

ANALISIS KERUSAKAN JALAN BERBASIS IoT (*Internet Of Things*) UNTUK PEMELIHARAAN JALAN RAYA MENGGUNAKAN ROAD DAMAGE ANALYSIS (RDAKEYS)

IoT (Internet Of Things) BASED ROAD DAMAGE ANALYSIS FOR HIGHWAY MAINTENANCE USING ROAD DAMAGE ANALYSIS (RDAKEYS)

Yeheskial Makandoloe, Ketut M. Kuswara dan Jakobis J. Massakh

Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan FKIP Undana

E-mail: yeheskialmakandoloe@gmail.com, ketutmahendra@staf.undana.ac.id dan jakobismessakh@staf.undana.ac.id

Abstrak

Jalan raya merupakan infrastruktur vital yang mendukung aktivitas masyarakat dan perkembangan ekonomi. Namun, kerusakan jalan yang disebabkan oleh beban lalu lintas dan faktor lingkungan sering kali menjadi tantangan dalam pemeliharaan. Teknologi *Internet of Things* (IoT) menawarkan solusi inovatif melalui alat RDAKeys (*Road Damage Analysis Keys*) untuk analisis kerusakan jalan. Alat ini dirancang untuk mengukur parameter kerusakan jalan seperti panjang, lebar, kedalaman, luas, dan volume secara otomatis dan akurat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat RDAKeys efektif mendeteksi dan mengukur kerusakan jalan, dengan tingkat akurasi hingga 95,65% untuk panjang, 90,9% untuk lebar, 100% untuk kedalaman, 86,95% untuk luas, dan 95,4% untuk volume. Dengan kemampuan ini, alat RDAKeys memberikan data real-time yang membantu pengambilan keputusan dalam pemeliharaan jalan secara efisien. Penggunaan teknologi IoT juga mengurangi subjektivitas dan risiko dalam survei manual, serta mendukung keberlanjutan infrastruktur jalan raya. Alat ini diharapkan menjadi solusi cerdas untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas pemeliharaan jalan, sekaligus memperpanjang umur layanan infrastruktur jalan raya.

Kata Kunci: *IoT, Kerusakan Jalan, RDAkeys, Pemeliharaan Jalan, Akurasi Pengukuran*

Abstract

Roads are vital infrastructure supporting societal activities and economic growth. However, road damage caused by traffic loads and environmental factors often poses challenges in maintenance. Internet of Things (IoT) technology offers innovative solutions through the RDAKeys (*Road Damage Analysis Keys*) tool for road damage analysis. This tool is designed to measure road damage parameters such as length, width, depth, area, and volume automatically and accurately. Testing results indicate that the RDAKeys tool is effective in detecting and measuring road damage, achieving accuracy rates of up to 95.65% for length, 90.9% for width, 100% for depth, 86.95% for area, and 95.4% for volume. With these capabilities, the RDAKeys tool provides real-time data to support efficient road maintenance decision-making. The use of IoT technology also reduces subjectivity and risks associated with manual surveys, while promoting sustainable road infrastructure. This tool is expected to serve as a smart solution to enhance the efficiency and quality of road maintenance, thereby extending the service life of road infrastructure.

Keywords: *Internet Of Things, Road Damage, RDAkeys, Road Maintenance, Measurement Accuracy*

PENDAHULUAN

Jalan raya merupakan salah satu prasarana vital yang menunjang pertumbuhan ekonomi, sosial, dan mobilitas suatu negara. Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia No. 38 Tahun 2004 tentang jalan, infrastruktur jalan memiliki peran strategis dalam meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan mendukung pengembangan kehidupan berbangsa. Jalan darat menjadi kebutuhan utama masyarakat untuk menunjang aktivitas sehari-hari, seperti distribusi barang, transportasi umum, hingga akses pendidikan dan layanan kesehatan.

Namun, tingginya intensitas penggunaan jalan akibat pertumbuhan ekonomi dan peningkatan kesejahteraan masyarakat menyebabkan frekuensi kendaraan meningkat. Hal ini berdampak pada turunnya tingkat pelayanan jalan yang ditandai dengan kerusakan lapisan

perkerasan. Kerusakan jalan, baik berupa retakan, lubang, maupun deformasi lainnya, merupakan tantangan besar yang memengaruhi efisiensi transportasi, menambah risiko kecelakaan, dan memperbesar biaya perawatan.

Seiring dengan kemajuan teknologi, pendekatan otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) mulai menjadi solusi inovatif dalam pengelolaan infrastruktur jalan. Teknologi IoT memungkinkan pengumpulan data secara real-time melalui sensor yang terintegrasi, memberikan informasi akurat mengenai kondisi jalan tanpa memerlukan survei manual yang intensif. Dengan demikian, perbaikan dapat dilakukan lebih cepat dan efisien.

Dalam konteks ini, alat **Road Damage Analysis Keys** (RDAKeys) berbasis IoT dirancang untuk mengidentifikasi dan mengukur parameter kerusakan

jalan, seperti panjang, lebar, kedalaman, luas, dan volume. Alat ini tidak hanya menawarkan efisiensi dalam pengumpulan data, tetapi juga meningkatkan akurasi pengukuran dan mempercepat pengambilan keputusan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem berbasis IoT yang mampu mendukung pemeliharaan jalan secara efektif dan berkelanjutan, sekaligus menjadi langkah awal menuju penerapan teknologi cerdas dalam pengelolaan infrastruktur jalan raya.

Dengan mengintegrasikan teknologi modern, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi nyata dalam mengatasi permasalahan kerusakan jalan, memperbaiki kualitas infrastruktur, dan meningkatkan keselamatan pengguna jalan.

TINJAUAN PUSTAKA

Jalan raya adalah infrastruktur penting yang mendukung mobilitas manusia dan barang. Namun, kualitas jalan sering mengalami kerusakan, yang terbagi menjadi beberapa jenis, seperti retak, lubang, dan deformasi. Kerusakan ini umumnya disebabkan oleh faktor seperti beban kendaraan berlebih, kondisi cuaca, dan kurangnya pemeliharaan yang rutin. Menurut Tamelan,dkk (2024) mengemukakan bahwa kerusakan jalan selain karena beban kendaraan diatasnya juga hal yang perlu diperhatikan limpasan permukaan air hujan, jenis tanah dan fasilitas pendukung seperti saluran pembuangan jalan raya yang menyebabkan terjadinya penurunan muka tanah dan terjadi retak dan patahan akibat longsoran. Untuk mengatasi kerusakan ini, diperlukan upaya pemeliharaan jalan yang meliputi inspeksi, perbaikan, dan pemantauan kondisi jalan secara berkala.

Kemajuan teknologi, khususnya *Internet of Things* (IoT), membuka peluang baru dalam pemantauan jalan. IoT memungkinkan perangkat untuk saling terhubung dan bertukar data secara real-time. Sistem kontrol berbasis IoT menggunakan mikrokontroler seperti NodeMCU ESP8266, yang mampu mengintegrasikan sensor dan mengirimkan data ke platform online. NodeMCU ESP8266 memiliki fitur konektivitas Wi-Fi yang efisien, menjadikannya pilihan utama dalam proyek berbasis IoT.

Sensor *ultrasonik* HC-SR04 digunakan untuk mengukur jarak, termasuk kedalaman lubang jalan, dengan presisi tinggi. Data dari sensor ini dapat ditampilkan pada perangkat seperti *LCD* 16x2 untuk mempermudah visualisasi. Komponen tambahan seperti *soket USB*, kabel *jumper*, dan perangkat lunak seperti *Visual Studio Code*, *Arduino IDE*, dan *Fritzing* mendukung pengembangan dan pengujian perangkat IoT. *Arduino IDE* digunakan untuk menulis dan mengunggah kode ke mikrokontroler, sementara *Fritzing* membantu membuat desain rangkaian elektronik yang jelas.

Platform Blynk memberikan solusi berbasis aplikasi untuk mengontrol dan memantau perangkat IoT dari

jarak jauh. Melalui *Blynk*, data dari sensor dapat dikirim dan dipantau melalui *smartphone*, memungkinkan pengguna untuk mendapatkan informasi kondisi jalan secara *real-time*.

Penelitian sebelumnya menunjukkan berbagai metode untuk mendeteksi kerusakan jalan. Beberapa menggunakan teknologi sensor, mikrokontroler, dan aplikasi berbasis IoT. Penelitian ini menjadi dasar pengembangan solusi inovatif dalam pemeliharaan jalan, terutama dengan mengintegrasikan perangkat keras dan lunak untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan efisien.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan model *prototype*. *Prototipe* ini bertujuan mendemonstrasikan konsep, menguji desain, dan menemukan solusi untuk analisis kerusakan jalan. Model ini memungkinkan pengguna memahami sistem dan mengevaluasi kinerjanya.

Penelitian dilakukan pada titik jalan berlubang kecil di Jln. Gor Flobamora, Kota Kupang, untuk menguji akurasi alat. Observasi dilakukan pada Juni–Juli 2024, sementara analisis data berlangsung pada Juli–September 2024.

- 1) Observasi: Mengamati langsung kondisi jalan untuk mencatat jenis dan tingkat kerusakan secara sistematis.
- 2) Dokumentasi: Mengumpulkan data tertulis, foto, atau catatan elektronik sebagai bukti dan sumber informasi.
- 3) Triangulasi: Memverifikasi data dengan menggabungkan berbagai sumber dan teknik untuk meningkatkan kredibilitas.

Pengolahan data berbasis IT dilakukan untuk mengevaluasi keefektifan alat prototipe dalam membaca dan menganalisis tingkat kerusakan jalan. Data yang diolah meliputi jenis kerusakan dan luasan kerusakan jalan.

Analisis deskriptif digunakan untuk menggambarkan karakteristik data melalui tabel dan grafik. Validasi alat dilakukan dengan membandingkan hasil output alat dengan data empiris menggunakan metode statistik seperti *Absolute Mean Error* (AME) dan *Absolute Variation Error* (AVE) untuk menentukan tingkat akurasi.

Penelitian ini juga memanfaatkan studi literatur sejak awal untuk memahami konsep dasar perancangan alat dan teknologi pendukung berbasis IoT.

Metodologi ini diharapkan menghasilkan alat sederhana berbasis IoT yang efektif untuk analisis kerusakan jalan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

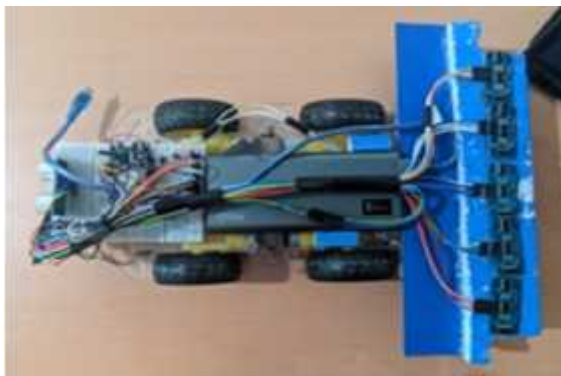
Pada pengujian RDA alat analisis kerusakan lubang jalan raya berbasis IoT ini, seluruh komponen utama akan ditempatkan di dalam model perangkat yang dibuat

menggunakan bahan dasar akrilik dengan ukuran panjang 22 cm, lebar 26 cm, dan tinggi 4 cm.

Perangkat ini dirancang khusus untuk mensimulasikan situasi di lapangan dengan presisi tinggi. Sensor ultrasonik yang berjumlah sepuluh unit akan diposisikan di bagian atas sisi dalam akrilik untuk mendeteksi lubang dan mengukur kedalamannya. Komponen pendukung lainnya, seperti mikrokontroler ESP32 dan sumber daya, akan diletakkan dibagian bawah kotak untuk menjaga kestabilan Alat RDA.

Untuk memastikan pemisahan yang baik antara area komponen elektronik dan area sensor, pembatas akrilik akan digunakan sebagai sekat. Akses untuk pengujian dan perawatan Alat RDA akan dilakukan melalui bagian atas kotak akrilik untuk meminimalisir risiko keretakan pada akrilik. Sebelum dilakukan pengujian Alat RDA secara keseluruhan, *source code* telah dirancang mencakup instruksi dasar untuk setiap komponen yang digunakan, termasuk konfigurasi sensor ultrasonik, pengiriman data melalui IoT, dan pemrosesan sinyal pada mikrokontroler.

peletakan komponen pendukung dari alat RDA yang akan dibuat ini, semua komponen telah diletakkan di bagian khusus yang sudah didesain sebelumnya, seperti dapat dilihat pada gambar berikut:



Untuk pengujian keseluruhan alat RDA ini, nantinya alat RDA akan diuji pada 3 sampel yang dimana pada setiap sampelnya itu adalah lubang yang beraturan, lubang berbentuk bulat dan lubang dengan ukuran yang mamanjang.



Untuk sampel 1 diarea berdekatan dengan lubang berukuran 20x10, kemudian untuk pengukuran akan dilakukan sebanyak dua kali yaitu secara Sumbu X untuk mendapat hasil dari panjang alat, dan secara Sumbu Y untuk mendapatkan hasil Lebar, yang dimana pengukuran diulangi sebanyak 8 kali pengulangan agar

mendapatkan hasil yang real sesuai dengan ukuran aslinya. Berikut adalah hasil pada saat pengambilan data.

Model	Jumlah Pengulangan	Panjang	Lebar	Kedalaman	Luas	Volume
Sumbu X	1	43	26	6	1118	6708
	2	44	20	6	880	5280
	3	43	26	5	1118	5590
	4	42	25	4	1050	4200
	5	59	20	8	1180	9440
Sumbu Y	6	45	22	8	990	7920
	7	46	26	7	1196	8372
	8	45	26	8	1170	9360

Hasil uji coba alat RDA pada sampel 1 menunjukkan bahwa sensor dapat memberikan hasil deteksi yang stabil. Dimana jarak antara sensor dengan permukaan tanah yaitu sebesar 4 cm sehingga jika alat jika hasil yang muncul lebih dari 4 cm maka akan dianggap sebagai lubang jalan. Sensor akan mendeteksi lubang jalan apabila alat dijalankan dan saat alat berhenti maka sensor akan mulai mengkalkulasi perhitungan dari data yang direkam setiap sensor.

Perhitungan panjang diperoleh dari jarak yang ditempu dari alat RDA dikurangi ukuran alat RDA. Sementara perhitungan lebar diketahui dari lebar alat dikurangi jarak pembacaan antar sensor. Untuk jarak antar sensor sebesar 1 cm. Selanjutnya untuk kedalam lubang diperoleh dari rata-rata hasil bacaan sensor. Untuk mengetahui keakuratan dari alat dilakukan pengukuran secara manual dengan menggunakan mistar. Hasil yang diperoleh ialah sebagai berikut:



Rata-rata Hasil Sumbu X		Rata-rata Hasil Sumbu Y	
Panjang	43 cm	Panjang	45 cm
Lebar	26 cm	Lebar	25 cm
Kedalaman	5 cm	Kedalaman	8 cm
Luas	1118 cm ²	Luas	1125 cm ²
Volume	5708 cm ³	Volume	9000 cm ³

Dari perhitungan rata-rata pada pengukuran sumbu x dan sumbu y maka diperoleh bahwa rata-rata perhitungan menggunakan alat yang kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran manual.

Rata-rata Hitungan Manual		Rata-rata Hitungan Alat	
Panjang	22 cm	Panjang	23 cm
Lebar	10 cm	Lebar	11 cm
Kedalaman	4,3 cm	Kedalaman	4 cm
Luas	220 cm ²	Luas	253 cm ²
Volume	946 cm ³	Volume	1012 cm ³

Dari perhitunga rata-rata atas maka pengujian menggunakan rumus AME (*absolute mean error*)

dengan memakai sampel 1 sebagai perbandingan keakuratan alat, perhitungannya sebagai berikut:

Pengukuran Manual:

- Panjang = 22 cm
- Lebar = 10 cm
- Kedalaman = 4,3 cm
- Luas = 220 cm²
- Volume = 946 cm³

Pengukuran Menggunakan Alat:

- Panjang = 23 cm
- Lebar = 11 cm
- Kedalaman = 4 cm
- Luas = 253 cm²
- Volume = 1012 cm³

Selisih absolut antara pengukuran manual dan pengukuran menggunakan alat untuk setiap parameter:

- Panjang: $|23-22| = 1$ cm
- Lebar: $|11-10| = 1$ cm
- Kedalaman: $|4-4,3| = 0,3$ cm
- Luas: $|253-220| = 33$ cm²
- Volume: $|1012-946| = 66$ cm³

$$A = \frac{1}{5} \times (1 + 1 + 0,3 + 33 + 66)$$

$$A = \frac{1}{5} \times 101,3 = 20,26$$

Jadi, AME (*Absolute Measurement Error*) untuk data yang diberikan adalah 20,26 dan AVE (*absolute variation error*)

$$(\Delta x) = X_t - X \dots\dots\dots \text{Rumus 2}$$

- Panjang : $\Delta x = 23 - 22 = 1$
- Lebar : $\Delta x = 11 - 10 = 1$
- Kedalaman : $\Delta x = 4 - 4,3 = -0,3$ (hasil negatif karena alat mengukur lebih kecil dari manual)
- Luas : $\Delta x = 253 - 220 = 33$
- Volume : $\Delta x = 1012 - 946 = 66$

Dengan batas penyimpangan yang dapat ditolerir adalah 5 sampai 10%

Untuk mengetahui apakah alat sederhana yang dibuat dapat di terima secara akademik atau tidak, maka dari rumus di atas diperoleh hasil pengujian sebagai berikut:

- Panjang
 - Penyimpangan $\frac{1}{2} \times 100\% = 4,55\%$
 - Di bawah Toleransi 5%-10%
- Lebar
 - Penyimpangan $\frac{1}{1} \times 100\% = 10\%$
 - Toleransi 5%-10%
- Kedalaman
 - Penyimpangan $\frac{-0,3}{4,3} \times 100\% = 6,97\%$
 - Toleransi 5%-10%
- Luas
 - Penyimpangan $\frac{3}{2} \times 100\% = 15\%$
 - Di atas Toleransi 5%-10%

5. Volume

- Penyimpangan $\frac{6}{9} \times 100\% = 6,97\%$
- Toleransi 5%-10%

Jadi, hanya parameter Luas yang memiliki penyimpangan yang cukup besar di dalam batas toleransi (5%-10%). Sedangkan Parameter lebar, kedalaman, luas, dan volume menunjukkan penyimpangan di dalam batas toleransi yang dapat diterima

Sehingga hasil pengukuran manual dan pengukuran menggunakan alat menunjukkan selisih hasil yang kecil yang menandakan tingkat kesalahan dalam perhitungan yang kecil sehingga alat ini akurat dalam mendeteksi luas dan volume lubang.

Untuk sampel 2 diarea berdekatan dengan lubang berbentuk bulat tidak beraturan.



Kemudian untuk pengukuran akan dilakukan sebanyak dua kali yaitu secara Sumbu X untuk mendapat hasil dari panjang alat, dan secara Sumbu Y untuk mendapatkan hasil Lebar, yang dimana pengukuran diulangi sebanyak 8 kali pengulangan agar mendapatkan hasil yang *real* sesuai dengan ukuran aslinya.

Setelah melakukan pengukuran maka diperoleh hasil sebagai berikut:

Pengulangan	Ultrasc					
	1	2	3	4	5	6
1	8	8	9	9	6	7
2	9	7	9	6	8	8
3	7	6	7	6	9	6
4	7	6	9	8	7	7
5	6	9	8	9	6	9
6	9	8	7	7	9	7
7	6	9	6	8	7	8
8	8	9	8	6	7	6

Hasil uji coba alat RDA pada sampel 2 menunjukkan bahwa sensor dapat memberikan hasil deteksi yang stabil. Dimana jarak antara sensor dengan permukaan tanah yaitu sebesar 4 cm sehingga jika alat jika hasil yang muncul lebih dari 4 cm maka akan dianggap sebagai lubang jalan. Sensor akan mendeteksi lubang jalan apabila alat dijalankan dan saat alat berhenti maka sensor akan mulai mengkalkulasi perhitungan dari data yang direkam setiap sensor.

Perhitungan panjang diperoleh dari jarak yang ditempu dari alat RDA dikurangi ukuran alat RDA. Sementara perhitungan lebar diketahui dari lebar alat dikurangi jarak pembacaan antar sensor. Untuk jarak antar sensor sebesar 1 cm. Selanjutnya untuk kedalam lubang diperoleh dari rata-rata hasil bacaan sensor. Untuk mengetahui keakuratan dari alat dilakukan

pengukuran secara manual dengan menggunakan mistar. Hasil yang diperoleh ialah sebagai berikut:

Rata-rata Hasil		Rata-rata Hasil	
Sumbu X		Sumbu Y	
Panjang	37 cm	Panjang	39 cm
Lebar	25 cm	Lebar	28 cm
Kedalaman	6 cm	Kedalaman	7 cm
Luas	925 cm ²	Luas	1014 cm ²
Volume	3.350 cm ³	Volume	7.098 cm ³

Dari perhitungan rata-rata pada pengukuran sumbu x dan sumbu y maka diperoleh bahwa rata-rata perhitungan menggunakan alat yang kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran manual.

Rata-rata Hitungan Manual		Rata-rata Hitungan Alat	
Panjang	15,7 cm	Panjang	17 cm
Lebar	11,4 cm	Lebar	15 cm
Kedalaman	2,3 cm	Kedalaman	2 cm
Luas	178,98 cm ²	Luas	255 cm ²
Volume	411,654 cm ³	Volume	510 cm ³

Dari perhitungan rata-rata atas maka peneliti melakukan pengujian menggunakan rumus AME (*absolute mean error*) dengan memakai sampel 1 sebagai perbandingan keakuratan alat, perhitungannya sebagai berikut:

Pengukuran Manual:

- Panjang = 15,7 cm
- Lebar = 11,4 cm
- Kedalaman = 2,3 cm
- Luas = 178,98 cm²
- Volume = 411,654 cm³

Pengukuran Menggunakan Alat:

- Panjang = 17 cm
- Lebar = 15 cm
- Kedalaman = 2 cm
- Luas = 255 cm²
- Volume = 510 cm³

Selisih absolut antara pengukuran manual dan pengukuran menggunakan alat untuk setiap parameter:

- Panjang : $|17-15,7| = 1,3$ cm
- Lebar : $|15-11,4| = 3,6$ cm
- Kedalaman: $|2-2,3| = -0,3$ cm
- Luas : $|255-178,98| = 76$ cm²
- Volume : $|510-411,654| = 98,34$ cm³

$$A = \frac{1}{5} \times (1,3 + 3,6 + (-0,3) + 76 + 98,34)$$

$$A = \frac{1}{5} \times 178,94 = 35,78$$

Jadi, AME (*Absolute Measurement Error*) untuk data yang diberikan adalah 35,78 dan AVE (*absolute variation error*)

- Panjang : $|17-15,7| = 1,3$ cm
- Lebar : $|15-11,4| = 3,6$ cm
- Kedalaman: $|2-2,3| = -0,3$ cm
- Luas : $|255-178,98| = 76$ cm²
- Volume : $|510-411,654| = 98,34$ cm³

Dengan batas penyimpangan yang dapat di tolerir adalah 5 sampai 10%.

Untuk mengetahui apakah alat sederhana yang dibuat dapat diterima secara akademik atau tidak, maka dari rumus di atas diperoleh hasil pengujian sebagai berikut

1. Panjang

$$\bullet \text{ Penyimpangan } \frac{1,3}{1,7} \times 100\% = 8,28\%$$

$$\bullet \text{ Toleransi } 5\%-10\%$$

2. Lebar

$$\bullet \text{ Penyimpangan } \frac{3,6}{1,4} \times 100\% = 31,57\%$$

$$\bullet \text{ Di atas Toleransi } 5\%-10\%$$

3. Kedalaman

$$\bullet \text{ Penyimpangan } \frac{-0,3}{2,3} \times 100\% = -13,04\%$$

$$\bullet \text{ Di bawah Toleransi } 5\%-10\%$$

4. Luas

$$\bullet \text{ Penyimpangan } \frac{7}{1,9} \times 100\% = 42\%$$

$$\bullet \text{ Di atas Toleransi } 5\%-10\%$$

5. Volume

$$\bullet \text{ Penyimpangan } \frac{9,3}{4,5} \times 100\% = 23\%$$

$$\bullet \text{ Di atas Toleransi } 5\%-10\%$$

Jadi, hanya parameter Lebar, Luas, Volume yang memiliki penyimpangan yang cukup besar di dalam batas toleransi (5%-10%). Sedangkan Parameter panjang, dan kedalaman yang menunjukkan penyimpangan di dalam batas toleransi yang dapat diterima.

Sehingga Hasil pengukuran manual dan pengukuran menggunakan alat untuk sampel 2 ini menunjukkan selisih hasil sedang yang menandakan tingkat kesalahan dalam perhitungan yang kecil sehingga alat ini akurat dalam mendeteksi panjang dan kedalaman.

Untuk sampel 2 diarea berdekatan dengan lubang memanjang tidak beraturan.



Kemudian untuk pengukuran akan dilakukan sebanyak dua kali yaitu secara Sumbu X untuk mendapat hasil dari panjang alat, dan secara Sumbu Y untuk mendapatkan hasil Lebar, yang dimana pengukuran diulangi sebanyak 8 kali pengulangan agar mendapatkan hasil yang real sesuai dengan ukuran aslinya. Berikut adalah hasil gambar pada saat pengambilan data.

Setelah melakukan pengukuran pada sampel lubang 3, maka diperoleh hasil sebagai berikut:

Jumlah Pengulangan	Ultrsc 1	Ultrsc 2	Ultrsc 3	Ultrsc 4	Ultrsc 5	Ultrsc 6
1	5	7	6	7	6	5
2	5	8	7	8	7	6
3	7	8	7	6	7	8
4	6	8	8	6	8	7
5	7	6	6	7	7	6
6	5	7	8	8	7	8
7	7	8	6	6	6	7
8	6	6	7	7	6	6

Hasil uji coba alat RDA pada jalan raya menunjukkan bahwa sensor dapat memberikan hasil deteksi yang

stabil. Dimana jarak antara sensor dengan permukaan tanah yaitu sebesar 4 cm sehingga jika alat jika hasil yang muncul lebih dari 4 cm maka akan dianggap sebagai lubang jalan. Sensor akan mendeteksi lubang jalan apabila alat dijalankan dan saat alat berhenti maka sensor akan mulai mengkalkulasi perhitungan dari data yang direkam setiap sensor.

Perhitungan panjang diperoleh dari jarak yang ditempu dari alat RDA dikurangi ukuran alat RDA. Sementara perhitungan lebar diketahui dari lebar alat dikurangi jarak pembacaan antar sensor. Untuk jarak antar sensor sebesar 1 cm. Selanjutnya untuk kedalaman lubang diperoleh dari rata-rata hasil bacaan sensor. Untuk mengetahui keakuratan dari alat dilakukan pengukuran secara manual dengan menggunakan mistar. Hasil yang diperoleh ialah sebagai berikut:

Rata-rata Hasil Sumbu X		Rata-rata Hasil Sumbu Y	
Panjang	86 cm	Panjang	54 cm
Lebar	38 cm	Lebar	42 cm
Kedalaman	7 cm	Kedalaman	7 cm
Luas	2.454 cm ²	Luas	1.591 cm ²
Volume	17.458 cm ³	Volume	11.137 cm ³

Dari perhitungan rata-rata pada pengukuran sumbu x dan sumbu y maka diperoleh bahwa rata-rata perhitungan menggunakan alat yang kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran manual.

Rata-rata Hitungan Manual		Rata-rata Hitungan Alat	
Panjang	56,6 cm	Panjang	64 cm
Lebar	24,7 cm	Lebar	29 cm
Kedalaman	3,8 cm	Kedalaman	3 cm
Luas	1.398 cm ²	Luas	1.856 cm ²
Volume	5.313 cm ³	Volume	5.568 cm ³

Dari perhitunga rata-rata atas maka peneliti melakukan pengujian menggunakan rumus AME (absolute mean error) dengan memakai sampel 1 sebagai perbandingan keakuratan alat, perhitungannya sebagai berikut:

Pengukuran Manual:

- Panjang = 56,6 cm
- Lebar = 24,7 cm
- Kedalaman = 3,8 cm
- Luas = 1.398 cm²
- Volume = 5.313 cm³

Pengukuran Menggunakan Alat:

- Panjang = 64 cm
- Lebar = 29 cm
- Kedalaman = 3 cm
- Luas = 1.856 cm²
- Volume = 5.568 cm³

Selisih absolut antara pengukuran manual dan pengukuran menggunakan alat untuk setiap parameter:

- Panjang: $|64 - 56,6| = 7,4$ cm
- Lebar: $|29 - 11,4| = 4,3$ cm
- Kedalaman: $|3 - 3,8| = -0,8$ cm
- Luas: $|1.856 - 1.398| = 458$ cm²
- Volume: $|5.568 - 5.312| = 256$ cm³

$$A = \frac{1}{5} \times (7,4 + 4,3 + (-0,8) + 458 + 256)$$

$$A = \frac{1}{5} \times 724,9 = 144,98$$

Jadi, AME (*Absolute Measurement Error*) untuk data yang diberikan adalah 144,98 dan AVE (*absolute variation error*)

- Panjang: $|64 - 56,6| = 7,4$ cm
- Lebar: $|29 - 11,4| = 4,3$ cm
- Kedalaman: $|3 - 3,8| = -0,8$ cm
- Luas: $|1.856 - 1.398| = 458$ cm²
- Volume: $|5.568 - 5.312| = 256$ cm³

Dengan batas penyimpangan yang dapat di tolerir adalah 5 sampai 10%.

Untuk mengetahui apakah alat sederhana yang dibuat dapat di terima secara akademik atau tidak, maka dari rumus di atas diperoleh hasil pengujian sebagai berikut:

1. Panjang

- Penyimpangan $\frac{7,4}{56,6} \times 100\% = 13,07\%$
- Di atas Toleransi 5%-10%

2. Lebar

- Penyimpangan $\frac{4,3}{24,7} \times 100\% = 37,71\%$
- Di atas Toleransi 5%-10%

3. Kedalaman

- Penyimpangan $\frac{-0,8}{3,8} \times 100\% = -21,05\%$
- Di bawah Toleransi 5%-10%

4. Luas

- Penyimpangan $\frac{4}{1,3} \times 100\% = 32,76\%$
- Di atas Toleransi 5%-10%

5. Volume

- Penyimpangan $\frac{2}{5,3} \times 100\% = 4,81\%$
- Di atas Toleransi 5%-10%

Jadi, hanya parameter panjang, lebar, dan luas yang memiliki penyimpangan yang cukup besar di dalam batas toleransi (5%-10%). Sedangkan Parameter kedalaman dan volume yang menunjukkan penyimpangan di dalam batas toleransi yang dapat diterima.

Sehingga Hasil pengukuran manual dan pengukuran menggunakan alat untuk sampel 3 ini menunjukkan selisih hasil besar yang menandakan tingkat kesalahan dalam perhitungan untuk lubang memanjang tidak beraturan sehingga alat belum stabil dalam mendeteksi luas dan volume dari lubang sampel 3.

Dari pengujian alat pada ketiga sampel lubang yaitu lubang yang beraturan berbentuk persegi panjang, lubang bulat tidak beraturan dan lubang memanjang tidak beraturan. Untuk ketiga lubang tersebut mempunyai ukuran yang kecil sehingga alat RDA bias melewati lubang tersebut untuk mengukur.

Pada pengukuran tersebut diperoleh keakuratan sebagai berikut:

Keakuratan data antara hasil pengukuran menggunakan alat dan juga perhitungan pada sampel 1 adalah sebagai berikut:

$$a. \text{ Panjang} = \frac{2}{2} \times 100 = 95,65\%$$

- b. Lebar $= \frac{1}{1} \times 100 = 90,90\%$
 c. Kedalaman $= \frac{4,3}{4} \times 100 = 100\%$
 d. Luas $= \frac{2}{2} \times 100 = 86,95\%$
 e. Volume $= \frac{9}{1} \times 100 = 93,47\%$

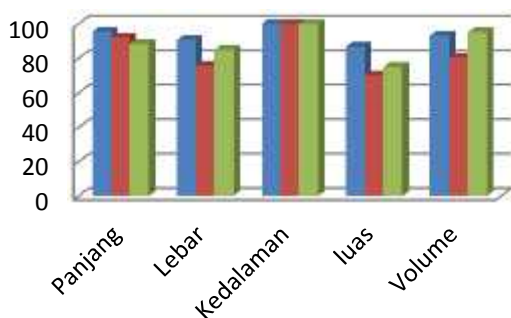
Keakuratan data antara hasil pengukuran menggunakan alat dan juga perhitungan adalah sebagai berikut:

- a. Panjang $= \frac{1,7}{1} \times 100 = 92,35\%$
 b. Lebar $= \frac{1,4}{1} \times 100 = 76\%$
 c. Kedalaman $= \frac{2,3}{2} \times 100 = 100\%$
 d. Luas $= \frac{1,9}{2} \times 100 = 70,18\%$
 e. Volume $= \frac{4,6}{5} \times 100 = 80,71\%$

Diperoleh keakuratan data antara hasil pengukuran menggunakan alat dan juga perhitungan adalah sebagai berikut:

- a. Panjang $= \frac{5,6}{6} \times 100 = 88,43\%$
 b. Lebar $= \frac{2,7}{2} \times 100 = 85,17\%$
 c. Kedalaman $= \frac{3,2}{3} \times 100 = 100\%$
 d. Luas $= \frac{1,3}{1,8} \times 100 = 75,32\%$
 e. Volume $= \frac{5,3}{5,5} \times 100 = 95,40\%$

Dari perhitungan keakuratan di atas maka diperoleh diagram keakuratan sebagai berikut:



	Lubang Beraturan (Persegi)	Lubang bulat tidak beraturan	lubang memanjang tidak beraturan
Panjang	95.65	92.35	88.43
Lebar	90.9	76	85.17
Kedalaman	100	100	100
luas	86.95	70.18	75.32
Volume	93.47	80.71	95.4

Diagram di atas adalah "Diagram Keakuratan Alat RDA" yang menunjukkan tingkat akurasi alat RDA (*Road Damage Analysis*) dalam mengukur beberapa parameter (Panjang, Lebar, Kedalaman, Luas, dan Volume) untuk tiga jenis lubang jalan:

1. Lubang Beraturan (Persegi)

- Lubang Bulat Tidak Beraturan
- Lubang Memanjang Tidak Beraturan

Penjelasan Detail:

1. Parameter yang Diukur

- Panjang: Akurasi pengukuran panjang lubang.
- Lebar: Akurasi pengukuran lebar lubang.
- Kedalaman: Akurasi pengukuran kedalaman lubang.
- Luas: Akurasi penghitungan luas permukaan lubang.
- Volume: Akurasi penghitungan volume lubang.

2. Jenis Lubang

- Lubang Beraturan (Persegi):
 - o Akurasi tinggi di semua parameter, terutama pada Kedalaman (100%).
 - o Panjang dan lebar mencapai 95.65% dan 90.9%, sedangkan luas dan volume sedikit lebih rendah (86.95% dan 93.47%).
 - o Alat bekerja sangat baik untuk lubang dengan bentuk teratur.
- Lubang Bulat Tidak Beraturan:
 - o Akurasi lebih rendah dibandingkan dengan lubang persegi, terutama pada lebar (76%) dan luas (70.18%).
 - o Akurasi tinggi tetap terlihat pada kedalaman (100%) dan panjang (92.35%).
 - o Tantangan terletak pada bentuk yang tidak beraturan.
- Lubang Memanjang Tidak Beraturan:
 - o Akurasi lebih rendah dibandingkan dua jenis lubang sebelumnya, terutama untuk lebar (85.17%) dan luas (75.32%).
 - o Volume memiliki akurasi yang cukup baik (95.4%) dan kedalaman tetap akurat (100%).

3. Interpretasi Data

- Kedalaman merupakan parameter yang selalu memiliki akurasi 100% untuk semua jenis lubang.
- Akurasi alat lebih tinggi untuk lubang dengan bentuk beraturan (persegi) dibandingkan bentuk tidak beraturan (bulat atau memanjang).
- Pengukuran luas dan volume lebih menantang untuk lubang dengan bentuk tidak beraturan, menunjukkan bahwa alat mungkin memerlukan penyempurnaan pada algoritma penghitungan untuk menangani bentuk kompleks.

Diagram di atas menunjukkan perbandingan hasil pengukuran lima parameter (Panjang, Lebar, Kedalaman, Luas, dan Volume) untuk tiga sampel yang berbeda (Sampel 1, Sampel 2, dan Sampel 3). Data tersebut disajikan dalam bentuk diagram batang dengan nilai persentase untuk masing-masing parameter.

KESIMPULAN

Alat RDAKeys mampu mengukur tingkat kerusakan jalan raya dengan kerusakan kecil secara efektif, ditunjukkan oleh hasil pengujian yang berhasil mendeteksi luas dan volume lubang pada sampel jalan dengan akurasi yang cukup tinggi, baik melalui pengukuran otomatis maupun manual. Hasil uji coba alat

menunjukkan bahwa rancangan alat ini efektif digunakan untuk mendeteksi jalan berlubang. Hasil pengukuran menggunakan alat untuk 3 sampel menunjukan hasil yang stabil

Alat RDAKeys mampu membaca pengukuran kerusakan jalan dengan tingkat kerusakan kecil secara akurat, dengan keakuratan yang bervariasi pada parameter panjang (hingga 95,65%), lebar (hingga 90,9%), kedalaman (100% pada semua sampel), luas (hingga 86,95%), dan volume (hingga 95,4%), menunjukkan bahwa alat ini dapat memberikan hasil yang konsisten dan dapat diandalkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, M., Betaubun, H., Utary, C., Pamuttu, D. L., & Pasalli, D. A. (2023). Identifikasi Jenis Dan Tingkat Kerusakan Jalan Pada Sistem Jaringan Jalan Perkotaan. *Journal of Research and Inovation in Civil Engineering as Applied Science (RIGID)*, 2(1), 7–13. <https://doi.org/10.58466/rigid.v2i1.1161>
- Daos, M. A., Kuswara, K. M., & Messakh, J. J. (2025). Analisis Tingkat Kerusakan Pada Jalan Penkase-Oeleta Kecamatan Alak Kota Kupang Dengan Menggunakan Metode Bina Marga: Analysis Of The Level Of Damage On The Penkase-Oeleta Road, Alak District, Kupang City Using The Delivery Method. *BATAKARANG*, 6(1a), 109–117.
- Devi Pratama, E., Ayuningtyas, M., & Kuntari, T. (2024). Prosiding SNFA (Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya) 2021 Perancangan Alat Perhitungan Besarnya Luas dan Volume pada Lubang Jalan Raya. 21–29.
- Hamid, A., & Sodikin, A. (2020). Identifikasi Kerusakan Jalan pada Jalan Larangan Pamulihan Kabupaten Brebes. *Infratech Building Journal (IJB)*, 1(01), 21–28.
- Hidayatullah, P., Ferizal, F., Ramadhan, R. H., Qadarsih, B., & Mulyawan, F. (1970). Pendeteksian Lubang Di Jalan Secara Semi-Otomatis. *Sigma-Mu*, 4(1), 41–51. <https://doi.org/10.35313/sigmamu.v4i1.864>
- Idestio, B.D. and Wirayuda, T.A.B. 2014. Alternatif Pengukuran Luas Lubang Jalan Berbasis Data Video Menerapkan Threshold-based Marking dan GLCM. *INKOM Journal*, 7(2): 57-65.
- Kumalawati, A., Radja Pono, H. M., & Bunganaen, W. (2023). Analisis Kerusakan Jalan dan Penanganannya Pada Ruas Jalan Timor Raya Km. 4 – Km. 7. *JURNAL FORUM TEKNIK SIPIL (J-ForTekS)*, 3(2), 49–59. <https://doi.org/10.35508/forteks.v3i2.12272>
- Lanjewar, B., Khedkar, J., Sagar, R., Pawar, R., & Gosavi, K. (2015). Survey of road bump and intensity detection algorithms using smartphone sensors. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 6(6), 5133-5136.
- Lasarus, R., Lalamentik, L. G., & Waani, J. E. (2020). Analisa Kerusakan Jalan Dan Penanganannya Dengan Metode Pci (Pavement Condition Index) (Studi Kasus: Ruas Jalan Kauditan (By Pass)–Airmadidi; Sta 0+ 770–Sta 3+ 770). *Jurnal Sipil Statik*, 8(4).
- Margo, P. D. (2023). “Analisa Kerusakan Jalan Pada Lapis Permukaan Perkerasan (Studi Kasus Jl. Lingkar Selatan (Doctoral *dissertation*, Universitas Batanghari Jambi).
- Riswandi, M., Suteja, W., & Hasym. (2015). Aplikasi Program Civil 3D dan PAHS Untuk Perencanaan Teknis Jalan (Studi Kasus Jalan Pengsong - Pantai Kuranji). 1–12.
- Sambasivam, R., Ranjith, C., Jerome, T., & Kumar, V. A. (2019). Design And Fabrication Of Automated Wheel Chair. *Technology (Ajast)*, 6(04).
- Sasmito, B., Setiadji, B. H., & Isnanto, R. (2023). Deteksi Kerusakan Jalan Menggunakan Pengolahan Citra Deep Learning di Kota Semarang. *Teknik*, 44(1), 7–14. <https://doi.org/10.14710/teknik.v44i1.51908>
- Sohail Aslam1, Maqsood Ahmad2, H. F. A. and S. E. (2021). Prototype Pendeteksi Kebocoran. *Paper Knowledge. Toward a Media History of Documents*, 7(2), 1–18. http://www.joi.isoss.net/PDFs/Vol-7-no-2-2021/03_J_ISOSS_7_2.pdf
- Sutarno, W., & Alwi, A. (2003). Analisis penanganan pemeliharaan jalan berdasarkan kondisi kerusakan jalan (studi kasus: jalan kebangkitan nasional kec. pontianak utara). *Teknik Sipil*, 1(1), 12.
- Tamelan, P. G., Nendissa, D. R., Krisnayanti, D. S., Cornelis, R., Hangge, E. E., Simatupang, P. H., & Banunaek, N. (2024). Post-landslide liquefaction analysis: A case study in the Kupang regency area, Indonesia. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 14(2), 583-597.
- Tullah, R., Mustafa, S. M., & Nugraha, D. E. A. (2019). Sistem Keamanan Rumah Berbasis Mikrokontroler Arduino dan SMS Gateway. *Academic Journal of Computer Science Research*, 1(1). <https://doi.org/10.38101/ajcsr.v1i1.232>
- Wegmann, E., Oberst, U., Stodt, B., & Brand, M. (2017). Online-specific fear of missing out and Internet-use expectancies contribute to symptoms of Internet-communication disorder. *Addictive Behaviors Reports*, 5, 33-42.
- Yusri, A. Z. dan D. (2020). *Jurnal Ilmu Pendidikan*, 7(2), 809–820.
- Yusta, T. E., Kuswara, K. M., & Messakh, J. J. (2022). Kajian Tingkat Kerusakan Jalan Dengan Metode Pci Pada Jalan Kejora Kota Kupang: Study Of Road Damage Level With Pci Method On Kejora Street, Kupang City. *BATAKARANG*, 3(1), 1-5.