pembangunan, sehingga dilakukan penelitian ini diharapkan dapat mampu memberikan solusi serta saran yang bermanfaat untuk dapat memperlancar arus lalu lintas yang berada di daerah tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis volume lalu lintas, kapasitas jalan dan tingkat pelayanan jalan pada ruas Jalan Borobudur Kecamatan Blimbing Kota Malang.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Putar Balik (U-Turn)

Secara harfiah gerakan U-Turn adalah suatu putaran di dalam suatu sarana (angkutan/kendaraan) yang dilaksanakan dengan cara mengemudi setengah lingkaran yang bertujuan untuk bepergian menuju arah kebalikan [9]. Fasilitas putar balik dikhususkan pada jalan arteri, jalan kolektor dan jalan lokal yang berlaku sebagai penghubung antar kota dan yang menuju ke dalam kota, selalu memiliki arah yang sama dan arah yang berlawanan dan adanya pembatas jalan (median). Hal ini sejalan dengan pendapatnya Kasan, yang menyatakan U-Turn adalah salah satu cara pemecahan dalam manajemen lalu lintas jalan arteri kota [10]. Menurut

Jihad Buka Median atau U-Turn adalah salah satu cara pemecahan dalam manajemen lalulintas jalan arteri kota. U-Turn diizinkan pada setiap bukaan median, kecuali ada larangan dengan tanda lalu lintas [11].

Ketentuan umum dari lokasi U-Turn yang berpengaruh terhadap perencanaan berdasarkan Dirjen Bina Marga tentang Pedoman Perencanaan Putaran Balik adalah: Fungsi dan klasifikasi jalan dan Dimensi kendaraan rencana [12]. Fungsi dan klasifikasi jalan di sekitar area fasilitas putar balik akan mempengaruhi volume lalulintas, sehingga dalam pelaksanaan putar balik harus sesuai dengan fungsi dan klasifikasi jalan. Hal ini bertujuan untuk mengantisipasi kemungkinan dampak lalulintas yang akan timbul. Gerakan putar balik melibatkan beberapa tahapan pergerakan yang mempengaruhi kondisi lalulintas yaitu gerakan balik arah jalur paling kanan, gerakan berputar menuju ke jalur berlawanan, dan gerakan balik arah kendaraan [13]. Ketiga Gerakan tersebut dapat menyebabkan timbulnya permasalahan arus lalulintas yang berlawanan arah ataupun arus lalulintas yang searah yang mana dapat mempengaruhi kecepatan kendaraan [14].

2.2 Kinerja Jalan Metode PKJI 2023

Langkah awal dalam menganalisis kinerja jalan adalah menentukan volume lalulintas dan masukan dari setiap faktor koreksi. Penentuan volume lalulintas dapat dilakukan dengan cara melakukan survei. Parameter-parameter dalam menilai kinerja jalan terdiri dari kapasitas jalan (C), derajat kejenuhan (D_j) dan tingkat pelayanan jalan (LoS) Ruas Jalan Borobudur Kecamatan Blimbing Kota Malang merupakan jalan kolektor dengan tipe jalan 4/2-T [15]. Lokasi titik survei berada di perkotaan sehingga dalam menghitung kapasitas jalan menggunakan persamaan kapasitas jalan perkotaan sebagai berikut :

$$C = C_o \times FC_{LJ} \times FC_{PA} \times FC_{HS} \times FC_{UK} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

C : adalah kapasitas segmen jalan yang sedang diamati, dengan satuan SMP/jam. Jika kondisi segmen jalan berbeda dari kondisi ideal, maka nilai C harus dikoreksi berdasarkan perbedaan terhadap kondisi idealnya dari lebar lajur atau jalur lalulintas (FC_{LJ}), pemisahan arah (FC_{PA}), KHS pada jalan berbahu atau tidak berbahu (FC_{HS}), dan ukuran kota (FC_{UK}).

C_o : adalah kapasitas dasar kondisi segmen jalan yang ideal, dengan satuan SMP/jam.

FC_{LJ} : adalah faktor koreksi kapasitas akibat perbedaan lebar lajur atau jalur lalulintas dari kondisi idealnya.

FC_{PA} : adalah faktor koreksi kapasitas akibat Pemisahan Arah lalulintas (PA) dan hanya berlaku untuk tipe jalan tak terbagi.

FC_{HS} : adalah faktor koreksi kapasitas akibat kondisi KHS pada jalan yang dilengkapi bahu atau dilengkapi kereb dan trotoar dengan ukuran yang tidak ideal.

FC_{UK} : adalah faktor koreksi kapasitas akibat ukuran kota yang berbeda dengan ukuran kota ideal.

Derajat kejenuhan (D_j) adalah ukuran utama yang digunakan untuk menentukan tingkat kinerja segmen jalan. Nilai D_j menunjukkan kualitas kinerja lalulintas dan bervariasi antara nol sampai dengan satu. Besarnya derajat kejenuhan secara teoritis tidak bisa lebih nilai 1 (satu), yang artinya apabila nilai tersebut mendekati nilai 0,85 atau 1 maka kondisi lalulintas sudah mendekati jenuh [16]. Derajat kejenuhan (D_j) dihitung menggunakan persamaan didasarkan pada rumus berikut ini.

$$D_j = \frac{q}{C} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

D_j : adalah derajat kejenuhan.

C : adalah kapasitas segmen jalan, dalam SMP/jam.

q : adalah volume lalu lintas, dalam SMP/jam, yang dalam analisis kapasitas terdiri dari 2 (dua) jenis, yaitu eksisting hasil perhitungan lalu lintas dan jP hasil prediksi atau hasil perancangan.

3. METODE PENELITIAN

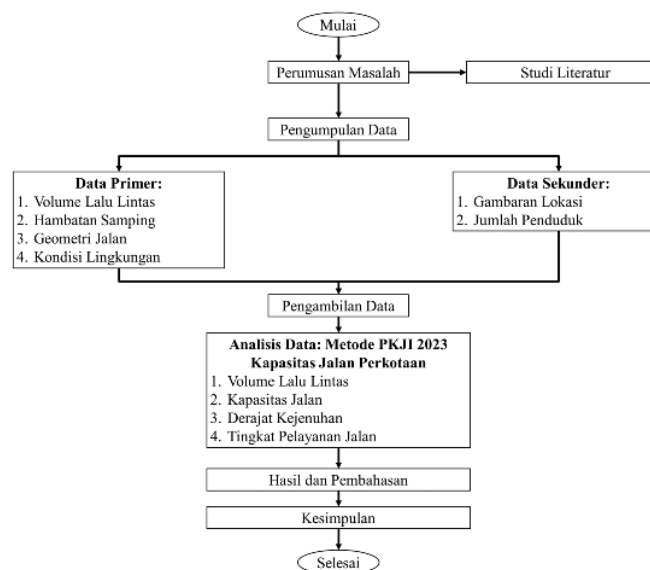
3.1 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data adalah cara atau langkah yang perlu diambil sehingga mempermudah peneliti dalam menghimpun data. Data yang digunakan dalam menunjang peneliti adalah data primer dan data sekunder. Data primer yang akan digunakan terdiri dari observasi lapangan dan survei lalu lintas. Observasi bertujuan untuk mengetahui geometri jalan sedangkan survei lalu lintas bertujuan untuk mengetahui jumlah kendaraan per lajur dalam periode waktu tertentu. Data sekunder yang digunakan seperti data BPS Kota Malang dan sumber-sumber yang berasal dari buku dan jurnal yang bertema rekayasa lalu lintas.

3.2 Metode Analisis

Metode analisis data menggunakan metode Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia (PKJI) 2023 bagian kapasitas jalan perkotaan. Parameter yang digunakan dalam menilai kinerja jalan terdiri dari geometri jalan, volume lalu lintas, kapasitas jalan, derajat kejenuhan, dan tingkat pelayanan jalan.

3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Geometri Jalan

Lokasi penelitian dapat digambarkan dengan aktivitas yang cukup padat. Padatnya aktivitas ini ditandai dengan kondisi lingkungan sekitar Jalan Borobudur yang terdiri dari perbankan, pendidikan, pertokoan, rumah makan, hingga adanya pasar. Survei geometri dilakukan pada Jalan Borobudur Kecamatan Blimbing Kota Malang. Hasil survei geometri diketahui bahwa pada titik survei A dan titik survei B memiliki ukuran yang sama yaitu lebar jalur sebesar 6 meter dan lebar lajur 3 meter. Lebar masing-masing median adalah 2,5 meter dengan bukaan median sebesar 10 meter. Hasil survei juga diketahui bahwa pada kedua titik survei merupakan berkategori jalan kolektor primer dengan tipe jalan 4/2 terbagi.

4.2 Volume Arus Lalulintas

Volume arus lalulintas didefinisikan banyaknya kendaraan yang melewati suatu titik jalan dalam persatuan waktu tertentu dan dinyatakan dalam kendaraan per jam. Data volume lalulintas di survei selama 3 hari yaitu pada hari Senin, Rabu, dan Sabtu dimulai pada pukul 06:00-18:00 WIB. Survei volume lalulintas dilakukan setiap 15 menit sekali dengan jenis kendaraan seperti sepeda motor (SM), kendaraan ringan (KR), kendaraan berat (KB), dan kendaraan tak bermotor (KTB). Hasil rekapitulasi volume kendaraan selama survei disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Volume Lalulintas

Waktu	Titik Survei: A			Titik Survei: B		
	Jenis Kend (kend/Jam)			Jenis Kend (kend/Jam)		
	Senin	Rabu	Sabtu	Senin	Rabu	Sabtu
06:00-07:00	1209	1359	1383	1170	1308	1525
07:00-08:00	1538	1404	1643	1558	1365	1469
08:00-09:00	1896	1344	1118	1560	1101	1327
09:00-10:00	1404	1426	1091	1427	1131	1408
10:00-11:00	1477	1374	1060	1076	1297	1370
11:00-12:00	1707	1479	1116	1539	1188	1368
12:00-13:00	1533	1272	1066	1445	747	1165
13:00-14:00	1560	1189	1080	1311	1122	1217
14:00-15:00	1517	1279	1176	1417	1250	1620
15:00-16:00	1397	1701	1499	1487	1689	1504
16:00-17:00	1456	1877	1674	1434	2255	1751
17:00-18:00	1776	1779	1602	1464	1913	1714
Total	18470	17483	15508	16888	16366	17438

Sumber: Data diolah, 2024

Tabel 1 diketahui bahwa volume lalulintas selama waktu survei yaitu Senin, Rabu, dan Sabtu memiliki jumlah kendaraan yang melewati titik survei berbeda-beda. Survei pada titik A hari Senin memiliki jam puncak lalulintas pada pukul 08:00-09:00 WIB dengan volume lalulintas sebesar 1.896 kend/jam. Survei pada hari Rabu jam puncak terjadi pada pukul 16:00-17:00 WIB dengan volume lalulintas sebesar 1.877 kend/jam. Survei pada hari Sabtu jam puncak lalulintas terjadi pada pukul 16:00-17:00 WIB sebesar 1.674 kend/jam. Hasil survei pada titik B hari Senin memiliki jam puncak lalulintas pada pukul 08:00-09:00 WIB dengan volume lalulintas sebesar 1.560 kend/jam. Survei pada hari Rabu jam puncak terjadi pada pukul 16:00-17:00 WIB dengan volume lalulintas sebesar 2.255 kend/jam. Survei pada hari Sabtu jam puncak lalulintas terjadi pada pukul 16:00-17:00 WIB sebesar 1.751 kend/jam.

Hasil rekapitulasi volume lalulintas berdasarkan lajur pada ruas Jl. Borobudur Blimbing Kota Malang disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Rekapitulasi Volume Lalulintas Per Lajur Pada Titik Survei A

Hari	Arah	Waktu	Titik Survei: A
Senin	U-Turn	08:00-09:00	850
	Lurus	08:00-09:00	1046
Rabu	U-Turn	16:00-17:00	863
	Lurus	16:00-17:00	1014
Sabtu	U-Turn	07:00-08:00	777
	Lurus	16:00-17:00	1044

Sumber: Data diolah, 2024

Tabel 2 diketahui bahwa volume lalulintas kendaraan yang bergerak lurus tertinggi terjadi pada hari Senin pukul 08:00-09:00 dengan jumlah 1.046 kend/jam. Volume lalulintas pada arah putar balik tertinggi terjadi pada hari Rabu pukul 16:00-17:00 dengan jumlah 863 kend/jam.

Tabel 3. Rekapitulasi Volume Lalulintas Per Lajur Pada Titik Survei B

Hari	Arah	Waktu	Titik Survei: B
Senin	U-Turn	07:00-08:00	891
	Lurus	17:00-18:00	964
Rabu	U-Turn	16:00-17:00	959
	Lurus	16:00-17:00	1296
Sabtu	U-Turn	16:00-17:00	827
	Lurus	17:00-18:00	1018

Sumber: Data diolah, 2024

Tabel 3 diketahui bahwa volume lalulintas kendaraan yang bergerak lurus tertinggi terjadi pada hari Rabu pukul 16:00-17:00 dengan jumlah 1.296 kend/jam. Volume lalulintas pada arah putar balik tertinggi terjadi pada hari Rabu pukul 16:00-17:00 dengan jumlah 959 kend/jam.

Survei juga dilakukan pada hambatan samping yang dimulai pada pukul 06:00-18:00 WIB disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Volume Kendaraan Tak Bermotor (KTB)

Hari	Waktu	Jumlah KTB		Nilai Frekuensi		KHS
		Titik A	Titik B	Titik A	Titik B	
Senin	06:00-18:00	73	54	29,2	21,6	Sangat Rendah
Rabu	06:00-18:00	97	77	38,8	30,8	Sangat Rendah
Sabtu	06:00-18:00	84	89	33,6	35,6	Sangat Rendah
Total				101,6	88	

Keterangan: Bobot KTB = 0,4

Sumber: Data diolah, 2024

Tabel 4 diketahui hambatan samping selama waktu survei berjumlah antara 54-97 KTB per jam. Hasil yang diperoleh digunakan untuk menentukan kelas hambatan samping (KHS). Pembobotan hambatan samping menggunakan bobot arus kendaraan lambat (kendaraan tak bermotor) dengan bobot 0,4. Hasil konversi dari nilai frekuensi kejadian didapatkan dengan cara bobot kali jumlah KTB pada setiap hari survei. Nilai frekuensi yang diperoleh antara 21,6-38,8, yang mana nilai yang diperoleh <100 sehingga kelas hambatan samping pada titik A dan titik B memiliki kelas hambatan samping (KHS) yang sangat rendah.

Hasil rekapitulasi survei pada titik A dan titik B jumlah kendaraan digunakan untuk menghitung kapasitas jalan. Data jumlah kendaraan per jam yang telah ada di konversi menjadi satuan kendaraan ringan (skr) per jam. Oleh karena itu, data yang akan digunakan adalah data-data yang memiliki jam puncak tertinggi pada hari survei.

Tabel 5. Konversi Kend/Jam Menjadi Skr/Jam

Hari	Waktu	Titik A								Total
		Jenis Kend (Kend/jam)				Jenis Kend (skr/jam)				
		SM	KR	KB	KTB	SM	KR	KB	KTB	
Senin	08:00-09:00	1131	763	2	6	226,2	763	3,6	6	992,8
Rabu	16:00-17:00	1140	731	6	5	228	731	10,8	5	969,8
Sabtu	16:00-17:00	1184	485	5	3	236,8	485	9	3	730,8
Hari	Waktu	Titik B								Total
		Jenis Kend (Kend/jam)				Jenis Kend (skr/jam)				
		SM	KR	KB	KTB	SM	KR	KB	KTB	
Senin	08:00-09:00	740	819	1	10	148	819	1,8	0	968,8
Rabu	16:00-17:00	1375	875	5	8	275	875	9	8	1159
Sabtu	16:00-17:00	940	799	12	2	188	799	21,6	2	1008,6

Keterangan: Nilai EKR berdasarkan Q Total ≥ 1000 (SM = 0,2; KR = 1; dan KB = 1,8)

Sumber: Data diolah, 2024

Tabel 5 diketahui bahwa selama periode waktu survei pada titik A dengan volume tertinggi terjadi pada hari Senin dengan volume sepeda motor (SM) sebesar 226,2 skr/jam, volume kendaraan ringan (KR) sebesar 763 skr/jam dan volume kendaraan berat (KB) sebesar 3,6 skr/jam dengan total volume lalulintas sebesar 992,8 skr/jam. Hasil survei pada titik B menunjukkan jam puncak terjadi pada hari Rabu dengan volume sepeda motor (SM) sebesar 257 skr/jam, volume

kendaraan ringan (KR) sebesar 875 skr/jam dan volume kendaraan berat (KB) sebesar 9 skr/jam dengan total volume lalulintas sebesar 1.159 skr/jam.

Kapasitas Jalan

Penentuan kapasitas dasar jalan didasarkan pada tipe jalan dan ditentukan secara terpisah berdasarkan lajur. Oleh karena itu, tipe jalan 4/2 terbagi menggunakan kapasitas dasar (C_0) sebesar 1.700 smp/jam per lajur. Kapasitas segmen jalan dapat dihitung dengan persamaan pada rumus (4.1) berikut:

$$C = C_0 \times FC_{LJ} \times FC_{PA} \times FC_{HS} \times FC_{UK} \dots\dots\dots (3)$$

Penentuan faktor koreksi akibat perbedaan lebar lajur (FC_{LJ}) didasarkan pada PKJI 2023 dengan tipe jalan 4/2-T dengan LLE sebesar 3 meter, maka FC_{LJ} sebesar 0,92. Jalan Borobudur dengan tipe 4/2-T dan setiap lajur tidak ada fungsi pemisah arah lalulintas, sehingga nilai faktor koreksi kapasitas akibat PA pada tipe jalan tak terbagi adalah 1,00. Hasil survei pada geometri jalan, diketahui bahwa Jalan Borobudur tanpa bahu jalan, sehingga penentuan FC_{HS} menggunakan jalan berkereb. Pengukuran pada jalan berkereb ke penghalang terdekat adalah < 0,5 meter. Perhitungan pada KHS didapatkan kelas KHS selama waktu survei adalah sangat rendah. Namun bila mengacu pada nilai total yang didapatkan selama survei, maka titik A berkategori KHS rendah dan titik B berkategori sangat rendah. Oleh karena itu, berdasarkan PKJI 2023, FC_{HS} pada titik A sebesar 0,94 dan FC_{HS} titik B sebesar 0,95. Berdasarkan data BPS Kota Malang tahun 2024, jumlah penduduk untuk Kota Malang adalah 847.182 jiwa. Oleh karena itu, faktor koreksi kapasitas terhadap ukuran kota (FC_{UK}) berdasarkan PKJI 2023, maka Kota Malang termasuk kelas kota sedang dengan kategori kota menengah. Nilai FC_{UK} untuk kelas dan kategori Kota Malang adalah 0,94.

Berdasarkan hasil penjabaran di atas, dapat direkap menjadi satu kesatuan dalam menentukan kapasitas potensial jalan sebagai berikut.

Tabel 6. Rekapitulasi Faktor Koreksi Kapasitas Jalan

Persamaan	Nilai	Titik A	Titik B
C_0	1700		
FC_{LJ}	0,92		
FC_{PA}	1,00		
FC_{HS}		0,94	0,95
FC_{UK}	0,94		

Sumber: Data diolah, 2023

Perhitungan kapasitas potensial jalan sebagai berikut:

Titik A

$$C = C_0 \times FC_{LJ} \times FC_{PA} \times FC_{HS} \times FC_{UK} \dots\dots\dots (4)$$

$$C = 1.700 \times 0,92 \times 1,00 \times 0,94 \times 0,94 = 1.381,95 \text{ smp/jam}$$

Titik B

$$C = C_0 \times FC_{LJ} \times FC_{PA} \times FC_{HS} \times FC_{UK} \dots\dots\dots (5)$$

$$C = 1.700 \times 0,92 \times 1,00 \times 0,95 \times 0,94 = 1.396,65 \text{ smp/jam}$$

Hasil perhitungan didapatkan kapasitas per lajur untuk titik A sebesar 1.381,91 smp/jam dan kapasitas lajur pada titik B adalah 1.396,65 smp/jam. Oleh karena itu, kapasitas jalan pada titik A sebesar 2.763,95 smp/jam dan kapasitas jalan Titik B sebesar 2.793,65 smp/jam.

4.3 Derajat Kejenuhan (D_j)

Derajat kejenuhan merupakan suatu indikator yang menentukan kinerja suatu simpang. Derajat kejenuhan digunakan sebagai faktor utama dalam penentuan tingkat kinerja simpang dan segmen jalan. Nilai derajat kejenuhan (D_j) menunjukkan apakah segmen jalan tersebut mempunyai masalah kapasitas atau tidak. Derajat kejenuhan dihitung dengan menggunakan arus dan kapasitas dinyatakan dalam smp/jam. Besarnya derajat kejenuhan secara teoritis tidak bisa lebih nilai 1 (satu), yang artinya apabila nilai tersebut mendekati nilai 1 maka kondisi lalulintas

sudah mendekati jenuh, dan secara visual atau secara langsung bisa dilihat di lapangan kondisi lalu lintas yang terjadi mendekati padat dengan kecepatan rendah. Nilai Q yang digunakan adalah jam puncak tertinggi pada titik survei yang telah dikonversi menjadi skr/jam. Persamaan derajat kejenuhan yaitu:

Tabel 7. Perhitungan Derajat Kejenuhan (D_j)

Titik Survei	Hari	Waktu	Q	C	D_j	Syarat D_j
Titik A	Senin	08:00-09:00	998,8	1381,95	0,72	0,85
	Rabu	17:00-18:00	995,8	1381,95	0,72	
	Sabtu	07:00-08:00	937,2	1381,95	0,68	
Titik B	Senin	07:00-08:00	1057,2	1396,65	0,76	
	Rabu	16:00-17:00	1167,0	1396,65	0,84	
	Sabtu	16:00-17:00	1010,6	1396,65	0,72	

Keterangan: Q adalah total kendaraan skr/jam tertinggi pada periode waktu survei

Nilai D_j per lajur hasil perhitungan berkisar antara 0,68-0,84 yang artinya kondisi lalu lintas telah mendekati dan memasuki fase jenuh.

4.4 Tingkat Pelayanan Jalan

Perilaku lalu lintas diwakili oleh tingkat pelayanan (Level of Service), yaitu ukuran kualitatif yang mencerminkan persepsi para pengemudi dan penumpang mengenai karakteristik kondisi operasional dalam arus lalu lintas. Tingkat pelayanan adalah kemampuan ruas jalan dan atau persimpangan untuk menampung lalu lintas pada keadaan tertentu yang diatur pada Peraturan Menteri Perhubungan No. 96 Tahun 2015.

Tabel 8. Tingkat Pelayanan Jalan Berdasarkan Nilai Derajat Kejenuhan (D_j)

Titik Survei	Hari	Waktu	D_j	Rerata D_j	Tingkat Pelayanan
Titik A	Senin	08:00-09:00	0,72	0,7	B
	Rabu	17:00-18:00	0,71		
	Sabtu	07:00-08:00	0,67		
Titik B	Senin	07:00-08:00	0,75	0,8	C
	Rabu	16:00-17:00	0,83		
	Sabtu	16:00-17:00	0,72		

Sumber: Data diolah, 2024

Tabel 4.9 diketahui bahwa tingkat pelayanan pada titik A adalah B sedangkan tingkat pelayanan pada titik B adalah C. tingkat pelayanan B menjelaskan bahwa volume lalu lintas mencapai 45% dari kapasitas dengan arus lalu lintas masih terbilang stabil, sedangkan untuk tingkat pelayanan C menandakan volume lalu lintas telah mencapai 70% dari kapasitas dan arus lalu lintas mendekati arus yang tidak stabil.

5. KESIMPULAN

Volume lalu lintas kendaraan pada titik survei A menunjukkan bahwa kendaraan yang bergerak lurus tertinggi terjadi pada hari Senin pukul 08:00-09:00 dengan jumlah 1.046 kend/jam. Volume lalu lintas pada arah putar balik tertinggi terjadi pada hari Rabu pukul 16:00-17:00 dengan jumlah 863 kend/jam. Pada titik survei B volume lalu lintas kendaraan yang bergerak lurus tertinggi terjadi pada hari Rabu pukul 16:00-17:00 dengan jumlah 1.296 kend/jam. Volume lalu lintas pada arah putar balik tertinggi terjadi pada hari Rabu pukul 16:00-17:00 dengan jumlah 959 kend/jam. Volume lalu lintas pada titik A didapatkan jam puncak pada hari Senin pukul 08:00-09:00 WIB dengan volume kendaraan sebesar 1.896 kend/jam dan titik B jam puncak terjadi pada hari Rabu pukul 16:00-17:00 WIB dengan volume lalu lintas sebesar 2.255 kend/jam. Hasil perhitungan kapasitas jalan pada titik survei A sebesar 1.381,95 smp/jam dan kapasitas jalan pada titik survei B sebesar 1.396,65 smp/jam. Tingkat pelayanan jalan pada ruas Jl. Borobudur Blimbing Kota Malang pada titik survei A memiliki tingkat pelayanan B dan titik survei B memiliki tingkat pelayanan C.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. S. R. Utami, “Analisa Dampak U-Turn (Putar Balik Arah) Terhadap Kinerja Arus Lalulintas Ruas Jalan Trasyogi Cibubur,” Universitas Siliwangi, 2023.
- [2] W. Pramudio, R. Sasongko, and D. Ratnaningsih, “Pengaruh Putar Balik Arah (U-Turn) Terhadap Kinerja Arus Lalu Lintas Pada Ruas Jalan Soekarno Hatta Bagian Timur Kota Malang,” *JOS-MRK*, vol. 3, no. 2, pp. 114–118, 2022.
- [3] A. E. Bere, “Analisis Pengaruh U-Turn (Arus Putar Balik) Terhadap Kelancaran Arus Lalulintas Pada Ruas Jalan Borobudur, Kecamatan Lowokwaru Kota Malang,” Universitas Tribhuwana Tungadewi, 2023.
- [4] Lionardo and Y. A. Sari, “PENGARUH GERAK U-TURN PADA BUKAAN MEDIAN TERHADAP KARAKTERISTIK ARUS LALU LINTAS DI RUAS JALAN RAJA H.,” *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 16, no. 4, pp. 302–311, 2022.
- [5] W. S. Anggawa, “Pengaruh Putar Balik Arah (U-Turn) Kendaraan Terhadap Karakteristik Arus Lalulintas Pada Ruas Jalan Pangeran Antasari Kota Samarinda,” *Kurva S*, vol. 12, no. 2, pp. 1–9, 2021.
- [6] V. D. Wowor, V. A. Kumurur, and L. I. R Lefrandt, “Urban Walkability Di Kota Manado (Studi Kasus: Kec. Mapengat),” *Jurnal Spasial*, vol. 6, no. 1, pp. 178–186, 2019.
- [7] S. H. Halim, “KAJIAN PUTAR BALIK (U-TURN) TERHADAP KINERJA ARUS LALU LINTAS (Studi Kasus Jl. Ibrahim Adjie Kota Bandung),” *Jurnal Media Teknologi*, vol. 07, no. 02, pp. 109–124, 2021.
- [8] U. A. P. Setiawan, N. Sebayang, and T. H. Nainggolan, “Evaluasi Pengaruh Keberadaan Fasilitas U-Turn Terhadap Kinerja Ruas Jalan Nasional (Studi Kasus Jalan Jendral Ahmad Yani Kota Malang Sampai Jalan Raya Mondoroko Kab. Malang),” *GELAGAR*, vol. 3, no. 1, pp. 129–138, 2021.
- [9] H. Fadriani and R. J. Hafits, “Pengaruh Gerakan Putar Balik Arah Kendaraan Terhadap Derajat Kejenuhan Ruas Jalan Arteri,” *Jurnal Online Sekolah Tinggi Teknologi Mandala*, vol. 13, no. 2, pp. 51–59, 2018.
- [10] M. Kasan, Mashuri, and H. Listiawati, “Pengaruh U-Turn Terhadap Karakteristik Arus Lalu Lintas Di Ruas Jalan Kota Palu (Studi Kasus Jl. Moh. Yamin Palu),” *SMARTek*, vol. 3, no. 3, pp. 146–159, 2005.
- [11] A. Jihad, H. Kadir, and M. SAR, “Analisis Kinerja Buka-an Median U-Turn Ruas Jalan Veteran Utara,” *Jurnal Flyover (JFO)*, vol. 3, no. 02, pp. 60–68, 2023.
- [12] Direktorat Jenderal Bina Marga, “Pedoman Perencanaan Putar Balik (U-Turn),” Jakarta, 2005.
- [13] W. I. Dharmawan and D. Oktarina, “Kajian Putar Balik (U-Turn) Terhadap Kemacetan Ruas Jalan Di Perkotaan (Studi Kasus Ruas Jalan Teuku Umar Dan Jalan Za. Pagar Alam Kota Bandar Lampung) (247t),” *Transportasi*, vol. 7, no. 7, pp. 189–196, 2013.
- [14] W. Sutrisno, Kumalasari, D. Sulistyorini, and Y. P. Pestalozzi, “Analisis Pengaruh U-Turn Terhadap Kinerja Arus Lalu Lintas Ruas Jalan Mondoroko Kec. Singosari, Kab. Malang,” *Bangun Rekaprima*, vol. 08, no. 2, pp. 21–28, 2022.
- [15] Direktorat Jenderal Bina Marga, “Pedoman Kapasitas Jalan Indonesia Tahun 2023,” Jakarta, 2023.

Pengaruh Penambahan Polycarboxylate Pada Beton Self Compacting Concrete Mutu 40 MPa Terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas

Murniati Novem Wijaya Ningrum^{1*}, Abdul Halim², Candra Aditya³

¹PT. Mulia Surya Mahameru

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

*Email Korespondensi: novemwijaya70@gmail.com

ABSTRAK

Hasil dari beton bertulang dan non bertulang yang tidak sempurna pematatannya dapat menurunkan kuat tekan beton dan kedap-airan beton sehingga mudah terjadi korosi pada tulangan. Permasalahan tersebut bisa diselesaikan dengan menggunakan beton *Self Compacting Concrete* (SCC), karena beton SCC mampu mengalir sendiri dan dapat dicetak pada bekisting dengan tingkat penggunaan alat pemadat yang sangat sedikit atau bahkan tidak dipadatkan sama sekali. Beton SCC membutuhkan bahan zat aditif agar beton tersebut cair tanpa menambahkan air. Pada penelitian ini menggunakan zat aditif superplasticizer Polycarboxylate (Pce) dengan variasi penambahan 0%, 0,6%, 1,2%, 1,8% dan menggunakan mutu 30 MPa dan mutu 40 MPa. Hasil penelitian ini didapatkan nilai kuat tekan Beton SCC mutu 30 MPa pada B 0,6% PCE sebesar 34,42 MPa. Nilai kuat tekan Beton SCC mutu 40 MPa, pada B 0,6% PCE sebesar 44,84 MPa. Nilai Modulus Elastisitas Beton SCC mutu 30 MPa, pada B 0,6% sebesar 65749,3 MPa. Beton SCC mutu 40 MPa, pada B 0,6% PCE modulus elastisitas yang terjadi sebesar 70163,5 MPa. Nilai optimum kuat tekan pada mutu 30 MPa dan mutu 40 MPa dengan maksimal penambahan *Polycarboxylate* sebesar 0,91% dan 0,94%. Nilai optimum modulus elastisitas pada mutu 30 MPa dan mutu 40 MPa dengan maksimal penambahan *Polycarboxylate* sebesar 0,9%. Hasil yang diperoleh dari analisis anova, penambahan polycarboxylate pada beton SCC mutu 30 MPa tidak berpengaruh terhadap kuat tekan dan modulus elastisitas, sedangkan pada mutu 40 MPa berpengaruh terhadap kuat tekan dengan nilai $\alpha = 0,05 < P\text{-value} = 0,00000087$ dan modulus elastisitas dengan nilai $\alpha = 0,05 > P\text{-value} = 0,0045859$.

Kata Kunci: Beton SCC, *Polycarboxylate* (PCE), Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas.

ABSTRACT

Inadequate compaction of both reinforced and non-reinforced concrete can reduce the concrete's compressive strength and watertightness, making the reinforcement susceptible to corrosion. This problem can be resolved by using Self-Compacting Concrete (SCC), as SCC flows on its own and can be cast into formwork with minimal use of compaction equipment—or even without compaction at all. SCC requires additives to achieve a fluid consistency without adding water. In this study, a polycarboxylate (PCE) superplasticizer was used with addition levels of 0%, 0.6%, 1.2%, and 1.8%, for concrete grades of 30 MPa and 40 MPa. The results of this study showed that the compressive strength of 30 MPa-grade SCC concrete with 0.6% PCE was 34.42 MPa. The compressive strength of 40 MPa-grade SCC concrete with 0.6% PCE was 44.84 MPa. The modulus of elasticity for 30 MPa-grade SCC at 0.6% PCE was 65,749.3 MPa. For 40 MPa-grade SCC at 0.6% PCE, the modulus of elasticity was 70,163.5 MPa. The optimum compressive strength values for the 30 MPa and 40 MPa grades correspond to maximum polycarboxylate additions of 0.91% and 0.94%, respectively. The optimal values of the modulus of elasticity for 30 MPa and 40 MPa grades correspond to a maximum polycarboxylate addition of 0.9%. Results from the ANOVA analysis indicate that the addition of polycarboxylate to 30 MPa SCC concrete has no effect on compressive strength or the modulus of elasticity, whereas for the 40 MPa strength class, it affected the compressive strength with $\alpha = 0.05 < P\text{-value} = 0.00000087$ and the elastic modulus with $\alpha = 0.05 > P\text{-value} = 0.0045859$.

Keywords: SCC Concrete, *Polycarboxylate* (PCE), Compressive Strength and Modulus of Elasticity.

1. PENDAHULUAN

Pada pekerjaan konstruksi beton, saat pemadatan sering dilakukan dengan cara seperti menggunakan alat penggetar atau alat penusuk. Hal ini dilakukan agar beton dapat lebih mudah untuk menjangkau bagian-bagian dari tulangan yang sulit dijangkau oleh campuran beton. Selain itu dengan adanya proses pemadatan, dapat diperoleh beton yang tidak terdapat rongga-rongga udara di dalam beton. Oleh karena itu, Penelitian yang akan dilakukan untuk menghadapi permasalahan tersebut adalah dengan menganalisis Beton Self Compacting Concrete (SCC) dengan penambahan superplasticizer Polycarboxylate (Pce). Diharapkan dengan menggunakan superplasticizer Polycarboxylate (Pce) dapat mengabsorpsi kadar air yang terkandung di dalam campuran beton dan dapat membuat campuran beton menjadi encer. Sehingga beton dapat mudah didistribusikan dan dipadatkan. Ditinjau dari penelitian sebelumnya bahwa penambahan superplasticizer di atas 2,5% sebaiknya di hindari karena tidak efektif terhadap kemampuan mereduksi air sehingga akan menimbulkan efek negative seperti segregation dan bleeding. Pada penelitian ini penambahan superplasticizer (PCE) ada 4 variasi yaitu 0%, 0,6%, 1,2% dan 1,8% dari berat semen.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton dalam Bahasa Inggris disebut “Concrete”. Concrete berasal dari Bahasa latin yaitu “Concretus” yang artinya padat. Dalam Standar Nasional Indonesia (SKSNI T_15_1991_03,) beton didefinisikan sebagai campuran antara semen Portland atau semen hidrolik yang lain, agregat kasar, agregat halus dan air atau dengan bahan tambahan hingga membentuk massa padat [1], [2], [3].

2.2 Beton Self Compacting Concrete (SCC)

Menurut (The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use “The European Guidelines for Self Compacting Concrete,” 2005) adalah sebuah inovasi beton yang tidak memerlukan alat penggetar untuk mengisi ruang dan memadat. Beton SCC dapat mengalir dengan beratnya sendiri untuk memenuhi bekisting atau cetakan secara merata hingga mencapai kepadatan yang sempurna, bahkan bisa digunakan dengan desaintulangan yang rapat [4]. Beton SCC dapat mengalir sendiri dengan cepat sehingga dapat mempercepat pekerjaan pengecoran. Beton SCC memiliki porsi komponen halus lebih banyak serta ukuran agregat kasar yang lebih kecil dengan porsi yang lebih sedikit dibandingkan dengan beton konvensional. Komponen halus ini yang akan mengurangi segregasi dan meningkatkan kohesivitas campuran [5], [6].

2.3 Superplasticizer

Superplasticizer merupakan salah satu admixture tambahan yang digunakan dalam pembuatan beton mutu tinggi. Superplasticizer memiliki sifat-sifat antara lain menghilangkan gaya permukaan pada partikel semen sehingga lebih menyebar, melepaskan air yang terikat pada kelompok partikel semen untuk menghasilkan daya ikat antar partikel yang lebih kuat [7], [8]. Pada penelitian ini menggunakan superplasticizer polycarboxylate (PCE) (Gambar 1) adalah superplasticizer yang paling efektif. PCE mampu untuk mengurangi kadar air sampai 40% dan bisa digunakan untuk beton dengan mutu tinggi, perbandingan air dan semen yang didapat adalah 0,2. PCE memiliki nilai slump yang baik [9].



Gambar 1. Polycarboxylate (PCE)

Sumber: Penelitian 2023

2.4 Kuat Tekan

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton memikul beban per satuan luas. Kuat tekan beton menentukan kualitas suatu struktur [10]. Semakin tinggi kekuatan struktur yang dibutuhkan maka semakin tinggi pula mutu beton yang dihasilkan. Kuat tekan dapat dihitung menggunakan rumus:

$$f'_c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

f'_c = Kuat tekan beton (Mpa)

P = Beban tekan (N)

A = Luas penampang benda uji (mm^2)

2.5 Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas adalah perbandingan antara tegangan dan modulus elastisitas Ketegangan material. Nilai modulus elastisitas dapat diperoleh dengan melakukan pengujian Dengan menggunakan rumus ASTM-C469-94 [11]. Menghitung modulus elastisitas menggunakan rumus :

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \dots\dots\dots (2)$$

Untuk mengetahui nilai S_2 menggunakan rumus yang dapat dilihat pada rumus berikut.

$$S_2 = 0,4f'_c \dots\dots\dots (3)$$

Untuk mengetahui nilai ϵ_2 menggunakan rumus yang dapat dilihat pada rumus berikut.

$$\epsilon_2 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan :

E = modulus elastisitas beton (kg/m^3)

S_2 = Tegangan pada 40% tegangan runtuh (kg)

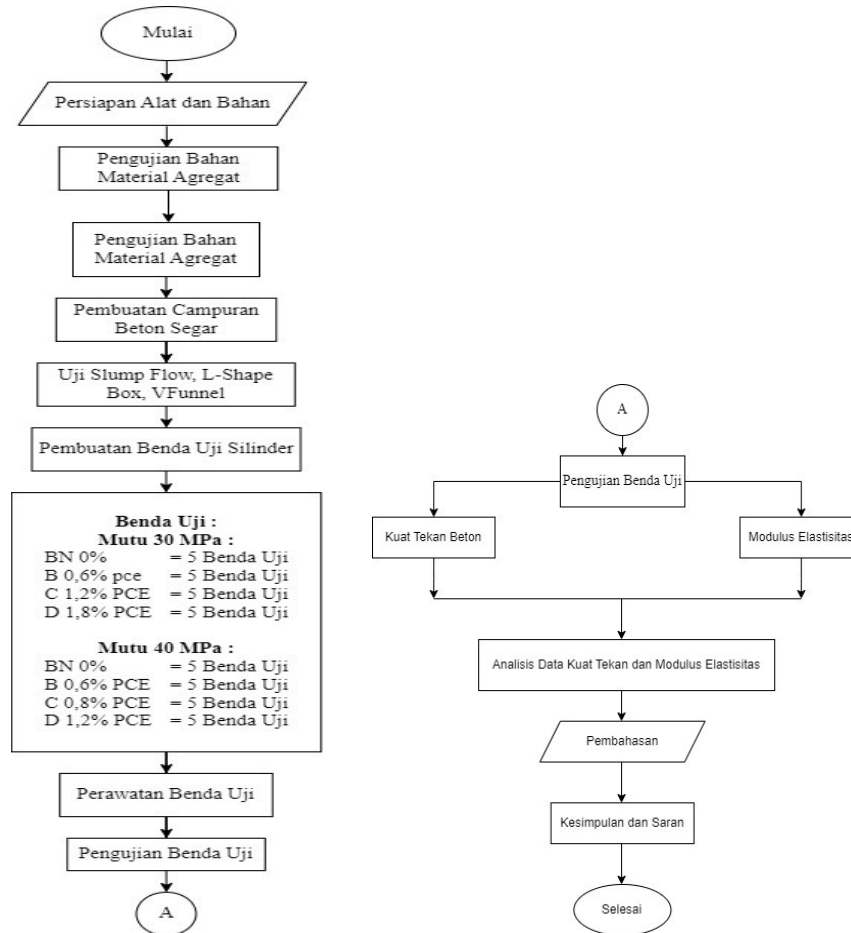
S_1 = Tegangan pada saat nilai kurva regangan ϵ_1 (kg)

ϵ_2 = Nilai kurva regangan yang terjadi pada saat S_2 (m3)

ϵ_1 = Regangan sebesar 0,0005 (m3)

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan selama 4 bulan terhitung mulai bulan Oktober 2023 – Januari 2024. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Bahan Konstruksi Teknik Sipil Kampus III Universitas Widyagama Malang, yang berlokasi di Jl. Borobudur No.35 Mojolangu Kec. Lowokwaru, Kota Malang. Pengujian dimulai dari karakteristik material, pembuatan benda uji, pengujian kuat tekan dan modulus elastisitas. Bagan alir penelitian dapat dilihat pada **Gambar 2.**



Gambar 2. Bagan Alur Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Agregat Halus dan Kasar

Pengujian agregat halus dilakukan untuk mengetahui spesifikasi dari agregat halus. Pada agregat halus ada beberapa yang dilakukan saat pengujian yaitu uji kadar air, berat jenis, penyerapan dan modulus kehalusan [12]. Hasil dari pengujian agregat halus dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Halus

Pemeriksaan	Hasil	Standar SNI	Keterangan
Kadar Air (%)	3,32	3% - 5%	Memenuhi
Berat Jenis (%)	2,78	2,58 - 2,83	Memenuhi
Penyerapan	3,74	0,2% - 4%	Memenuhi
Modulus Kehalusan (FM)	2,55	1.5- 3,5	Memenuhi

Sumber: Hasil Analisis 2023

4.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pengujian agregat halus dilakukan untuk mengetahui spesifikasi dari agregat kasar. Pada agregat kasar ada beberapa yang dilakukan saat pengujian yaitu uji kadar air, berat jenis, penyerapan dan modulus kehalusan. Hasil dari pengujian agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Agregat Kasar

Pemeriksaan	Hasil	Standart SNI	Keterangan
Kadar Air	1,42	Maksimal 5%	Memenuhi
Berat Jenis	2,65	2,3 - 2,9	Memenuhi
Penyerapan	3,69	0,2% - 4%	Memenuhi
Modulus Kehalusan (FM)	1,50	1.5 - 3,5	Memenuhi

Sumber: Hasil Analisis 2023

4.3 Mix Design Mutu 40 MPa

Hasil perhitungan Mix Design mutu 40 MPa dan jumlah kebutuhan yang dibutuhkan dapat dilihat pada **Tabel 3 dan Tabel 4.**

Tabel 3. Perkiraan material dan polycarboxylate per m3

Perlakuan	BN 0%	B 0,6% PCE	C 1,2 PCE	D 1,8 PCE
Air (kg/m3)	229,10	229,10	229,10	229,10
Semen (kg/m3)	640,63	640,63	640,63	640,63
Kerikil (kg/m3)	935,38	935,38	935,38	935,38
Pasir (kg/m3)	571,90	571,90	571,90	571,90
Polycarboxylate (kg/m)	-	0,60%	1,20%	1,80%

*Sumber: Hasil Analisis 2023***Tabel 4.** Perkiraan material dan polycarboxylate per m3

Perlakuan	BN 0%	B 0,6% PCE	C 1,2 PCE	D 1,8 PCE
Air (kg)	6,08	6,08	6,08	6,08
Semen (kg)	16,99	16,99	16,99	16,99
Kerikil (kg)	24,80	24,80	24,80	24,80
Pasir (kg)	15,17	15,17	15,17	15,17
Polycarboxylate (ml)	-	96,16	192,32	288,48

4.4 Sifat Beton Segar

Beton Self Compacting Concrete memiliki sifat yang harus dilakukan pengujian sebelum pembuatan benda uji pada tabel-tabel berikut :

Tabel 5. Hasil Pengujian Slump Flow Mutu 40 MPa

Benda Uji	Hasil Slump Flow	Keterangan
0	655	Memenuhi
0,6	695	Memenuhi
1,2	715	Memenuhi
1,8	740	Memenuhi

Tabel 6. Hasil Pengujian L-Shape Box Mutu 40 MPa

Benda Uji	Hasil L-Shape Box	Keterangan
0	0,84	Memenuhi
0,6	0,89	Memenuhi
1,2	0,93	Memenuhi
1,8	1,00	Memenuhi

Tabel 7. Hasil Pengujian V-Funnel Box Mutu 40 MPa

No.	Hasil V-Funnel	Keterangan
0	10	Memenuhi
0,6	9	Memenuhi
1,2	8	Memenuhi
1,8	6	Memenuhi

Hasil dari pengujian di atas menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan PCE pada pengujian Slump Flow dan L-Shape Box maka nilai sifat beton semakin tinggi dan pada pengujian V-Funnel nilai sifat beton waktu yang diperoleh semakin cepat.

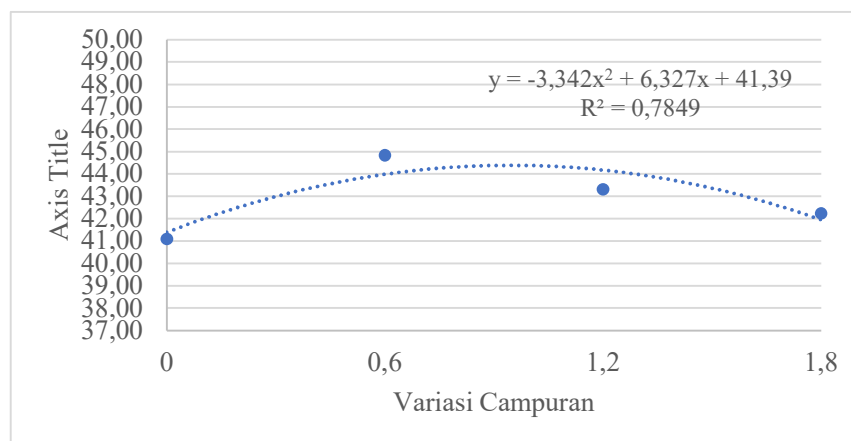
4.5 Hasil Kuat Tekan Beton

Hasil kuat tekan beton SCC pada mutu 40 MPa dengan penambahan Superplasticizer Polycarboxylate (PCE) dapat dilihat pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Hasil Kuat Tekan Beton SCC dengan Penambahan PCE Mutu 40 MPa

No	Kode Beton	Fcr (MPa)	Persentase Kuat Tekan Dengan Penambahan 0,6%	Persentase Kenaikan Kuat Tekan (%)
1	BN 0%	41,10	0,00	0,00
2	B 0,6% PCE	44,84	8,33	8,33
3	C 1,2% PCE	43,31	-3,53	5,37
4	D 1,8% PCE	42,24	-2,55	2,75

Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa dengan penambahan 0,6% PCE mengalami kenaikan 8,33% sebesar 44,48 MPa terhadap beton normal (BN 0%) dan mengalami penurunan pada C1,2% PCE dengan nilai persentase 5,37% sebesar 43,31 MPa dan D 1,8% PCE dengan nilai persentase 2,75% sebesar 42,24 MPa terhadap B 0,6% [13], [14]. Maka dari hasil tersebut diperoleh grafik yang menggambarkan pengaruh penambahan Polycarboxylate (PCE) yang dapat dilihat pada **Gambar 3**.

**Gambar 3.** Grafik Hubungan Variasi Campuran dan Kuat Tekan Rata-Rata Mutu 40 MPa

Dari hasil analisis anova didapatkan nilai $\alpha = 0,05 > P\text{-value} = 0,00000087$ dan dapat disimpulkan bahwa penambahan Polycarboxylate (PCE) berpengaruh terhadap kuat tekan.

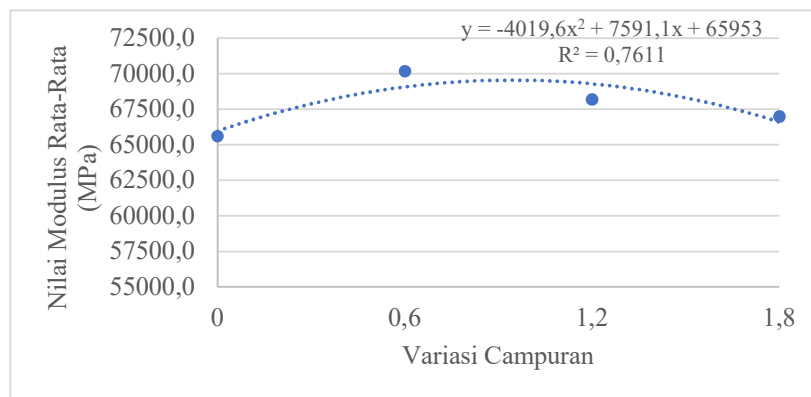
4.7 Hasil Modulus Elastisitas Beton

Hasil modulus elastisitas beton SCC pada mutu 40 MPa dengan penambahan Superplasticizer Polycarboxylate (PCE) dapat dilihat pada **Tabel 9**.

Tabel 9. Hasil Modulus Elastisitas Beton SCC dengan Penambahan PCE Mutu 40 MPa

No	Kode Beton	EC Rata-Rata (MPa)	Persentase Modulus Elastisitas Dengan Penambahan 0,6%	Persentase Kenaikan Modulus Elastisitas (%)
1	BN 0%	65585,9	0,00	0,00
2	B 0,6% PCE	70163,5	6,52	6,52
3	C 1,2% PCE	68172,0	-2,92	3,94
4	D 1,8% PCE	66961,5	-1,81	2,10

Hasil pengujian modulus elastisitas menunjukkan bahwa dengan penambahan 0,6% PCE mengalami kenaikan 6,52% sebesar 70163,5 MPa terhadap beton normal (BN 0%) dan mengalami penurunan pada C1,2% PCE dengan nilai persentase 3,94% sebesar 68172,0 MPa dan D 1,8% PCE dengan nilai persentase 2,10% sebesar 66961,5 MPa terhadap B 0,6%. Maka dari hasil tersebut diperoleh grafik yang menggambarkan pengaruh penambahan Polycarboxylate (PCE) terhadap modulus elastisitas[15] yang dapat dilihat pada **Gambar 4**.

**Gambar 4.** Grafik Hubungan Variasi Campuran dan Modulus Elastisitas Rata-Rata Mutu 40 MPa

Dari hasil analisis anova didapatkan nilai $\alpha = 0,05 > P\text{-value} = 0,0045859$ dan dapat disimpulkan bahwa penambahan Polycarboxylate (PCE) berpengaruh terhadap modulus elastisitas[16].

5. PENUTUP

Beton Self Compating Concrete mutu 40 MPa dengan penambahan *Polycarboxylate* (PCE) berpengaruh terhadap kuat tekan dengan nilai $\alpha = 0,05 > P\text{-value} = 0,00000087$. Nilai kuat tekan tertinggi terdapat pada penambahan *Polycarboxylate* (PCE) 0,6% sebesar 44,84 MPa dengan nilai persentase 8,33% terhadap beton normal. Nilai optimum penambahan PCE sebesar 0,94%. Beton Self Compating Concrete mutu 40 MPa dengan penambahan *Polycarboxylate* (PCE) berpengaruh terhadap modulus elastisitas dengan nilai $\alpha = 0,05 > P\text{-value} = 0,0045859$. Nilai modulus elastisitas tertinggi terdapat pada penambahan *Polycarboxylate* (PCE) 0,6% sebesar 70163,5 MPa dengan nilai persentase 6,52% terhadap beton normal. Nilai optimum penambahan PCE sebesar 0,94%. Berdasarkan kesimpulan tersebut, maka terdapat beberapa saran yaitu perlu dilakukan penelitian menggunakan mutu beton yang lebih tinggi, penambahan bahan yang menambah kuat tekan, dan perlu adanya pengembangan pengujian beton SCC dengan penambahan Polycarboxylate selain uji kuat tekan dan modulus elastisitas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] SNI 03-2834-2000, "SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal," *Sni 03-2834-2000*, 2000.
- [2] K. Tjokrodinuljo, "Teknologi Beton, Buku Ajar," *Jurusan Teknik Sipil–Magister Teknologi Bahan Bangunan–Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Yogyakarta*, 2007.

- [3] Badan Standarisasi Nasional, "SNI 15-2049-2004 Semen Portland," *SNI 15-2049-2004 Semen Portland*, vol. 10, no. 1, pp. 5–14, 2002, doi: 10.1891/jnum.10.1.5.52550.
- [4] K. Rusyandi, J. Mukodas, and Y. Gunawan, "Perancangan Beton Self Compacting Concrete (Beton Memadat Sendiri) Dengan Penambahan Fly Ash dan Structuro," *Jurnal Konstruksi*, vol. 10, no. 01, 2012, doi: 10.33364/konstruksi/v.10-01.35.
- [5] EFNARC, "The European Guidelines for Self-Compacting Concrete," *The European Guidelines for Self Compacting Concrete*, no. May, 2005.
- [6] Nasruddin, V. Sampebulu, and P. Mushar, "Efek Penambahan Admixture terhadap Kuat Tekan Beton SCC pada Umur 7 Hari Dengan Metode Wet Curing," *Jurnal Lingkungan Binaan Indonesia*, vol. 9, no. 1, 2020, doi: 10.32315/jlbi.v9i1.94.
- [7] M. H. Irfansyah, A. Rakhmawati, and Y. Arnandha, "STUDI ANALISIS BETON MUTU TINGGI SCC (SELF COMPACTING CONCRETE) MENGGUNAKAN CAMPURAN LIMBAH MARMER DAN SUPERPLASTICIZER," *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Sipil*, vol. 2, no. 1, 2021, doi: 10.31002/jris.v2i1.4182.
- [8] A. Halim, Riman, and D. Irawan, "Meningkatkan Mutu Beton dan Mempercepat Pengerasan Dengan Penambahan Zat Addmixture Damdex Pada Campuran Beton," *CIASTECH*, 2022.
- [9] N. A. Jalali, "Kuat Tekan Dan Modulus Elastisitas Beton Beragregat Kasar Pellet Plastik Polypropylene," *Universitas Muhammadiyah Surakarta*, vol. 3, 2013.
- [10] W. A. Prakayuda, A. Halim, and C. Aditya, "Pengaruh Penambahan Damdex Pada Campuran Beton Terhadap Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Beton," *Bouwplank*, vol. 1, no. 2, 2021.
- [11] ASTM C469, "Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression," *ASTM Standard*, vol. 04, 2002.
- [12] SNI 03-1968-1990, "Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar," *Sni 03-1968-1990*, 1990.
- [13] A. Saparingga and D. Yogaswara, "Analisis Perbandingan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton SCC dengan Campuran Pasir Cilopang dan Pasir Cimalaka," *Jurnal Konstruksi*, vol. 21, no. 1, 2023, doi: 10.33364/konstruksi/v.21-1.1272.
- [14] Sumiati, Mahmuda, Sukarman, and S. Indra, "Pengaruh Foam Agent dan Polycarboxilate terhadap Kuat Tekan Beton Ringan Struktural," *PORTAL*, vol. 12, 2020.
- [15] E. P. Putra, B. Herbudiman, and R. R. Irawan, "Efek Kadar Polycarboxylate Ether (PCE) terhadap Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbasis Fly Ash," *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, vol. 2, 2016.
- [16] E. P. Putra, B. Herbudiman, and R. Ranastira Irawan, "Efek Kadar Polycarboxylate Ether (PCE) terhadap Sifat Mekanik," *Reka Racana*, vol. 2, no. 4, 2016.

Pengaruh Kesadaran dan Pelatihan K3 Terhadap Produktivitas Pekerja Konstruksi Pada Proyek Perumahan Bedali Hills, Kecamatan Lawang, Kabupaten Malang

Andreas Avelino Delis^{1*}, Dafid Irawan², Agus Tugas Sudjianto³

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

*Email Korespondensi: aflindelis@gmail.com

ABSTRAK

Proyek konstruksi memiliki tingkat risiko kecelakaan kerja yang tinggi sehingga penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) sangat penting untuk menjaga keselamatan sekaligus produktivitas pekerja. Namun, kesadaran pekerja terhadap K3 serta keterlibatan dalam pelatihan formal masih terbatas. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh kesadaran dan pelatihan K3 terhadap produktivitas pekerja konstruksi pada proyek perumahan Bedali Hills, Lawang, Malang. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif deskriptif dengan pendekatan analisis regresi linier berganda. Data dikumpulkan melalui kuesioner kepada 100 responden, meliputi manajer proyek, konsultan pengawas, pelaksana lapangan, mandor dan pekerja. Analisis data dilakukan melalui uji validitas, reliabilitas, uji t, uji F, dan koefisien determinasi (R^2). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kesadaran dan pelatihan K3 berpengaruh positif dan signifikan terhadap produktivitas pekerja, baik secara parsial maupun simultan. Nilai F hitung sebesar 207,810 dengan signifikansi 0,000 ($< 0,05$) dan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,811 menunjukkan bahwa kedua variabel menjelaskan 81,1% variasi produktivitas, sedangkan sisanya 18,9% dipengaruhi faktor lain. Dengan demikian, peningkatan kesadaran dan pelatihan K3 terbukti menciptakan budaya kerja aman dan produktif. Manajemen disarankan memperkuat program pelatihan K3 secara berkelanjutan.

Kata kunci : Kesadaran K3, Pelatihan K3, Produktivitas Pekerja Konstruksi, Keselamatan dan Kesehatan Kerja

ABSTRACT

Construction projects carry a high risk of workplace accidents, making the implementation of Occupational Safety and Health (OSH) critical to ensuring both worker safety and productivity. However, workers' awareness of OSH and their participation in formal training remain limited. This study aims to analyze the effect of OSH awareness and training on the productivity of construction workers at the Bedali Hills housing project in Lawang, Malang. This study employs a descriptive quantitative method using a multiple linear regression analysis approach. Data were collected via a questionnaire administered to 100 respondents, including project managers, supervising consultants, field supervisors, foremen, and workers. Data analysis was conducted using validity and reliability tests, t-tests, F-tests, and the coefficient of determination (R^2). The results indicate that OSH awareness and training have a positive and significant effect on worker productivity, both partially and simultaneously. The calculated F-value of 207.810 with a significance level of 0.000 (< 0.05) and a coefficient of determination (R^2) of 0.811 indicate that these two variables explain 81.1% of the variation in productivity, while the remaining 18.9% is influenced by other factors. Thus, increased OSH awareness and training have been proven to foster a safe and productive work culture. Management is advised to continuously strengthen OSH training programs.

Keywords : Occupational Safety and Health (OSH) Awareness, OSH Training, Construction Worker Productivity, Occupational Safety and Health (OSH)

1. PENDAHULUAN

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan aspek penting dalam industri konstruksi yang memiliki risiko tinggi akibat penggunaan alat berat, pekerjaan di ketinggian, dan paparan bahan berbahaya [1]. Penerapan K3 yang optimal tidak hanya melindungi pekerja dari kecelakaan, tetapi juga meningkatkan efisiensi dan produktivitas proyek. Namun, tingkat kesadaran dan kepatuhan pekerja terhadap prosedur keselamatan masih menjadi tantangan, meskipun telah diatur dalam perundang-undangan seperti Undang-Undang No. 1 Tahun 1970 dan Permenaker No. 5 Tahun 1996. Rendahnya kesadaran dapat menyebabkan pelanggaran prosedur, penggunaan APD yang tidak sesuai, serta meningkatnya risiko kecelakaan dan penyakit akibat kerja [2][3]. Oleh karena itu, pelatihan K3 yang efektif sangat diperlukan untuk membentuk budaya keselamatan dan meningkatkan pemahaman pekerja terhadap risiko kerja. Dalam konteks Proyek Perumahan Bedali Hills di Kecamatan Lawang, Kabupaten Malang, penerapan K3 menjadi hal utama untuk menjamin keselamatan dan produktivitas pekerja [4]. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kesadaran dan pelatihan K3 terhadap produktivitas pekerja konstruksi, sehingga hasilnya diharapkan dapat memberikan rekomendasi bagi manajemen proyek dalam meningkatkan penerapan standar keselamatan kerja yang aman, efisien, dan produktif.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) dalam Industri Konstruksi

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan aspek penting yang tidak dapat diabaikan dalam industri konstruksi, yang dikenal memiliki tingkat risiko kecelakaan tinggi [5]. Menurut Ridley dan Channing (2008), penerapan K3 bertujuan untuk melindungi pekerja dari potensi bahaya sekaligus meningkatkan efisiensi dan produktivitas. Penerapan K3 mencakup penggunaan alat pelindung diri (APD), pengendalian risiko di lokasi kerja, dan pelatihan pekerja agar memahami prosedur keselamatan. Berdasarkan teori domino Heinrich (1959), kecelakaan kerja terjadi karena urutan faktor yang dapat dicegah, salah satunya kurangnya kesadaran pekerja terhadap bahaya kerja [6]. Oleh sebab itu, peningkatan kesadaran dan pelatihan K3 menjadi langkah krusial dalam mencegah kecelakaan.

Studi terbaru menegaskan pentingnya sistem manajemen keselamatan yang didukung oleh pelatihan berkelanjutan dan partisipasi aktif pekerja, menunjukkan bahwa penerapan manajemen risiko yang komprehensif dan berlandaskan budaya keselamatan dapat menurunkan tingkat kecelakaan secara signifikan [7]. Selain itu, Lingard et al. (2016) menyatakan bahwa kebijakan K3 berbasis data mampu meningkatkan keselamatan di proyek konstruksi, sementara Zou dan Sunindijo (2015) menambahkan bahwa faktor psikososial dan budaya organisasi turut memengaruhi efektivitas penerapan K3 di lapangan [8].

2.2 Implementasi K3 Terhadap Produktivitas Pekerja

Penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) memiliki peran penting dalam meningkatkan produktivitas tenaga kerja konstruksi. Produktivitas tidak hanya diukur dari kuantitas hasil kerja, tetapi juga dari kualitas, efisiensi waktu, dan pemanfaatan sumber daya. Lingkungan kerja yang aman dan nyaman memungkinkan pekerja bekerja secara optimal. Budaya keselamatan yang kuat serta penerapan K3 berbasis perilaku mampu meningkatkan motivasi, efektivitas, dan semangat kerja, yang pada akhirnya berdampak positif terhadap produktivitas proyek [9].

Penerapan K3 terdiri atas dua dimensi utama, yaitu *safety compliance* dan *safety participation*. Kepatuhan terhadap prosedur keselamatan dan partisipasi aktif pekerja dalam kegiatan K3 mendorong terciptanya proses kerja yang efisien dan kolaboratif [10]. Selain itu, dukungan manajemen, kepemimpinan keselamatan, serta pemanfaatan teknologi digital turut memperkuat efektivitas penerapan K3. Berbagai penelitian juga menunjukkan bahwa sistem pengawasan yang baik dan program insentif keselamatan mampu meningkatkan kinerja serta produktivitas tenaga kerja konstruksi [11].

2.3 Kesadaran K3 terhadap Kepatuhan Pekerja

Kesadaran terhadap Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) menjadi faktor penting dalam meningkatkan produktivitas pekerja konstruksi. Beberapa penelitian menjelaskan bahwa kesadaran terhadap bahaya kerja mampu menurunkan risiko kecelakaan sehingga pekerja dapat bekerja lebih fokus dan efisien [12]. Pekerja dengan tingkat kesadaran K3 tinggi memiliki kinerja yang lebih baik karena lebih disiplin dan berhati-hati, sehingga pekerjaan dapat diselesaikan tepat waktu dan minim kesalahan. Selain itu, Penelitian lain juga menyebutkan bahwa pelatihan berbasis pengalaman di lapangan efektif dalam meningkatkan kesadaran terhadap risiko keselamatan yang berdampak positif pada efektivitas kerja [13].

Peningkatan kesadaran K3 dapat dilakukan melalui sosialisasi dan komunikasi yang berkelanjutan antara manajemen dan pekerja [14]. Cooper (1998) menekankan pentingnya sosialisasi rutin untuk memperkuat pemahaman dan kepedulian pekerja terhadap keselamatan. Kesadaran K3 tidak hanya mengurangi angka kecelakaan kerja, tetapi juga berkontribusi pada pencapaian target proyek melalui peningkatan produktivitas. Selain itu, komunikasi yang efektif dalam hal keselamatan mampu memperkuat kolaborasi antar pekerja dan menciptakan lingkungan kerja yang lebih produktif serta aman [15].

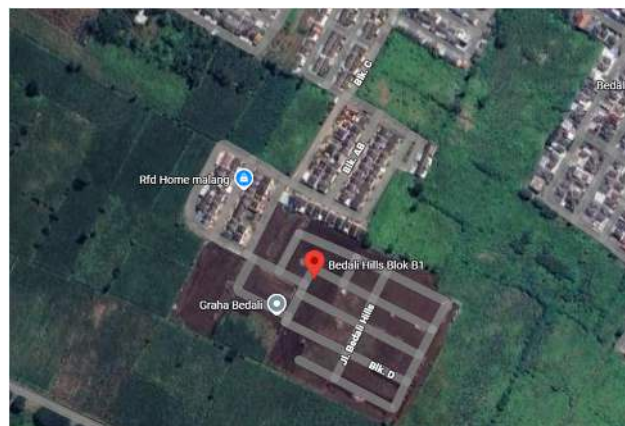
2.4 Kerangka Konseptual Penelitian

Berdasarkan tinjauan pustaka, penelitian ini berfokus pada hubungan kesadaran dan pelatihan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) dengan produktivitas pekerja konstruksi pada proyek Perumahan Bedali Hills. Kesadaran K3 berperan penting membentuk pemahaman dan sikap kerja dalam mengidentifikasi serta mengantisipasi bahaya, sehingga pekerja lebih fokus, berhati-hati, dan mampu menjaga kelancaran pekerjaan yang berdampak positif pada produktivitas. Sementara itu, pelatihan K3 berfungsi meningkatkan keterampilan, pengetahuan, dan kesiapan pekerja terhadap prosedur aman, termasuk penggunaan APD dan penanganan situasi darurat, untuk mempercepat penyelesaian pekerjaan dengan hasil lebih baik. Produktivitas pekerja konstruksi diukur melalui kemampuan menghasilkan output secara efektif dan efisien, mencakup kuantitas, kualitas, efisiensi waktu, serta kedisiplinan dalam melaksanakan tugas.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada proyek perumahan Bedali Hills di Kecamatan Lawang, Kabupaten Malang. Pemilihan lokasi ini dikarenakan oleh tingkat aktivitas konstruksi yang cukup tinggi dan kebutuhan penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) yang optimal terhadap proyek ini. Selain itu, karena ketersediaan proyek ini yang memiliki jenis pekerja yang beragam dengan pengalaman yang berbeda-beda, sehingga sesuai untuk diteliti pengaruh kesadaran dan pelatihan K3 terhadap produktivitas pekerja.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Gambar 1 adalah peta lokasi penelitian yang akan dijadikan sebagai objek pengambilan data. Lokasi penelitian berada pada lokasi pembangunan Perumahan Bedali Hills, Kecamatan Lawang, Kabupaten Malang dengan titik koordinat - 7.869392080616484, 112.6914198211975.

3.2 Pengujian

Untuk memastikan kevalidan dan keandalan data yang dikumpulkan, ada beberapa tes yaitu:

1. Uji Validitas

Uji validitas memiliki tujuan yaitu mendapatkan jumlah item kuesioner penelitian yang valid dan tidak valid. Penelitian hanya menggunakan data yang valid. Uji validitas ini menggunakan korelasi *Pearson's product moment* dengan rumus sebagai berikut :

$$r = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n \sum X^2 - (\sum X)^2][n \sum Y^2 - (\sum Y)^2]}} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

- r = Koefisien korelasi
- n = Jumlah responden
- X = Skor butir pertanyaan
- Y = Skor total

Jika r hitung $\geq r$ tabel $\rightarrow$ Item valid

2. Uji Reliabilitas

Instrumen penelitian diperiksa dengan melihat nilai koefisien reliabilitas dari nilai Alpha untuk mengetahui reliabel atau tidak. Uji reliabilitas menggunakan rumus Cronbach' Alpha sebagai berikut :

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum \sigma_{item}^2}{\sigma_{total}^2} \right) \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

- σ = Koefisien reliabilitas
- k = Jumlah item
- $\sum \sigma_{item}^2$ = Jumlah variasi tiap item
- σ_{total}^2 = Varians total skor

Menurut Gozali 2021 nilai $\alpha > 0,70$ agar dapat dinyatakan reliabel

3. Analisis Statistik

Analisis Statistik dengan uji regresi linear untuk mengetahui hubungan antara kesadaran dan pelatihan K3 terhadap produktivitas pekerja. Tujuan dari regresi linier berganda ialah memastikan apakah variabel independen, kesadaran K3 (X_1) dan pelatihan K3 (X_2) dipengaruhi oleh variabel dependen yaitu produktivitas pekerja (Y). Oleh karenanya, jika paling sedikit terdapat dua variabel dependen dilakukan analisis regresi linier berganda. Persamaan regresi linier berganda memiliki bentuk umum sebagai berikut:

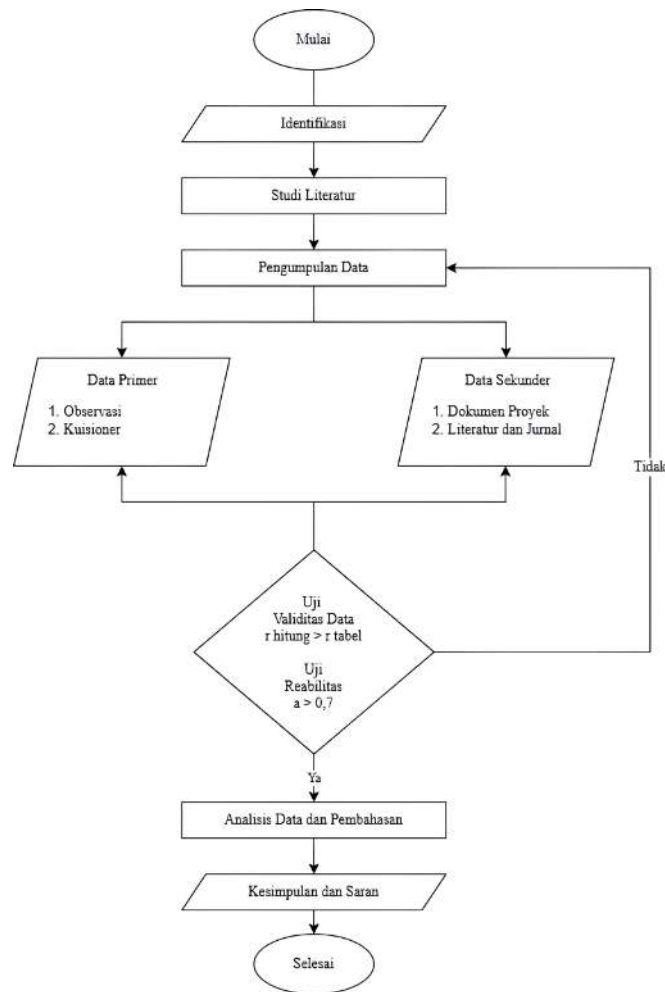
$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots\dots\dots + b_nX_n \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

- Y = Variabel dependen
- X_1, X_2, X_n = Variabel independen
- B_0, b_1, b_n = Koefisien regresi

3.3 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini diawali dengan tahap identifikasi masalah untuk menentukan fokus penelitian, kemudian dilanjutkan dengan studi literatur guna memperoleh teori dan referensi yang relevan. Tahap berikutnya adalah pengumpulan data yang terdiri dari data primer melalui observasi dan penyebaran kuesioner, serta data sekunder yang diperoleh dari dokumen proyek, literatur, dan jurnal. Data yang telah dikumpulkan selanjutnya diuji validitas dan reliabilitasnya untuk memastikan keakuratan serta konsistensi instrumen penelitian. Apabila data dinyatakan valid dan reliabel, proses dilanjutkan dengan analisis data dan pembahasan hasil penelitian, kemudian diakhiri dengan penarikan kesimpulan dan pemberian saran sebagai tahap akhir penelitian.



Gambar 2. Bagan Alur Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Uji Validitas

Uji validitas dilakukan untuk memastikan bahwa setiap indikator yang digunakan dalam kuesioner penelitian ini mampu mengukur variabel yang dimaksud secara tepat. Pengujian dilakukan menggunakan teknik korelasi Pearson Product Moment dengan jumlah responden sebanyak 100 orang, sehingga nilai r tabel pada taraf signifikansi 5% ($\alpha = 0,05$) adalah 0,1966. Suatu indikator dinyatakan valid apabila nilai r hitung lebih besar dari r tabel. Uji validitas ini mencakup seluruh indikator pada variabel X_1 , X_2 , dan Y yang digunakan dalam penelitian. Tabel uji validitas ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Validitas

Indikator	R Hitung	Validitas
X11	0,823	Valid
X12	0,711	Valid
X13	0,736	Valid
X14	0,808	Valid
X15	0,725	Valid
X16	0,781	Valid
X17	0,718	Valid
X18	0,704	Valid
X19	0,793	Valid
X110	0,621	Valid
X21	0,788	Valid
X22	0,793	Valid
X23	0,744	Valid
X24	0,794	Valid
X25	0,684	Valid
X26	0,743	Valid
X27	0,725	Valid
X28	0,670	Valid
X29	0,761	Valid
X210	0,749	Valid
Y1	0,687	Valid
Y2	0,727	Valid
Y3	0,600	Valid
Y4	0,535	Valid
Y5	0,677	Valid
Y6	0,676	Valid
Y7	0,638	Valid
Y8	0,513	Valid
Y9	0,714	Valid
Y10	0,782	Valid

Sumber : data diolah 2025

Berdasarkan Tabel 1, seluruh indikator penelitian menunjukkan nilai r hitung yang lebih besar dari 0,195, dengan rentang nilai antara 0,513 hingga 0,823. Hal ini menunjukkan bahwa semua indikator memenuhi kriteria validitas dan layak digunakan untuk analisis lebih lanjut. Nilai r hitung tertinggi terdapat pada indikator X11 (0,823), yang menunjukkan hubungan sangat kuat antara item tersebut dengan skor total variabelnya. Sementara itu, nilai r hitung terendah terdapat pada indikator Y8 (0,513), yang meskipun lebih rendah dibandingkan indikator lainnya, tetap berada di atas batas r tabel sehingga dinyatakan valid. Dengan demikian, seluruh butir pertanyaan pada kuesioner dapat digunakan karena secara statistik telah terbukti mengukur konstruk yang diteliti dengan baik.

4.2 Hasil Uji Reliabilitas

Uji reliabilitas dilakukan untuk memastikan konsistensi internal instrumen penelitian, yaitu sejauh mana indikator-indikator dalam kuesioner memberikan hasil yang stabil dan dapat dipercaya apabila digunakan berulang kali dalam kondisi yang sama. Pengujian dilakukan menggunakan metode Cronbach's Alpha, di mana suatu instrumen dinyatakan reliabel apabila nilai Cronbach's Alpha lebih besar dari 0,70. Dalam tabel ini, nilai yang ditampilkan adalah Cronbach's Alpha if Item Deleted, yang menunjukkan nilai alpha jika satu indikator dihapus, sehingga dapat diketahui kontribusi masing-masing item terhadap konsistensi keseluruhan instrumen.

Tabel 2. Hasil Uji Reliabilitas

Indikator	Cronbach's Alpha if Item Deleted	Reliabilitas
X11	.895	Reliabel
X12	.903	Reliabel
X13	.901	Reliabel
X14	.896	Reliabel

X15	.903	Reliabel
X16	.898	Reliabel
X17	.903	Reliabel
X18	.904	Reliabel
X19	.897	Reliabel
X110	.908	Reliabel
X21	.899	Reliabel
X22	.898	Reliabel
X23	.901	Reliabel
X24	.899	Reliabel
X25	.906	Reliabel
X26	.902	Reliabel
X27	.903	Reliabel
X28	.906	Reliabel
X29	.900	Reliabel
X210	.901	Reliabel
Y1	.833	Reliabel
Y2	.829	Reliabel
Y3	.842	Reliabel
Y4	.849	Reliabel
Y5	.834	Reliabel
Y6	.837	Reliabel
Y7	.839	Reliabel
Y8	.851	Reliabel
Y9	.830	Reliabel
Y10	.822	Reliabel

Sumber : data diolah 2025

Berdasarkan hasil pada tabel di atas, seluruh indikator memiliki nilai Cronbach's Alpha if Item Deleted antara 0,822 hingga 0,908, yang berada jauh di atas batas minimum 0,70, sehingga semua butir dinyatakan reliabel. Hal ini menunjukkan bahwa setiap indikator memiliki konsistensi internal yang kuat terhadap konstruk yang diukur. Dengan demikian, instrumen penelitian yang digunakan pada proyek konstruksi Perumahan Bedali Hills dinilai handal dan layak digunakan, karena mampu menghasilkan data yang konsisten, valid, dan representatif untuk tahap analisis selanjutnya.

4.3 Hasil Uji Hipotesis

A. Hasil Uji Regresi Linier

Analisis regresi linier berganda digunakan untuk menguji seberapa besar pengaruh X1 dan X2 terhadap variabel dependen Y (Produktivitas pekerja) pada proyek Bedali Hills. Metode ini memungkinkan kita menilai pengaruh masing-masing variabel bebas ketika variabel lainnya dikendalikan, sekaligus membandingkan kekuatan relatif pengaruhnya. Hasil yang disajikan meliputi koefisien tak-terstandar (B), galat baku (Std. Error), koefisien terstandar (Beta), nilai t, serta p-value (Sig.) untuk pengambilan keputusan signifikansi pada $\alpha = 0,05$.

Tabel 3. Hasil Uji Regresi Linier

Coefficients ^a					
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	ig.
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	5.521	1.828		3.021	.003
X1	.428	.117	.465	3.670	.000
X2	.450	.127	.450	3.547	.001

a. Dependent Variable: Y

Sumber : data diolah 2025

Berdasarkan hasil analisis regresi linier berganda pada tabel di atas, diperoleh persamaan model $Y = 5,521 + 0,428X1 + 0,450X2$, yang menunjukkan bahwa variabel X1 dan X2 berpengaruh positif terhadap produktivitas pekerja. Artinya, peningkatan pada X1 maupun X2 akan diikuti oleh peningkatan produktivitas (Y). Nilai t-hitung X1 = 3,670 (Sig. 0,000) dan X2 = 3,547 (Sig. 0,001) lebih kecil dari 0,05, sehingga keduanya berpengaruh signifikan terhadap Y. Nilai beta standar juga menunjukkan bahwa X2 ($\beta = 0,450$) memiliki pengaruh sedikit lebih besar dibandingkan X1 ($\beta = 0,428$), menandakan bahwa faktor X2 lebih dominan dalam meningkatkan

produktivitas pekerja. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa peningkatan pada aspek-aspek yang diwakili oleh X1 dan X2 secara nyata berkontribusi terhadap peningkatan produktivitas pekerja konstruksi pada proyek Perumahan Bedali Hills, Kecamatan Lawang, Kabupaten Malang, serta dapat menjadi dasar dalam merancang strategi manajerial untuk meningkatkan efektivitas kerja di lapangan.

B. Koefisien Determinasi

Uji koefisien determinasi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan variabel bebas X1 dan X2 secara bersama-sama menjelaskan variasi pada variabel dependen Y (Produktivitas pekerja). Nilai yang digunakan sebagai acuan adalah R Square (R^2), yang menunjukkan proporsi keragaman Y yang dapat diterangkan oleh model regresi. Semakin besar nilai R^2 , semakin baik kemampuan prediktif model, meskipun nilai yang terlalu tinggi pada penelitian sosial biasanya jarang ditemui karena adanya faktor eksternal lain yang tidak diukur.

Tabel 4. Hasil Uji Koefisien Determinasi

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.900 ^a	.811	.807	2.726
a. Predictors: (Constant), X2, X1				

Sumber : data diolah 2025

Berdasarkan hasil output Model Summary pada Tabel 4, diperoleh nilai $R = 0,900$ yang menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara variabel X1 dan X2 terhadap variabel Y. Nilai R Square = 0,811 menandakan bahwa 81,1% variasi pada variabel Y dapat dijelaskan oleh X1 dan X2, sedangkan sisanya 18,9% dipengaruhi oleh faktor lain di luar model. Nilai Adjusted R Square = 0,807 mengonfirmasi bahwa setelah penyesuaian jumlah variabel, model tetap memiliki tingkat keakuratan tinggi dalam menjelaskan variabel dependen. Adapun nilai Std. Error of the Estimate = 2,726 menunjukkan besarnya simpangan antara nilai aktual dan nilai prediksi; semakin kecil nilainya, semakin baik model dalam memprediksi. Secara keseluruhan, model regresi ini dapat dikatakan memiliki tingkat kecocokan yang sangat baik dalam menjelaskan pengaruh variabel X1 dan X2 terhadap Y.

C. Hasil Uji F

Uji F atau uji simultan digunakan untuk mengetahui apakah variabel bebas X1 dan X2 secara bersama-sama memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel dependen Y (Produktivitas pekerja). Pengujian dilakukan melalui analisis ANOVA (Analysis of Variance) dengan membandingkan nilai signifikansi hasil perhitungan dengan tingkat signifikansi penelitian ($\alpha = 0,05$). Apabila nilai signifikansi lebih kecil dari α , maka model regresi yang digunakan dianggap layak (fit) untuk menjelaskan hubungan antara variabel bebas dan variabel terikat secara simultan.

Tabel 5. Hasil Uji F

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression		3088.539	2	1544.269	207.810	.000 ^b
Residual		720.821	7	7.431		
Total		3809.360	9			
a. Dependent Variable: Y						
b. Predictors: (Constant), X2, X1						

Sumber : data diolah 2025

Berdasarkan hasil uji ANOVA pada Tabel 5, diperoleh nilai F hitung sebesar 207,810 dengan nilai signifikansi 0,000, yang jauh lebih kecil dari taraf signifikansi 0,05. Hal ini menunjukkan bahwa model regresi yang digunakan signifikan, artinya variabel X1 dan X2 secara simultan berpengaruh nyata terhadap variabel Y. Nilai Sum of Squares Regression sebesar 3088,539 menggambarkan besarnya variasi pada variabel Y yang dapat dijelaskan oleh variabel X1 dan X2, sedangkan Sum of Squares Residual sebesar 720,821 menunjukkan variasi yang tidak dijelaskan oleh model atau dipengaruhi oleh faktor lain di luar penelitian. Perbandingan antara Mean Square Regression (1544,269) dan Mean Square Residual (7,431) menghasilkan nilai F

hitung yang besar, memperkuat bukti bahwa model regresi layak digunakan. Dengan demikian, hasil ini menegaskan bahwa kombinasi variabel X1 dan X2 memiliki kontribusi signifikan dalam menjelaskan variasi pada produktivitas pekerja proyek perumahan Bedali Hills, Kecamatan Lawang, Kabupaten Malang.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa kesadaran dan pelatihan K3 memiliki pengaruh signifikan terhadap peningkatan produktivitas pekerja pada proyek konstruksi perumahan Bedali Hills, Kecamatan Lawang, Kabupaten Malang. Variabel kesadaran K3 menunjukkan pengaruh positif dengan koefisien regresi sebesar 0,428 dan nilai signifikansi 0,000, yang berarti semakin tinggi tingkat kesadaran K3, semakin meningkat pula produktivitas pekerja. Sementara itu, variabel pelatihan K3 juga berpengaruh positif dengan koefisien regresi sebesar 0,450 dan nilai signifikansi 0,001, menandakan bahwa pelatihan K3 berperan penting dalam meningkatkan kinerja dan efektivitas kerja tenaga konstruksi. Secara simultan, kombinasi kedua variabel ini terbukti signifikan dengan nilai F hitung sebesar 207,810 dan signifikansi 0,000, menunjukkan bahwa kesadaran dan pelatihan K3 saling melengkapi dalam mendorong produktivitas. Kesadaran K3 memberikan landasan sikap dan perilaku aman bagi pekerja, sedangkan pelatihan K3 memperkuat kemampuan teknis serta pemahaman praktik keselamatan di lapangan. Oleh karena itu, perusahaan perlu mengintegrasikan peningkatan kesadaran dan pelatihan K3 sebagai strategi berkelanjutan untuk menciptakan lingkungan kerja yang produktif, aman, dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alege, M. R. Meidianto, N. M. Pasaribu, and Z. A. Z. Ismail, "Penerapan Metode HIRARC Dan HAZOP Dalam Mengidentifikasi Potensi Bahaya Di Area Fabrikasi," *Jurnal Safety Helmet*, vol. 2, no. 1, pp. 92–102, 2025.
- [2] R. E. S. Tiurma Elita Saragi, "Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (K3) Pada Proyek Pembangunan Rumah Susun Lanjutan Provinsi Sumatera Utara I Medan," *Jurnal Ilmiah Smart*, vol. 3, no. 2, pp. 68–80, 2019.
- [3] P. R. Indonesia, *UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 1 TAHUN 1970 TENTANG KESELAMATAN KERJA*, no. 1. Indonesia, 1970, pp. 1–20.
- [4] A. Fajriah Hasanah and N. Diandra, "Analisis Penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Sebagai Pengendalian Terhadap Kinerja Pada Proyek Konstruksi," *Jurnal Teknik Sipil Cendekia (Jtsc)*, vol. 5, no. 1, pp. 863–872, 2024, doi: 10.51988/jtsc.v5i1.195.
- [5] E. Martalena, S. Widodo, and H. Helmizar, "Implementation Of Occupational Safety and Health (K3) Program At PT Sahung Brantas Energi PLTM In Bungin Tambun, Padang Guci Hulu District," *The Manager Review*, vol. 7, no. 1, pp. 1–14, 2025, doi: 10.33369/tmr.v7i1.41280.
- [6] A. Jusriadi, "Manajemen Penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja Teknik Konstruksi dan Properti di PT XXX Tahun 2024," *Indonesian Journal of Intellectual Publication*, vol. 5, no. 2, pp. 152–161, 2025, doi: 10.51577/ijipublication.v5i2.704.
- [7] Alditia AlfaReza and Susilawati Susilawati, "Analisis Literatur Efektivitas Sistem Manajemen K3 di Perusahaan Kecil dan Menengah (UKM)," *Jurnal Riset Ilmu Kesehatan Umum dan Farmasi (JRIKUF)*, vol. 2, no. 3, pp. 17–21, 2024, doi: 10.57213/jrikuf.v2i3.269.
- [8] K. W. Widiatmoko, B. A. Billahi, F. Mahmud, and H. Masvika, "Pelatihan dan Pendampingan terhadap Penerapan K3 pada Pekerja Konstruksi Skala Kecil di Kota Semarang," *Jurnal Pengabdian KOLABORATIF*, vol. 3, no. 2, pp. 43–51, 2025, doi: 10.26623/kolaboratif.v3i2.11749.
- [9] Z. S. Mahyudin, Yusriyanto, M. Syafri, A. Hermawan, and S. Mustari, "Analisis Implementasi K3 pada Proyek Konstruksi PT R," *Journal of Environmental and Safety Engineering*, vol. IV, no. I, pp. 1–6, 2025.
- [10] M. Z. Mirza, A. S. N. Isha, M. A. Memon, S. Azeem, and M. Zahid, "Psychosocial safety climate, safety compliance and safety participation: The mediating role of psychological

- distress,” *Journal of Management & Organization*, vol. 28, no. 2, pp. 363–378, 2022, doi: DOI: 10.1017/jmo.2019.35.
- [11] A. H. B. W. Putra, A. Humairo, L. Indaryani, and M. Lubis, “Strategi Terbaik Transfer Pengetahuan dalam K3: Integrasi Teknologi dan Manajemen Pengetahuan,” *Sistem Informasi, Teknik dan Teknologi Terapan*, vol. 2, no. 2, pp. 177–190, 2025.
- [12] N. Ananda, “Manajemen Waktu Efisien untuk Proyek Konstruksi,” *equiperp*, 2024.
- [13] A. H. J. Syahidan, R. Maulana, B. Riyanto, and K. H. Basuki, “Analisis Kinerja Ruas-Ruas Jalan Lingkungan Dengan Model Pembebanan Lalu Lintas Menggunakan Emme 3.4.1 (Studi Kasus : Kabupaten Sukamara, Kalimantan Tengah),” *Jurnal Karya Teknik Sipil*, vol. 5, no. 2, pp. 1–17, 2016.
- [14] D. M. Bestari and L. S. Hendrawati, “ANALISIS PENERAPAN PROGRAM KOMUNIKASI DAN PROMOSI K3 SEBAGAI UPAYA MEMINIMALISASI KECELAKAAN KERJA Analysis of the Implementation OHS Communication and Promotion,” *Binawan Student Journal*, vol. 8, no. 1, pp. 33–39, 2026.
- [15] H. D. Prameswari and N. Cahyadi, “Analisis Penerapan Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (K3) Pada Proyek Konstruksi Pt. Xyz Di Kota Gresik,” *Jurnal Manajemen Kompeten*, vol. 7, no. 1, p. 1, 2024, doi: 10.51877/mnjm.v7i1.350.

Kajian Keretakan Pelat dan Daya Serap Air Dengan Penambahan GGBFS Pada Campuran Mortar

Isidoro M. Soares^{1*}, Abdul Halim², Candra Aditya³, Anis Purwaningsih⁴

¹Ministério Desenvolvimento Rural E Habitação Comunitária

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

*Email Korespondensi: isidoroaires1842@gmail.com

ABSTRAK

Retak yang terjadi pada sebuah struktur bangunan memicu berbagai masalah krusial, mulai dari menurunnya kekuatan struktural, kapasitas beban bangunan hingga risiko kebocoran. Celah ini menjadi jalur masuknya air dan zat kimia, yang cepat atau lambat memicu korosi pada tulangan baja di dalam beton. Oleh karena itu diperlukan semen sebagai perekat yang mampu menutup rapat seluruh pori-pori pada mortar beton sehingga dapat mengurangi lebar retak. Penelitian ini memanfaatkan produk *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBFS) atau yang lebih sering disebut sebagai semen slag untuk mengganti sebagian semen dengan persentase 0%, 10%, 20% dan 30%. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan GGBFS pada campuran mortar terhadap daya serap air, kuat lentur, lebar retak dan pola retak. Metode penelitian ini dilakukan secara eksperimen di laboratorium. Hasil pengujian daya serap air tanpa GGBFS sebesar 4,20%, sedangkan GGBFS 10%, 20%, 30% daya serap air menjadi 4,14%, 2,73%, 2,74%. Hasil perhitungan kuat lentur tanpa GGBFS sebesar 70,9 kg/cm², namun dengan GGBFS 10%, 20% 30% kuat lentur menjadi 44,2 kg/cm², 77,6 kg/cm², 80,9 kg/cm². Hasil pengujian lebar retak pada mortar tanpa GGBFS sebesar 0,123 mm, namun dengan GGBFS 10%, 20%, 30% lebar retak menjadi 2,499 mm, 0,107 mm, 0,076 mm. Berdasarkan mekanisme pola retak dan lebar retak, menunjukkan bahwa semua hasil pengujian pola retak pada benda uji pelat GGBFS 0%, 10%, 20%, dan 30%, mempunyai perilaku pola retak dominan retak lentur. Hasil uji anova daya serap air GGBFS 10%, 20%, dan 30% berpengaruh terhadap mortar dengan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ 4,066, hasil uji anova kuat lentur GGBFS 10%, 20%, dan 30% memiliki pengaruh dengan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ 4,066, dan hasil uji anova lebar retak GGBFS 10%, 20%, dan 30% memiliki pengaruh dengan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ 4,066.

Kata kunci : Mortar, GGBFS, Daya Serap Air, Kuat Lentur, Lebar Retak dan Pola Retak.

ABSTRACT

Cracks that occur in a building structure trigger various critical problems, ranging from a decline in structural strength and load-bearing capacity to the risk of leaks. These cracks serve as entry points for water and chemicals, which sooner or later cause corrosion of the steel reinforcement within the concrete. Therefore, cement is needed as a binder capable of tightly sealing all the pores in the concrete mortar, thereby reducing the width of the cracks. This study utilized Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS)—more commonly known as slag cement—to partially replace cement at replacement rates of 0%, 10%, 20%, and 30%. The objective of this study was to determine the effect of adding GGBFS to mortar mixtures on water absorption, flexural strength, crack width, and crack patterns. The research was conducted experimentally in a laboratory. The water absorption test results without GGBFS were 4.20%, while for GGBFS at 10%, 20%, and 30%, the water absorption rates were 4.14%, 2.73%, and 2.74%, respectively. The flexural strength without GGBFS was 70.9 kg/cm², but with 10%, 20%, and 30% GGBFS, the flexural strength was 44.2 kg/cm², 77.6 kg/cm², and 80.9 kg/cm², respectively. The crack width test results for mortar without GGBFS were 0.123 mm; however, with 10%, 20%, and 30% GGBFS, the crack widths were 2.499 mm, 0.107 mm, and 0.076 mm, respectively. Based on the crack pattern mechanism and crack width, the results indicate that all crack pattern test results on the 0%, 10%, 20%, and 30% GGBFS plate specimens exhibit a dominant flexural cracking behavior. The results of the ANOVA test for water absorption of GGBFS at 10%, 20%, and 30% showed a significant effect on the mortar, with a calculated F -value of 41.58 > the tabulated F -value of 4.066; the results of the ANOVA test for flexural strength of GGBFS at 10%, 20%, and 30% had a significant effect, with a calculated F -value of 9.068 > the critical F -value of 4.066; and the results of the ANOVA test for crack width for GGBFS at 10%, 20%, and 30% showed a significant effect, with a calculated F -value of 22.911 > the critical F -value of 4.066.

Keywords : Mortar, GGBFS, Water Absorption, Flexural Strength, Crack Width, and Crack Pattern.

1. PENDAHULUAN

Retak struktur atau non struktur merupakan indikasi paling rawan dari kondisi sebuah bangunan. Keretakan merupakan salah satu masalah yang umum dari bangunan struktur atau non-struktur, keretakan struktur dapat disebabkan oleh pengaruh lentur, geser, dan torsi. Kondisi tersebut dapat dilihat pada elemen-elemen struktural yang sering terjadi pada pelat, balok, kolom, dan dinding, elemen tersebut adalah komponen struktural yang menunjukkan masalah ini. Lebar retak yang berlebihan akan mengakibatkan kebocoran pada penampang yang pada akhirnya akan menurunkan mutu beton atau mutu mortar dan mengakibatkan korosi pada tulangan. Oleh karena itu diperlukan bahan alternatif lainnya yang memiliki harga yang lebih murah dan diprediksikan dapat mengurangi retakan. Berdasarkan latar belakang tersebut perlu dilakukan inovasi dalam penggunaan semen, salah satunya yaitu semen slag. Semen slag menggunakan standar yang mengacu pada [1], tentang “Spesifikasi semen slag untuk digunakan dalam beton dan mortar”. Bahan alternatif yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Ground Granulated Blast Furnace Slag* (GGBFS), adalah salah satu produk semen slag di Indonesia yang di luncurkan oleh Semen Krakatau Indonesia dengan slogan “Aplikasi Material GGBFS pada Infrastruktur Ramah Lingkungan Berperforma Tinggi” pada tahun 2020 [2]. GGBFS merupakan produk ramah lingkungan yang digunakan untuk membangun struktur beton yang kokoh dan tahan lama [3]. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan GGBFS pada campuran mortar terhadap daya serap air, pengaruh penambahan GGBFS pada campuran mortar terhadap kuat lentur, pengaruh penambahan GGBFS pada campuran mortar terhadap lebar retak, pengaruh penambahan GGBFS pada campuran mortar terhadap pola retak dan untuk mengetahui penambahan GGBFS yang optimal terhadap campuran mortar dari aspek daya serap air, kuat lentur, lebar retak, dan pola retak.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Mortar

Mortar didefinisikan sebagai campuran material “Perekat” yang menyatukan struktur bangunan adalah konstruksi berbahan dasar semen. Yang membedakan mortar dengan semen adalah mortar pada dasarnya adalah semen siap pakai, dengan komponen penyusunnya biasanya terdiri dari air, agregat halus (pasir), semen, dan berbagai macam bahan tambahan yang sesuai. Jenis mortar dapat dibagi dalam beberapa jenis, antara lain:

1. Mortar semen Portland (sering dikenal dengan mortar semen) dibuat dengan mencampurkan antara semen Portland (OPC), pasir, dan air.
2. Mortar semen polimer (PCM) dibuat dengan menambahkan polimer sebagai bahan tambahan pada mortar semen konvensional, yang menggantikan sebagian pengikatan semen. Bahan aditif polimer yang khusus ditujukan untuk memperbaiki struktur bangunan beton yang rusak ini memiliki keunggulan yaitu permeabilitas yang rendah dan menurunkan kejadian retak kering akibat penyusutan.
3. Mortar kapur adalah jenis mortar yang bahan pencampurnya terdiri dari kapur, pasir, dan air.
4. Mortar Posolan adalah bahan tambah baik yang berasal dari alam atau limbah industri yang mengandung silika dan alumina yang jika dicampur dengan air akan bereaksi dengan kapur bebas. Mortar posolan adalah campuran antara mortar semen yang ditambahkan dengan posolan.

Konsentrasi mortar ini nantinya akan berguna dalam menentukan kekuatan mortar yang menjadi spesi ataupun plesteran dinding sehingga diharapkan mortar yang menahan gaya tekan akibat beban yang bekerja padanya [4].

2.2 Bahan Penyusun Mortar

a. Semen

Semen Portland adalah semen hidrolik yang dibuat dengan menggiling klinker, yang terutama terdiri dari kalsium silikat hidrolik ditambah gips. Selain mengisi ruang antar butiran

agregat, tugas semen adalah mengikat butiran-butiran tersebut menjadi satu sehingga menghasilkan massa padat [5].

b. Agregat

Butir yang digunakan sebagai bahan pengisi campuran mortar dan beton disebut agregat. Mengingat seberapa sering agregat digunakan dalam pencampuran mortar, maka karakteristik agregat yang digunakan akan sangat berpengaruh terhadap karakteristik mortar yang dibuat.. Agregat halusnya harus bersih, lembam, bebas dari bahan organik, dan substansi pengganggu serta secara relatif bebas dari lumpur dan tanah, menurut [6] dan [7], gradasi agregat halus harus memenuhi kriteria petunjuk dari Tabel 2.2 di mana pasir harus lolos dari saringan No. 4 dan tertahan pada saringan No. 100, yang disesuaikan dengan ASTM C33. Akan tetapi, ukuran partikel maksimum harus disesuaikan oleh pembatas konstruksi seperti ukuran jaringan dan jarak antar lapisan.

Ukuran Saringan (mm)	Persentase Butir Lolos (%)
No. 8 (2.36 mm)	80-100
No. 16 (1.18 mm)	50-85
No. 30 (0.60 mm)	25-60
No. 50 (0.30 mm)	10-30
No. 100 (0.15 mm)	2-10

Sumber : (ACI 5491r_93,1988)

c. Air

Air memiliki fungsi untuk memicu proses kimiawi dari semen sebagai bahan perekat dan melumasi agregat agar mudah dalam pengerjaan pengadukan mortar. Air yang digunakan pada campuran mortar harus bersih dan bebas dari bahan-bahan merusak yang mengandung asam, alkali, garam, bahan organik, atau bahan-bahan lainnya yang dapat menurunkan kualitas mortar. Menurut (ACI Committee 549, 2008), air yang digunakan haruslah segar, bersih, dan dapat diminum. Airnya harus bebas dari bahan organik, lumpur, minyak, gula, klorida, dan bahan bersifat asam. Jika dites, airnya harus mempunyai $\text{pH} \geq 7$ untuk meminimalkan penurunan pH dalam adukan mortar.

d. GGBFS

Ground Blast Furnace Slag (GBFS) adalah kerak (slag) merupakan hasil residu pembakaran tanur tinggi adalah produk non-metal yang merupakan material berbentuk butiran/granula. Kerak Unsur GBFS sebagian besar terdiri dari kapur, silika dan alumina yang terkandung di dalam besi saat dimasukkan ke dalam tanur. GBFS bila digiling halus akan memiliki sifat sangat reaktif yang dapat dipakai sebagai bahan pengganti semen. GBFS yang sudah digiling halus di sebut *Ground Granulate Blast Furnace Slag* (GGBFS) [8]. Fakta bahwa GGBFS dapat digunakan sebagai pengganti semen pada beton kinerja tinggi merupakan sebuah keuntungan. GGBFS digunakan untuk membuat konstruksi beton yang kuat dan tahan lama yang dapat dicampur dengan semen Portland biasa dan/atau bahan pozzolani lainnya.

2.3 Daya Serap Air

Daya serap air adalah kemampuan mortar/beton normal untuk menyerap air ketika direndam dalam air hingga memiliki massa jenuh, artinya hingga beton normal tidak mampu menyerap air lagi karena sudah penuh. Besar kecilnya penyerapan air pada benda uji sangat dipengaruhi oleh pori-pori atau rongga. Semakin banyak pori-pori yang terkandung dalam benda uji maka akan semakin besar pula penyerapan airnya sehingga ketahanannya akan berkurang [9]. Pengujian daya serap air terhadap benda uji beton/mortar bertujuan untuk mengetahui banyak air yang dapat diserap oleh mortar. Semakin tinggi jumlah air yang diserap, dapat mengakibatkan rendahnya mutu mortar[10].

2.4 Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur dilakukan pada benda uji pelat mortar, salah satunya untuk menentukan kekuatan lentur selain lebar retak dan pola retak. Kekuatan lentur adalah kemampuan yang dimiliki oleh benda yang diletakkan pada dua peletakan untuk menahan gaya dalam arah tegak lurus sumbu benda uji yang diberikan padanya sampai benda uji patah. Beban yang bekerja tersebut dapat berupa beban gravitasi atau beban lain seperti angin, susut, dan perubahan yang dapat menyebabkan terjadinya lentur dan deformasi pada elemen struktur [11], [12]. Lentur terjadi akibat adanya regangan yang timbul akibat beban luar. Beban luar yang bekerja pada suatu bidang, bila sudah maksimal akan mengakibatkan perubahan pada struktur. Bagian daerah atas akan mengalami gaya tekan sedangkan bagian bawah akan mengalami gaya tarik. pada bagian daerah tarik, Jika beban dinaikkan secara bertahap di area tegangan, retakan akan muncul, dan jika beban dinaikkan secara maksimal, maka akan terjadi patah. Beberapa rumus yang dipakai untuk menentukan kuat lentur adalah sebagai berikut.

a. Momen Lentur

$$M = \frac{1}{4}PuL + \frac{1}{8}qL^2 \dots\dots\dots (1)$$

b. Momen Inersia

$$I = \frac{1}{12}bh^3 \dots\dots\dots (2)$$

c. Kuat Lentur

$$f = \frac{My}{I} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

Pu	= Beban Maksimum, kg
q	= Beban Merata, kg/cm
L	= Jarak Tumpuan, cm
b	= Lebar Pelat, cm
h	= Tinggi Pelat, cm
y	= h/2, cm

3. METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Metode penelitian diperlukan untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Metode penelitian ini adalah eksperimen yang dilakukan di laboratorium untuk mengukur karakteristik dan parameter yang diperlukan pada GGBFS, terhadap beton mortar dan perilaku retak pelat mortar.

3.2 Variabel Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimen di mana terdapat beberapa variabel untuk menunjang hasil penelitian ini. Variabel penelitian dalam pembuatan struktur mortar dalam penelitian ini terdapat 3 variabel, yaitu: variabel bebas, variabel terkontrol, dan variabel terikat.

a. Variabel Bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini memiliki pengaruh terhadap variabel tetap. Adapun variabel bebas benda uji mencakup komposisi bahan tambahan GGBFS dengan nilai persentase sebesar (0%, 10%, 20% dan 30%) terhadap pembuatan struktur mortar.

b. Variabel Terkontrol

Variabel tetap yang dijaga dalam penelitian ini antara lain berat semen Gresik dan GGBFS setelah dicampurkan, berat agregat halus, dan berat air. Benda uji diuji pada umur 28 hari. Waktu pengujian daya serap air dilakukan selama 24 jam dengan suhu $105 \pm 5^\circ\text{C}$ [13].

c. Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini konsentrasi pada menurunnya nilai daya serap air, kuat lentur, lebar retak, dan pola retak pada benda uji pelat mortar melalui pengujian daya serap air, kuat lentur, lebar retak, dan pola retak pada struktur pelat mortar pada peningkatannya variasi penambahan GGBFS.

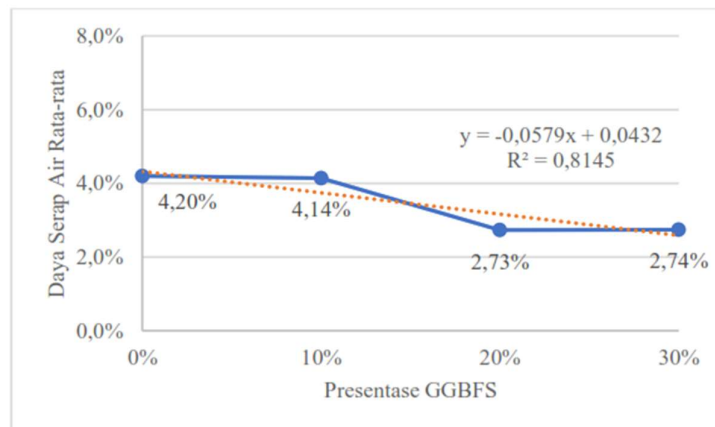
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Daya Serap Air

Pada pengujian daya serap air ini dilakukan menggunakan benda uji berupa kubus mortar dengan ukuran (5 x 5 x 5) cm. Pengujian dilakukan saat benda uji berumur 28 hari di laboratorium. Lama perendaman yang dilakukan adalah selama kurang lebih 24 jam. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian daya serap air mortar

Persentase GGBFS	Berat Jenuh Air	Berat Kering	Daya Serap	Rata-Rata Daya Serap
	(gram)	(gram)	(%)	(%)
0%	285,5	274,5	4,01%	4,20%
	282,5	271,5	4,05%	
	276,0	264,0	4,55%	
10%	279,5	268,5	4,10%	4,14%
	279,0	267,5	4,30%	
	284,5	273,5	4,02%	
20%	290,5	283,5	2,47%	2,73%
	287,5	279,5	2,86%	
	287,0	279,0	2,87%	
30%	285,0	277,0	2,89%	2,74%
	284,0	277,0	2,53%	
	293,0	285,0	2,81%	



Gambar 1. Grafik Hasil Pengujian Daya Serap Air

Dari hasil pengujian daya serap air pada Gambar 1 menunjukkan bahwa adanya penambahan GGBFS pada campuran mortar mengakibatkan daya serap air menurun, yang mana tanpa GGBFS 0% nilai daya serap air 4,20%, dengan ditambahnya GGBFS 10%, dan 20%, nilai daya serap air 4,14%, dan 2,73%, namun pada penambahan GGBFS 30% nilai daya serap air meningkat 2,74%, dengan penambahan GGBFS di dapat persentase penurunan daya serap air dari hasil itu, penambahan GGBFS 0% ke 10% di dapat selisih penurunannya daya serap air 1,5% dan penambahan GGBFS 0% ke 20% dengan selisih penurunan daya serap air 35%, namun pada penambahan GGBFS 0% ke 30% dengan selisih penurunan nilai daya serap air 34,8%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan GGBFS pada mortar mengakibatkan daya serap air berkurang atau kekedepannya bertambah. Dari hasil analisis anova uji daya serap air menunjukkan bahwa

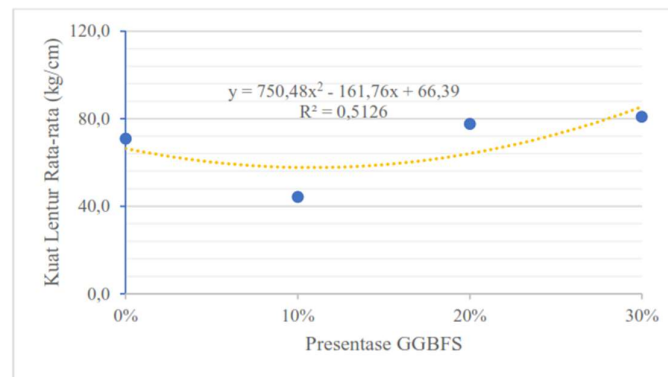
pada F hitung $41,581058 > F$ tabel $4,066$ di mana H_1 di terima dan H_0 di tolak, maka GGBFS berpengaruh terhadap campuran mortar[14].

4.2 Hasil Pengujian Kuat Lentur

Pada pengujian kuat lentur menggunakan benda uji berupa pelat mortar dengan ukuran $60 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$. Pengujian dilakukan saat pelat mortar berumur 28 hari dengan menggunakan alat *hydraulic jack* dan *load cell* dengan panjang antar dua tumpuan peletakan 50 cm . Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Kuat Lentur Pelat Mortar

Sampel	Beban Maks	Berat Benda Uji	Tinggi Pelat	Momen Lentur	Momen Inersia	Kuat Lentur 28 hari	Rata-rata
	P_u	Q	Y	M	I	$f = M \cdot y / I$	
	Kg	Kg	Cm	kg/Cm ²	Cm ²	Kg/Cm ²	
0S1	600	0,35	2,5	7611	312,5	60,9	70,9
0S2	800	0,35	2,5	10110	312,5	80,9	
0S3	700	0,36	2,5	8863	312,5	70,9	
10S1	400	0,36	2,5	5112	312,5	40,9	44,2
10S2	500	0,35	2,5	6358	312,5	50,9	
10S3	400	0,35	2,5	5111	312,5	40,9	
20S1	900	0,36	2,5	11362	312,5	90,9	77,6
20S2	700	0,35	2,5	8861	312,5	70,9	
20S3	700	0,36	2,5	8861	312,5	70,9	
30S1	800	0,36	2,5	10113	312,5	80,9	80,9
30S2	900	0,36	2,5	11363	312,5	90,9	
30S3	700	0,36	2,5	8862	312,5	70,9	



Gambar 2. Grafik Perbandingan Kuat Lentur

Hasil pengujian kuat lentur pelat mortar, diketahui bahwa nilai rata-rata kuat lentur tanpa GGBFS sebesar $70,9 \text{ kg/cm}^2$, untuk nilai kuat lentur tertinggi didapat pada penambahan GGBFS 30% sebesar $80,9 \text{ kg/cm}^2$, namun pada penambahan GGBFS 10% memiliki kuat lentur $44,2 \text{ kg/cm}^2$ dan 20% memiliki kuat lentur $77,6 \text{ kg/cm}^2$. Penambahan GGBFS di dapat persentase penurunan kuat lentur dari hasil itu, penambahan GGBFS 0% ke 10% di dapat selisih penurunannya kuat lentur 38% dan penambahan GGBFS 0% ke 20% dengan selisih peningkatan kuat lentur 9%, namun pada penambahan GGBFS 0% ke 30% dengan selisih peningkatan nilai kuat lentur 14%. Dari hasil analisis anova uji pelat mortar menunjukkan bahwa pada F hitung $9,068 > F$ tabel $4,066$ di mana H_1 di terima dan H_0 di tolak, maka GGBFS berpengaruh terhadap campuran mortar [15].

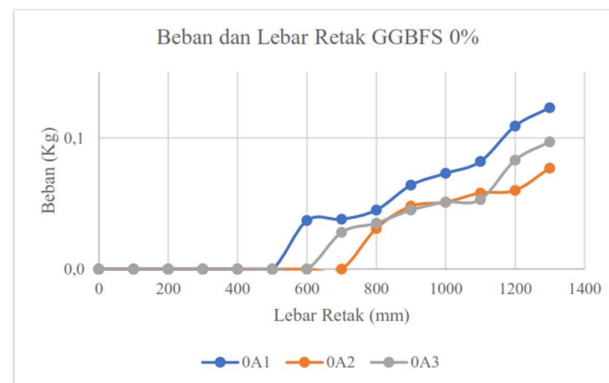
4.3 Hasil Pengujian Lebar Retak

Pengujian benda uji pelat mortar terhadap beban dilakukan pada saat pelat berumur 28 hari. kemudian pelat diberi beban bertahap dari 0 Kg hingga pelat mengalami keruntuhan pada

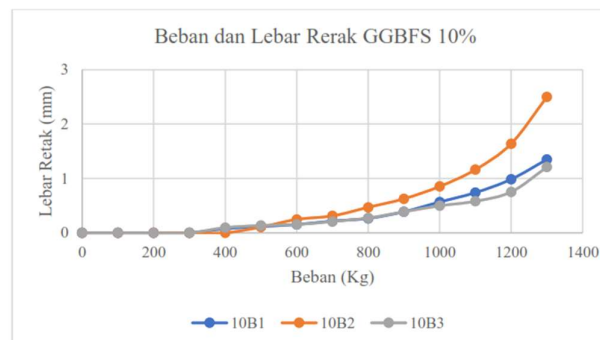
beban maksimal. Retak pada pelat mortar saat masa pembebanan pertama, muncul pertama kali pada daerah di sekitar bawah beban lalu diikuti oleh beberapa retak sejenisnya. Dari pengamatan langsung pada benda uji, munculnya retak pertama yang sangat halus ini mulai terdeteksi ketika beban yang bekerja telah melampaui kapasitas benda uji. Pengamatan retak dilakukan dengan menggunakan alat *microscope crack detector* yang mempunyai keakuratan tinggi. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian dan Pembebanan Retak Awal sama Retak Runtuh Pelat Mortar

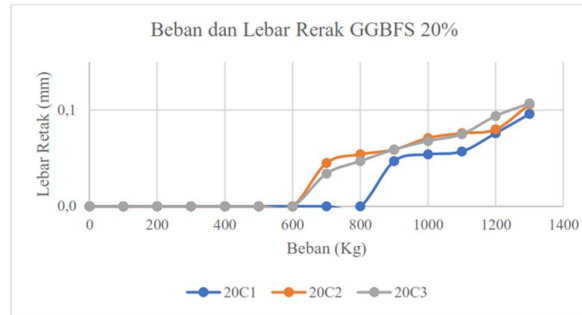
Komposisi GGBFS	Sampel	Saat Retak Awal			Saat Runtuh		
		Pc (Kg)	wc (mm)	wc Rata-rata	Pu (Kg)	wu (mm)	wu Rata-rata
0%	0A1	600	0,037	0,044	1300	0,123	0,099
	0A2	800	0,051		1300	0,077	
	0A3	700	0,045		1300	0,097	
10%	10B1	400	0,076	0,092	1300	1,350	1,686
	10B2	500	0,106		1300	2,499	
	10B3	400	0,095		1300	1,209	
20%	20C1	900	0,047	0,042	1300	0,096	0,103
	20C2	700	0,045		1300	0,106	
	20C3	700	0,034		1300	0,107	
30%	30D1	800	0,038	0,028	1300	0,076	0,072
	30D2	900	0,020		1300	0,068	
	30D3	700	0,025		1300	0,073	



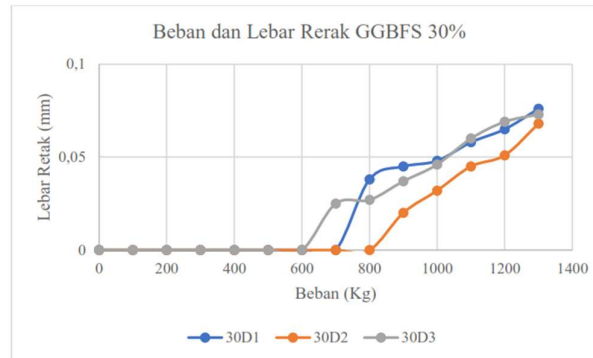
Gambar 3. Grafik Hubungan Lebar Retak dan Beban Benda Uji 0%



Gambar 4. Grafik Hubungan Lebar Retak dan Beban Benda Uji 10%

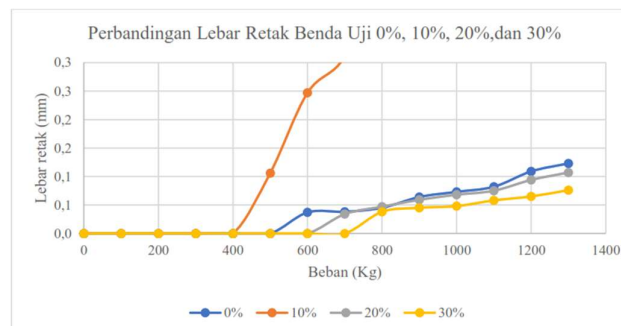


Gambar 5. Grafik Hubungan Lebar Retak dan Beban Benda Uji 20%



Gambar 6. Grafik Hubungan Lebar Retak dan Beban Benda Uji 30%

Dari hasil pengujian pelat mortar menunjukkan bahwa pada pelat mortar GGBFS 0%, pada benda uji 0A2 mempunyai lebar retak awal lebih besar dengan kapasitas beban yang besar daripada benda uji 0A1 dan 0A3, maka lebar retak pada benda uji 0A nilai rata-rata retak awal 0,044 mm dan retak maksimal 0,099 mm. Kemudian beban retak pertama, dan lebar retak pada pelat mortar penambahan GGBFS 10%, menunjukkan bahwa pada benda uji 10B2 mempunyai lebar retak yang lebih besar dengan kapasitas beban yang besar daripada benda uji 10B1 dan 10B3, maka lebar retak pada benda uji 10B nilai rata-rata retak awal 0,095 mm dan retak maksimal 1,686 mm. Kemudian beban retak pertama, dan lebar retak pada pelat mortar penambahan GGBFS 20%, menunjukkan bahwa pada benda uji 20C3 mempunyai lebar retak lebih besar dengan kapasitas beban yang besar daripada benda uji 20C1 dan 20C2, maka lebar retak pada benda uji 20C nilai rata-rata retak awal 0,042 mm dan retak maksimal 0,103 mm. dan kemudian beban retak pertama, dan lebar retak pada pelat mortar penambahan GGBFS 30%, menunjukkan bahwa pada benda uji 30D1 mempunyai lebar retak lebih besar dengan kapasitas beban yang besar daripada benda uji 30D2 dan 30D3, maka lebar retak pada benda uji 30D nilai rata-rata retak awal 0,028 mm dan retak maksimal 0,072 mm. Maka perbandingan lebar retak di ambil nilai yang paling tinggi setiap benda uji 0%, 10%, 20%, dan 30%, hasil perbandingan dapat dilihat pada gambar 7 sebagai berikut.

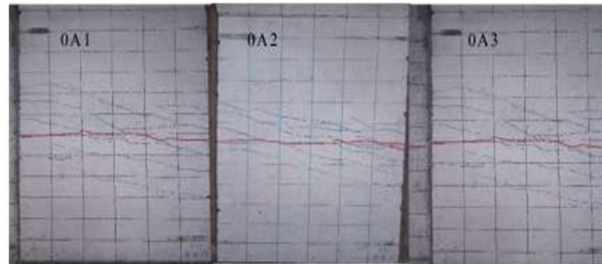


Gambar 7. Grafik Perbandingan Lebar Retak

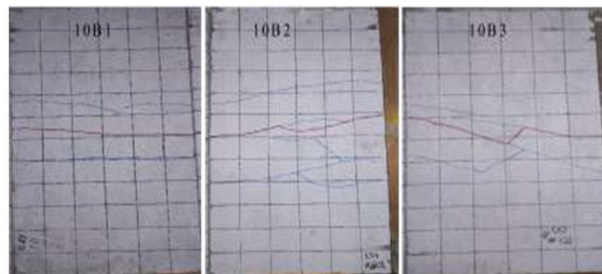
Dari hasil perbandingan lebar retak pada gambar 7 menunjukkan bahwa penambahan GGBFS 10% menghasilkan lebar retak yang lebih besar 2,499 mm, 0% menghasilkan lebar retak 0,123 mm, dan 20% menghasilkan lebar retak 0,107 mm, namun mortar GGBFS 30% menghasilkan lebar retak paling kecil 0,076 mm. Dari hasil analisis anova uji pelat mortar menunjukkan bahwa pada $F_{hitung} 39,6765 > F_{tabel} 4,06618$ di mana H_1 di terima dan H_0 di tolak, maka GGBFS berpengaruh terhadap campuran mortar.

4.4 Hasil Pengujian Pola Retak

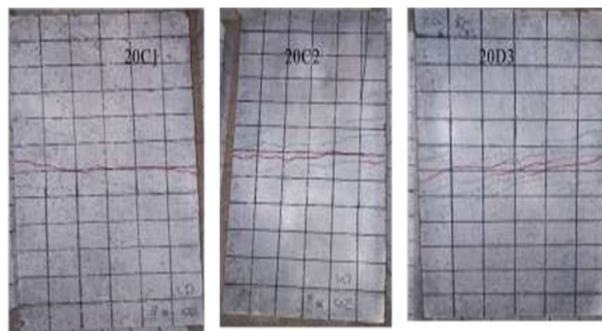
Observasi pola retak pelat mortar dilakukan untuk mengetahui proses terjadinya retak, lebar retak, sampai mengetahui indikasi terjadinya kegagalan pada bagian pelat. Untuk pengambilan data pola retak dilakukan setiap pembebanan, setelah lebar retak diukur dengan alat *microscope crack detector* kemudian didokumentasikan. Berikut hasil pengujian pola retak pelat.



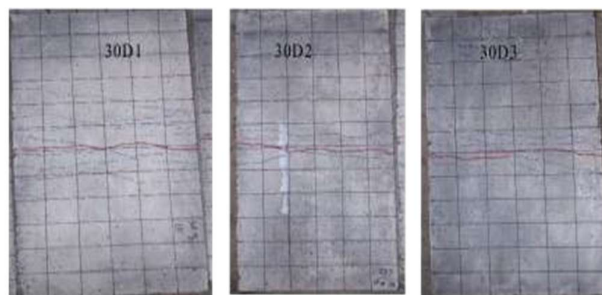
Gambar 8. Hasil Pengujian Pola Retak Benda Uji 0%



Gambar 9. Hasil Pengujian Pola Retak Benda Uji 10%



Gambar 10. Hasil Pengujian Pola Retak Benda Uji 20%



Gambar 11. Hasil Pengujian Pola Retak Benda Uji 30%

Hasil pengujian pola retak benda uji 0% (Gambar 8) menunjukkan bahwa benda uji 0A1 menghasilkan 9 retak, 0A2 menghasilkan 11 retak, dan 0A3 menghasilkan 13 retak. Hasil pengujian pola retak benda uji 10% (Gambar 9) menunjukkan bahwa benda uji 10B1 menghasilkan 4 retak, 10B2 menghasilkan 6 retak, dan 10B3 menghasilkan 10 retak. Hasil pengujian pola retak benda uji 20% (Gambar 10) menunjukkan bahwa benda uji 20C1 menghasilkan 7 retak, 20C2 menghasilkan 9 retak, dan 20C3 menghasilkan 10 retak. Hasil pengujian pola retak benda uji 30% (Gambar 11) menunjukkan bahwa benda uji 30C1 menghasilkan 12 retak, 30D2 menghasilkan 7 retak, dan 30D3 menghasilkan 7 retak.

Dari hasil penelitian, berdasarkan mekanisme pola retak dan lebar retak, menunjukkan bahwa semua hasil pengujian pola retak pada 12 benda uji pelat mortar dengan komposisi campuran GGBFS 0%, 10%, 20%, dan 30% mempunyai perilaku pola retak dominan retak lentur. Penambahan 0% menghasilkan pola retak atau memiliki retak paling banyak, sedangkan 20%, dan 30% menghasilkan pola retak atau memiliki retak paling sedikit, namun pada 10%, mengalami lebar lebih sedikit karena posisi pengujian tidak sama dengan 0%, 20%, dan 30%.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil uji anova didapat hasil bahwa penambahan GGBFS 10%, 20%, dan 30% berpengaruh terhadap daya serap air mortar dengan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$. Hasil uji daya serap air menunjukkan bahwa GGBFS 0% menghasilkan daya serap air mortar 4,20% dengan penambahan GGBFS 10% menghasilkan daya serap air lebih rendah 1,14%, Penambahan 20% 2,73%, namun penambahan 30% menunjukkan kenaikan daya serap air 2,74%. Berdasarkan hasil uji anova didapat hasil bahwa penambahan GGBFS 10%, 20%, dan 30% berpengaruh terhadap kuat lentur mortar dengan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$. Hasil perhitungan kuat lentur menunjukkan bahwa penambahan GGBFS 30% menghasilkan kuat lentur mortar lebih besar 80,9 kg/cm², namun GGBFS 0% menghasilkan kuat lentur 70,9 kg/cm², GGBFS 10% menghasilkan kuat lentur 44,2 kg/cm², dan GGBFS 20% menghasilkan kuat lentur 77,6 kg/cm². Berdasarkan hasil uji anova didapat hasil bahwa penambahan GGBFS 10%, 20%, dan 30% berpengaruh terhadap lebar retak mortar dengan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$. Hasil uji lebar retak menunjukkan bahwa penambahan GGBFS 30% menghasilkan lebar retak yang lebih kecil 0,076 mm, namun GGBFS 0% menghasilkan lebar retak 0,123 mm, dan GGBFS 10% menghasilkan 2,499 mm, GGBFS 20% menghasilkan 0,107 mm.

Hasil pengujian pola retak pada 12 benda uji pelat mortar mempunyai perilaku pola retak dominan retak lentur. Penambahan GGBFS 0% menghasilkan pola retak atau memiliki jumlah 13 retak paling banyak, sedangkan GGBFS 20% jumlah retak 10, dan 30% jumlah retak 12 dengan menghasilkan pola retak atau memiliki retak paling sedikit, namun pada 10%, jumlah retak 10 dan mengalami lebar lebih sedikit di karena posisi pengujian tidak sama dengan 0%, 20%, dan 30%. Komposisi campuran mortar paling optimal adalah pada penambahan GGBFS 30% karena memiliki daya serap air 2,74% dengan selisih penurunan 34,8% dibandingkan GGBFS 0%, kuat lentur 258,2 kg/cm² meningkat 14% dibandingkan GGBFS 0%, lebar retak 0,076 mm lebih kecil dibandingkan GGBFS 0%, dan pola retak lebih sedikit dengan jumlah retak 12 dibandingkan GGBFS 0% jumlah retak 13.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standarisasi Nasional, “SNI 6385-2016 Spesifikasi semen slag untuk digunakan dalam beton dan mortar,” *SNI 6385-2016 Spesifikasi semen slag untuk digunakan dalam beton dan mortar*, 2016.
- [2] N. M. Syafiq, “Pengaruh Perbandingan Aktivator Terhadap Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbasis Ground Granulated Blast Furnace Slag,” *Tugas Akhir, Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, 2020.
- [3] S. M. Dewi, L. Susanti, and H. Suseno, “Effects of GGBFS to the Compressive Strength, Workability and Time Span Between Mixing and Compacting of Concrete Paste,” *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, vol. 10, no. 3, 2019.

- [4] M. Yunanda, “Perbandingan Kuat Tekan Mortar Dengan Memanfaatkan Coal Ash Waste,” *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 7, no. 2, 2019, doi: 10.36546/tekniksipil.v7i2.241.
- [5] K. Tjokrodinuljo, “Teknologi Beton, Buku Ajar,” *Jurusan Teknik Sipil–Magister Teknologi Bahan Bangunan–Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Yogyakarta*, 2007.
- [6] SNI 03-6820-2002, “Spesifikasi Agregat Halus Untuk Pekerjaan Adukan dan Plesteran Dengan Bahan Dasar Semen,” *SNI 03-6820-2002 Badan Standardisasi Nasional*, 2002.
- [7] ACI Committee 549, *Design Guide for Ferrocement ACI 549*, vol. 549. ACI Committee 549, 2008.
- [8] 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.
- [9] A. Dasar, D. Patah, N. Okviyani, and M. Amin, “Pengaruh Palm Oil Fuel Ash terhadap Kuat Tekan dan Daya Serap Air pada Bata Ringan Tipe CLC,” *Jurnal Konstruksi*, vol. 24, no. 1, pp. 1146–1155, 2026.
- [10] N. Samudra, H. S. Djayaprabha, and D. Darapuspa, “Kajian Eksperimental untuk Mengukur Kinerja Ground Granulated Blast Furnace Slag sebagai Pengganti Sebagian Semen terhadap Kekuatan Tekan dan Sorptivitas Self-Compacting Mortar,” *Journal of Sustainable Construction*, vol. 4, no. 1, 2024, doi: 10.26593/josc.v4i1.7805.
- [11] P. R. T. Naibaho, E. H. Manurung, and A. Susanto, *Kajian Beton Normal Menggunakan Semen Granulated Blast Furnance Slag (GBFS)*. Penerbit Insania, 2021.
- [12] M. A. Anggara and C. Afriade Siregar, “Analisis Kinerja Beton Dengan Bahan Tambah Ground Granulated Blast Furnace (GGBF) Slag,” *Sistem Infrastruktur Teknik Sipil (SIMTEKS)*, vol. 4, no. 1, 2024, doi: 10.32897/simteks.v4i1.3432.
- [13] N. N. Sibarani, “Pengaruh Suhu Curing Terhadap Sifat Mekanik Beton Geopolimer Berbasis Ground Granulated Blast Furnace Slag,” *Tugas Akhir, Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, 2020.
- [14] F. D. M. Loe, A. Halim, and A. Purwaningsih, “Pengaruh Penambahan Ggbfs Pada Campuran Mortar Terhadap Rembesan Dan Waktu Ikat,” *BOUWPLANK Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 5, no. 2, pp. 1–7, 2025.
- [15] 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.

Studi Experimental Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas Pada Beton SCC (*Self Compacting Concrete*) Dengan Penambahan Sika Viscocrete 3115N

Khinanti Puspita Sari^{1*}, Abdul Halim², Riman³

¹PT. Atomization Technology Indonesia

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

*Email Korespondensi: khinanpuspita@gmail.com

ABSTRAK

Permasalahan beton normal terdapat pada saat pengecoran yaitu ada bagian beton yang tidak terisi, yang mengakibatkan beton keropos dan kuat tekan beton menurun. Solusi permasalahan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan beton SCC (*Self Compacting Concrete*), beton yang lebih memperhatikan kualitas fluiditas yang tinggi, sehingga bantuan vibrator juga tidak diperlukan pada saat pemadatan beton. Salah satu syarat beton SCC ini menggunakan superplasticizer. Pada penelitian ini, peneliti menggunakan superplasticizer Sika Viscocrete 3115N. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui nilai kuat tekan dan modulus elastisitas pada beton SCC dengan penambahan Sika Viscocrete 3115N. Penelitian ini menggunakan Variasi penambahan 0%, 0,6%, 1,2%, 1,8% dan menggunakan 2 mutu yaitu mutu 30 dan 40 MPa. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen secara langsung di laboratorium, metode analisis data untuk mengetahui nilai kuat tekan dan modulus elastisitas. Hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa nilai kuat tekan mutu 30 MPa tertinggi pada penambahan 1,8% Sika Viscocrete 3115N yaitu sebesar 34,59 MPa dan mutu 40 MPa diperoleh nilai tertinggi pada penambahan 1,8% Sika Viscocrete 3115N sebesar 43,99 MPa. Pada modulus elastisitas, mutu 30 MPa diperoleh nilai tertinggi pada penambahan 1,8% Sika Viscocrete 3115N sebesar 91292,2 MPa dan mutu 40 MPa diperoleh nilai tertinggi pada penambahan 1,8% Sika Viscocrete 3115N sebesar 75103,2 MPa.

Kata Kunci : Beton SCC, Sika Viscocrete 3115N, Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas.

ABSTRACT

A common problem with conventional concrete occurs during pouring: there are unfilled voids in the concrete, resulting in porosity and reduced compressive strength. This problem can be addressed by using SCC (Self-Compacting Concrete), a type of concrete that emphasizes high fluidity, thereby eliminating the need for vibrators during compaction. One requirement for SCC is the use of a superplasticizer. In this study, the researcher used Sika Viscocrete 3115N as the superplasticizer. The objective of this study was to determine the compressive strength and modulus of elasticity of SCC with the addition of Sika Viscocrete 3115N. This study employed addition levels of 0%, 0.6%, 1.2%, and 1.8% and utilized two strength classes: 30 MPa and 40 MPa. The methods used in this study included direct laboratory experiments and data analysis to determine the compressive strength and modulus of elasticity values. The results of this study indicate that the highest compressive strength for the 30 MPa grade was achieved with a 1.8% addition of Sika Viscocrete 3115N, at 34.59 MPa, while the 40 MPa grade reached its highest value at 43.99 MPa with a 1.8% addition of Sika Viscocrete 3115N. Regarding the modulus of elasticity, the 30 MPa grade achieved the highest value of 91,292.2 MPa with a 1.8% addition of Sika Viscocrete 3115N, while the 40 MPa grade achieved the highest value of 75,103.2 MPa with a 1.8% addition of Sika Viscocrete 3115N.

Keywords : SCC Concrete, Sika Viscocrete 3115N, Compressive Strength and Modulus of Elasticity.

1. PENDAHULUAN

Beton merupakan suatu bahan komposit (campuran) dari beberapa material, yang memiliki bahan utama yaitu agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), semen dan air [1]. Metode pelaksanaan beton normal memiliki kekurangan yaitu pada saat pengecoran beton ada bagian yang tidak terisi dengan beton dan dapat membuat beton keropos. Dengan adanya permasalahan tersebut banyak teknologi yang dapat membuat beton mengalir dengan cepat dan seluruh bagian terisi dengan beton [2]. Teknologi tersebut memiliki keunggulan yaitu beton yang lebih memperhatikan kualitas fluiditas yang tinggi, sehingga bantuan vibrator juga tidak diperlukan pada saat pemadatan beton ini disebut dengan *Self Compacting Concrete* (SCC). *Self Compacting Concrete* adalah beton segar yang sangat plastis dan mudah mengalir karena berat sendiri mengisi keseluruhan cetakan sehingga tidak diperlukan vibrator untuk pemadatan [3]. Beton SCC membutuhkan superplasticizer yang disebut sebagai campuran pereduksi air dengan kisaran tertinggi, terutama menyebarkan air dalam matriks beton [4]. Penelitian ini memilih Sika ViscoCrete-3115N karena sika Viscocrete 3115N merupakan bahan tambah yang dapat membantu beton meningkatkan performa pada waktu yang lebih cepat dan berfungsi ganda mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu dan mempercepat pengikatan beton [5], [6].

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Menurut SNI 2847-2013 pengertian beton merupakan campuran antara semen Portland atau semen hidrolik yang lain, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa tambahan yang membentuk massa padat [7], [8].

2.2 SCC

Self Compacting Concrete (SCC) merupakan campuran beton yang memadat sendiri tanpa menggunakan alat pemadat (vibrator) [9]. SCC dapat memadat ke setiap sudut dari struktur bangunan dan dapat mengisi tinggi permukaan yang diinginkan dengan rata (*self leveling*) tanpa mengalami *bleeding* dan segregasi, sehingga dapat meminimalkan adanya air yang masuk ke dalam beton [10].

2.3 Karakteristik SCC

Filling Ability untuk mengetahui beton memiliki kemampuan *filling* maka beton segar diuji menggunakan alat slump cone, dengan waktu yang diperlukan aliran beton untuk mencapai diameter maksimum yang dicapai aliran beton (SFmax) 65-80 cm. *Passing Ability* untuk mengetahui beton memiliki kemampuan ini dilakukan uji dengan menggunakan alat L-Shape Box, dengan perbedaan tinggi yang diperlukan aliran beton arah horizontal (H2/H1) di antara 0,8 – 1,0 [11]. *Segregation Resistance* untuk mengetahui beton memiliki kemampuan ini dilakukan uji dengan menggunakan alat V-Funnel, dengan waktu yang diperlukan beton segar untuk segera mengalir melalui mulut di ujung bawah alat ukur V-funnel antara 7 – 12 detik [12].

2.4 Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas

Kuat tekan beton (f'_c) adalah besarnya beban per satuan luas yang menyebabkan benda uji beton hancur bila dibebani gaya tekan tertentu yang dihasilkan oleh mesin tekan berdasarkan [13], [14].

$$f'_c = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana,

f'_c = Kuat tekan beton (MPa atau N/mm²)

P = Gaya tekan aksial (N)

A = Luas penampang melintang benda uji (mm²)

Modulus elastisitas merupakan nilai perbandingan antara tegangan dan regangan suatu bahan [15]. Nilai modulus elastisitas dapat diperoleh dari pengujian menggunakan rumus :

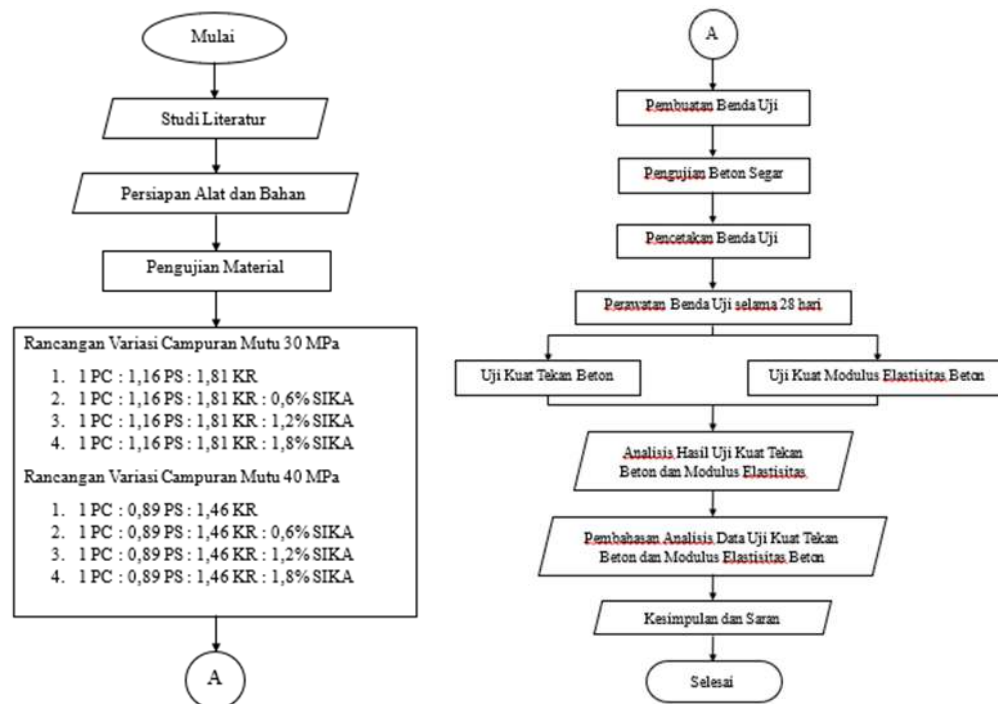
$$E = \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

- E = Modulus elastisitas beton (MPa)
 S2 = Tegangan pada 40% tegangan runtuh (MPa)
 S1 = Tegangan pada saat nilai kurva regangan ε_1 (MPa)
 ε_2 = Nilai kurva regangan yang terjadi pada saat S2
 ε_1 = Regangan sebesar 0,0005

3. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian ini di Laboratorium Teknik Sipil Kampus 3 Universitas Widyagama Malang. Pada penelitian ini ada beberapa data yang digunakan untuk menganalisis kuat tekan dan modulus elastisitas beton yaitu ada data pengujian material agregat, slump flow, v-funnel, l-box, data kuat tekan dan modulus elastisitas beton.



Gambar 1. Bagan Alir

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Agregat Halus dan Kasar

Tabel 1. Hasil Pengujian Agregat Halus dan Kasar

Pemeriksaan	Hasil Agregat Halus	Standar SNI Agregat Halus	Hasil Agregat Kasar	Standar SNI Agregat Kasar	Keterangan
Kadar Air	3.32	3% - 5%	1.42	Maksimal 5%	Memenuhi
Berat Jenis	2.78	2,58 - 2,83	2.65	2,3 - 2,9	Memenuhi
Penyerapan	3.74	0,2% - 4%	3.69	0,2% - 4%	Memenuhi
Modulus Kehalusan (FM)	2.55	1.5 - 3,5	1.50	1.5 - 3,5	Memenuhi

4.2 Mix Design Mutu 30 MPa

Perencanaan campuran beton untuk $f'c = 30$ MPa pada umur 28 hari berdasarkan SNI 03-2834-2000 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi material dan Sika Viscocrete 3115N per 0,0265 m³

Perlakuan	BNM1	S0,6 M1	S1,2 M1	S1,8 M1
Air (kg)	6.11	6.11	6.11	6.11
Semen (kg)	14.31	14.31	14.31	14.31
Kerikil (kg)	26.02	26.02	26.02	26.02
Pasir (kg)	16.60	16.60	16.60	16.60
Viscocrete (ml)	-	80.98	161.95	242.93

4.3 Mix Design mutu 40 MPa

Perencanaan campuran beton untuk $f'c = 30$ MPa pada umur 28 hari berdasarkan SNI 03-2834-2000 dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3. Komposisi material dan Sika Viscocrete 3115N per 0,0265 m³

Perlakuan	BNM2	S0,6 M2	S1,2 M2	S1,8 M2
Air (kg)	6.08	6.08	6.08	6.08
Semen (kg)	16.99	16.99	16.99	16.99
Kerikil (kg)	24.80	24.80	24.80	24.80
Pasir (kg)	15.17	15.17	15.17	15.17
Viscocrete (ml)	-	96.16	192.32	288.48

4.4 Sifat Beton Segar

Tabel 4. Hasil Pengujian slump flow, V-Funnel, L-Box pada mutu 30 MPa

Benda Uji	Slump Flow 650-800 (mm)	V-Funnel 6-12 (detik)	L-Box 0,8-1 (mm)	Keterangan
BNM1	650	12	0.80	Memenuhi
S0,6 M1	655	10	0.90	Memenuhi
S1,2 M1	700	9	0.95	Memenuhi
S1,8 M1	800	8	1.00	Memenuhi

Tabel 5. Hasil Pengujian slump flow, V-Funnel, L-Box pada mutu 40 MPa

Benda Uji	Slump Flow 650-800 (mm)	V-Funnel 6-12 (detik)	L-Box 0,8-1 (mm)	Keterangan
BNM1	655	10	0.84	Memenuhi
S0,6 M1	700	8	0.90	Memenuhi
S1,2 M1	750	7	0.94	Memenuhi
S1,8 M1	800	6	1.00	Memenuhi

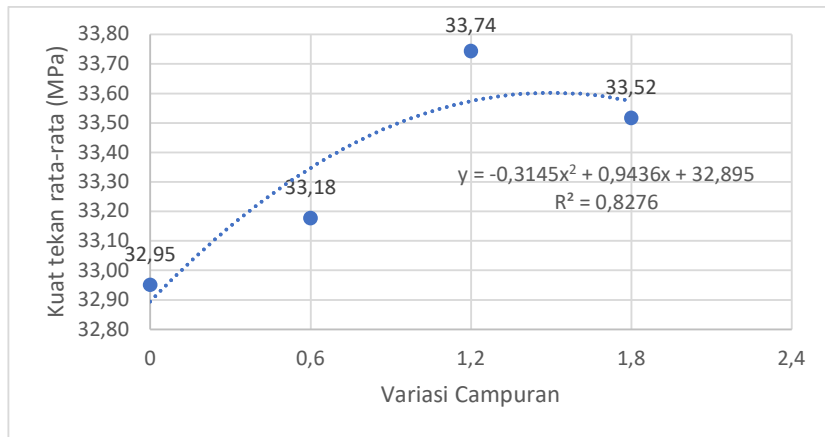
4.5 Hasil Pengujian Kuat Tekan

Berikut adalah hasil kuat tekan rata-rata 30 MPa pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Kuat Tekan Rata-rata mutu 30 MPa

Variasi Campuran	Kuat Tekan Rata-rata	Persentase Kenaikan Kuat Tekan (%)	Persentase Kenaikan Kuat Tekan dengan penambahan 0,6% (%)
BNM1	32.95	0	0
S0,6 M1	33.18	0.69	0.69
S1,2 M1	33.74	2.39	1.71
S1,8 M1	33.52	1.68	-0.67
Persentase rata-rata		1.19	0.43

Pada hasil pengujian kuat tekan mutu 30 MPa variasi beton normal memperoleh nilai kuat tekan rata-rata 32,95 MPa. Pada variasi 0,6% memperoleh nilai kuat tekan 33,18 MPa, Pada variasi 1,2% memperoleh nilai kuat tekan 33,74 MPa, Pada variasi 1,8% memperoleh nilai kuat tekan 33,52 MPa. Persentase rata-rata kenaikan kuat tekan terhadap beton normal memperoleh nilai sebesar 1,19% dan persentase rata-rata kenaikan kuat tekan dengan setiap penambahan 0,6% sebesar -0,43%.



Gambar 1. Grafik Kuat Tekan Rata-Rata mutu 30 MPa

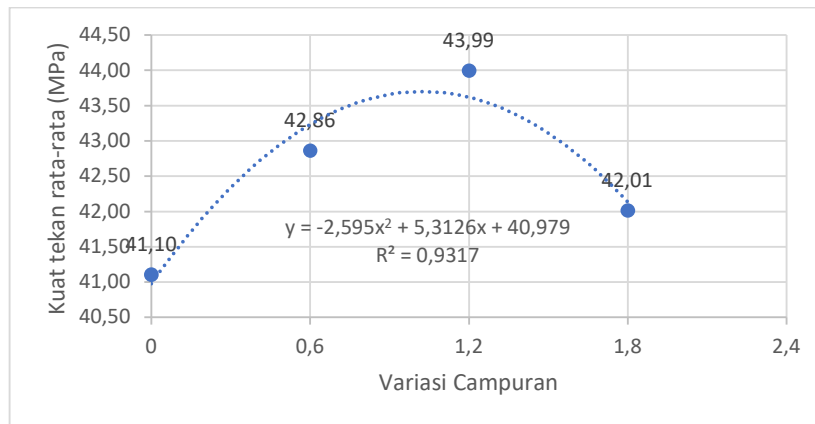
Pada grafik di atas diperoleh persentase maksimal penambahan sika Viscocrete 3115N pada mutu 30 MPa dengan persentase maksimal sika viscocrete yang ditambahkan adalah sebesar 1,5%. Pada perhitungan analisis varian pada Sika viscocrete sebagai penambahan pada beton SCC mutu f_c 30 MPa tidak berpengaruh terhadap kenaikan kuat tekan beton dengan nilai P-Value = 0,84 lebih kecil dari $\alpha = 0,05$. Dari grafik diatas diperoleh nilai maksimum penambahan sika viscocrete 3115N sebesar 1,5%.

Berikut adalah hasil kuat tekan rata-rata 40 MPa pada Tabel Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Kuat Tekan Rata-rata mutu 40 MPa

Variasi Campuran	Kuat Tekan Rata-rata	Persentase Kenaikan Kuat Tekan (%)	Persentase Kenaikan Kuat Tekan dengan penambahan 0,6% (%)
BNM2	41.10	0	0
S0,6 M2	42.86	4.27	4.27
S1,2 M2	43.99	6.74	2.64
S1,8 M2	42.01	2.06	-4.50
Persentase rata-rata		3.27	0.60

Pada hasil pengujian kuat tekan mutu 40 MPa variasi beton normal memperoleh nilai kuat tekan rata-rata 41,10 MPa. Pada variasi 0,6% memperoleh nilai kuat tekan 42,86 MPa, Pada variasi 1,2% memperoleh nilai kuat tekan 43,99 MPa, Pada variasi 1,8% memperoleh nilai kuat tekan 42,01 MPa, memperoleh persentase kenaikan kuat tekan terhadap beton normal 2,06% dan persentase kenaikan kuat tekan dengan setiap penambahan 0,6% sebesar -4,50%.



Gambar 2. Grafik Kuat Tekan Rata-Rata mutu 40 MPa

Pada grafik di atas diperoleh persentase maksimal penambahan sika Viscocrete 3115N pada mutu 40 MPa dengan persentase maksimal sika viscocrete yang ditambahkan adalah sebesar 1%. Pada perhitungan analisis varian pada Sika viscocrete sebagai penambahan pada beton SCC mutu f_c 40 MPa tidak berpengaruh terhadap kenaikan kuat tekan beton dengan nilai P-Value = 0,108 lebih besar dari $\alpha = 0,05$. Dari grafik di atas diperoleh nilai maksimum penambahan sika viscocrete 3115N sebesar 1%.

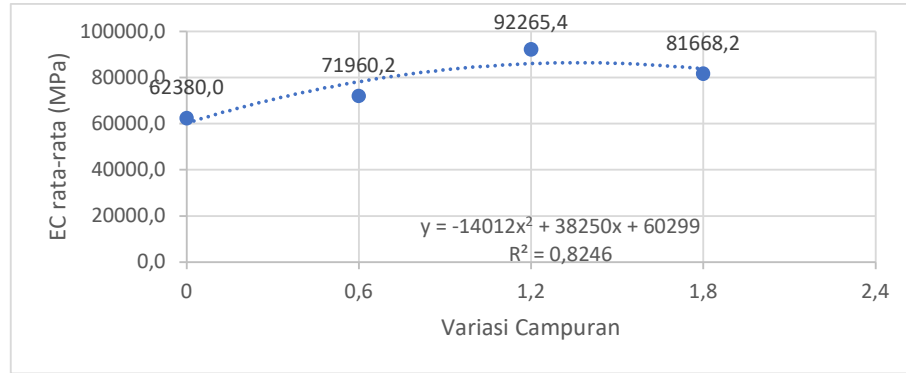
4.6 Hasil Pengujian Modulus Elastisitas

Berikut adalah hasil pengujian dan perhitungan modulus elastisitas pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas mutu 30 MPa

Variasi Campuran	EC Rata-Rata (Mpa)	Persentase Kenaikan Modulus Elastisitas (%)	Persentase Kenaikan Modulus Elastisitas dengan penambahan 0,6% (%)
BNM1	62380.0	0	0
S0,6 M1	71960.2	15.36	15.36
S1,2 M1	92265.4	41.53	28.22
S1,8 M1	81668.2	20.91	-11.49
Persentase rata-rata		19.45	8.02

Pada hasil pengujian modulus elastisitas mutu 30 MPa variasi beton normal memperoleh nilai modulus elastisitas rata rata 62380,0 MPa. Pada variasi 0,6% memperoleh nilai modulus elastisitas 71860,2 MPa, Pada variasi 1,2% memperoleh nilai modulus elastisitas 92265,49 MPa, Pada variasi 1,8% memperoleh nilai modulus elastisitas 81668,2 MPa. Pada persentase rata-rata kenaikan modulus elastisitas terhadap beton normal memperoleh nilai sebesar 19,45% dan persentase rata-rata kenaikan modulus elastisitas dengan setiap penambahan 0,6% sebesar 8,02%.



Gambar 3. Grafik Modulus Elastisitas Beton mutu 30 MPa

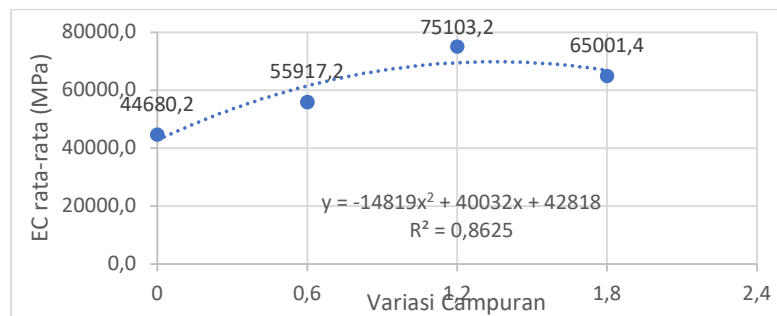
Pada grafik di atas diperoleh persentase maksimal penambahan sika Viscocrete 3115N pada mutu 30 MPa dengan persentase maksimal sika viscocrete yang ditambahkan adalah sebesar 1,4%. Pada perhitungan analisis varian pada Sika viscocrete sebagai penambahan pada beton SCC mutu 30 MPa berpengaruh terhadap modulus elastisitas beton dengan nilai anova P-Value = 0,0019 lebih kecil dari $\alpha = 0,05$. Dari grafik di atas diperoleh nilai maksimum penambahan sika viscocrete 3115N sebesar 1,4%.

Berikut adalah hasil pengujian dan perhitungan modulus elastisitas pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Pengujian Modulus Elastisitas mutu 40 MPa

Variasi Campuran	EC Rata-Rata (Mpa)	Persentase Kenaikan Modulus Elastisitas (%)	Persentase Kenaikan Modulus Elastisitas dengan penambahan 0,6% (%)
BNM2	44680.2	0	0
S0,6 M2	55917.2	25.15	25.15
S1,2 M2	75103.2	54.41	34.31
S1,8 M2	65001.4	27.06	-13.45
Persentase rata-rata		26.65	11.50

Pada hasil pengujian modulus elastisitas mutu 40 MPa variasi beton normal memperoleh nilai modulus elastisitas rata rata 44680.2 MPa. Pada variasi 0,6% memperoleh nilai modulus elastisitas 55917.2 MPa, Pada variasi 1,2% memperoleh nilai modulus elastisitas 75103.2 MPa, Pada variasi 1,8% memperoleh nilai modulus elastisitas 65001.4 MPa. Pada persentase rata rata kenaikan modulus elastisitas terhadap beton normal memperoleh nilai sebesar 26.65% dan persentase kenaikan modulus elastisitas dengan setiap penambahan 0,6% sebesar 11,50%.



Gambar 4. Grafik Modulus Elastisitas Beton mutu 40 MPa

Pada grafik di atas diperoleh persentase maksimal penambahan sika Viscocrete 3115N pada mutu 40 MPa dengan persentase maksimal sika viscocrete yang ditambahkan adalah sebesar 1,4%. Pada Sika viscocrete sebagai penambahan pada beton SCC mutu 30 MPa berpengaruh terhadap modulus elastisitas beton dengan nilai anova P-Value = 0,0019 lebih kecil dari $\alpha = 0,05$. Dari grafik di atas diperoleh nilai maksimum penambahan sika viscocrete 3115N sebesar 1,4%.

5. PENUTUP

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan bahwa nilai kuat tekan beton tertinggi mutu 30 MPa pada beton *Self Compacting Concrete* (SCC) dengan tambahan Sika Viscocrete 3115N diperoleh pada penambahan 1,2% sebesar 33,74 MPa. Persentase rata-rata kenaikan kuat tekan terhadap setiap kenaikan 0,6% sika sebesar 0,43%. Sedangkan pada mutu 40 MPa nilai kuat tekan tertinggi diperoleh pada penambahan 1,2% sebesar 43,99 MPa. Persentase rata-rata kenaikan kuat tekan terhadap setiap kenaikan 0,6% sika sebesar 0,60%. Nilai modulus elastisitas tertinggi mutu 30 MPa pada beton *Self Compacting Concrete* (SCC) dengan tambahan Sika Viscocrete 3115N diperoleh pada penambahan 1,2% sebesar 92265,4 MPa. Persentase rata-rata kenaikan modulus elastisitas terhadap setiap kenaikan 0,6% sika sebesar 8,02 %. Sedangkan pada mutu 40 MPa nilai modulus elastisitas tertinggi diperoleh pada penambahan 1,2% sebesar 75103,2 MPa. Persentase rata-rata kenaikan modulus elastisitas terhadap setiap kenaikan 0,6% sika sebesar 11,50%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Ansor, A. Halim, and A. Suraji, "Uji Kuat Tekan dan Modulus Elastisitas dengan Kombinasi Pasir Hitam dan Coklat dengan Tambahan Sika," *Prosidia Widya Saintek*, vol. 1, no. 1, Aug. 2022.
- [2] Japan Society of Civil Engineers, "Standard Specifications for Concrete Structures 2007 'Design', Tokyo, Japan:," *Japan Society of Civil Engineers*, no. 15, 2010.
- [3] F. Zulfa 'aina, A. Mediyanto, and E. Safitri, "Kajian Modulus Elastisitas Pada Beton Ringan Memadat Mandiri Menggunakan Agregat Kasar Pecahan Genteng Dengan Variasi Viscocrete," 2020.
- [4] M. U. Azmi, "Pengaruh Penambahan Superplasticizier Sika Viscocrete 1003 Untuk Mencapai Kuat Tekan Awal Tinggi Beton," in *Conference on Business, Social Sciences and Innovation Technology*, 2020, pp. 677–686.
- [5] R. R. S. Riwayati and R. Habibi, "Pengaruh Penambahan Zat Aditif Sika Viscocrete Terhadap Kuat Tekan Mutu Beton K-300 Umur 14 Hari".
- [6] R. Saputra and S. Riyanto, "Analisis Kuat Tekan Beton Self-Compacting Concrete Dengan Adimixture Viscocrete 3115N," *Jurnal Online Skripsi Manajemen ...*, vol. 3, no. 6, 2022.
- [7] *SNI 2847 2013*. 2013. [Online]. Available: www.bsn.go.id
- [8] Badan Standardisasi Nasional, "Semen Portland, SNI 2049:2015," *Standar Nasional Indonesia*, 2015.
- [9] N. P. A. N. Sundariyati, D. D. Pranowo, W. N. Wari, A. Utanaka, and M. G. Khomari, "Pengaruh Penambahan Silica Fume Terhadap Campuran Beton Memadat Sendiri (Self Compacting Concrete) Mutu Tinggi," *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, vol. 29, no. 2, 2024, doi: 10.36728/jtsa.v29i2.3835.
- [10] A. Korua, S. Dapas, and B. Handono, "Kinerja High Strength Self Compacting Concrete Dengan Penambahan Admixture 'Beton Mix' Terhadap Kuat Tarik Belah," *Jurnal Sipil Statik*, vol. 7, no. 10, pp. 1353–1364, 2019.
- [11] K. Murthy.N, "Mix Design Procedure for Self Compacting Concrete," *IOSR Journal of Engineering*, vol. 02, no. 09, 2012, doi: 10.9790/3021-02933341.
- [12] A. A. Mariani, S. Victor, "Pengaruh Penambahan Admixture Terhadap Karakteristik Self Compacting Concrete (SCC)," *SMARTek*, vol. 7, no. 3, 2009.
- [13] "SNI 1974:2011," 2011, [Online]. Available: www.bsn.go.id
- [14] S. Permatasari and K. Bintang, "Pengaruh Bahan Tambah Sika Viscocrete (1003) Terhadap Kuat Tekan Beton f' c 20 MPa Menggunakan Agregat Kasar Dan Agregat Halus Di Kabupaten Kotabaru," *TAPAK*, vol. 10, no. 1, 2020.
- [15] F. Z. 'Aina, A. Mediyanto, and E. Safitri, "Kajian Modulus Elastisitas Pada Beton Ringan Memadat Mandiri Menggunakan Agregat Kasar Pecahan Genteng Dengan Variasi Viscocrete," *Matriks Teknik Sipil*, vol. 8, no. 1, 2020, doi: 10.20961/mateksi.v8i1.41533.

Analisis Kerusakan Jalan Aspal Pada Ruas Pojok-Plemahan Kabupaten Kediri Menggunakan Metode SDI (*Surface Distress Index*)

Marta Rizky Dwiyono¹, Aji Suraji², Mohammad Cakrawala²

¹PT. Hirfi Studio

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

*Email Korespondensi: martarizky123@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kondisi kerusakan perkerasan jalan pada ruas Pojok-Plemahan sepanjang 1.042 meter menggunakan metode *Surface Distress Index* (SDI). Metode ini dipilih karena mampu memberikan gambaran kuantitatif tingkat kerusakan perkerasan jalan melalui survei visual, sehingga menjadi dasar penentuan kebutuhan penanganan yang tepat. Survei dilakukan dengan pengamatan langsung setiap segmen jalan berdasarkan patok kilometer (STA). Data yang dikumpulkan mencakup jenis, panjang, dan tingkat kerusakan yang diklasifikasikan menjadi kondisi baik, sedang, rusak ringan, dan rusak berat. Hasil penelitian menunjukkan distribusi kondisi jalan sebagai berikut: 42 meter kondisi baik, 780 meter sedang, 200 meter rusak ringan, dan 200 meter rusak berat. Segmen kondisi baik berada pada STA 1+000–1+042 sepanjang 42 meter. Kondisi sedang mendominasi STA 0+400–0+900 dan STA 0+900–1+000 dengan total panjang 600 meter. Kerusakan ringan ditemukan pada STA 0+000–0+200, sedangkan kerusakan berat terjadi pada STA 0+200–0+400. Berdasarkan hasil tersebut, rekomendasi penanganan meliputi pemeliharaan rutin untuk segmen kondisi sedang, pemeliharaan berkala untuk kerusakan ringan, serta peningkatan atau rekonstruksi pada kerusakan berat. Dengan prioritas penanganan yang tepat, kondisi jalan dapat dipertahankan bahkan ditingkatkan untuk menunjang kelancaran transportasi dan mobilitas masyarakat di wilayah tersebut.

Kata kunci: SDI (*Surface Distress Index*), Kerusakan Jalan, Kondisi Jalan, Identifikasi Jalan dan Penanganan Kerusakan Jalan.

ABSTRACT

This study was conducted to analyze the condition of road pavement damage on the 1,042-meter-long Pojok-Plemahan section using the *Surface Distress Index* (SDI) method. This method was chosen because it provides a quantitative assessment of the level of road pavement damage through visual surveys, thereby serving as the basis for determining the appropriate remedial measures. The survey was conducted through direct observation of each road segment based on kilometer markers (STA). The data collected included the type, length, and severity of damage, classified into good, moderate, minor, and severe conditions. The results of the study showed the following distribution of road conditions: 42 meters in good condition, 780 meters in moderate condition, 200 meters with minor damage, and 200 meters with severe damage. The segment in good condition was located at STA 1+000–1+042, spanning 42 meters. Moderate condition dominates the sections from STA 0+400 to 0+900 and from STA 0+900 to 1+000, with a total length of 600 meters. Slight damage was found in the section from STA 0+000 to 0+200, while severe damage occurred in the section from STA 0+200 to 0+400. Based on these results, recommended measures include routine maintenance for segments in moderate condition, periodic maintenance for minor damage, and upgrades or reconstruction for severe damage. With the right maintenance priorities, road conditions can be maintained and even improved to support smooth transportation and community mobility in the area.

Keywords: SDI (*Surface Distress Index*), Road Damage, Road Conditions, Road Identification, and Road Damage Management.

1. PENDAHULUAN

Jalan memiliki peran vital sebagai sarana transportasi darat yang mendukung pertumbuhan ekonomi, memperlancar arus lalu lintas, serta meningkatkan konektivitas antarwilayah [1]. Namun, kondisi jalan dapat menurun seiring waktu akibat beban lalu lintas berlebih, faktor cuaca, serta minimnya pemeliharaan rutin yang berkelanjutan. Kerusakan tersebut dapat berupa retak, lubang, hingga penurunan permukaan yang berpengaruh terhadap kenyamanan dan keselamatan pengguna jalan. Untuk menilai tingkat kerusakan secara objektif, metode Surface Distress Index (SDI) digunakan karena mampu memberikan penilaian kuantitatif terhadap kondisi perkerasan jalan berdasarkan hasil pengamatan visual di lapangan [2]. Sejumlah penelitian terdahulu telah menunjukkan efektivitas metode ini. Baihaqi et al. [3] melalui observasi langsung dan survei visual menemukan bahwa tingkat kerusakan ruas jalan Takengon–Blangkejeren mencapai 30,54% dari total panjang 12,63 km, dengan kondisi 45,02% baik dan 2,29% rusak berat. Penelitian Azuwar et al. [4] pada ruas Banda Aceh–Medan menggunakan kombinasi metode SDI, IRI, dan LHR, menunjukkan bahwa 55,80% dari 8 km ruas jalan mengalami kerusakan, dengan mayoritas berupa retak sebesar 68,67%. Penelitian Lutfie dan Fatahuddin [5] di Desa Peling Lalomo menemukan nilai SDI rata-rata 207, menunjukkan kondisi rusak berat pada 85% segmen jalan. Penelitian terbaru oleh Putri et al. [6] di Bali menunjukkan nilai SDI 18 dan PCI 63,8 (baik). Selain itu, Uzigita et al. [7] melaporkan bahwa ruas jalan Kebon Agung–Pepen di Malang memiliki 40% segmen dalam kondisi baik, 47% sedang, dan 13% rusak. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat kerusakan jalan pada ruas Pojok–Plemahan di Kabupaten Kediri menggunakan metode SDI, sehingga dapat diperoleh klasifikasi kondisi perkerasan dan rekomendasi penanganan yang tepat sebagai dasar perencanaan pemeliharaan jalan di wilayah tersebut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah lapisan campuran agregat dan bahan pengikat seperti semen atau aspal yang berfungsi menahan dan menyalurkan beban lalu lintas. Di Indonesia, jenis perkerasan yang paling banyak digunakan adalah perkerasan lentur. Lapisan ini terletak di antara tanah dasar dan roda kendaraan, berperan menanggung beban berulang setiap hari. Bagian teratas, yaitu lapis permukaan, paling rentan mengalami kerusakan akibat pengaruh air dan beban kendaraan [8].

2.2 Jenis Perkerasan Jalan

Menurut Silvia Sukirman [9] dalam Perkerasan Lentur Jalan Raya, konstruksi perkerasan jalan berdasarkan bahan pengikatnya dibagi menjadi tiga jenis, yaitu:

- a. Perkerasan lentur (flexible pavement), yakni perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat.
- b. Perkerasan kaku (rigid pavement), yaitu perkerasan yang menggunakan semen portland (portland cement) sebagai pengikat pelat beton, dengan atau tanpa tulangan, yang diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis fondasi bawah.
- c. Perkerasan komposit (composite pavement), yaitu kombinasi antara perkerasan kaku dan perkerasan lentur, yang dapat berupa perkerasan kaku di atas perkerasan lentur maupun sebaliknya.

Menurut Silvia Sukirman [9], berdasarkan bahan pengikatnya struktur perkerasan dibedakan menjadi:

- a. Perkerasan lentur (flexible pavement)
Jenis perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Setiap lapisan perkerasan berfungsi memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Umumnya, perkerasan lentur digunakan untuk jalan dengan lalu lintas ringan hingga sedang, seperti jalan perkotaan, dan dapat dibangun secara bertahap.
- b. Perkerasan kaku (rigid pavement)

Jenis perkerasan yang menggunakan semen portland (Portland cement) sebagai bahan pengikat. Pelat beton, baik bertulangan maupun tanpa tulangan, diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis fondasi bawah, dan beban lalu lintas sebagian besar ditanggung oleh pelat beton.

2.3 Kerusakan Perkerasan Aspal

Berdasarkan Modul B.1.1. Prasarana Transportasi: Campuran Beraspal Panas [10] yang diterbitkan oleh Departemen Kimpraswil Badan Penelitian dan Pengembangan, kerusakan yang dapat terjadi pada perkerasan aspal dibagi menjadi beberapa kategori, yaitu:

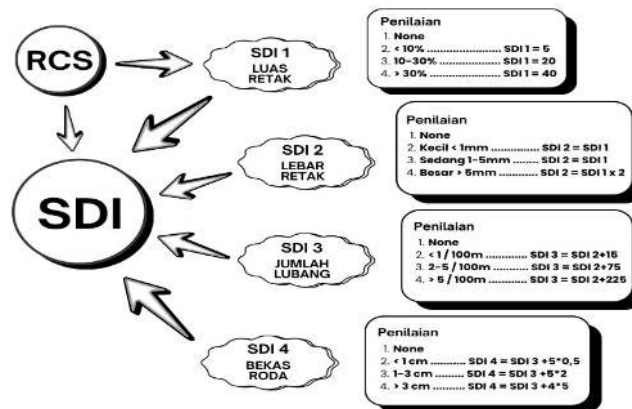
- Cacat permukaan, meliputi delaminasi, bleeding, pengausan, pelepasan butir, dan lubang.
- Retak, yang mencakup retak selip, retak kulit buaya, retak blok, retak memanjang, dan retak melintang.
- Deformasi, meliputi alur, keriting, depresi (amblas), pergeseran (shoving), serta deformasi plastis.

2.4 Faktor Penyebab Kerusakan Jalan

Menurut Silvia Sukirman [11], kerusakan pada konstruksi perkerasan jalan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

- Lalu lintas, baik akibat peningkatan beban maupun repetisi beban kendaraan.
- Air, yang berasal dari air hujan, sistem drainase yang kurang baik, atau naiknya air melalui kapilaritas.
- Material konstruksi perkerasan, yang kerusakannya dapat disebabkan oleh sifat material itu sendiri atau proses pengolahan bahan yang kurang baik.
- Iklim, terutama iklim tropis di Indonesia dengan suhu udara dan curah hujan yang tinggi, yang turut mempercepat kerusakan jalan.
- Kondisi tanah dasar yang tidak stabil, yang dapat terjadi akibat sistem pelaksanaan konstruksi yang kurang baik atau sifat tanah dasar yang memang buruk.
- Proses pemadatan lapisan di atas tanah dasar yang kurang optimal, yang dapat menimbulkan kerusakan.

2.5 Survei Kondisi Jalan (SKJ) / Road Condition Survey (RCS)



Gambar 1. Diagram Alir Pelaksanaan SKJ pada Jalan Beraspal[12]

2.6 Survei Evaluasi Kondisi Perkerasan Jalan

Menurut Silvia Sukirman [11], survei kondisi jalan terbagi menjadi dua jenis, yaitu survei kondisi permukaan dan survei kondisi struktur perkerasan. Survei permukaan menilai kenyamanan dan kerusakan jalan melalui pengujian menggunakan roughometer atau observasi visual terhadap jenis dan tingkat keparahan kerusakan. Sementara itu, survei struktur perkerasan bertujuan menilai kemampuan lapisan jalan menahan beban lalu lintas, yang dapat dilakukan dengan metode destruktif maupun non-destruktif.

2.7 Evaluasi Kondisi Perkerasan Jalan

Evaluasi kondisi perkerasan jalan merupakan tahap penting untuk menentukan prioritas perbaikan dan memastikan efektivitas pemeliharaan [13]. Evaluasi perlu dilakukan secara berkala untuk menilai dan memprediksi kinerja perkerasan dalam memenuhi fungsi kenyamanan, keamanan, dan efisiensi pelayanan [14]. Survei kondisi jalan umumnya dilakukan setahun sekali menggunakan data titik referensi, dan untuk jalan beraspal, disarankan dilakukan bersamaan dengan survei kekasaran permukaan agar hasilnya saling melengkapi. Evaluasi ini mencatat berbagai karakteristik yang menggambarkan kinerja jalan melalui sejumlah indeks, yang kemudian dibedakan menjadi dua jenis, yaitu evaluasi fungsional dan evaluasi struktural. Evaluasi fungsional berfokus pada karakteristik permukaan jalan yang berpengaruh langsung terhadap keselamatan, kenyamanan, dan tingkat pelayanan pengguna. Aspek yang dinilai meliputi kekesatan permukaan (skid resistance), tekstur permukaan (surface texture), serta tingkat ketidakrataan jalan (road roughness) sebagai indikator kenyamanan berkendara. Sementara itu, evaluasi struktural bertujuan menilai kemampuan perkerasan dalam menahan beban lalu lintas dan pengaruh lingkungan.

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 15/PRT/M/2007, survei kondisi jalan dilakukan menggunakan formulir berbeda untuk tiap jenis jalan, yaitu formulir jalan aspal serta formulir jalan tanah dan kerikil. Untuk jalan aspal, aspek yang dinilai mencakup kondisi permukaan perkerasan (kemiringan melintang, penurunan, erosi, dan tambalan), lapisan kerikil atau batu (ukuran, tebal, dan distribusi), jenis kerusakannya (jumlah dan ukuran lubang, bekas roda, dan kerusakan tepi), serta elemen pendukung seperti bahu jalan, saluran samping, dan lereng.

KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT
DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA

FORMULIR SURVEI KONDISI JALAN ASPAL

LAMPIRAN I
FORMULIR : SKJ 2-1
LEMBAR KE : DARI :

RUAS No : Nama : Dari KM : ke KM :	Status : Propinsi : Kab / Kod :	No : Nama : Nama : TGL :	Dikerjakan oleh : Tanda Tangan :
---	---------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------

Permukaan Perkerasan

Susunan

☐ 1 Baik / Rapat

☐ 2 Kasar

Kondisi / Keadaan

☐ 1 Baik/tidak ada

☐ 2 Aspal berlebihan

☐ 3 Lepas-lepas

☐ 4 Hancur

% Penurunan

☐ 1 Tidak ada

☐ 2 < 10 % luas

☐ 3 10 - 30 % luas

☐ 4 > 30 % luas

% Tambalan

☐ 1 Tidak ada

☐ 2 < 10 % luas

☐ 3 10 - 30 % luas

☐ 4 > 30 % luas

Retak - retak

Jenis

☐ 1 Tidak ada

☐ 2 Tidak berhubungan

☐ 3 Saling berhubungan (Bidang luas)

☐ 4 Saling berhubungan (Bidang sempit)

Lebar

☐ 1 Tidak ada

☐ 2 Halus < 1 mm

☐ 3 Sedang 1 - 5 mm

☐ 4 Lebar > 5 mm

% Luas

☐ 1 Tidak ada

☐ 2 < 10 % luas

☐ 3 10 - 30 % luas

☐ 4 > 30 % luas

Kerusakan Lain

Jumlah Lubang

☐ 1 Tidak ada

☐ 2 = 1 / 100 M

☐ 3 2 - 5 / 100 M

☐ 4 > 5 / 100 M

Ukuran Lubang

☐ 1 Tidak ada

☐ 2 Kecil dangkal

☐ 3 Kecil dalam

☐ 4 Besar dangkal

☐ 5 Besar dalam

Bekas Roda

☐ 1 Tidak ada

☐ 2 < 1 cm dalam

☐ 3 1-3 cm dalam

☐ 4 3 cm dalam

Kerusakan Tepi

☐ 1 Tidak ada

☐ 2 Ringan

☐ 3 Berat

Bahu, Saluran Samping dan Lain-lain

Kondisi Bahu

☐ 1 Tidak ada

☐ 2 Baik / Rata

☐ 3 Bekas Rd/Erosi ringan

☐ 4 Bekas Rd/Erosi berat

Permukaan Bahu

☐ 1 Tidak ada

☐ 2 Ditas permukaan jalan

☐ 3 Rata dengan permukaan Jalan

☐ 4 Dibawah permukaan Jalan

☐ 5 > 10 cm dibawah permukaan jalan

Kondisi Saluran Samping

☐ 1 Tidak ada

☐ 2 Bersih

☐ 3 Tertutup / Tersumbat

☐ 4 Erosi

Kerusakan Lereng

☐ 1 Tidak ada

☐ 2 Longsor / Runtuh

Trotoar

☐ 1 Tidak ada

☐ 2 Baik / Aman

☐ 3 Berbahaya

Ukuran lubang kecil (diameter < 0.5m); Besar (diameter ≥ 0.5 m); Dangkal (Kedalaman < 5 cm); Dalam (Kedalaman ≥ 5 cm)
Status Ruas Jalan : N = Nasional; P = Propinsi; M = Kota Madya K = Kabupaten

Gambar 2. Diagram Alir Pelaksanaan SKJ pada Jalan Beraspal [12]

2.8 Sistem Penilaian Kondisi Permukaan

Evaluasi kondisi perkerasan jalan umumnya menggunakan dua parameter utama, yaitu *Surface Distress Index* (SDI) dan *International Roughness Index* (IRI). SDI merupakan metode penilaian kondisi jalan berdasarkan pengamatan visual terhadap tingkat kerusakan, seperti luas dan lebar retakan, jumlah lubang, serta kedalaman alur bekas roda kendaraan. Berdasarkan Panduan Survei Kondisi Jalan No. SDM 03/RCS, pemeriksaan dilakukan per segmen sepanjang 100 meter dan hasilnya dihitung menggunakan standar penilaian Bina Marga untuk menghasilkan nilai SDI yang mencerminkan tingkat kerusakan permukaan jalan. Sementara itu, IRI digunakan

untuk mengukur tingkat ketidakrataan permukaan jalan secara memanjang, yang berhubungan langsung dengan kenyamanan dan keselamatan berkendara. Indeks ini menggambarkan seberapa halus atau kasar permukaan jalan yang dirasakan pengendara selama perjalanan.

2.9 Surface Distress Index

Salah satu parameter penting dalam evaluasi kondisi perkerasan jalan adalah Surface Distress Index (SDI). SDI merupakan skala kinerja jalan yang diperoleh melalui pengamatan visual terhadap kerusakan di lapangan [15]. Nilai SDI dipengaruhi oleh tiga faktor utama, yaitu kondisi retak pada permukaan, jumlah lubang, dan kedalaman bekas roda kendaraan. Perhitungannya dilakukan secara akumulatif berdasarkan tingkat kerusakan, kemudian hasilnya digunakan untuk menentukan kategori kondisi perkerasan jalan.

Tabel 1. Kondisi Perkerasan Jalan Berdasarkan Nilai SDI

Kondisi Jalan	SDI
Baik	<50
Sedang	50 – 100
Rusak Ringan	100 – 150
Rusak Berat	>150

2.10 Tata Cara Menilai SDI (*Surface Distress Index*) Jalan

Tahapan penilaian kondisi jalan dengan metode SDI dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

1. Menentukan SDI1 dengan menghitung total luas retak (total area of cracks). Setelah total luas retak dihitung, hitung nilai SDI1 berdasarkan klasifikasi berikut:

- Tidak ada.
- Luas retak < 10 %, nilai SDI1 = 5
- Luas retak 10 - 30 %, nilai SDI1 = 20
- Luas retak > 30 %, nilai SDI1 = 40

2. Menentukan SDI2 dengan menghitung lebar rata-rata retak (average crack width). Setelah lebar rata-rata retak dihitung. Tentukan nilai SDI2 berdasarkan klasifikasi berikut:

- Tidak ada.
- Lebar rata-rata retak < 1 mm, maka SDI2 = SDI1
- Lebar rata-rata retak 1 - 5 mm, maka SDI2 = SDI1
- Lebar rata-rata retak > 5 mm, maka SDI2 = SDI1 x 2

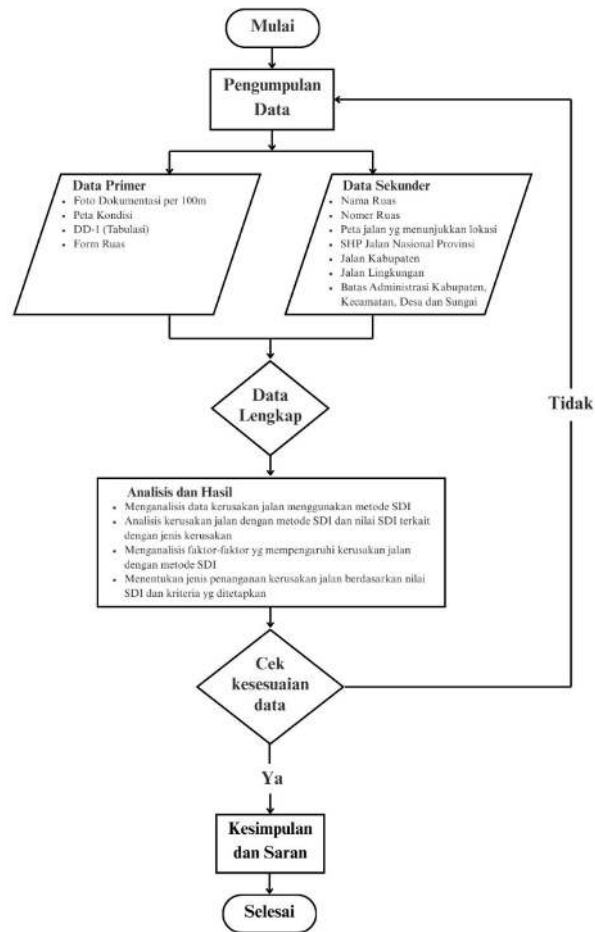
3. Menentukan SDI3 berdasarkan jumlah lubang yang ada setiap 1 km. Setelah jumlah lubang/km dihitung. Tentukan nilai SDI3 berdasarkan klasifikasi berikut:

- Tidak ada lubang.
- Apabila jumlah lubang < 10/km, maka nilai SDI3 = SDI2 + 15
- Apabila jumlah lubang 10 – 50/km, maka nilai SDI3 = SDI2 + 75
- Apabila jumlah lubang > 50/km, maka nilai SDI3 = SDI2 + 225

4. Menentukan nilai SDI berdasarkan kedalaman bekas roda kendaraan.

- Tidak ada.
- Kedalaman rutting < 1 cm, diperoleh nilai X = 0,5
- Kedalaman rutting 1 - 3 cm, diperoleh nilai X = 2, maka nilai SDI yaitu: SDI4 = SDI3 + (5 x X)
- Kedalaman rutting > 3 cm, maka nilai SDI yaitu: SDI4 = SDI3 + 20

3. METODE PENELITIAN



Gambar 3. Diagram Alur Penelitian

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada ruas jalan Pojok-Plemahan, Kabupaten Kediri. Lokasi ini dipilih berdasarkan pertimbangan kondisi jalan yang menunjukkan adanya kerusakan visual yang cukup signifikan serta merupakan jalur transportasi penting di kawasan tersebut. Lokasi penelitian ditentukan melalui survei awal dan pengukuran langsung di lapangan, dengan titik awal dari STA 0+000 hingga STA 1+042 seperti Gambar 3.



Gambar 3. Peta Lokasi Penelitian

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian diawali dengan survei lapangan pada 21 Oktober 2024 untuk mengidentifikasi lokasi dan panjang segmen perkerasan lentur di ruas Jalan Pojok-Plemahan, Kabupaten Kediri. Survei dilakukan sejak pukul 08.35 hingga 17.00 untuk mengumpulkan data jenis kerusakan dan tingkat rata-rata permukaan jalan. Penelitian ini menggunakan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui survei geometri dan survei Surface Distress Index (SDI). Survei geometri dilakukan untuk mengukur dimensi jalan dan menentukan titik awal hingga akhir ruas penelitian (STA 0+000 – STA 1+042), sedangkan survei SDI dilakukan secara visual dengan berjalan kaki menyusuri ruas jalan untuk mencatat jenis, lokasi, dan luas kerusakan. Pengumpulan data dilengkapi dengan formulir SDI dan K1/RNI, GPS handheld, peta jaringan jalan, serta perlengkapan keselamatan. Data sekunder meliputi peta jalan Pojok-Plemahan dari instansi terkait.

3.3 Teknik Analisa Data

Data yang sudah diperoleh selanjutnya akan dilakukan analisa data. Pada penelitian ini analisa data meliputi:

1. Analisa Data Geometri

Untuk data geometri yang sudah diperoleh ketika penelitian dilakukan analisa berupa:

- Menentukan ukuran perkerasan jalan, bahu, saluran menggunakan Roll Meter
- Menentukan jarak per 100 meter menggunakan odometer di GPS Handheld
- Mendokumentasikan perkerasan, bahu, saluran setiap 100 meter
- Memberikan penandaan (marking) menggunakan GPS Handheld

2. Analisa Data SDI

Data SDI yang diperoleh dari penelitian kemudian dianalisis melalui beberapa tahap, yaitu:

- Menentukan bobot nilai persentase luas retak (SDI1) pada setiap unit segmen.
- Menghitung nilai lebar retak (SDI2) berdasarkan bobot kerusakan lebar retak.
- Menentukan bobot jumlah lubang (SDI3) dengan memasukkan nilai SDI2 ke dalam klasifikasi jumlah lubang.
- Menghitung bobot kedalaman bekas roda (SDI4) dengan menggunakan nilai SDI3.
- Nilai SDI akhir diperoleh dari hasil perhitungan SDI4.
- Menentukan kondisi permukaan perkerasan jalan dan jenis penanganan yang sesuai untuk setiap segmen berdasarkan nilai SDI tersebut.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Identifikasi Kerusakan

Berdasarkan hasil identifikasi diketahui panjang ruas jalan dan kondisi jalan yang dikaji berdasarkan patok per segmen 100 m. patok STA 0+000 – 1+042 dengan total panjang 1.042 meter. Ruas jalan Pojok-Plemahan yang ada di Kabupaten Kediri memiliki jenis 2/2UD dan dilapisi dengan aspal, namun ada beberapa bagian tepatnya pada STA 0+770 - STA 0+820 yang dilapisi dengan beton. Untuk lebar jalan konstan dari STA 0+000 - 0+770 selebar 2.50 meter dan berubah menjadi 4.50 meter pada STA 0+770 - STA 0+820 dilanjutkan dengan STA 0+820 - STA 1+042 memiliki lebar 2.50 meter.

Untuk bahu jalan kanan dan kiri memiliki jenis bahu lunak dengan lebar yang bervariasi. Dimulai dari STA 0+000 - STA 0+100 selebar 0.50 meter, STA 0+100 - STA 0+200 selebar 1.00 meter. Untuk STA 0+200 - STA 0+300 memiliki lebar 0.50 meter. Dilanjutkan dengan STA 0+300 - STA 0+500 memiliki lebar 1.00 meter. Selanjutnya yaitu STA 0+500 - STA 0+820 memiliki lebar 2.00 meter. Namun ruas bahu jalan kembali menjadi 1.00 meter pada STA 0+820 - STA 1+042. Pada ruas Jalan Pojok-Plemahan Kabupaten Kediri juga memiliki saluran samping namun tidak pada semua ruas. Saluran samping hanya ada pada STA 0+000 - STA 0+200 yang tersusun dari pas batu terbuka dengan lebar 1.00 meter. Saluran samping pada ruas ini hanya ada di sebelah kiri ruas jalan saja.

Untuk terrain pada ruas ini tidak ditemukan, dan untuk alinemennya berupa datar dan lurus. Tata guna lahan adalah kanan kiri diisi dengan perumahan. Pada ruas jalan Pojok - Plemahan yang membentang dari 0+000 hingga 1+042, terdapat beragam data terkait kondisi jalan dan karakteristiknya. Misalnya, pada segmen 0+000 hingga 0+100 sepanjang 100 meter, permukaan jalan memiliki struktur tipe 1 dengan kondisi baik pada kedua sisi. Tingkat penurunan permukaan dan tambalan jalan juga dalam keadaan baik. Selain itu, terdeteksi retakan jenis 2 dengan lebar sedang di kedua sisi. Bahu jalan berada pada kategori 2 untuk kedua sisi, dengan permukaan bahu dalam kondisi sedang. Sementara itu, saluran samping, kerusakan lereng, dan trotoar semuanya dalam kondisi baik. Sebagai contoh lain, pada segmen 0+400 hingga 0+500 sepanjang 100 meter, permukaan jalan memiliki struktur tipe 2 pada kedua sisi, dengan kondisi permukaan sedang di sisi kiri dan baik di sisi kanan. Tanda-tanda penurunan dan tambalan pada kedua sisi berada pada level sedang. Retakan jenis 2 dengan lebar sedang juga terdeteksi di kedua sisi.

Kondisi bahu jalan menunjukkan kerusakan ringan di kedua sisi, dengan permukaan bahu dalam kondisi sedang. Saluran samping, kerusakan lereng, dan trotoar tetap dalam kondisi baik. Pada segmen 1+000 hingga 1+042 sepanjang 42 meter, permukaan jalan menunjukkan struktur tipe 2 di kedua sisi dengan indikasi kerusakan ringan. Retakan jenis 2 dengan lebar ringan ditemukan di kedua sisi. Bahu jalan, permukaan bahu, saluran samping, kerusakan lereng, dan trotoar semuanya berada dalam kondisi baik. Untuk mengetahui kondisi kerusakan jalan dapat dilakukan dengan mengidentifikasi kondisi jalan pada ruas jalan Pojok-Plemahan Kediri.

4.2 Hasil Analisis

Setelah diketahui kerusakan jalan, maka peneliti melakukan analisis kerusakan jalan dengan menggunakan metode Surface Distress Index (SDI). Ruas jalan Pojok - Plemahan, dengan nomor ruas 121, membentang dari patok 0+000 hingga 1+042. Pada segmen 0+000 hingga 0+200, dengan panjang 200 meter, jalan ini memiliki nilai SDI 115 dan dikategorikan rusak ringan, dengan retakan luas sebanyak 20, retakan lebar 20, jumlah lubang 75, dan tanpa bekas roda. Untuk segmen 0+200 hingga 0+400, kondisi jalan memburuk menjadi rusak berat dengan nilai SDI 155, menunjukkan retakan luas 40, retakan lebar 40, jumlah lubang 75, dan tidak ada bekas roda. Kemudian, dari patok 0+400 hingga 1+000, kondisi jalan berada pada kategori sedang dengan nilai SDI 55, retakan luas 20, retakan lebar 20, jumlah lubang 15, dan tanpa bekas roda, dengan panjang segmen bervariasi (100 meter, 70 meter, 30 meter, 20 meter, dan 80 meter). Pada segmen terakhir, 1+000 hingga 1+042 sepanjang 42 meter, kondisi jalan baik dengan nilai SDI 35, retakan luas 20, tanpa retakan lebar, jumlah lubang 15, dan tidak ada bekas roda.

Berdasarkan perhitungan kemandapan, total panjang ruas jalan ini adalah 1.042 meter, dengan 642 meter dalam kondisi mantap (terdiri dari 42 meter baik dan 600 meter sedang) serta 400 meter tidak mantap (terdiri dari 200 meter rusak ringan dan 200 meter rusak berat). Setelah didapatkan hasil identifikasi ruas jalan, maka langkah selanjutnya yaitu memasukkan data tersebut kedalam aplikasi GIS dan menghasilkan produk berupa peta kondisi jalan ruas Pojok-Plemahan Kediri. Berdasarkan evaluasi kondisi ruas jalan Pojok - Plemahan, sebagian besar jalan masih dalam keadaan baik, mencakup 1 segmen dengan panjang 42 meter. Namun, terdapat beberapa segmen yang membutuhkan perhatian khusus, yaitu 10 segmen (600 meter) dengan kondisi sedang, 2 segmen (200 meter) yang mengalami kerusakan ringan, dan 2 segmen (200 meter) lainnya yang telah mencapai kondisi rusak berat. Kondisi ini menekankan pentingnya segera melakukan perbaikan, terutama pada segmen-segmen dengan kerusakan berat, guna menjaga kenyamanan dan keamanan bagi pengguna jalan.

4.3 Jenis Penanganan

Berdasarkan perhitungan SDI pada tabel di atas dapat diketahui bahwa:

- a. Pada STA 0+000 – 0+200 sepanjang 200 meter, kondisi jalan termasuk dalam kategori rusak ringan. Sehingga pada segmen ini direkomendasikan untuk dilakukan pemeliharaan berkala agar kerusakan tidak berkembang lebih parah.
- b. Selanjutnya, pada STA 0+200 – 0+400 dengan panjang 200 meter, kondisi jalan dikategorikan menjadi rusak berat. Sehingga direkomendasikan untuk memerlukan tindakan peningkatan atau rekonstruksi karena tingkat kerusakan yang cukup serius.

- c. Pada STA 0+400 – 0+900 yang meliputi panjang total 500 meter (terdiri dari STA 0+400 – 0+500, STA 0+500 – 0+600, STA 0+600 – 0+700, STA 0+700 – 0+770, STA 0+770 – 0+800, STA 0+800 – 0+820, dan STA 0+820 – 0+900), kondisi jalan tergolong sedang. Untuk segmen ini, jenis penanganan yang direkomendasikan adalah dengan pemeliharaan rutin.
- d. Pada STA 0+900 – 1+000 sepanjang 100 meter, kondisi jalan juga berada dalam kategori sedang, sehingga memerlukan pemeliharaan rutin.
- e. Terakhir, pada STA 1+000 – 1+042 sepanjang 42 meter, kondisi jalan masih tergolong baik. Meskipun demikian, agar kualitas tetap terjaga, diperlukan tindakan pemeliharaan rutin.

Secara keseluruhan, distribusi kondisi jalan adalah: 42 meter kondisi baik, 600 meter kondisi sedang, 200 meter rusak ringan, dan 200 meter rusak berat. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa mayoritas ruas jalan berada dalam kategori sedang, sehingga pemeliharaan rutin menjadi penanganan yang paling dominan. Namun demikian, terdapat segmen-segmen prioritas yang membutuhkan perhatian khusus, yaitu segmen dengan kerusakan ringan yang perlu pemeliharaan berkala, serta segmen dengan kerusakan berat yang harus segera ditangani melalui peningkatan atau rekonstruksi

5. KESIMPULAN

Hasil penelitian terhadap ruas jalan Pojok-Plemahan di Kabupaten Kediri menggunakan metode *Surface Distress Index* (SDI) menunjukkan bahwa jenis kerusakan utama yang ditemukan adalah retak sebesar 4,96% dengan lebar lebih dari 5 mm dan lubang sebesar 31,96% dari total panjang ruas, sementara kerusakan akibat penurunan alur tidak terdeteksi. Berdasarkan hasil analisis SDI, kondisi jalan sepanjang 1.042 meter terbagi menjadi beberapa kategori: 42 meter dalam kondisi baik (STA 1+000–1+042), 600 meter dalam kondisi sedang (STA 0+400–1+000), 200 meter rusak ringan (STA 0+000–0+200), dan 200 meter rusak berat (STA 0+200–0+400). Secara umum, kondisi jalan masih tergolong mantap, tetapi segmen dengan kerusakan ringan dan berat memerlukan perhatian khusus.

Untuk menjaga kinerja dan umur layanan jalan, disarankan agar dinas terkait segera memperbaiki ruas dengan kerusakan berat, melakukan pemeliharaan rutin pada ruas kondisi sedang, serta tetap menggunakan metode SDI sebagai alat evaluasi berkala karena sifatnya yang cepat dan objektif. Penelitian selanjutnya disarankan mengintegrasikan SDI dengan parameter lain seperti *International Roughness Index* (IRI) atau *Falling Weight Deflectometer* (FWD) agar hasil evaluasi kondisi jalan menjadi lebih komprehensif dan akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Republik Indonesia, “Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 34 Tahun 2006 tentang Jalan,” *Transportation (Amst)*, vol. 1, no. January, 2006.
- [2] Rapat Piter Sony Hutauruk, “Pengaruh Infrastruktur Terhadap Pertumbuhan Ekonomi di Kabupaten Simalungun,” *Jurnal Ekuilnomi*, vol. 3, no. 1, 2021, doi: 10.36985/ekuilnomi.v3i1.118.
- [3] Baihaqi, S. M. Saleh, and R. Anggraini, “Tinjauan Kondisi Perkerasan Jalan Dengan Kombinasi Nilai International Roughness Index (IRI) dan Surface Distress Index (SDI) Pada Jalan Takengon – Blangkejeren,” *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 3, no. 1, pp. 543–552, Jan. 2018.
- [4] A. Zulmi, M. Mulizar, and G. Fitri, “Evaluasi Tingkat Kerusakan Permukaan Jalan Dan Penanganannya Menggunakan Metode Bina Marga (Studi Kasus Ruas Jalan Raya Banda Aceh–Medan Bna Sta ...,” *Jurnal Sipil Sains Terapan*, vol. 1, no. 1, 2017.
- [5] M. Lutfie and S. Fatahuddin, “Analisis Jenis Kerusakan dan Penanganan Ruas Jalan Desa Peling Lalomo Berdasarkan Metode Surface Distres Index (SDI),” *SIPARSTIKA: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik*, vol. 4, no. 1, pp. 39–49, 2024.
- [6] D. A. P. A. G. Putri, I. B. Suryabrata, P. Ariawan, and I. K. A. Ariana, “Evaluasi Jenis Kerusakan Jalan menggunakan Metode PCI dan Bina Marga (Studi Kasus : Jalan Gunung

- Agung Denpasar),” *Potensi: Jurnal Sipil Politeknik*, vol. 24, no. 2, 2022, doi: 10.35313/potensi.v24i2.4139.
- [7] S. M. M. Uzigita, Burhamtoro, and Supiyono, “Evaluasi Tingkat Kerusakan Jalan Dan Penanganannya Menggunakan Metode Surface Distress Index (Sdi) Pada Jalan Raya Kebon Agung-Jalan Raya Pepen Kabupaten Malang,” *Jurnal JOS-MRK*, vol. 4, no. September, 2023.
- [8] A. Saleh, M. Anggraini, and R. Hardianto, *Perkerasan Jalan Lentur (Teori dan Aplikasi)*. Media Sains Indonesia, 2022.
- [9] S. Sukirman, “Perkerasan Lentur Jalan Raya, Nova, Bandung.,” *Buku*, vol. 3, no. 85, 1992.
- [10] F. Affandi, “Sifat campuran beraspal panas dengan asbuton butir,” *Jurnal Jalan–Jembatan*, vol. 26, no. 2, 2009.
- [11] S. Sukirman, “Dasar-dasar Perencanaan Geometrik Jalan,” *Nova, Bandung*, vol. 201, 1999.
- [12] K. P. Umum, “Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 15/PRT/M/2007, Tentang Pedoman Survei Kondisi Jalan Tanah dan atau Kerikil dan Kondisi Rinci Jalan Beraspal untuk Jalan Antar Kota,” 15/PRT/M/2007, Tentang Pedoman Survei Kondisi Jalan Tanah dan atau Kerikil ..., 2007.
- [13] A. Zulfikar, T. Arifin, S. Fauziah Badaron, M. Haris, and A. Gecong, “Analisa Penilaian dan Penanganan Kondisi Jalan Menggunakan metode SDI, RCI dan IRI di Ruas Jalan Maros – Pangkep,” *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil (JIMATEKS)*, vol. 1, no. 3, 2019.
- [14] F. L. Desei, Y. Kadir, and A. Z. Ende, “Evaluasi Kerusakan Jalan Menggunakan Metode Surface Distress Index dan International Roughness Index,” *Konstruksia*, vol. 15, no. 1, 2023, doi: 10.24853/jk.15.1.67-77.
- [15] N. F. Ohorella, H. H. Roberth, and M. D. Soumokil, “Evaluasi Kerusakan Perkerasan Lentur Jalan dengan Menggunakan Metode Surface Distress Index (SDI) serta Alternatif Penanganannya (Studi Kasus : Jalan Passo - Tulehu),” *Jurnal Penelitian Multidisiplin Bangsa*, vol. 1, no. 10, 2025, doi: 10.59837/jpnmb.v1i10.357.