

TUGAS AKHIR

EVALUASI HASIL KALIBRASI DAN VALIDASI ALAT SURVEI KETIDAKRATAAN JALAN INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX (IRI) BERDASARKAN SNI 3426:2022

*Diajukan untuk memenuhi satu syarat akademis dalam menyelesaikan Pendidikan
Tingkat Sarjana (Strata-1) Teknik Sipil*

Disusun oleh:

Ade Kurniawan

2112211146



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SANGGA BUANA YPKP BANDUNG**

2026

LEMBAR PENGESAHAN DAN PERSETUJUAN

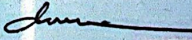
**EVALUASI HASIL KALIBRASI DAN VALIDASI ALAT
SURVEI KETIDAKRATAAN JALAN *INTERNATIONAL*
ROUGHNESS INDEX (IRI) BERDASARKAN SNI 3426:2022**

Disusun Oleh:
Ade Kurniawan
NPM. 2112211146

Karya Tulis Berupa Skripsi Ini Diperiksa dan Disetujui Sebagai Syarat Kelulusan
Mata Kuliah Skripsi Program Studi Teknik Sipil Universitas Sangga Buana YPKP

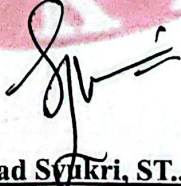
Bandung, Februari 2026

Menyetujui dan Mengesahkan,
Dosen Pembimbing,


Ir. Dody Kusmana, MT.

NIK. 432.200.168

Mengetahui:
Ketua Program Studi Teknik Sipil
Universitas Sangga Buana YPKP


Muhammad Syukri, ST., MT.

NIK : 432.200.200

**LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI
TUGAS AKHIR**

**EVALUASI HASIL KALIBRASI DAN VALIDASI ALAT
SURVEI KETIDAKRATAAN JALAN *INTERNATIONAL*
ROUGHNESS INDEX (IRI) BERDASARKAN SNI 3426:2022**

Disusun oleh:

Ade Kurniawan

2112211146

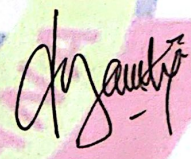
Tugas Akhir ini diperiksa dan disetujui sebagai kelengkapan persyaratan
kelulusan, guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil Program Studi
Teknik Sipil Universitas Sangga Buana YPKP Bandung

Mengetahui:

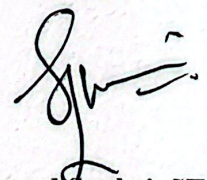
Disetujui Oleh:
Dosen Penguji 1

Disetujui Oleh:
Dosen Penguji 2


Drs. Tia Sugiri, S.T., M.Pd
NIP. 196104171986011001


Ir. Yanti Irawati, S.T., M.T.
NIP. 432.200.198

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Universitas Sangga Buana YPKP


Muhammad Syukri, ST., MT.

NIK : 432.200.200

**EVALUASI HASIL KALIBRASI DAN VALIDASI ALAT
SURVEI KETIDAKRATAAN JALAN *INTERNATIONAL*
ROUGHNESS INDEX (IRI) BERDASARKAN SNI 3426:2022**

Oleh:

Ade Kurniawan

Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik



Hak Cipta dilindungi Undang-Undang.

Tugas Akhir ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian,
Dengan dicetak ulang, difotocopy, atau cara lainnya tanpa ijin dari penulis.

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang Berjudul **“EVALUASI HASIL KALIBRASI DAN VALIDASI ALAT SURVEI KETIDAKRATAAN JALAN *INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX (IRI)* BERDASARKAN SNI 3426:2022”** sepenuhnya merupakan hasil karya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai norma, kaidah dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi apabila ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya ini.

Bandung, Februari 2026

Pembuat Pernyataan



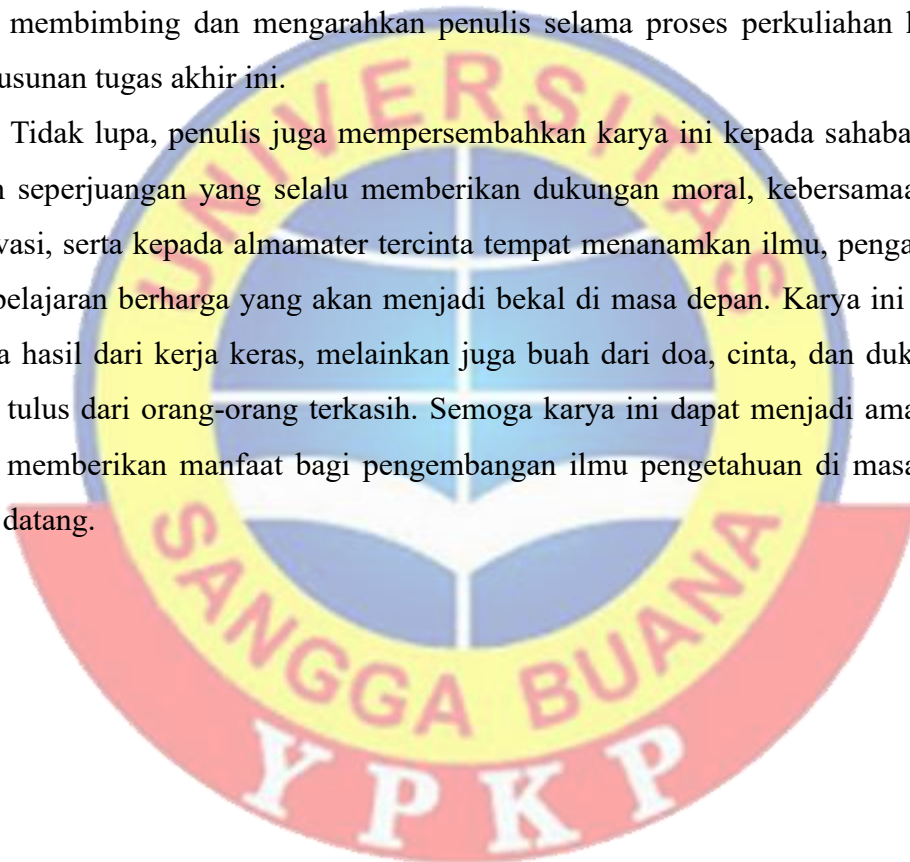
Ade Kurniawan

2112211146

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan Rahmat, karunia, dan kekuatan yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik. Dengan segala kerendahan hati, karya ini penulis persembahkan kepada orang tua tercinta atas doa, kasih sayang, dan dukungan yang tiada henti, kepada keluarga besar yang senantiasa memberikan semangat, serta kepada para dosen dan pembimbing yang dengan penuh dedikasi telah membimbing dan mengarahkan penulis selama proses perkuliahan hingga penyusunan tugas akhir ini.

Tidak lupa, penulis juga mempersembahkan karya ini kepada sahabat serta rekan seperjuangan yang selalu memberikan dukungan moral, kebersamaan dan motivasi, serta kepada almamater tercinta tempat menanamkan ilmu, pengalaman dan pelajaran berharga yang akan menjadi bekal di masa depan. Karya ini bukan hanya hasil dari kerja keras, melainkan juga buah dari doa, cinta, dan dukungan yang tulus dari orang-orang terkasih. Semoga karya ini dapat menjadi amal baik serta memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di masa yang akan datang.



ABSTRAK

Penelitian ini mengkaji tentang hasil kalibrasi dan validasi alat survei ketidakrataan jalan *International Roughness Index* (IRI) BERDASARKAN SNI 3426:2022 merupakan langkah krusial untuk memastikan akurasi dan reliabilitas data yang diperoleh. Kalibrasi dilakukan untuk menyesuaikan alat dengan standar pengukuran yang telah ditetapkan, sehingga hasil pengukuran dapat mencerminkan kondisi sebenarnya di lapangan. Proses ini melibatkan pengujian alat dalam berbagai kondisi dan perbandingan dengan alat ukur yang lebih akurat atau standar. Dengan kalibrasi yang tepat, alat survei IRI dapat memberikan data yang konsisten dan dapat diandalkan.

Selain kalibrasi, validasi juga penting untuk memastikan bahwa alat survei IRI dapat menghasilkan data yang relevan dan sesuai dengan tujuan survei. Validasi melibatkan pengujian alat di lapangan dan membandingkan hasilnya dengan data yang sudah ada atau dengan pengukuran independen. Proses ini membantu mengidentifikasi potensi kesalahan atau bias dalam pengukuran, serta memastikan bahwa alat berfungsi dengan baik dalam berbagai kondisi. Dengan melakukan kalibrasi dan validasi secara rutin, pengguna dapat meningkatkan kepercayaan terhadap data yang dihasilkan, yang pada gilirannya mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik dalam perencanaan dan pengelolaan infrastruktur.

Dengan mengukur ketidakrataan jalan menggunakan IRI, pihak berwenang dapat mengidentifikasi area yang memerlukan perhatian khusus, seperti jalan dengan tingkat kerusakan parah atau jalan yang berpotensi membahayakan keselamatan pengguna. Data IRI juga digunakan untuk menilai efektivitas program pemeliharaan jalan dan mengembangkan strategi perbaikan yang lebih efisien. Dengan demikian, IRI tidak hanya berfungsi sebagai indikator teknis, tetapi juga sebagai alat manajemen yang mendukung perencanaan dan pemeliharaan infrastruktur jalan secara berkelanjutan.

Kata Kunci: Kalibrasi dan validasi, *international roughness index*, survei kondisi jalan, ketidakrataan permukaan jalan, Kondisi perkerasan jalan.

ABSTRACT

This study examines the results of calibration and validation of the International Roughness Index (IRI) road surface roughness survey equipment based on SNI 3426:2022 as a crucial step to ensure the accuracy and reliability of the obtained data. Calibration is carried out to align the equipment with established measurement standards, ensuring that the measurement results accurately represent actual field conditions. This process involves testing the equipment under various conditions and comparing the results with those from more accurate or reference instruments. Proper calibration enables IRI survey instruments to provide consistent and reliable data.

In addition to calibration, validation is also essential to ensure that the IRI survey instrument produces relevant data consistent with the survey objectives. Validation involves field testing and comparing the results with existing data or independent measurements. This process helps identify potential measurement errors or biases and ensures that the instrument performs well under different conditions. Regular calibration and validation enhance confidence in the data produced, thereby supporting better decision-making in infrastructure planning and management.

By measuring road roughness using the IRI, authorities can identify areas that require special attention, such as roads with severe damage or those posing safety risks to users. IRI data are also used to evaluate the effectiveness of road maintenance programs and to develop more efficient rehabilitation strategies. Thus, the IRI functions not only as a technical indicator but also as a management tool that supports sustainable road infrastructure planning and maintenance.

Keywords: *Calibration and validation, International Roughness Index, road condition survey, surface roughness, pavement condition.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan atas Kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan karunianya, penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“EVALUASI HASIL KALIBRASI DAN VALIDASI ALAT SURVEI KETIDAKRATAAN JALAN *INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX (IRI)* BERDASARKAN SNI 3426:2022”** tepat pada waktunya. Penyusunan Skripsi ini disusun berdasarkan hasil observasi/pengamatan langsung, dan mengumpulkan data dari penelitian selama penulis melakukan penelitian di Lapangan.

Skripsi ini diajukan sebagai salah satu syarat akademis dalam menyelesaikan pendidikan tingkat sarjana untuk (Strata-1) Teknik Sipil di Universitas Sangga Buana YPKP Bandung. Segala daya dan upaya penulis lakukan demi terselesaikannya Skripsi ini dengan sebaik-baiknya, walaupun penyusunan ini masih sangat jauh dari kata sempurna, untuk itu penulis berharap adanya kritik dan saran yang membangun dari pembaca untuk kesempurnaan penyelesaian Skripsi ini.

Dengan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada yang terhormat:

1. Dr. Didin Saepudin, SE., M.Si, selaku Rektor Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
2. Dr. Teguh Nurhadi Suharsono, ST., M.T, selaku Wakil Rektor I Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
3. Bambang Susanto, SE., M.Si, Selaku Wakil Rektor II Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
4. Dr. Nurhaeni Sikki, S,AP., M.AP, Selaku Wakil Rektor III Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
5. Slamet Risnanto, ST., M.Kom., Ph.D, selaku Ketua Dekan Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
6. Dr. Djoko Pitoyo, ST., M.Sc, selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana – YPKP Bandung.
7. Muhammad Syukri, ST., MT Selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
8. Dea Yunita Sari, ST., MT selaku Sekertaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Sangga Buana – YPKP Bandung.

9. Ir. Dody Kusmana, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing Skripsi Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
10. Orang Tua yang selalu memberikan dukungan dengan baik secara moril dan materil serta doa.
11. Rekan-rekan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Sangga Buana YPKP Bandung yang selalu memberikan dorongan dan motivasi kepada penulis.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam mengerjakan laporan ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk itu penulis mengharapkan kritikan dan saran yang sifatnya membangun dan tercapainya perbaikan mutu dan kesempurnaan di masa yang akan datang. Besar harapan kami semoga Laporan Skripsi ini dapat memberikan manfaat dan bertambah ilmu, serta bagi yang membaca laporan ini pada umumnya.

Bandung, Februari 2026

Penulis,

Ade Kurniawan

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Peneliti	4
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Pembatasan Masalah	5
1.6. Sistematika Penulisan	5
BAB II LANDASAN TEORI	7
2.1. Konsep Ketidakrataan	7
2.1.1. Parameter Ketidakrataan Jalan	7
2.2. <i>International Roughness Index</i> (IRI)	8
2.2.1. Sejarah dan Perkembangan IRI	8
2.2.2. Metode Pengukuran IRI	8

2.2.3.	Standar IRI yang Berlaku Secara Internasional dan Nasional	9
2.2.4.	Standar Nasional untuk Pengukuran Kondisi Jalan	10
2.3.	Alat Survei Ketidakrataan Jalan	11
2.3.1.	Jenis – jenis Alat Survei yang Digunakan	11
2.4.	Kalibrasi dan Validasi Alat Ukur	20
2.4.1	Konsep Kalibrasi dan Pentingnya	20
2.4.2	Proses Kalibrasi Alat Ukur	21
2.4.3	Proses Validasi dan Metode yang Umum Digunakan	22
2.5.	Penelitian Terdahulu	25
BAB III METODE PENELITIAN		33
3.1.	Pendahuluan Metodolgi Penelitian	33
3.2.	Lokasi dan Objek Penelitian	34
3.2.1.	Kriteria Penelitian Lokasi Penelitian	34
3.2.2.	Sample Uji yang Digunakan	35
3.2.3.	Jenis – jenis Alat Survei IRI yang di Evaluasi	36
3.2.4.	Kendaraan yang Digunakan Survei	37
3.2.5.	Parameter yang Diukur	38
3.2.6.	Jadwal dan Frekuensi Pengukuran	39
3.3.	Alat dan Bahan Penelitian	40
3.3.1.	Alat Survei <i>IRI</i>	40
3.3.2.	Kendaraan Survei	41

3.4.	Prosedur Penelitian.....	42
3.4.1.	Tahap Persiapan Penelitian	42
3.4.2.	Tahap Persiapan Kalibrasi dan Validasi Alat Survei IRI.....	43
3.5.	Metode Analisa Data	50
3.5.1.	Metode Analisis Statistik untuk Evaluasi Hasil Kalibrasi	50
3.5.2.	Metode Analisis Statistik untuk Evaluasi Hasil Validasi	51
3.5.3.	Metode Analisis Perbandingan Antar Alat Survei.....	53
3.5.4.	Metode Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Hasil Pengukuran.....	54
3.5.5.	Kriteria Evaluasi dan Interpretasi Hasil	56
3.6.	Tahap Evaluasi Alat Survei IRI.....	57
3.6.1.	Evaluasi Akurasi.....	57
3.6.2.	Evaluasi Presisi	57
3.6.3.	Evaluasi Linieritas.....	57
3.6.4.	Evaluasi Konsistensi	58
3.6.5.	Evaluasi Pengaruh Faktor External.....	58
3.7.	Diagram Alir Penelitian.....	58
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		60
4.1.	Hasil Penelitian	60
4.2.	Deskripsi Lokasi dan Objek Penelitian.....	60
4.2.1.	Gambaran Umum Lokasi	60

4.2.2.	Objek Penelitian	62
4.3.	Hasil Alat Sebelum Melakukan Kalibrasi	68
	Alat Survei <i>Roughometer</i> III	68
4.3.1.	Alat Survei <i>IRIMETER</i> 2	70
4.4.	Pelaksanaan Kalibrasi dan Hasil Kalibrasi Alat Survei IRI	82
4.4.1.	Cara Kalibrasi <i>Roughometer</i> 3	82
4.4.2.	Cara Kalibrasi Alat Survei <i>IRIMETER</i> 2	86
4.4.3.	Cara Kalibrasi Alat Survei <i>Hawkeye</i> 2000 Series	88
4.5.	Hasil Validasi Alat Survei IRI	92
4.5.1.	Desain Validasi	92
4.5.2.	Hasil Pengukuran Validasi Alat Survei <i>Roughometer</i> III	93
4.5.3.	Hasil Pengukuran Validasi Alat Survei <i>IRIMETER</i> 2	96
4.5.4.	Hasil Pengukuran Alat survey IRI <i>Hawkeye</i> 2000 Series	102
4.6.	Perbandingan Kinerja Antar Alat Survei	108
4.7.	Analisa Faktor yang Mempengaruhi Hasil Pengukuran	109
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		112
5.1.	Kesimpulan	112
5.2.	Saran	113
DAFTAR PUSTAKA		116
LAMPIRAN		119

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Alat Walking Profiler G2 (ARRB)	12
Gambar 2.2. Alat Dipstik Z250 (Romdas)	13
Gambar 2.3 Alat <i>Walking Profilometer</i> Gapman (Englo)	13
Gambar 2.4 Alat <i>Hawkeye</i> 2000 (ARRB)	14
Gambar 2.5 Romdas <i>Laser Profiler</i>	15
Gambar 2.6 Mata Garuda	16
Gambar 2.7 <i>Roughometer</i> III	17
Gambar 2.8 <i>IRIMETER</i> II	18
 Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	 59
 Gambar 4.1 Nilai Koefisien Sebelum Disesuaikan dengan Pengambilan Data.....	 87
Gambar 4.2 Nilai koefisien yang telah terkoreksi.....	88



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Contoh Alat Pengukur Ketidakrataan Jalan	19
Tabel 2.2 Spesifikasi Alat Survei Ketidakrataan.....	19
Tabel 2.3 Spesifikasi Alat GPS (<i>Global Positioning System</i>)	20
Tabel 2.4 Batasan Keberterimaan Validasi.....	20
Tabel 2.5 Penelitian Terdahulu.....	25
Tabel 4.1 Lokasi Sample	61
Tabel 4.2 Site Kalibrasi Garut.....	63
Tabel 4.3 Peta Lokasi Kegiatan.....	615
Tabel 4.4 Dokumentasi Lapangan.....	637
Tabel 4.5 Hasil Validasi Roughmeter III Terhadap <i>Walking Profilometer</i>	68
Tabel 4.6 Hasil Validasi Kiri <i>IRIMETER-2</i> Terhadap <i>Walaking Profilometer</i>	70
Tabel 4.7 Hasil Validasi Kanan <i>IRIMETER-2</i> Terhadap <i>Walaking Profilometer</i> ..	72
Tabel 4.8 Hasil Validasi Gabungan <i>IRIMETER-2</i> Terhadap <i>Walaking Profilometer</i>	74
Tabel 4.9 Hasil Validasi Kiri <i>Hawkeye 2000 Series</i> Terhadap <i>Walaking</i> <i>Profilometer</i>	76
Tabel 4.10 Hasil Validasi Kanan <i>Hawkeye 2000 Series</i> Terhadap <i>Walking</i> <i>Profilometer</i>	78
Tabel 4.11 Hasil Validasi Gabungan <i>Hawkeye 2000 Series</i> Terhadap <i>Walking</i> <i>Profilometer</i>	80
Tabel 4.12 Hasil Kalibrasi Statis.....	85
Tabel 4.13 Hasil Kalibrasi Dinamis	85
Tabel 4.14 Dokumentasi Pengambilan dan Vertifikasi Data.....	89
Tabel 4.15 Hasil Validasi Roughmeter III Terhadap <i>Walking Profilometer</i>	93
Tabel 4.16 Parameter Kalibrasi dan Validasi Roughmeter III.....	95
Tabel 4.17 Hasil Validasi Kiri <i>IRIMETER-2</i> Terhadap <i>Walking Profilometer</i>	96
Tabel 4.18 Hasil Validasi Kanan <i>IRIMETER-2</i> Terhadap <i>Walking Profilometer</i>	98
Tabel 4.19 Hasil Validasi Gabungan <i>IRIMETER-2</i> Terhadap <i>Walking Profilometer</i>	100
Tabel 4.20 Parameter Kalibrasi dan Validasi <i>IRIMETER 2</i>	101

Tabel 4.21 Hasil Validasi Kiri <i>Hawkeye</i> 2000 Series Terhadap <i>Walking</i> <i>Profilometer</i>	102
Tabel 4.22 Hasil Validasi Kanan <i>Hawkeye</i> 2000 Series Terhadap <i>Walking</i> <i>Profilometer</i>	104
Tabel 4.23 Hasil Validasi Gabungan <i>Hawkeye</i> 2000 Series Terhadap <i>Walking</i> <i>Profilometer</i>	106
Tabel 4.24 Parameter Kalibrasi dan Validasi <i>Hawkeye</i> 2000 Series	107



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Data Kondisi jaringan jalan merupakan data utama jaringan jalan untuk mengukur dan memonitor kondisi existing, membuat perkiraan kondisi yang akan datang dan membantu dalam proses pengambilan keputusan strategis dan manajemen jaringan jalan. Data tersebut menjadi data utama dalam perencanaan umum jaringan jalan, pemograman dan penganggaran, memonitor kinerja jaringan jalan, pengelolaan pengadaan kontrak pekerjaan pemeliharaan serta menganalisis data kecelakaan lalu lintas. Dengan demikian, data kondisi jaringan jalan harus berkualitas.(Direktorat Jenderal Bina Marga, 2021).

Ditjen Bina Marga berkomitmen untuk melakukan optimalisasi pemanfaatan anggaran agar sejumlah target strategis, khususnya dalam pembangunan dan pemeliharaan jalan dan jembatan dapat terealisasi sesuai dengan kebutuhan agar konektivitas jalan dan kemandirian jalan dapat ditingkatkan (D J B M, 2020).

Pengukuran ketidakrataan jalan memiliki peran kritis dalam perencanaan dan pemeliharaan infrastruktur jalan. Ketidakrataan jalan, yang mencerminkan deviasi permukaan jalan dari kondisi idealnya, dapat menimbulkan berbagai masalah seperti ketidaknyamanan pengguna jalan, peningkatan risiko kecelakaan, dan biaya operasional kendaraan yang lebih tinggi. Dengan mengukur ketidakrataan jalan, pihak berwenang dapat mengidentifikasi area yang memerlukan perbaikan, sehingga meningkatkan kualitas dan keamanan infrastruktur jalan. Selain itu, data ketidakrataan jalan yang akurat memungkinkan perencanaan dan alokasi anggaran yang lebih efektif, memastikan bahwa sumber daya digunakan secara optimal untuk pemeliharaan dan perbaikan jalan.

Alat ukur ketidakrataan tipe *respons* memiliki jenis yang beragam, dengan prosedur pengoperasiannya masing-masing sesuai dengan instruksi pabrikan, tetapi semuanya memiliki prinsip yang hampir sama ketika dioperasikan untuk survei ketidakrataan jalan. Perlu dipahami bahwa instruksi

manual pabrikan digunakan sebagai pemahaman terhadap prinsip pengoperasian alat secara detail tergantung setiap jenis alat. Oleh karena itu, perlu disusun standar prosedur survei ketidakrataan yang menggunakan alat terkalibrasi sehingga didapat nilai ketidakrataan perkerasan jalan yang standar. Standar ini digunakan untuk memahami penggunaan alat yang benar secara umum (SNI 3426:2022).

Lebih lanjut, pengukuran ketidakrataan jalan juga mendukung pemantauan dan evaluasi kondisi jalan secara berkala, membantu dalam pengambilan keputusan yang berbasis data. Dengan mengidentifikasi area yang tidak rata secara tepat waktu, umur infrastruktur jalan dapat diperpanjang, mengurangi kebutuhan untuk perbaikan besar-besaran di masa depan dan menghemat biaya jangka panjang. Selain itu, infrastruktur jalan yang terpelihara dengan baik mendukung pembangunan berkelanjutan dengan meningkatkan aksesibilitas dan mobilitas masyarakat, yang pada gilirannya mendorong pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan sosial. Dengan demikian, pengukuran ketidakrataan jalan tidak hanya penting untuk menjaga kondisi fisik jalan, tetapi juga untuk memastikan kenyamanan, keselamatan, dan efisiensi bagi pengguna jalan serta mendukung perencanaan infrastruktur yang berkelanjutan.

Nilai ketidakrataan standar dikenal dengan *International Roughness Index* (IRI) yang digunakan dalam survei didasarkan pada simulasi *respons* suatu kendaraan standar terhadap ketidakrataan pada satu jejak roda dari permukaan jalan. Nilai ketidakrataan ditentukan melalui pengukuran yang akurat dan sesuai dari suatu profil jalan, kemudian diproses melalui suatu algoritma yang menyimulasikan *respons* suatu kendaraan standar terhadap ketidakrataan dan akumulasi pergerakan suspensi dari kendaraan tersebut. (Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan, 2022).

Sebagai indikator yang terstandarisasi, IRI memungkinkan perbandingan kondisi jalan antar wilayah atau bahkan antar negara, sehingga memudahkan dalam perencanaan dan alokasi sumber daya untuk pemeliharaan infrastruktur jalan. Selain sebagai alat evaluasi, IRI juga berperan penting dalam mendukung pengambilan keputusan yang berbasis data. Dengan mengukur ketidakrataan jalan menggunakan IRI, pihak berwenang dapat mengidentifikasi

area yang memerlukan perhatian khusus, seperti jalan dengan tingkat kerusakan parah atau jalan yang berpotensi membahayakan keselamatan pengguna. Data IRI juga digunakan untuk menilai efektivitas program pemeliharaan jalan dan mengembangkan strategi perbaikan yang lebih efisien. Dengan demikian, IRI tidak hanya berfungsi sebagai indikator teknis, tetapi juga sebagai alat manajemen yang mendukung perencanaan dan pemeliharaan infrastruktur jalan secara berkelanjutan.

Kalibrasi dan validasi alat survei *International Roughness Index* (IRI) merupakan langkah krusial untuk memastikan akurasi dan reliabilitas data yang diperoleh. Kalibrasi dilakukan untuk menyesuaikan alat dengan standar pengukuran yang telah ditetapkan, sehingga hasil pengukuran dapat mencerminkan kondisi sebenarnya di lapangan. Proses ini melibatkan pengujian alat dalam berbagai kondisi dan perbandingan dengan alat ukur yang lebih akurat atau standar. Dengan kalibrasi yang tepat, alat survei IRI dapat memberikan data yang konsisten dan dapat diandalkan.

Selain kalibrasi, validasi juga penting untuk memastikan bahwa alat survei IRI dapat menghasilkan data yang relevan dan sesuai dengan tujuan survei. Validasi melibatkan pengujian alat di lapangan dan membandingkan hasilnya dengan data yang sudah ada atau dengan pengukuran independen. Proses ini membantu mengidentifikasi potensi kesalahan atau bias dalam pengukuran, serta memastikan bahwa alat berfungsi dengan baik dalam berbagai kondisi. Dengan melakukan kalibrasi dan validasi secara rutin, pengguna dapat meningkatkan kepercayaan terhadap data yang dihasilkan, yang pada gilirannya mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik dalam perencanaan dan pengelolaan infrastruktur.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, alat survei kondisi jalan nasional memiliki peran penting dalam menyediakan data yang akurat untuk mendukung perencanaan pemeliharaan jalan. rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Sejauh mana tingkat akurasi alat survei dalam mengukur kondisi jalan nasional?
2. Bagaimana hasil kalibrasi alat survei kondisi jalan nasional terhadap standar yang berlaku?
3. Bagaimana tingkat validitas hasil pengukuran alat survei jika dibandingkan dengan metode referensi atau standar nasional?
4. Apa implikasi dari hasil kalibrasi dan validasi terhadap efektivitas pemantauan kondisi jalan nasional?

1.3. Tujuan Peneliti

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis tingkat akurasi alat survei kondisi jalan nasional berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan sebelum dan sesudah proses kalibrasi.
2. Melakukan kalibrasi alat survei ketidakrataan jalan untuk memastikan bahwa hasil pengukuran sesuai dengan standar nasional atau internasional yang berlaku.
3. Melakukan validasi terhadap hasil pengukuran alat survei dengan membandingkannya terhadap metode referensi atau standar yang digunakan dalam pemantauan kondisi jalan nasional.
4. Mengevaluasi dampak hasil kalibrasi dan validasi terhadap efektivitas pemantauan kondisi jalan nasional guna meningkatkan kualitas data untuk perencanaan pemeliharaan jalan yang lebih baik.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat bagi Pemerintah dan pengelola Infrastruktur Jalan.
2. Akademis: Menambah wawasan dan pengetahuan dalam bidang kalibrasi dan validasi alat survei kondisi jalan.
3. Praktis: Memberikan panduan praktis bagi instansi terkait dalam melakukan kalibrasi dan validasi alat survei kondisi jalan.
4. Ekonomi: Mengurangi biaya perbaikan dan pemeliharaan jalan dengan memastikan bahwa data survei jalan akurat dan dapat diandalkan.

1.5. Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah adalah langkah penting dalam penelitian untuk memastikan fokus penelitian tetap terarah dan tidak terlalu luas. Berikut adalah beberapa pembatasan masalah:

1. Jenis Alat Survei

Penelitian ini hanya membahas alat survei tertentu yang digunakan dalam pemantauan kondisi jalan nasional, khususnya yang mengukur parameter seperti *International Roughness Index* (IRI), *rutting*, dan *cracking*. Alat survei lainnya yang tidak berkaitan langsung dengan kondisi permukaan jalan, seperti alat untuk analisis struktur jalan bawah tanah, tidak dibahas dalam penelitian ini.

2. Parameter yang Dianalisis

Fokus penelitian ini adalah pada hasil kalibrasi dan validasi alat survei dalam mengukur kondisi jalan berdasarkan standar nasional atau metode referensi yang digunakan di Indonesia. Parameter lain seperti kondisi lalu lintas, beban kendaraan, dan faktor lingkungan yang mempengaruhi kondisi jalan tidak dibahas secara mendalam.

3. Ruang Lingkup Lokasi

Penelitian ini dilakukan pada beberapa sample uji nasional tertentu yang dipilih sebagai sampel studi. Sample uji provinsi, kabupaten, atau jalan perkotaan tidak termasuk dalam cakupan penelitian ini.

4. Standar Acuan

Proses kalibrasi dan validasi dalam penelitian ini mengacu pada standar nasional yang berlaku di Indonesia. Jika diperlukan, standar internasional dapat digunakan sebagai perbandingan, namun tidak menjadi acuan utama.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan Skripsi ini disusun sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memuat pendahuluan yang berisikan latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, manfaat dan sistematika penulisan.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

Bab ini berisi pembahasan umum yang mencakup landasan teori dan penelitian terdahulu yang relevan dengan penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan sistematika pemecahan masalah dan penjelasan mengenai alur penelitian. Penjelasan tambahan mengenai variabel penelitian meliputi operasional variabel dan Teknik pengambilan sampel dapat disesuaikan.

BAB IV PEMBAHASAN

Bab ini menjelaskan sistematika pengambilan data dan pelaksanaan pengujian di lokasi yang telah ditentukan serta hasil yang didapatkan dari penelitian. Penjelasan tambahan mengenai variabel dan hasil penelitian meliputi operasional variabel dan Teknik pengambilan sampel serta yang diperoleh.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menjelaskan tentang hasil akhir yang diperoleh serta saran yang mungkin untuk dilakukan pada saat proses pelaksanaan.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Konsep Ketidakrataan

2.1.1. Parameter Ketidakrataan Jalan

A. Definisi Ketidakrataan Jalan

Ketidakrataan jalan merujuk pada variasi permukaan jalan yang dapat mempengaruhi kualitas perjalanan kendaraan. Definisi ini mencakup berbagai bentuk ketidakrataan, seperti gundukan, lubang, dan retakan yang dapat terjadi akibat faktor-faktor seperti cuaca, beban lalu lintas, dan kualitas konstruksi. Parameter yang umum digunakan untuk mengukur ketidakrataan jalan adalah International Roughness Index (IRI), yang mengukur kelancaran permukaan jalan dalam satuan milimeter per meter. Selain IRI, parameter lain seperti profil permukaan, frekuensi dan amplitudo ketidakrataan, serta kondisi permukaan jalan juga dapat digunakan untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang ketidakrataan jalan.

B. Dampak Ketidakrataan Jalan terhadap Kenyamanan dan Keselamatan Pengguna Jalan

Ketidakrataan jalan memiliki dampak signifikan terhadap kenyamanan dan keselamatan pengguna jalan. Dari segi kenyamanan, jalan yang tidak rata dapat menyebabkan getaran dan guncangan pada kendaraan, yang dapat mengganggu pengalaman berkendara dan menyebabkan kelelahan bagi pengemudi. Selain itu, ketidakrataan yang parah dapat memperlambat kecepatan kendaraan, meningkatkan waktu perjalanan, dan mengurangi efisiensi bahan bakar. Dari perspektif keselamatan, ketidakrataan jalan dapat meningkatkan risiko kecelakaan, terutama jika pengemudi kehilangan kendali akibat permukaan jalan yang tidak stabil. Lubang atau gundukan yang tiba-tiba dapat menyebabkan kendaraan tergelincir atau bahkan terbalik, serta meningkatkan kemungkinan tabrakan dengan kendaraan lain. Oleh karena itu, pemeliharaan dan perbaikan jalan yang rutin sangat penting

untuk menjaga kualitas permukaan jalan dan memastikan keselamatan pengguna.

2.2. *International Roughness Index* (IRI)

2.2.1. Sejarah dan Perkembangan IRI

International Roughness Index (IRI) diperkenalkan pada awal 1980-a sebagai metode untuk mengukur ketidakrataan permukaan jalan secara objektif dan konsisten. Konsep ini dikembangkan oleh *World Bank* dan para peneliti di University of Michigan, yang bertujuan untuk menyediakan alat yang dapat digunakan secara internasional untuk menilai kualitas jalan. Sejak saat itu, IRI telah menjadi standar global dalam pengukuran ketidakrataan jalan, digunakan oleh berbagai negara dan organisasi untuk mengevaluasi kondisi infrastruktur jalan. Perkembangan teknologi pengukuran, seperti penggunaan alat pengukur berbasis laser dan sensor, telah meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam pengukuran IRI, memungkinkan pengumpulan data yang lebih cepat dan lebih akurat.

2.2.2. Metode Pengukuran IRI

Metode pengukuran IRI umumnya dilakukan dengan menggunakan alat yang disebut profilometer, yang dapat berupa perangkat yang dipasang pada kendaraan atau alat portabel. Profilometer ini mengukur perubahan elevasi permukaan jalan saat kendaraan bergerak di atasnya. Data yang dikumpulkan kemudian dianalisis untuk menghitung IRI, yang dinyatakan dalam satuan meter per kilometer(m/km). IRI dihitung berdasarkan analisis frekuensi dan amplitudo ketidakrataan permukaan jalan, dengan nilai yang lebih rendah menunjukkan permukaan yang lebih halus dan nilai yang lebih tinggi menunjukkan ketidakrataan yang lebih besar. Metode ini memungkinkan pengukuran yang konsisten dan dapat diulang, sehingga memberikan data yang dapat diandalkan untuk evaluasi kondisi jalan.

2.2.3. Standar IRI yang Berlaku Secara Internasional dan Nasional

Standar IRI yang berlaku secara internasional diatur oleh World Bank dan diadopsi oleh banyak organisasi dan negara sebagai acuan dalam penilaian kualitas jalan. Nilai IRI biasanya dikategorikan sebagai berikut: $IRI < 2.0$ m/km dianggap sangat baik, $2.0 - 3.0$ m/km baik, $3.0 - 4.0$ m/km sedang, dan > 4.0 m/km buruk. Di tingkat nasional, banyak negara telah mengembangkan standar dan pedoman sendiri untuk pengukuran dan interpretasi IRI, yang disesuaikan dengan kondisi lokal dan kebutuhan infrastruktur. Misalnya, di Indonesia, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) telah mengeluarkan pedoman terkait pengukuran IRI sebagai bagian dari upaya untuk meningkatkan kualitas jalan dan infrastruktur transportasi. Dengan adanya standar ini, diharapkan pengelolaan dan pemeliharaan jalan dapat dilakukan secara lebih efektif dan efisien.

Penilaian kondisi jalan dilakukan berdasarkan beberapa parameter utama yang mencerminkan tingkat kelayakan dan kenyamanan jalan bagi pengguna. Beberapa kriteria umum yang digunakan dalam menilai kondisi jalan nasional meliputi:

1. International Roughness Index (IRI)
 - a. IRI merupakan indikator utama dalam menilai ketidakrataan permukaan jalan.
 - b. Semakin tinggi nilai IRI, semakin kasar permukaan jalan, yang dapat berdampak pada kenyamanan dan keselamatan berkendara.
 - c. IRI diukur dalam satuan meter per kilometer (m/km) dan dikategorikan sebagai berikut:
 - 1) $IRI \leq 4$ m/km $\rightarrow$ Kondisi baik
 - 2) $4 \leq IRI < 8$ m/km $\rightarrow$ Kondisi sedang
 - 3) $8 \leq IRI \leq 12$ m/km $\rightarrow$ Kondisi rusak ringan
 - 4) $12 \leq IRI$ m/km $\rightarrow$ Kondisi rusak berat

2.2.4. Standar Nasional untuk Pengukuran Kondisi Jalan

Di Indonesia, pengukuran kondisi jalan nasional mengacu pada standar yang ditetapkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) melalui berbagai pedoman dan regulasi. Beberapa standar yang digunakan meliputi:

1. Standar Bina Marga
 - a. Mengatur prosedur pemantauan dan evaluasi kondisi jalan.
 - b. Menentukan ambang batas untuk parameter seperti IRI, rutting, dan cracking.
 - c. Digunakan sebagai acuan dalam menentukan jenis pemeliharaan jalan yang diperlukan (misalnya, pemeliharaan rutin, rehabilitasi, atau rekonstruksi).
2. Manual Survei Kondisi Jalan (MSKJ)
 - a. Dokumen teknis yang mengatur metode pengukuran kondisi jalan, termasuk penggunaan alat survei seperti *Laser Profilometer*, alat yang berbasis Sensor.
 - b. Menetapkan standar kalibrasi dan validasi alat survei agar data yang diperoleh memiliki tingkat akurasi yang tinggi.
3. SNI (Standar Nasional Indonesia) untuk Jalan dan Perkerasan
 - a. Standar ini mencakup metode pengujian material jalan, prosedur pengukuran kondisi perkerasan, serta persyaratan teknis lainnya yang berkaitan dengan jalan nasional.
4. Standar Internasional sebagai Referensi
 - a. Beberapa metode survei kondisi jalan di Indonesia juga mengacu pada standar internasional seperti ASTM E1926 untuk pengukuran IRI dan AASHTO R36 untuk prosedur kalibrasi alat survei.
 - b. Standar internasional ini dapat digunakan sebagai pembanding dalam validasi data pengukuran kondisi jalan nasional.

Dengan adanya standar nasional dan prosedur yang jelas dalam pengukuran kondisi jalan, diharapkan proses pemeliharaan dan perbaikan jalan nasional dapat dilakukan secara lebih efektif dan

efisien, sehingga mendukung keselamatan serta kenyamanan pengguna jalan.

2.3. Alat Survei Ketidakrataan Jalan

Pemantauan kondisi jalan sangat penting untuk memastikan kelayakan dan keselamatan jalan nasional. Berbagai alat survei digunakan untuk mengukur parameter-parameter teknis yang dapat menggambarkan kualitas jalan. Dalam hal ini, alat survei modern memungkinkan pengukuran kondisi jalan secara lebih akurat, efisien, dan objektif. Berikut adalah jenis-jenis alat survei yang umum digunakan serta parameter teknis yang diukur, seperti *International Roughness Index* (IRI).

2.3.1. Jenis – jenis Alat Survei yang Digunakan

1. (Alat Kelas 1) sebagai alat acuan memvalidasi alat survei
 - a. *Walking Profiler* G2 (ARRB)

Walking Profiler (WP) G2 adalah instrumen pengukuran presisi untuk mengumpulkan dan menyajikan informasi permukaan jalan beraspal yang berkelanjutan. WP G2 memenuhi persyaratan Profilometri Kelas 1 Bank Dunia dan menghasilkan keluaran termasuk profil, tingkat kemiringan, jarak, dan Indeks Kekasaran Internasional (IRI). WP G2 mengambil sampel permukaan jalan beraspal dan Rigid dengan kecepatan berjalan. Saat modul akuisisi data internal mengumpulkan dan menyimpan data, hasilnya ditampilkan secara real time untuk analisis data yang sederhana dan cepat. Perangkat yang ringkas dan mudah digunakan ini diterima oleh PIARC (2002), FHWA (2000) dan TxDOT (2000) sebagai alat referensi untuk kalibrasi peralatan pengukuran kekasaran lainnya termasuk profiler laser.



Gambar 2.1 Alat *Walking Profiler G2* (ARRB)

Sumber Google

b. *Dipstick Z250* (Romdas)

Dipstick Z250 adalah alat pengukur permukaan jalan yang sangat akurat, dirancang untuk mengukur profil referensi dengan presisi tinggi. Alat ini digunakan untuk menentukan kekasaran jalan dalam bentuk Indeks Kekasaran Internasional (IRI). *Dipstick Z250* sangat portabel dan mudah dibawa, serta digunakan dengan cara berjalan di sepanjang permukaan jalan, merekam elevasi setiap 250 mm. Beberapa fitur utama dari *Dipstick Z250* meliputi pengukuran akurat yang menghasilkan profil elevasi linier yang dianalisis menggunakan algoritma standar industri, portabilitas dengan unit yang ringan dan mudah dibawa, konektivitas Bluetooth yang memungkinkan penghubungan ke perangkat Android atau pun windows untuk menampilkan data secara real-time, serta kompatibilitas data yang dapat diekspor dalam format CSV.



Gambar 2.2. Alat *Dipstik Z250* (Romdas)

Sumber gambar dari paparan Alat Binamarga

c. *Walking Profilometer* Gapman

GAPMAN *Walking Profilometer* adalah alat yang digunakan untuk mengukur kekasaran dan profil jalan. Alat ini mengukur dan menampilkan berbagai parameter profil, termasuk sudut kemiringan rata-rata, kekasaran jalan, dan parameter lainnya yang relevan dengan kondisi permukaan jalan. GAPMAN sangat berguna dalam aplikasi seperti pemeliharaan jalan, konstruksi, dan evaluasi kualitas permukaan jalan.



Gambar 2.3 Alat *Walking Profilometer* Gapman (Englo)

ppSumber gambar pada google

2. (Alat Kelas 1) Sebagai Alat Survei Ketidakrataan Jalan

a. *Hawkeye* 1000, 2000 (ARRB)

Hawkeye 2000 adalah sistem pengumpulan data kondisi jalan yang sangat canggih dan lengkap. Dikembangkan oleh *Australian Road Research Board* (ARRB), kendaraan ini dirancang untuk memenuhi kebutuhan survei jalan yang paling menuntut. Beberapa fitur utama dari *Hawkeye* 2000 meliputi:

- 1) *Digital Laser Profiler* (DLP): Mengukur kekasaran dan tekstur permukaan jalan dengan akurasi tinggi.
- 2) Sistem Geometri GIPSI-Trac2: Menggunakan GNSS dan sensor inersia untuk pengukuran geometri jalan yang presisi.
- 3) Sistem Pencitraan Digital: Mendukung kamera untuk tampilan aset dan permukaan jalan, memungkinkan pengukuran dan referensi geografis.
- 4) Deteksi Retak Otomatis (ACD): Sistem deteksi retak yang paling canggih di industri.
- 5) *Hawkeye* 2000 dapat digunakan untuk berbagai aplikasi seperti survei manajemen aset, pemantauan perkerasan rutin, audit keselamatan jalan Star Rating, dan inspeksi landasan pacu. Di Indonesia, kendaraan ini telah digunakan untuk survei kondisi jalan tol dan jalan nasional di berbagai wilayah.



Gambar 2.4 Alat *Hawkeye* 2000 (ARRB)

Sumber gambar Paparan Binamarga

b. Romdas *Laser Profiler*

ROMDAS *Laser Profiler* adalah sistem pengumpulan data kondisi jalan yang sangat portabel dan akurat. Sistem ini menggunakan kombinasi laser dan akselerometer untuk mengukur profil elevasi longitudinal jalan dengan tingkat akurasi yang sangat tinggi pada kecepatan jalan raya. Profil ini kemudian dianalisis untuk menghitung nilai Indeks Kekasaran Internasional (IRI) dari permukaan jalan.

Beberapa fitur utama dari ROMDAS *Laser Profiler* meliputi:

- 1) Kepatuhan terhadap Standar: Memenuhi standar *ASTM E950* dan *World Bank Class 1 Profiler*.
- 2) Sistem Modular: Dapat disesuaikan dengan berbagai modul tambahan seperti GPS, Geometri, Pencatatan Video, *Logger Profil Transversal*, dan LCMS.
- 3) Pengukuran Akurat: Menggunakan akselerometer tiga sumbu untuk mengurangi ketidakakuratan selama pengereman dan menikung.
- 4) ROMDAS *Laser Profiler* sangat cocok untuk survei kontrol konstruksi, survei jaringan skala besar, atau proyek yang memerlukan data kekasaran jalan dengan akurasi tinggi.

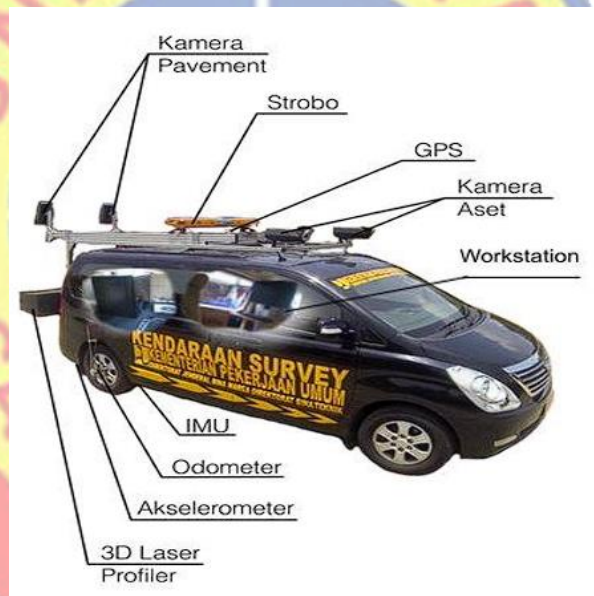


Gambar 2.5 Romdas *Laser Profiler*

Sumber Gambar Paparan Romdas

c. Mata Garuda

Alat survei Mata Garuda adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur kondisi permukaan jalan, khususnya dalam menentukan Indeks Kekasaran Internasional (IRI). Alat ini sering digunakan dalam proyek pemeliharaan dan perbaikan jalan untuk memastikan kualitas dan keamanan jalan tetap terjaga. Mata Garuda mengumpulkan data yang kemudian dianalisis untuk menentukan tindakan perbaikan yang diperlukan berdasarkan nilai *Structural Condition Index (SCI)*.



Gambar 2.6 Mata Garuda

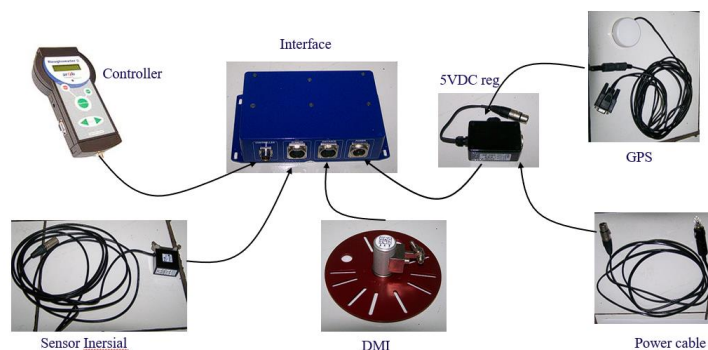
Sumber Gambar Paparan Binamarga

3. (Alat Kelas 3) Tipe Respon Sebagai Alat Survei Ketidakrataan Jalan.

a. *Roughometer 3* (ARRB)

Roughometer III adalah perangkat pengukur kekasaran jalan yang portabel dan hemat biaya. Alat ini dirancang untuk memberikan hasil pengukuran kekasaran yang objektif dan dapat diulang pada jalan beraspal maupun tidak beraspal. Beberapa fitur utama dari *Roughometer III* meliputi:

- 1) Pengukuran Akurat: Menggunakan akselerometer presisi untuk mengukur pergerakan poros, menghilangkan ketidakpastian yang terkait dengan suspensi kendaraan atau berat penumpang.
- 2) Kepatuhan terhadap Standar: Memenuhi persyaratan *World Bank Class 3*, bahkan melebihi spesifikasi kategori tersebut.
- 3) Portabilitas: Mudah dipasang dan digunakan pada sebagian besar kendaraan penumpang dan komersial ringan.
- 4) GPS Terintegrasi: Memungkinkan pengumpulan data lokasi dengan tampilan status pelacakan satelit di layar.
- 5) Pengolahan Data: Data dapat diunduh dengan cepat ke laptop atau komputer menggunakan koneksi USB dan diformat menjadi laporan dalam berbagai format seperti tabel, grafik, peta GPS, dan file CSV.
- 6) *Roughometer III* sangat cocok untuk evaluasi kualitas jalan, pemantauan tren kerusakan kekasaran, dan perbandingan objektif jalan yang memerlukan perbaikan.



Gambar 2.7 *Roughometer III*

Sumber Gambar Paparan Binamarga

b. *IRIMETER 2*

IRIMETER-2 adalah perangkat pengukur kekasaran jalan yang dipasang pada kendaraan, dirancang untuk mengukur Indeks Kekasaran Internasional (IRI) dari berbagai permukaan jalan. Alat ini mencakup unit kontrol dengan layar LCD grafis, satu atau dua sensor inersia

nirkabel, dan antena GPS yang dipasang dengan magnet di atap kendaraan.

Beberapa fitur utama dari *IRIMETER-2* meliputi:

- 1) Pengukuran Akurat: Sensor inersia dipasang pada suspensi depan tipe MacPherson untuk mengukur pergerakan vertikal dengan presisi tinggi.
- 2) Konektivitas Nirkabel: Sensor terhubung secara nirkabel ke unit kontrol, memudahkan instalasi dan penggunaan.
- 3) GPS Terintegrasi: Mengukur lokasi pengukuran secara akurat dan menampilkan hasil pengukuran secara *real-time* di layar LCD.
- 4) Kapasitas Penyimpanan Data: Dapat menyimpan data hingga 15.000 km pengukuran.
- 5) Kompatibilitas Data: Data yang diukur dapat diunduh ke komputer melalui koneksi USB dan ditampilkan dalam bentuk grafik, tabel, dan peta.
- 6) *IRIMETER-2* dapat digunakan pada jalan beraspal maupun tidak beraspal, serta tidak terpengaruh oleh kondisi jalan yang basah, bersalju, atau berdebu.



Gambar 2.8 *IRIMETER II*

Sumber gambar Sendiri

Tabel 2.1 Contoh Alat Pengukur Ketidakrataan Jalan

Kelas	Contoh Peralatan
Kelas I Profilometer Presisi	➤ <i>Laser Profilers: Non-Contact Lightwight and Portable Laser Profilers</i> ➤ <i>Manually Operated devices: e.g TRL Beam, Face Dipstik/Romdas Z250, ARRB Walking Profiler</i>
Kelas II Metoda profilometer Lainnya	<i>APL Profilometer, profilographs (e.g., California Rainhart) optical profilers, and inertial profilers (GMR)</i>
Kelas III Nilai IRI diperkirakan berdasarkan rumus-rumus Korelasi	<i>Roadmaster, ROMDAS, Roughometer, roulling straightedge, atau alat lain yang memenuhi ketentuan spesifikasi alat</i>
Kelas IV Penilaian Subyektif / pengukuran tanpa Kalibrasi	<i>Key Code rating system, Visual inspection, ride over section</i>

Sumber: (Direktorar Jenderal Bina Marga, 2021)

Tabel 2.2 Spesifikasi Alat Survei Ketidakrataan

Parameter	Sensor Equipment	Data Acquisition System
<i>Equipment Type</i>	<i>Laser Profiler</i>	<i>Not Applicable</i>
<i>Measurement Speed</i>	80. km/h	<i>Not Applicable</i>
<i>Resolution</i>	0,05 mm	16 Bit
<i>Longitudinal Sample Interval</i>	50 mm	10 milisecond
<i>Measuring Range</i>	200 mm	> 200 mm
<i>Repeability</i>	0.1 mm	$\pm$ Least Significant Bit (LSB)
<i>Operating temperature Range</i>	0°C to 50°C	0°C to 50°C

Sumber: (Direktorar Jenderal Bina Marga, 2021)

Tabel 2.3 Spesifikasi Alat GPS (*Global Positioning System*)

Parameter	Spesifikasi Minimum
<i>Equipment Type</i>	<i>Global Navigation Satellite System (GNSS)</i>
Ketelitian	± 6 m pada 90% waktu

Sumber: (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2021)

Tabel 2.4 Batasan Keberterimaan Validasi

<i>Slope</i> (A)	<i>Intercept</i> (B)	<i>Correlation</i> (R^2)	<i>Acceptance Limit</i>
0.95 – 1.05	-0.25 – 0.25	≥ 0.95	$\leq 0,3$ IRI

Sumber: (Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan, 2022)

2.4. Kalibrasi dan Validasi Alat Ukur

Kalibrasi dan validasi alat ukur adalah dua aspek penting dalam memastikan akurasi dan ketepatan data yang diperoleh dari alat survei kondisi jalan. Dalam konteks pemantauan jalan, proses ini sangat diperlukan untuk memastikan bahwa hasil pengukuran yang diperoleh mencerminkan kondisi jalan yang sebenarnya dan dapat digunakan untuk perencanaan dan pemeliharaan jalan secara efektif.

2.4.1 Konsep Kalibrasi dan Pentingnya

Kalibrasi adalah proses penyesuaian atau verifikasi alat ukur agar dapat memberikan hasil yang sesuai dengan standar atau referensi yang telah ditentukan. Dalam hal ini, kalibrasi alat survei digunakan untuk memastikan bahwa data yang diperoleh dari pengukuran kondisi jalan adalah akurat, konsisten, dan dapat dipercaya. Tanpa kalibrasi yang tepat, data yang diperoleh bisa jadi tidak akurat, yang pada gilirannya dapat menyebabkan kesalahan dalam pengambilan keputusan terkait pemeliharaan jalan.

Pentingnya kalibrasi alat ukur antara lain:

1. Memberikan hasil yang sesuai dengan kondisi nyata di lapangan, sehingga keputusan pemeliharaan atau perbaikan jalan yang diambil lebih tepat.
2. Menjaga Konsistensi Hasil Pengukuran: Kalibrasi membantu menjaga konsistensi hasil pengukuran antara satu alat dan alat lainnya, bahkan jika digunakan oleh operator yang berbeda.
3. Mematuhi Standar Nasional dan Internasional: Alat yang terkalibrasi dengan benar dapat menghasilkan data yang sesuai dengan standar yang berlaku, seperti SNI atau standar internasional lainnya.
4. Meningkatkan Efisiensi Pemeliharaan Jalan: Dengan kalibrasi yang baik, pemeliharaan jalan dapat dilakukan lebih tepat waktu dan dengan biaya yang lebih efisien, menghindari kerusakan lebih lanjut yang mungkin terjadi karena penilaian yang salah.

2.4.2 Proses Kalibrasi Alat Ukur

Proses kalibrasi alat ukur pada dasarnya melibatkan perbandingan hasil pengukuran dari alat yang diuji dengan standar referensi yang sudah terbukti valid. Berikut adalah langkah-langkah umum dalam proses kalibrasi alat survei kondisi jalan:

1. Persiapan Alat dan Standar Referensi:
 - a. Pastikan alat yang akan dikalibrasi dalam kondisi baik dan siap digunakan.
 - b. Pilih standar referensi yang sesuai dengan jenis alat survei yang digunakan, misalnya, *National Standards* atau *ISO Standards* untuk akurasi pengukuran.

2. Pelaksanaan Kalibrasi:

- a. Lakukan pengukuran menggunakan alat survei di lokasi yang sudah ditentukan, dengan kondisi yang serupa dengan yang dihadapi di lapangan.
- b. Bandingkan hasil pengukuran dari alat survei dengan hasil pengukuran yang diperoleh dari standar referensi atau alat kalibrasi yang lebih akurat.

3. Penyesuaian Alat:

- a. Jika terdapat perbedaan antara hasil pengukuran alat survei dan standar referensi, lakukan penyesuaian atau perbaikan pada alat tersebut agar hasil pengukuran lebih akurat.
- b. Penyesuaian bisa dilakukan dengan mengatur parameter atau mengganti komponen alat yang rusak atau tidak sesuai standar.

4. Verifikasi Hasil Kalibrasi:

- a. Setelah dilakukan penyesuaian, lakukan pengukuran ulang dan bandingkan kembali dengan standar referensi untuk memastikan alat survei sudah terkalibrasi dengan benar.

5. Dokumentasi Hasil Kalibrasi:

- a. Dokumentasikan hasil kalibrasi, termasuk rincian alat yang digunakan, standar referensi, hasil pengukuran, serta penyesuaian yang dilakukan pada alat. Dokumentasi ini penting untuk audit dan verifikasi lebih lanjut.

2.4.3 Proses Validasi dan Metode yang Umum Digunakan

Validasi adalah proses untuk memastikan bahwa alat ukur yang digunakan benar-benar memberikan hasil yang sesuai dengan tujuan pengukuran, yakni menggambarkan kondisi jalan dengan akurat. Validasi membantu untuk mengonfirmasi bahwa alat survei yang terkalibrasi

mampu menghasilkan data yang valid dan dapat diandalkan untuk analisis lebih lanjut.

Berikut adalah langkah-langkah dan metode umum yang digunakan dalam validasi alat ukur kondisi jalan:

1. Perbandingan dengan Data Lapangan:

- a. Salah satu metode yang umum digunakan dalam validasi adalah membandingkan hasil pengukuran dari alat survei dengan data kondisi jalan yang diperoleh melalui pengamatan lapangan atau inspeksi visual oleh ahli.
- b. Misalnya, hasil pengukuran IRI atau PCI dari alat survei dibandingkan dengan kondisi jalan yang dinilai oleh inspektur jalan terlatih.

2. Pengujian Alat pada Lokasi Referensi:

- a. Alat survei dapat divalidasi dengan mengujinya di lokasi referensi yang telah diketahui kondisinya secara pasti. Dengan begitu, hasil pengukuran dapat diperbandingkan dengan nilai standar yang telah ditetapkan.
- b. Lokasi referensi ini bisa berupa jalan dengan kondisi yang sudah terukur sebelumnya, misalnya jalan yang baru saja diperbaiki atau jalan yang memiliki kondisi stabil.

3. Penggunaan Metode Statistik:

- a. Metode statistik seperti analisis regresi atau analisis varians sering digunakan untuk memvalidasi hasil pengukuran dengan cara membandingkan data alat survei dengan data referensi.
- b. Melalui analisis statistik, dapat diketahui sejauh mana perbedaan antara hasil pengukuran alat survei dengan hasil pengamatan lapangan, serta apakah perbedaan tersebut signifikan atau tidak.

4. Pengujian Lintas Alat:

- a. Validasi alat survei juga dapat dilakukan dengan menggunakan lebih dari satu alat pengukuran untuk menilai parameter yang sama.
- b. Misalnya, pengukuran IRI bisa dilakukan dengan menggunakan beberapa jenis alat, seperti laser profilometer dan sistem pengukuran manual, kemudian hasilnya dibandingkan untuk melihat sejauh mana hasil pengukuran konsisten antara alat yang satu dengan yang lainnya.

5. Uji Keandalan dan Reprodusibilitas:

- a. Uji keandalan dan reprodusibilitas dilakukan dengan mengukur kondisi jalan yang sama beberapa kali menggunakan alat yang sama, untuk memastikan bahwa alat dapat memberikan hasil yang konsisten pada pengukuran berulang.
- b. Ini penting untuk memvalidasi bahwa alat survei dapat memberikan hasil yang dapat diulang dan diandalkan pada kondisi yang sama.

Kalibrasi dan validasi alat ukur merupakan bagian penting dalam memastikan keakuratan dan keandalan data yang digunakan untuk evaluasi kondisi jalan. Proses kalibrasi yang tepat memastikan alat survei memberikan hasil yang akurat, sementara validasi memastikan bahwa data yang dihasilkan sesuai dengan kondisi nyata dan dapat digunakan untuk pengambilan keputusan yang efektif dalam pemeliharaan jalan. Tanpa proses kalibrasi dan validasi yang baik, pemeliharaan jalan dapat menjadi tidak efektif, bahkan berisiko memperburuk kondisi jalan yang ada.

2.5. Penelitian Terdahulu

Penting untuk meninjau hasil-hasil penelitian terdahulu terkait kalibrasi dan validasi alat survei kondisi jalan, karena penelitian tersebut dapat memberikan wawasan yang berguna dalam merancang dan memperbaiki metode kalibrasi dan validasi di masa depan. Dalam hal ini, ada banyak penelitian yang mengkaji cara-cara yang lebih efisien dalam meningkatkan akurasi pengukuran dan menerapkan standar internasional dalam pengukuran kondisi jalan.

Tabel 2.5 Penelitian Terdahulu

No	Penelitian/Tahun	Judul	Keterangan	Kesimpulan
1.	(Rafizma Saadah & Hagni Puspito, 2023)	ANALISIS KERUSAKAN JALAN MENGGUNAKAN METODE <i>INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX</i>	menganalisis jenis kerusakan apa saja yang terdapat pada lapis permukaan perkerasan jalan dengan menggunakan metode International Roughness Index (IRI)	Dari 2 hasil nilai IRI terdapat perbedaan yang selisihnya sangat kecil sehingga hasil IRI yang didapatkan dengan alat ada kemungkinan terdapat kesalahan karna tidak dilakukan pemeriksaan kalibrasi sedangkan hasil nilai IRI dari perhitungan manual kemungkinan tidak akuratnya disebabkan oleh hasil perhitungan dari nilai roughness

No	Penelitian/Tahun	Judul	Keterangan	Kesimpulan
				yang masih keliru dalam membaca angkanya
2.	(Yuliani et al., 2019)	ANALISIS TINGKAT KETIDAKRATAAN JALAN NASIONAL DENGAN MENGUNAKAN ALAT NAASRA	Pembuatan diagram kolerasi dengan menghitung persamaan regresi linier dan koefisien determinasi sehingga menghasilkan nilai kalibrasi	Melakukan perhitungan nilai IRI pada pembacaan NAASRA dengan cara menghubungkan nilai kalibrasi, count pembacaan NAASRA, dan jarak yang diteliti.
3.	(Punto Budiharto1, 2023)	KAJIAN FINANSIAL PENGADAAN PERALATAN PENGUKUR KETIDAKRATAAN JALAN LASER PROFILEMETER KELAS I <i>HAWKEYE</i>	Selain hari efektif survei, patut dipertimbangkan juga kebutuhan hari untuk mobilisasi alat ke tempat tujuan (bila beda	Pd-01-2021-BM menyatakan bahwa kalibrasi dan validasi alat. Perlu di perhitung dengan waktu pelaksanaan dan biaya yang di keluarkan.

No	Penelitian/Tahun	Judul	Keterangan	Kesimpulan
		2000 DI LINGKUNGAN BALAI PELAKSANAAN JALAN NASIONAL BENGKULU	provinsi) dan kalibrasi alat	
4.	(Ilham, 2022)	Menentukan tingkat kerusakan jalan menggunakan metode International Roughness Index (IRI) pada ruas jalan Medan – Tebing Tinggi Provinsi Sumatra Utara	Perolehan nilai IRI (International Roughness Index) dilakukan melalui hasil kalibrasi alat <i>NAASRA</i> selanjutnya dihitung dengan persamaan korelasi R^2 , melalui persamaan IRI $y = a_1x + a$	hasil penelitian ini diketahui bahwa ruas Jalan Setiabudi mengalami kerusakan sepanjang 4.000meter (80%) dengan rata-rata nilai IRI = 11-13. Sedangkan sisanya sepanjang 1.000meter berada dalam kondisi sedang, dengan nilai IRI=8.
5.	(Kusnianti et al., 2019)	Model penurunan ketidakrataan pada perkerasan lentur (Roughness deterioration model	Untuk mengadopsi model ini supaya bisa dipakai di Indonesia perlu	Terlihat dari hasil perhitungan bahwa nilai ketidakrataan yang didapat dari model agregat dengan

No	Penelitian/Tahun	Judul	Keterangan	Kesimpulan
		for flexible pavement)	dilakukan kalibrasi	hasil program HDM4 tidak berbeda secara signifikan terutama untuk nilai ketidakrataan yang lebih kecil dari 12. Hal ini memberikan harapan bahwa model agregat ini bisa dipakai sebagai alternatif karena pada umumnya sistem manajemen perkerasan di Indonesia mensyaratkan bahwa IRI yang lebih besar dari 12 merekomendasikan rekonstruksi
6.	(Husen et al., 2023)	Penggunaan Aplikasi Roadbump Pro Dalam Penilaian Kondisi Perkerasan	Hal ini disebabkan getaran yang ditangkap sensor	Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa penilaian IRI menggunakan aplikasi

No	Penelitian/Tahun	Judul	Keterangan	Kesimpulan
		jalan (Studi Kasus: Ruas Jalan T. Nyak Arief, Kota Banda Aceh)	pada smartphone dipengaruhi banyak faktor sehingga memerlukan penyesuaian faktor koreksi alat dan kalibrasi yang lebih rinci terhadap jenis dan kondisi kendaraan yang digunakan	Road Bump Pro dapat disetarakan dengan Kelas IV penilaian subyektif/pengukuran tanpa kalibrasi
7.	(Herman et al., 2022)	Evaluasi Nilai Tingkat Ketidakrataan Permukaan Jalan Raya Menggunakan Alat Roughmeter (Studi Kasus: Ruas Jalan Nasional Banjar - Pangandaran)	pengumpulan data yang dilakukan ialah menggunakan data primer dengan menggunakan alat roughmeter yang menghasilkan nilai IRI (International	Pada hasil dan pembahasan akan dijelaskan hasil penelitian yang dilakukan, mulai dari survei, pengumpulan data, pengolahan data sampai pembahasannya. Hasil survei ketidakrataan permukaan jalan raya

No	Penelitian/Tahun	Judul	Keterangan	Kesimpulan
			Roghness Index), dan menggunakan data sekunder berupa kode ruas peta jalan Banjar – Pangandaran dan juga lebar jalan	akan dievaluasi dan diberikan Solusi penanganannya menurut Direktorat Jendral Bina Marga.
8.	(Widjajanto et al., 2017)	Penerapan teknologi Murah untuk Survei Kondisi Jalan	Pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan metode Kelas 3 memerlukan kalibrasi dengan peralatan Class I menggunakan korelasi nilai standar perkerasan.	Roadroid merupakan program-berbasis smartphone-yang sederhana, murah, dan keakuratannya sesuai dengan tingkat keputusan yang akan dibuat.
9.	(Hermawan et al., 2021)	Implementasi Mobile Laser Scanner Untuk Penilaian International	Pada Tahap I Akuisisi Data, meliputi perencanaan jalur	Kesimpulan dari penelitian ini ialah, teknologi 3D Laser Scanning dan Close

No	Penelitian/Tahun	Judul	Keterangan	Kesimpulan
		Roughness Index (IRI) Jalan Tol Trans Sumatera	akuisisi, penempatan lokasi GPS Statik untuk pengukuran Base Station, instalasi dan pemasangan alat Mobile Laser Scanner, Kalibrasi Alat dan Akuisisi Data Laser Scanner	Range Fotogrametri dapat menyediakan hasil ukuran yang detil. Kemudian dengan teknik kalibrasi yang tepat, data yang dihasilkan kedepannya dapat dimanfaatkan untuk analisis karakter kekasaran perkerasan jalan. Nilai IRI yang dihasilkan dari kedua teknik tersebut memiliki nilai yang bervariasi pada jarak seksi yang cukup pendek
10.	(Wang et al., 2021)	Algoritma Adaboost dalam Kecerdasan Buatan untuk Mengoptimalkan Akurasi Prediksi IRI Perkerasan Beton Aspal	Proses kalibrasi adalah memilih koefisien yang berbeda untuk mendapatkan	Saat mengkalibrasi secara lokal, kita umumnya perlu melalui dua proses. Langkah pertama

No	Penelitian/Tahun	Judul	Keterangan	Kesimpulan
			persamaan yang paling mewakili situasi aktual	adalah menentukan nilai $C1,2,3,4$, dan langkah kedua adalah menggabungkan koefisien ini secara linier dengan parameter jalan dengan menggantinya ke dalam fungsi transfer

Sumber: data diolah, 2025

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu, dapat disimpulkan bahwa kalibrasi dan validasi alat survei kondisi jalan merupakan proses yang sangat penting dalam memastikan akurasi dan keandalan pengukuran. Proses kalibrasi yang baik memungkinkan alat ukur memberikan hasil yang lebih akurat dan dapat dipercaya, sedangkan validasi alat memastikan bahwa data yang diperoleh sesuai dengan kondisi nyata jalan. Studi-studi terdahulu juga menunjukkan bahwa teknologi pengukuran kondisi jalan yang lebih modern, seperti *laser profilometer*, *Mobile Lidar*, dan *video inspection systems*, dapat memberikan hasil yang lebih cepat dan lebih konsisten, meskipun masih perlu dilakukan kalibrasi dan validasi secara berkala untuk menjaga akurasi data.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Pendahuluan Metodolgi Penelitian

Metodologi penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi hasil kalibrasi dan validasi alat survei ketidakrataan *jalan International Roughness Index* (IRI). Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimental dan komparatif untuk mengevaluasi akurasi, presisi, linearitas, dan konsistensi hasil pengukuran IRI dari berbagai jenis alat survei.

Evaluasi hasil kalibrasi dan validasi alat survei IRI sangat penting dalam konteks pengelolaan aset jalan yang efektif dan efisien. Dengan data IRI yang akurat dan dapat diandalkan, pengelola jalan dapat mengoptimalkan alokasi sumber daya dan memprioritaskan penanganan jalan yang membutuhkan perhatian segera. Oleh karena itu, metodologi penelitian ini dirancang untuk memastikan bahwa proses kalibrasi dan validasi alat survei IRI menghasilkan data yang akurat, konsisten, dan dapat diandalkan.

Metodologi penelitian ini mencakup beberapa tahapan utama, yaitu:

1. Penentuan lokasi dan objek penelitian
2. Persiapan alat dan bahan penelitian
3. Pelaksanaan prosedur kalibrasi alat survei IRI
4. Pelaksanaan prosedur validasi alat survei IRI
5. Pengumpulan dan pengolahan data
6. Analisis data dan evaluasi hasil

Setiap tahapan dirancang secara sistematis dan terstruktur untuk memastikan bahwa tujuan penelitian dapat tercapai dengan baik. Metodologi ini juga mempertimbangkan berbagai faktor yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran IRI, seperti karakteristik alat survei, kondisi kendaraan, kondisi lingkungan, dan faktor operasional lainnya.

3.2. Lokasi dan Objek Penelitian

3.2.1. Kriteria Penelitian Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dipilih berdasarkan beberapa kriteria untuk memastikan evaluasi hasil kalibrasi dan validasi alat survei IRI yang komprehensif dan representatif. Kriteria pemilihan lokasi penelitian adalah sebagai berikut:

1. Variasi Kondisi Permukaan Jalan

Lokasi penelitian mencakup sample uji dengan berbagai kondisi permukaan, mulai dari kondisi baik ($IRI \leq 4$ m/km), sedang ($4 < IRI \leq 8$ m/km), rusak ringan ($8 < IRI \leq 12$ m/km), hingga rusak berat ($IRI > 12$ m/km). Variasi kondisi ini penting untuk mengevaluasi kinerja alat survei pada berbagai tingkat ketidakrataan

2. Type Perkerasan

Lokasi penelitian fokus pada jalan beraspal (*sealed road*) sesuai dengan batasan penelitian. Variasi tipe perkerasan aspal dipertimbangkan, seperti aspal beton (AC), *hot mix asphalt* (HMA), dan *stone matrix asphalt* (SMA).

3. Geometri Jalan

Sample uji yang dipilih memiliki geometri yang relatif lurus dan datar untuk kalibrasi dan validasi awal. Beberapa sample uji dengan geometri yang lebih kompleks (tikungan, tanjakan, turunan) juga dipilih untuk evaluasi pengaruh geometri terhadap hasil pengukuran.

4. Aksesibilitas

Lokasi penelitian mudah diakses untuk memfasilitasi pengukuran berulang. Sample uji yang dipilih memungkinkan pengukuran pada kecepatan operasional yang direkomendasikan untuk masing-masing alat survei.

5. Keamanan

Sample uji yang dipilih memungkinkan pelaksanaan survei dengan aman, dengan ruang yang cukup untuk berhenti dan melakukan pengaturan alat jika diperlukan. Sample uji dengan volume lalu lintas yang moderat lebih diutamakan untuk mengurangi risiko kecelakaan selama survei.

6. Stabilitas Kondisi

Sample uji yang dipilih untuk kalibrasi dan validasi memiliki kondisi yang relatif stabil selama periode penelitian. Sample uji yang sedang atau akan dalam perbaikan selama periode penelitian dihindari.

3.2.2. Sample Uji yang Digunakan

Berdasarkan kriteria di atas, penelitian ini menggunakan beberapa sample uji sebagai berikut:

1. Sample uji Kalibrasi

- a. Minimal 5 sample uji dengan panjang masing-masing 0-500 meter.
- b. Sample uji ini digunakan untuk kalibrasi alat survei IRI.
- c. Sample uji kalibrasi dipilih untuk mencakup rentang nilai IRI dari 2 m/km hingga 12 m/km.
- d. Sample uji kalibrasi diukur terlebih dahulu menggunakan alat survei referensi (*Class 1 Profiler*) untuk mendapatkan nilai IRI referensi.

2. Sample uji Validasi

- a. Minimal 5 sample uji dengan panjang masing-masing 200-500 meter, berbeda dari sample uji kalibrasi.
- b. Sample uji ini digunakan untuk validasi alat survei IRI setelah kalibrasi.
- c. Sample uji validasi juga mencakup rentang nilai IRI dari 2 m/km hingga 12 m/km.
- d. Sample uji validasi juga diukur menggunakan alat survei referensi untuk mendapatkan nilai IRI referensi.

3. Sample uji Evaluasi

- a. Minimal 10 sample uji dengan panjang masing-masing 1-2 km.
- b. Sample uji ini digunakan untuk evaluasi komprehensif hasil kalibrasi dan validasi alat survei IRI.
- c. Sample uji evaluasi mencakup berbagai kondisi permukaan, tipe perkerasan, dan geometri jalan.

- d. Sample uji evaluasi diukur menggunakan semua alat survei yang telah dikalibrasi dan divalidasi.

Untuk setiap sample uji yang digunakan dalam penelitian, karakteristik berikut didokumentasikan:

1. Informasi Umum

- a. Nama dan kode sample uji
- b. Lokasi administratif (Nasional, provinsi, kabupaten/kota, kecamatan)
- c. Koordinat GPS awal dan akhir ruas
- d. Panjang sample uji

2. Karakteristik Fisik

- a. Tipe perkerasan
- b. Umur perkerasan
- c. Lebar jalan
- d. Jumlah lajur
- e. Kondisi bahu jalan

3. Geometri Jalan

- a. Kemiringan memanjang (*grade*)
- b. Kemiringan melintang (*cross slope*)
- c. Tikungan (jika ada)
- d. Superelevasi (jika ada)

4. Kondisi Permukaan

- a. Jenis kerusakan yang terlihat (retak, lubang, alur, dll.)
- b. Tingkat keparahan kerusakan
- c. Nilai IRI referensi (dari alat survei *Class 1*)
- d. Dokumentasi visual (foto)

3.2.3. Jenis – jenis Alat Survei IRI yang di Evaluasi

Penelitian ini mengevaluasi beberapa jenis alat survei IRI yang umum digunakan di Indonesia, dengan mempertimbangkan berbagai tingkat ketelitian dan biaya:

1. Alat Survei Kelas 1 (*Precision Profilers*)
 - a. Profiler: Alat ini digunakan sebagai referensi untuk kalibrasi dan validasi alat survei lainnya.
 - b. Spesifikasi: Frekuensi pengambilan data minimal 32 kHz, akurasi vertikal $\hat{A} \pm 0.3$ mm.
2. Alat Survei Kelas 1 (*Laser Profiler*)
 - a. *Laser Profiler*: Mengukur data ketidakrataan (IRI) dan tekstur makro (MPD)
 - b. Spesifikasi: Frekuensi pengambilan data minimal 32 kHz, akurasi vertikal $\hat{A} \pm 0.01$ m/km.
 - c. Kecepatan operasional: 30-100 km/jam.
3. Alat Survei Kelas 3 (*Response-Type Road Roughness Measuring Systems*)
 - a. *Roughometer* III: Alat survei tipe *respons* yang mengukur ketidakrataan jalan berdasarkan *respons* mekanis kendaraan.
 - b. Spesifikasi: Sensor akselerometer dengan frekuensi pengambilan data 100 Hz, GPS terintegrasi.
 - c. Kecepatan operasional: 20-80 km/jam.
 - d. *IRIMETER* 2: Alat survei tipe *respons* yang mengukur ketidakrataan jalan berdasarkan *respons* mekanis kendaraan
 - e. Spesifikasi: Sensor akselerometer dengan frekuensi pengambilan data 100 Hz, GPS terintegrasi
 - f. Kecepatan operasional: 20-80 km/jam.

3.2.4. Kendaraan yang Digunakan Survei

Untuk memastikan konsistensi hasil pengukuran, kendaraan survei yang digunakan memiliki karakteristik sebagai berikut

1. Untuk Alat Survei Kelas 1 (*Laser Profiler*)
 - a. Kendaraan khusus yang dilengkapi dengan sistem *Laser Profiler*.
 - b. Sistem suspensi yang stabil dan terkalibrasi.
 - c. Sistem pengukuran kecepatan dan jarak yang akurat.

2. Untuk Alat Survei Kelas 3 (*Roughometer* III)
 - a. Kendaraan SUV dengan suspensi dalam kondisi baik.
 - b. Kendaraan yang bersuspensi rigid (mempunyai gardan belakang) karena peletakan sensor berada di gardan kendaraan
 - c. Umur kendaraan tidak lebih dari 5 tahun.
 - d. Ban dalam kondisi baik dengan tekanan sesuai rekomendasi pabrikan.
 - e. Beban kendaraan yang konsisten selama pengukuran.
3. Untuk Alat Survei Kelas 3 (*IRIMETER* 2)
 - a. Kendaraan SUV dengan suspensi dalam kondisi baik.
 - b. Disarankan kendaraan yang penggerak depan karena peletakan sensor berada di suspensi depan kanan dan kiri.
 - c. Umur kendaraan tidak lebih dari 5 tahun.
 - d. Ban dalam kondisi baik dengan tekanan

3.2.5. Parameter yang Diukur

Untuk setiap sample uji dan alat survei, parameter berikut diukur dan dicatat:

1. Parameter Utama
 - a. Nilai IRI (m/km) untuk setiap segmen 100 meter
 - b. Nilai IRI rata-rata untuk seluruh sample jalan
 - c. Standar deviasi nilai IRI
2. Parameter Pendukung
 - a. Kecepatan kendaraan selama pengukuran
 - b. Waktu pengukuran (tanggal dan jam)
 - c. Kondisi cuaca saat pengukuran
 - d. Suhu udara dan permukaan jalan
 - e. Koordinat GPS untuk setiap segmen pengukuran
3. Parameter Kalibrasi dan Validasi
 - a. Persamaan kalibrasi untuk setiap alat survey
 - b. Koefisien determinasi (R^2) persamaan kalibrasi

- c. Perbedaan absolut dan relatif antara nilai IRI terukur dan nilai IRI referensi
- d. *Root Mean Square Error (RMSE)* pengukuran

3.2.6. Jadwal dan Frekuensi Pengukuran

Untuk memastikan reliabilitas hasil penelitian, jadwal dan frekuensi pengukuran diatur sebagai berikut:

1. Pengukuran untuk Kalibrasi
 - a. Setiap sample uji kalibrasi diukur minimal 3 kali menggunakan alat survei referensi.
 - b. Setiap sample uji kalibrasi diukur minimal 5 kali menggunakan setiap alat survei yang akan dikalibrasi.
 - c. Pengukuran dilakukan pada hari yang sama untuk meminimalkan variasi kondisi.
2. Pengukuran untuk Validasi
 - a. Setiap sample uji validasi diukur minimal 3 kali menggunakan alat survei referensi.
 - b. Setiap sample uji validasi diukur minimal 5 kali menggunakan setiap alat survei yang telah dikalibrasi.
 - c. Pengukuran dilakukan pada hari yang berbeda dari pengukuran kalibrasi.
3. Pengukuran untuk Evaluasi
 - a. Setiap sample uji evaluasi diukur minimal 3 kali menggunakan setiap alat survei yang telah dikalibrasi dan divalidasi.
 - b. Pengukuran dilakukan pada berbagai waktu (pagi, siang, sore) untuk mengevaluasi pengaruh waktu pengukuran.
 - c. Pengukuran diulang setelah 1 bulan untuk mengevaluasi konsistensi hasil pengukuran seiring waktu.

3.3. Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1. Alat Survei *IRI*

A. *Laser Profiler* (Kelas 1)

1. Spesifikasi Teknis:

- a. Frekuensi pengambilan data: 32 kHz
- b. Akurasi vertikal: $\hat{A} \pm 0.5$ mm
- c. Resolusi horizontal: 2.5 mm pada kecepatan 100 km/jam
- d. Sistem GPS terintegrasi dengan akurasi $\hat{A} \pm 1,5$ meter
- e. Kamera untuk dokumentasi visual
- f. Instrumen Pengukur Jarak (DMI)

2. Fungsi:

- a. Mengukur profil memanjang jalan dengan tingkat ketelitian tinggi
- b. Menghitung nilai IRI berdasarkan algoritma quarter-car model
- c. Merekam koordinat GPS dan kecepatan kendaraan
- d. Mendokumentasikan kondisi visual jalan

B. *Roughometer III* (Kelas 3)

1. Spesifikasi Teknis:

- a. Sensor akselerometer dengan frekuensi pengambilan data 100 Hz
- b. GPS terintegrasi dengan akurasi $\hat{A} \pm 5$ meter
- c. 12V from cigarette lighter
- d. Koneksi USB untuk pengambilan data
- e. Instrumen Pengukur Jarak (DMI)
- f. Koneksi USB untuk transfer data

2. Fungsi:

- a. Mengukur percepatan vertikal kendaraan akibat ketidakrataan jalan
- b. Menghitung nilai ketidakrataan jalan berdasarkan algoritma internal
- c. Merekam koordinat GPS dan kecepatan kendaraan
- d. Menyimpan data pengukuran untuk analisis lebih lanjut

C. IRIMETER 2 (Kelas 3)

1. Spesifikasi Teknis:

- a. Sensor akselerometer dengan frekuensi pengambilan data 100 Hz
- b. GPS terintegrasi dengan akurasi $\pm 1,5$ meter
- c. 12V from cigarette lighter or 5V from USB
- d. Perhitungan real-time dan tampilan hasil pengukuran pada LCD
- e. Perhitungan ulang BI (Bump Integrator) dari nilai IRI
- f. Koneksi nirkabel ke unit sensor
- g. Koneksi USB untuk transfer data

Fungsi:

- a. Mengukur percepatan vertikal kendaraan akibat ketidakrataan jalan
- b. Menghitung nilai ketidakrataan jalan berdasarkan algoritma internal
- c. Merekam koordinat GPS dan kecepatan kendaraan
- d. Menyimpan data pengukuran untuk analisis lebih lanjut

3.3.2. Kendaraan Survei

A. Kendaraan Untuk *Laser Profiler*

1. Kendaraan khusus yang dilengkapi dengan sistem *Laser Profiler*
2. Sistem suspensi yang stabil dan terkalibrasi
3. Sistem pengukuran kecepatan dan jarak yang akurat
4. Sistem komputer onboard untuk pengolahan data real-time

B. Kendaraan untuk Alat Survei Kelas 3

1. Kendaraan SUV
2. Tahun pembuatan: tidak lebih dari 5 tahun
3. Jenis suspensi: independent front suspension dan 4-link with coil spring rear suspension
4. Tekanan ban: sesuai rekomendasi pabrikan (32 psi)
5. Beban kendaraan: 2orang (pengemudi dan operator) plus peralatan survei

3.4. Prosedur Penelitian

3.4.1. Tahap Persiapan Penelitian

A. Studi Literatur dan Pengumpulan Data Awal

1. Melakukan studi literatur tentang IRI, alat survei ketidakrataan jalan, dan prosedur kalibrasi dan validasi.
2. Mengumpulkan data sekunder tentang jaringan jalan yang akan disurvei.
3. Mengidentifikasi standar dan pedoman yang relevan untuk kalibrasi dan validasi alat survei IRI.

B. Pemilihan Lokasi Penelitian

1. Mengidentifikasi sample uji potensial berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan.
2. Melakukan survei pendahuluan untuk memverifikasi kondisi sample uji.
3. Menentukan sample uji kalibrasi, validasi, dan evaluasi.

C. Persiapan Alat dan Kendaraan

1. Memastikan semua alat survei dalam kondisi baik dan berfungsi dengan normal.
2. Menginstal dan mengkonfigurasi perangkat lunak yang diperlukan.
3. Mempersiapkan kendaraan survei, termasuk pemeriksaan kondisi mekanis dan penyesuaian tekanan ban.
4. Memasang alat survei pada kendaraan sesuai dengan manual pabrikan.

D. Pengukuran dengan Alat Survei Referensi

1. Mengukur profil memanjang setiap sample uji kalibrasi menggunakan alat survei referensi (*Profiler Class 1*).
2. Melakukan pengukuran minimal 3 kali untuk setiap sample Uji kalibrasi untuk memastikan konsistensi.

3. Menghitung nilai IRI untuk setiap segmen 100meter dan nilai IRI rata-rata untuk seluruh sample uji.
4. Mencatat nilai IRI untuk setiap segmen dan seluruh sample uji.
5. Mencatat kondisi saat pengukuran, termasuk tanggal, waktu, suhu, dan kondisi cuaca.
6. Menyimpan data profil memanjang dalam format Exel untuk analisis lebih lanjut.

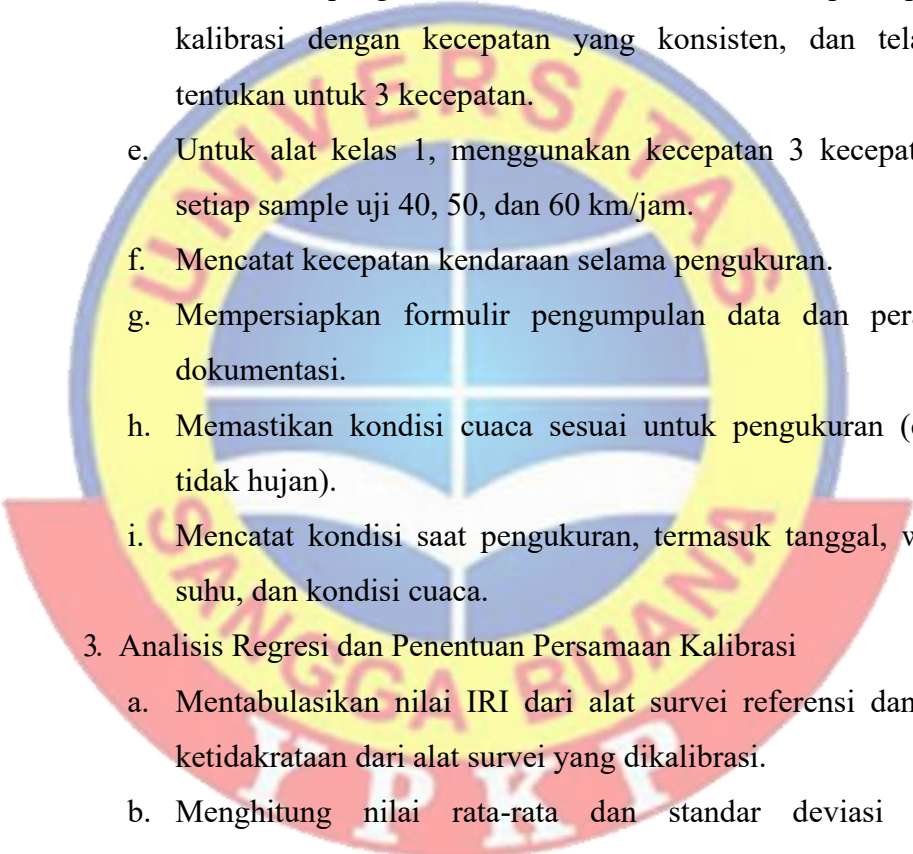
3.4.2. Tahap Persiapan Kalibrasi dan Validasi Alat Survei IRI

A. Kalibrasi dan Validasi Alat Survei Kelas 1 (*Hawkeye 2000*)

1. Persiapan Kalibrasi

- a. Memeriksa kondisi kendaraan survei, terutama sistem suspensi dan ban.
- b. Memastikan tekanan ban sesuai dengan rekomendasi pabrikan.
- c. Memastikan beban kendaraan konsisten dan sesuai dengan standar operasional.
- d. Memeriksa kondisi fisik alat survei, termasuk kabel, sensor, dan perangkat keras lainnya.
- e. Memastikan perangkat lunak alat survei telah diinstal dengan benar dan versi terbaru.
- f. Melakukan pemeriksaan diagnostik sesuai dengan manual alat survei.
- g. Melakukan Kalibrasi laser sesuai yang di prasaratkan pabrikan yaitu nilai laser tidak lebih dari 0,2 mm
- h. Kalibrasi jarak (DMI)
- i. Mengidentifikasi dan menandai sample uji kalibrasi yang telah dipilih.
- j. Memastikan sample uji kalibrasi dalam kondisi kering.
- k. Mengukur dan mencatat panjang setiap sample uji kalibrasi dengan akurat.

2. Pengukuran dengan Alat Survei yang Dikalibrasi

- 
- a. Mengatur parameter pengukuran sesuai dengan standar operasional.
 - b. Memastikan sistem GPS dan perekaman data berfungsi dengan baik.
 - c. Mengukur ketidakrataan setiap sample uji kalibrasi menggunakan alat survei yang akan dikalibrasi.
 - d. Melakukan pengukuran minimal 5 kali untuk setiap sample uji kalibrasi dengan kecepatan yang konsisten, dan telah ditentukan untuk 3 kecepatan.
 - e. Untuk alat kelas 1, menggunakan kecepatan 3 kecepatan di setiap sample uji 40, 50, dan 60 km/jam.
 - f. Mencatat kecepatan kendaraan selama pengukuran.
 - g. Mempersiapkan formulir pengumpulan data dan peralatan dokumentasi.
 - h. Memastikan kondisi cuaca sesuai untuk pengukuran (cerah, tidak hujan).
 - i. Mencatat kondisi saat pengukuran, termasuk tanggal, waktu, suhu, dan kondisi cuaca.
3. Analisis Regresi dan Penentuan Persamaan Kalibrasi
- a. Mentabulasikan nilai IRI dari alat survei referensi dan nilai ketidakrataan dari alat survei yang dikalibrasi.
 - b. Menghitung nilai rata-rata dan standar deviasi untuk pengukuran berulang.
 - c. Mengidentifikasi dan menangani outlier jika ada.
 - d. Melakukan analisis regresi linear antara nilai IRI dari alat survei referensi (variabel independen) dan nilai ketidakrataan dari alat survei yang dikalibrasi (variabel dependen).
 - e. Menghitung koefisien determinasi (R^2) untuk mengevaluasi kualitas regresi.
 - f. Menentukan persamaan kalibrasi dalam bentuk:
$$IRI = a \times \text{Ketidakrataan} + b$$

di mana a dan b adalah koefisien regresi.

- g. Menggunakan persamaan kalibrasi untuk menghitung nilai IRI dari nilai ketidakrataan yang diukur.
 - h. Membandingkan nilai IRI hasil perhitungan dengan nilai IRI dari alat survei referensi.
 - i. Menghitung *Root Mean Square Error (RMSE)* dan *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)*.
 - j. Perbedaan absolut ≤ 0.5 m/km untuk jalan dengan kondisi baik ($IRI \leq 4$ m/km).
 - k. Perbedaan relatif $\leq 10\%$ untuk jalan dengan kondisi sedang hingga buruk ($IRI > 4$ m/km).
 - l. Koefisien korelasi (r) ≥ 0.95
 - m. $RMSE \leq 0.7$ m/km.
4. Dokumentasi Kalibrasi
- a. Mendokumentasikan seluruh proses kalibrasi, termasuk metode, alat, dan kondisi pengukuran.
 - b. Mencatat persamaan kalibrasi yang ditetapkan dan koefisien determinasi (R^2).
 - c. Mencatat $RMSE$ dan $MAPE$ sebagai indikator akurasi kalibrasi.
 - d. Membuat sertifikat kalibrasi yang mencantumkan persamaan kalibrasi, tanggal kalibrasi, dan periode validitas.
 - e. Sertifikat ditandatangani oleh personel yang berwenang.

B. Kalibrasi dan Validasi Alat Survei Kelas 3 (*Roughometer III*)

1. Persiapan Kalibrasi
- a. Memeriksa kondisi kendaraan survei, terutama sistem suspensi dan ban.
 - b. Memastikan tekanan ban sesuai dengan rekomendasi pabrikan.
 - c. Memastikan beban kendaraan konsisten dan sesuai dengan standar operasional.
 - d. Memeriksa kondisi fisik alat survei, termasuk kabel, sensor, dan perangkat keras lainnya.
 - e. Memastikan perangkat lunak alat survei telah diinstal dengan benar dan versi terbaru.

- f. Melakukan pemeriksaan diagnostik sesuai dengan manual alat survei.
 - g. Melakukan Kalibrasi sensor sesuai yang dipersyaratkan pabrikan dengan Batasan nilai 4,06 – 4,27 nilai sensor
 - h. Melakukan kalibrasi jarak (DMI)
 - i. Mengidentifikasi dan menandai sample uji kalibrasi yang telah dipilih.
 - j. Memastikan sample uji kalibrasi dalam kondisi kering.
 - k. Mengukur dan mencatat panjang setiap sample uji kalibrasi dengan akurat.
2. Pengukuran dengan Alat Survei yang Dikalibrasi
- a. Memasang alat survei pada kendaraan survei sesuai dengan manual pabrikan.
 - b. Mengatur parameter pengukuran sesuai dengan standar operasional.
 - c. Memastikan sistem GPS dan perekaman data berfungsi dengan baik.
 - d. Memastikan alat survei telah dikalibrasi dan divalidasi sesuai dengan prosedur yang ditetapkan.
 - e. Mengukur ketidakrataan setiap sample uji kalibrasi menggunakan alat survei yang akan dikalibrasi.
 - f. Melakukan pengukuran minimal 5 kali untuk setiap sample uji kalibrasi dengan kecepatan yang konsisten, dan telah di tentukan untuk 3 kecepatan.
 - g. Untuk *Roughometer* III, menggunakan kecepatan 3 kecepatan di setiap sample uji 40, 50, dan 60 km/jam. Mencatat nilai ketidakrataan untuk setiap segmen dan seluruh sample uji.
 - h. Mencatat kecepatan kendaraan selama pengukuran.
 - i. Mempersiapkan formulir pengumpulan data dan peralatan dokumentasi.
 - j. Memastikan kondisi cuaca sesuai untuk pengukuran (cerah, tidak hujan).

- k. Mencatat kondisi saat pengukuran, termasuk tanggal, waktu, suhu, dan kondisi cuaca.
3. Analisis Regresi dan Penentuan Persamaan Kalibrasi
- a. Mentabulasikan nilai IRI dari alat survei referensi dan nilai ketidakrataan dari alat survei yang dikalibrasi.
 - b. Menghitung nilai rata-rata dan standar deviasi untuk pengukuran berulang.
 - c. Mengidentifikasi dan menangani outlier jika ada.
 - d. Melakukan analisis regresi linear antara nilai IRI dari alat survei referensi (variabel independen) dan nilai ketidakrataan dari alat survei yang dikalibrasi (variabel dependen).
 - e. Menghitung koefisien determinasi (R^2) untuk mengevaluasi kualitas regresi.
 - f. Menentukan persamaan kalibrasi dalam bentuk:
$$IRI = a \times \text{Ketidakrataan} + b$$

di mana a dan b adalah koefisien regresi.
 - g. Menggunakan persamaan kalibrasi untuk menghitung nilai IRI dari nilai ketidakrataan yang diukur.
 - h. Membandingkan nilai IRI hasil perhitungan dengan nilai IRI dari alat survei referensi.
 - i. Menghitung *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE).
 - j. Perbedaan absolut ≤ 0.5 m/km untuk jalan dengan kondisi baik ($IRI \leq 4$ m/km).
 - k. Perbedaan relatif $\leq 10\%$ untuk jalan dengan kondisi sedang hingga buruk ($IRI > 4$ m/km).
 - l. Koefisien korelasi (r) ≥ 0.95
 - m. $RMSE \leq 0.5$ m/km.
4. Dokumentasi Kalibrasi
- a. Mendokumentasikan seluruh proses kalibrasi, termasuk metode, alat, dan kondisi pengukuran.

- b. Mencatat persamaan kalibrasi yang ditetapkan dan koefisien determinasi (R^2).
- c. Mencatat *RMSE* dan *MAPE* sebagai indikator akurasi kalibrasi.
- d. Membuat sertifikat kalibrasi yang mencantumkan persamaan kalibrasi, tanggal kalibrasi, dan periode validitas.

C. Kalibrasi dan Validasi Alat Survei Kelas 3 (*IRIMETER 2*)

1. Persiapan Kalibrasi

- a. Memeriksa kondisi kendaraan survei, terutama sistem suspensi dan ban.
- b. Memastikan tekanan ban sesuai dengan rekomendasi pabrikan.
- c. Memastikan beban kendaraan konsisten dan sesuai dengan standar operasional.
- d. Memeriksa kondisi fisik alat survei, termasuk kabel, sensor, dan perangkat keras lainnya.
- e. Memastikan perangkat lunak alat survei telah diinstal dengan benar dan versi terbaru.
- f. Melakukan pemeriksaan diagnostik sesuai dengan manual alat survei.
- g. Melakukan Kalibrasi sensor sesuai dengan nilai Koefisien A dan B untuk setiap sensor kiri dan kanan.
- h. Mengidentifikasi dan menandai sample uji kalibrasi yang telah dipilih.
- i. Memastikan sample uji kalibrasi dalam kondisi kering.
- j. Mengukur dan mencatat panjang setiap sample uji kalibrasi dengan akurat.

2. Pengukuran dengan Alat Survei yang Dikalibrasi

- a. Memasang alat survei pada kendaraan survei sesuai dengan manual pabrikan.
- b. Mengatur parameter pengukuran sesuai dengan standar operasional.
- c. Memastikan sistem GPS dan perekaman data berfungsi dengan baik.

- d. Memastikan alat survei telah dikalibrasi dan divalidasi sesuai dengan prosedur yang ditetapkan.
 - e. Mengukur ketidakrataan setiap sample uji kalibrasi menggunakan alat survei yang akan dikalibrasi.
 - f. Melakukan pengukuran minimal 5 kali untuk setiap sample uji kalibrasi dengan kecepatan yang konsisten, dan telah ditentukan untuk 3 kecepatan.
 - g. Untuk *IRIMETER 2*, menggunakan kecepatan 3 kecepatan di setiap sample uji 40, 50, dan 60 km/jam. Mencatat nilai ketidakrataan untuk setiap segmen dan seluruh sample uji.
 - h. Mencatat kecepatan kendaraan selama pengukuran.
 - i. Mempersiapkan formulir pengumpulan data dan peralatan dokumentasi.
 - j. Memastikan kondisi cuaca sesuai untuk pengukuran (cerah, tidak hujan).
 - k. Mencatat kondisi saat pengukuran, termasuk tanggal, waktu, suhu, dan kondisi cuaca.
3. Analisis Regresi dan Penentuan Persamaan Kalibrasi
- a. Mentabulasikan nilai IRI dari alat survei referensi dan nilai ketidakrataan dari alat survei yang dikalibrasi.
 - b. Menghitung nilai rata-rata dan standar deviasi untuk pengukuran berulang.
 - c. Mengidentifikasi dan menangani outlier jika ada.
 - d. Melakukan analisis regresi linear antara nilai IRI dari alat survei referensi (variabel independen) dan nilai ketidakrataan dari alat survei yang dikalibrasi (variabel dependen).
 - e. Menghitung koefisien determinasi (R^2) untuk mengevaluasi kualitas regresi.
 - f. Menentukan persamaan kalibrasi dalam bentuk:
$$IRI = a \times \text{Ketidakrataan} + b$$

di mana a dan b adalah koefisien regresi.

- g. Menggunakan persamaan kalibrasi untuk menghitung nilai IRI dari nilai ketidakrataan yang diukur.
- h. Membandingkan nilai IRI hasil perhitungan dengan nilai IRI dari alat survei referensi.
- i. Menghitung *Root Mean Square Error (RMSE)* dan *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)*.
- j. Mengevaluasi apakah hasil validasi memenuhi kriteria keberhasilan yang ditetapkan:
- k. Perbedaan absolut ≤ 0.5 m/km untuk jalan dengan kondisi baik ($IRI \leq 4$ m/km).
- l. Perbedaan relatif $\leq 10\%$ untuk jalan dengan kondisi sedang hingga buruk ($IRI > 4$ m/km).
- m. Koefisien korelasi (r) ≥ 0.95
- n. $RMSE \leq 0.7$ m/km.
- 4. Dokumentasi Kalibrasi
 - a. Mendokumentasikan seluruh proses kalibrasi, termasuk metode, alat, dan kondisi pengukuran.
 - b. Mencatat persamaan kalibrasi yang ditetapkan dan koefisien determinasi (R^2).
 - c. Mencatat $RMSE$ dan $MAPE$ sebagai indikator akurasi kalibrasi.
 - d. Membuat sertifikat kalibrasi yang mencantumkan persamaan kalibrasi, tanggal kalibrasi, dan periode validitas.
 - e. Sertifikat ditandatangani oleh personel yang berwenang.

3.5. Metode Analisa Data

3.5.1. Metode Analisis Statistik untuk Evaluasi Hasil Kalibrasi

A. Analisis Regresi

1. Regresi Linear Sederhana

- a. Digunakan untuk menentukan persamaan kalibrasi:
- b. $IRI = a \times \text{Ketidakrataan} + b$
- c. Variabel independen: nilai ketidakrataan dari alat survei yang dikalibrasi

- d. Variabel dependen: nilai IRI dari alat survei referensi
- e. Parameter yang dievaluasi: koefisien regresi (a dan b), koefisien determinasi (R^2), standard error of estimate (SEE)

B. Analisis Residual

1. Residual Plot

- a. Digunakan untuk mengevaluasi asumsi regresi (linearitas, homoskedastisitas, normalitas residual)
- b. *Plot residual* vs. nilai prediksi
- c. *Plot residual* vs. variabel independen
- d. Normal probability plot of residuals

2. Outlier Detection

- a. Digunakan untuk mengidentifikasi dan menangani outlier
- b. Metode: *standardized residuals*, *Cook's distance*, *leverage*
- c. Kriteria: *standardized residual* > 3 , *Cook's distance* $> 4/n$, *leverage* $> 3p/n$

C. Validasi Persamaan Kalibrasi

1. Cross-Validation

- a. Digunakan untuk mengevaluasi generalisasi persamaan kalibrasi
- b. Metode: *k-fold cross-validation* ($k = 5$)
- c. Parameter yang dievaluasi: *cross-validated R^2* , *cross-validated RMSE*

2. Prediction Error Analysis

- a. Digunakan untuk mengevaluasi akurasi prediksi
- b. Parameter yang dievaluasi: *RMSE*, *MAPE*, mean bias error (MBE)

3.5.2. Metode Analisis Statistik untuk Evaluasi Hasil Validasi

A. Analisis Perbedaan

1. Perbedaan Absolut dan Relatif

- a. Perbedaan absolut: $|IRI_{alat} - IRI_{referensi}|$

- b. Perbedaan relatif: $|IRI_{alat} - IRI_{referensi}| / IRI_{referensi} \times 100\%$
 - c. Parameter yang dievaluasi: mean, median, standard deviation, range
2. Paired t-test
- a. Digunakan untuk menguji signifikansi perbedaan antara nilai IRI dari alat survei yang divalidasi dan nilai IRI dari alat survei referensi
 - b. Hipotesis nol: tidak ada perbedaan signifikan antara kedua nilai IRI
 - c. Parameter yang dievaluasi: t-statistic, p-value, confidence interval
- B. Analisis Korelasi**
1. Pearson Correlation
- a. Digunakan untuk mengevaluasi hubungan linear antara nilai IRI dari alat survei yang divalidasi dan nilai IRI dari alat survei referensi
 - b. Parameter yang dievaluasi: correlation coefficient (r), p-value
2. Spearman Rank Correlation
- a. Digunakan untuk mengevaluasi hubungan monoton antara nilai IRI dari alat survei yang divalidasi dan nilai IRI dari alat survei referensi
 - b. Parameter yang dievaluasi: correlation coefficient (ρ), p-value
- C. Analisis Agreement**
1. *Bland-Altman Analysis*
- a. Digunakan untuk mengevaluasi agreement antara dua metode pengukuran
 - b. Parameter yang dievaluasi: mean difference, limits of agreement (mean difference $\hat{A} \pm 1.96 \times SD$ of differences)
2. *Intraclass Correlation Coefficient (ICC)*

- a. Digunakan untuk mengevaluasi konsistensi atau reproduktibilitas pengukuran
- b. Tipe ICC: ICC (3,1) untuk konsistensi pengukuran berulang oleh operator yang sama, ICC (2,1) untuk konsistensi pengukuran oleh operator yang berbeda
- c. Parameter yang dievaluasi: ICC value, confidence interval

3.5.3. Metode Analisis Perbandingan Antar Alat Survei

A. *One-way ANOVA*

1. Perbandingan Nilai IRI
 - a. Digunakan untuk membandingkan nilai IRI dari lebih dari dua alat survei pada sample uji yang sama
 - b. Hipotesis nol: tidak ada perbedaan signifikan antara nilai IRI dari berbagai alat survei
 - c. Parameter yang dievaluasi: F-statistic, p-value
2. Post-hoc Tests
 - a. Digunakan untuk mengidentifikasi pasangan alat survei yang berbeda secara signifikan
 - b. Metode: *Tukey's HSD, Bonferroni correction*
 - c. Parameter yang dievaluasi: *mean difference, p-value, confidence interval*

B. *Two-way ANOVA*

1. Interaksi Alat Survei dan Kondisi Jalan
 - a. Digunakan untuk mengevaluasi interaksi antara jenis alat survei dan kondisi jalan
 - b. Faktor 1: jenis alat survei
 - c. Faktor 2: kondisi jalan (baik, sedang, rusak ringan, rusak berat)
 - d. Parameter yang dievaluasi: *main effects, interaction effect, F-statistic, p-value*
2. Interaksi Alat Survei dan Kecepatan
 - a. Digunakan untuk mengevaluasi interaksi antara jenis alat survei dan kecepatan kendaraan

- b. Faktor 1: jenis alat survei
- c. Faktor 2: kecepatan kendaraan (rendah, sedang, tinggi)
- d. Parameter yang dievaluasi: main effects, interaction effect, F-statistic, p-value.

C. Analisis Biaya Manfaat

1. Perbandingan Biaya

- a. Digunakan untuk membandingkan biaya penggunaan berbagai alat survei
- b. Parameter yang dievaluasi: biaya investasi, biaya operasional, biaya pemeliharaan, biaya total

2. Perbandingan Manfaat

- a. Digunakan untuk membandingkan manfaat penggunaan berbagai alat survei
- b. Parameter yang dievaluasi: akurasi, presisi, efisiensi, kemudahan penggunaan

3. Rasio Biaya Manfaat

- a. Digunakan untuk mengevaluasi efisiensi ekonomi berbagai alat survei
- b. Parameter yang dievaluasi: *rasio biaya-manfaat*, *return on investment (ROI)*

3.5.4. Metode Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Hasil Pengukuran

A. Multiple Regression Analysis

1. Identifikasi Faktor Signifikan

- a. Digunakan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang signifikan mempengaruhi hasil pengukuran IRI
- b. Variabel dependen: perbedaan antara nilai IRI dari alat survei dan nilai IRI referensi
- c. Variabel independen: kecepatan kendaraan, suhu, kelembaban, waktu pengukuran, operator, dll.

- d. Parameter yang dievaluasi: koefisien regresi, p-value, standardized coefficients (beta).

2. Model Prediktif

- a. Digunakan untuk mengembangkan model prediktif untuk koreksi hasil pengukuran IRI
- b. Parameter yang dievaluasi: koefisien determinasi (R^2), *adjusted* R^2 , *RMSE*, *MAPE*

B. *Analysis of Covariance (ANCOVA)*

1. Pengaruh Faktor Kategorikal dengan Kontrol Kovariat

- a. Digunakan untuk mengevaluasi pengaruh faktor kategorikal (jenis alat survei, operator) dengan mengontrol kovariat (kecepatan, suhu)
- b. Parameter yang dievaluasi: *F-statistic*, *p-value*, *partial eta squared*

2. Interaksi Faktor Kategorikal dan Kovariat

- a. Digunakan untuk mengevaluasi interaksi antara faktor kategorikal dan kovariat
- b. Parameter yang dievaluasi: *interaction effect*, *F-statistic*, *p-value*

C. *Principal Componen Analysis (PCA)*

1. Reduksi Dimensi

- a. Digunakan untuk mengidentifikasi komponen utama yang menjelaskan variasi dalam data
- b. Parameter yang dievaluasi: eigenvalues, proportion of variance explained, cumulative proportion

2. Identifikasi Pola

- a. Digunakan untuk mengidentifikasi pola dan struktur dalam data multivariat
- b. Parameter yang dievaluasi: loading plot, score plot

3.5.5. Kriteria Evaluasi dan Interpretasi Hasil

A. Kriteria Akurasi

- a. Perbedaan absolut ≤ 0.5 m/km untuk jalan dengan kondisi baik ($IRI \leq 4$ m/km)
- b. Perbedaan absolut ≤ 1.0 m/km untuk jalan dengan kondisi sedang ($4 < IRI \leq 8$ m/km)
- c. Perbedaan absolut ≤ 1.5 m/km untuk jalan dengan kondisi buruk ($IRI > 8$ m/km)
- d. Perbedaan relatif $\leq 10\%$ untuk jalan dengan kondisi baik hingga sedang ($IRI \leq 8$ m/km)
- e. Perbedaan relatif $\leq 15\%$ untuk jalan dengan kondisi buruk ($IRI > 8$ m/km)
- f. $RMSE \leq 0.3$ m/km untuk alat survei Kelas 1
- g. $RMSE \leq 0,7$ m/km untuk alat survey Kelas 3
- h. $MAPE \leq 5\%$ untuk alat survei Kelas 1
- i. $MAPE \leq 5\%$ untuk alat survei Kelas 3

B. Kriteria Presisi

- a. Standar deviasi ≤ 0.3 m/km untuk alat survei Kelas 1
- b. Standar deviasi ≤ 0.3 m/km alat survei Kelas 3
- c. Koefisien variasi (CV) $\leq 5\%$ untuk alat survei Kelas 1
- d. Koefisien variasi (CV) $\leq 5\%$ untuk alat survei Kelas 3
- e. *Repeatability coefficient* ≤ 0.3 m/km untuk alat survei Kelas 1
- f. *Repeatability coefficient* ≤ 0.5 m/km untuk alat survei Kelas 3

C. Kriteria Linieritas

- a. *Koefisien korelasi* (r) ≤ 0.95 untuk alat survei Kelas
- b. *Koefisien korelasi* (r) ≤ 0.95 untuk aplikasi survei Kelas 3
- c. Koefisien determinasi (R^2) ≤ 0.95 untuk alat survei Kelas 1
- d. *Koefisien determinasi* (R^2) ≤ 0.95 untuk survei Kelas 3
- e. $0.95 \leq \text{slope} \leq 1.05$ untuk alat survei Kelas 1
- f. $0.95 \leq \text{slope} \leq 1.05$ untuk alat survei Kelas 3

- g. $-0.25 \leq \text{intercept} \leq 0.25$ untuk alat survei Kelas 1
- h. $-0.25 \leq \text{intercept} \leq 0.25$ untuk alat survei Kelas 3

D. Kriteria Konsistensi

- a. $\text{ICC} \leq 0.8$ untuk alat survei Kelas 1
- b. $\text{ICC} \leq 0.5$ untuk alat survei Kelas 3
- c. Mean difference mendekati nol (tidak ada bias sistematis)
- d. Limits of agreement dalam rentang yang dapat diterima secara klinis
- e. Konsistensi klasifikasi $\leq 95\%$ untuk alat survei Kelas 1
- f. Konsistensi klasifikasi $\leq 95\%$ untuk alat survei Kelas 3

3.6. Tahap Evaluasi Alat Survei IRI

3.6.1. Evaluasi Akurasi

- a. Membandingkan nilai IRI dari alat survei yang telah dikalibrasi dan divalidasi dengan nilai IRI dari alat survei referensi.
- b. Menghitung perbedaan absolut dan relatif antara kedua nilai IRI.
- c. Menghitung *Root Mean Square Error (RMSE)* dan *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)*.
- d. Mengevaluasi apakah hasil pengukuran memenuhi kriteria akurasi yang ditetapkan.

3.6.2. Evaluasi Presisi

- a. Menghitung standar deviasi dan koefisien variasi dari pengukuran berulang.
- b. Menghitung *repeatability coefficient* untuk mengevaluasi konsistensi pengukuran berulang.
- c. Mengevaluasi apakah hasil pengukuran memenuhi kriteria presisi yang ditetapkan.

3.6.3. Evaluasi Linieritas

- a. Melakukan analisis regresi antara nilai IRI dari alat survei yang telah dikalibrasi dan divalidasi dan nilai IRI dari alat survei referensi.
- b. Menghitung *koefisien korelasi (r)* dan *koefisien determinasi (R²)*.

- c. Mengevaluasi slope dan intercept dari garis regresi.
- d. Mengevaluasi apakah hasil pengukuran memenuhi kriteria linearitas yang ditetapkan.

3.6.4. Evaluasi Konsistensi

- a. Menghitung *Intraclass Correlation Coefficient* (ICC) untuk mengevaluasi konsistensi pengukuran.
- b. Melakukan analisis *Bland-Altman* untuk mengevaluasi agreement antara metode pengukuran.
- c. Mengevaluasi konsistensi klasifikasi kondisi jalan berdasarkan nilai IRI
- d. Mengevaluasi apakah hasil pengukuran memenuhi kriteria konsistensi yang ditetapkan

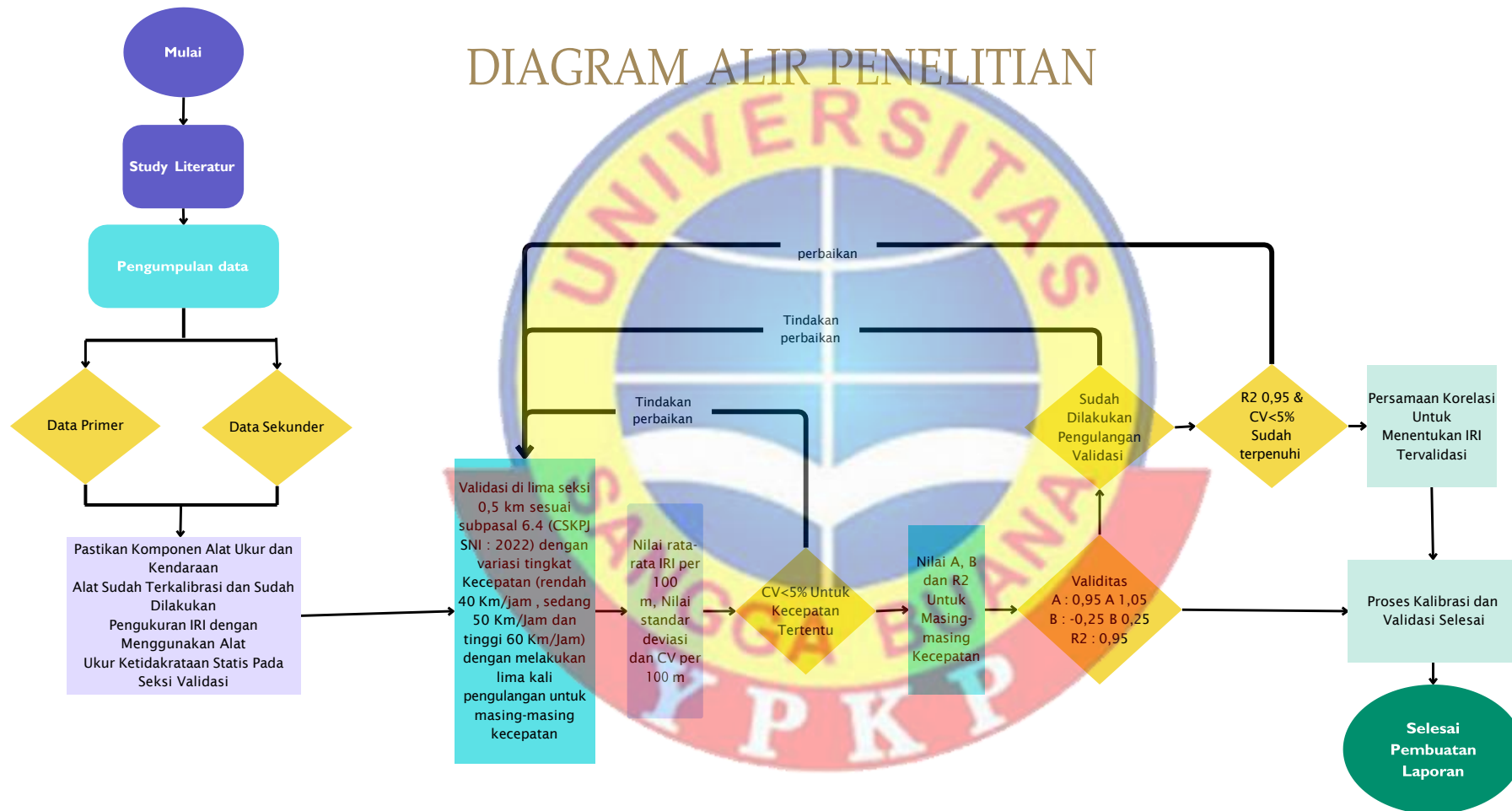
3.6.5. Evaluasi Pengaruh Faktor External

- a. Menganalisis pengaruh kecepatan kendaraan terhadap hasil pengukuran IRI.
- b. Menganalisis pengaruh kondisi lingkungan (suhu, kelembaban) terhadap hasil pengukuran IRI.
- c. Menganalisis pengaruh waktu pengukuran terhadap hasil pengukuran IRI.
- d. Menganalisis pengaruh operator terhadap hasil pengukuran IRI.
- e. Mengidentifikasi faktor-faktor yang paling mempengaruhi hasil pengukuran IRI.
- f. Melakukan identifikasi terhadap lintasan yang diambil

3.7. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir tahapan penelitian secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 3.7.1. Tahapan penelitian dimulai dari studi literatur dan pengumpulan data awal, dilanjutkan dengan pemilihan lokasi penelitian, persiapan alat dan kendaraan, kalibrasi alat survei IRI, validasi alat survei IRI, pengukuran IRI di lapangan, analisis data, dan diakhiri dengan evaluasi hasil kalibrasi dan validasi serta penarikan kesimpulan dan rekomendasi.

DIAGRAM ALIR PENELITIAN



BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

Bab ini membahas hasil kalibrasi, validasi, dan evaluasi kinerja alat survei ketidakrataan jalan (IRI) berdasarkan data pengukuran aktual menggunakan *Walking Profilometer* (Class 1) sebagai referensi dan dua perangkat tipe *respons* (Class 3), yaitu *ROUGHOMETER* III dan *IRIMETER-2* dan 1 perangkat tipe Laser (Class 1) yaitu *HAWKEYE* 2000 Series. Analisis mencakup regresi linier (slope intersep, koefisien determinasi), akurasi (*RMSE*, *MAPE*), presisi (CV), serta kesepadanan metode melalui Bland–Altman.

Tujuan utama pembahasan adalah:

1. Menafsirkan hasil kalibrasi apakah persamaan kalibrasi yang diperoleh memenuhi kriteria akurasi, presisi, linearitas, dan konsistensi.
2. Mengonfirmasi hasil validasi apakah alat yang telah dikalibrasi memberikan hasil yang sepadan (*agreement*) dengan alat referensi pada lokasi yang berbeda.
3. Membandingkan kinerja antar alat (Kelas 1 vs Kelas 3) dalam berbagai kondisi jalan dan kecepatan operasi.
4. Mengidentifikasi faktor operasional dan lingkungan yang paling memengaruhi hasil pengukuran.

4.2. Deskripsi Lokasi dan Objek Penelitian

4.2.1. Gambaran Umum Lokasi

Lokasi penelitian dipilih berdasarkan kriteria yang dijabarkan pada Bab III (variabilitas kondisi permukaan, tipe perkerasan, geometri, aksesibilitas, dan keamanan). Secara ringkas:

- a. Ragam kondisi IRI: baik ($IRI < 4$ m/km), sedang ($4 \leq IRI < 8$ m/km), rusak ringan ($8 \leq IRI < 12$ m/km), dan rusak berat ($IRI \geq 12$ m/km).
- b. Tipe perkerasan: aspal (AC, HMA, SMA) pada sealed road, konsisten dengan batasan penelitian.
- c. Geometri: mayoritas segmen lurus dan datar untuk keperluan kalibrasi; beberapa segmen ber-tikungan/grade untuk evaluasi pengaruh geometri.

Akses: seluruh segmen dapat diukur berulang (*repeatability*) pada kecepatan operasi yang direkomendasikan oleh masing-masing alat.

Tabel 4.1 Lokasi Sample

Sample	Lokasi Sample	Panjang sample	Koordinat Sample
Sample 1	Jl. Otista, Kec. Tarogong Kaler, Kabupaten Garut, Jawa Barat	500 Meter	Awal (-7.167835, 107.896501) Akhir (-7.171300, 107.893748)
Sample 2	Jl. H. Hasan Arif, Kec. Banyuresmi, Kabupaten Garut, Jawa Barat	500 Meter	Awal (-7.174764, 107.904350) Akhir (-7.178682, 107.906149)
Sample 3	Jl. Prof. KH. Anwar Musaddad, Kec. Tarogong Kaler, Kabupaten Garut, Jawa Barat	500 Meter	Awal (-7.180291, 107.928930) Akhir (-7.180522, 107.924271)
Sample 4	Jl. Prof. KH. Anwar Musaddad, Kec. Tarogong Kaler, Kabupaten Garut, Jawa Barat	500 Meter	Awal (-7.168503, 107.901847) Akhir (-7.172787, 107.903307)

Sample	Lokasi Sample	Panjang sample	Koordinat Sample
Sample 5	Jl. Prof. KH. Anwar Musaddad, Kec. Tarogong Kaler, Kabupaten Garut, Jawa Barat	500 Meter	Awal (-7.177817, 107.905636) Akhir (-7.174727, 107.904196)

4.2.2. Objek Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada beberapa ruas jalan yang dipilih berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan pada Bab III, yaitu variasi kondisi permukaan, tipe perkerasan, dan aksesibilitas. Lokasi penelitian mencakup ruas jalan dengan kondisi baik ($IRI < 4$ m/km), sedang ($4 \leq IRI < 8$ m/km), dan rusak ringan ($8 \leq IRI < 12$ m/km). Pemilihan lokasi ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja alat survei pada berbagai tingkat ketidakrataan.

Objek penelitian berupa alat survei ketidakrataan jalan yang terdiri dari:

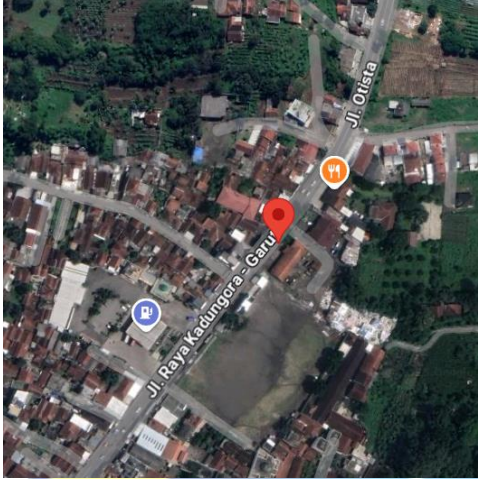
- Alat Kelas 1 (*Walking Profilometer*) sebagai referensi kalibrasi.
- Alat Kelas 1 (*Laser Profiler*) sebagai alat yang diuji
- Alat Kelas 3 (*Roughometer III* dan *IRIMETER 2*) sebagai alat yang diuji.

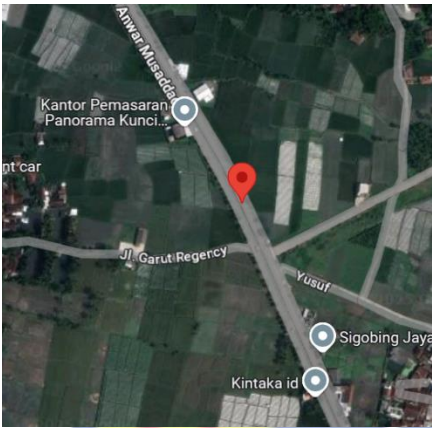
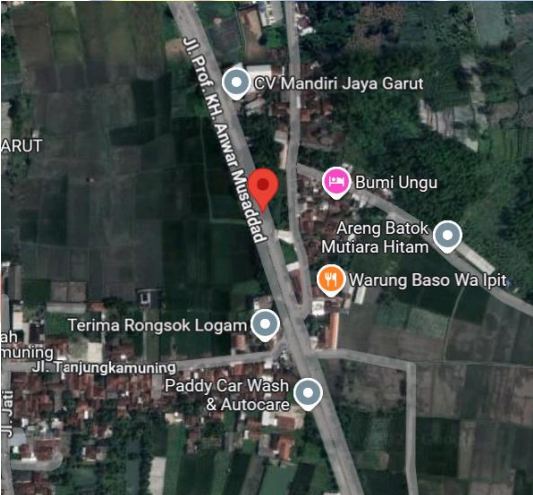
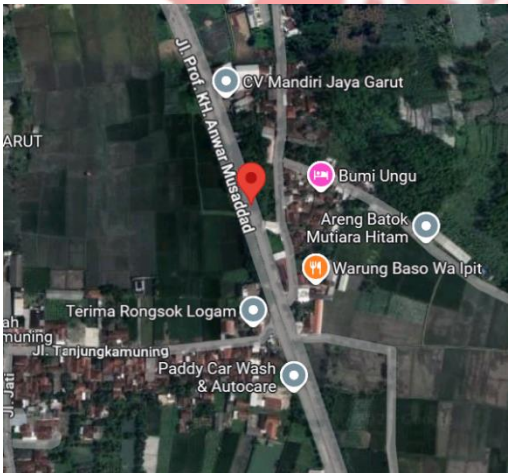
Selain itu, kendaraan survei yang digunakan adalah SUV dengan spesifikasi suspensi sesuai standar operasional, serta dilengkapi sistem GPS untuk pencatatan koordinat pengukuran. Parameter utama yang diukur adalah nilai IRI (m/km) untuk setiap segmen 100 meter, sedangkan parameter pendukung meliputi kecepatan kendaraan, kondisi cuaca, dan waktu pengukuran.

Tabel 4.2 Site Kalibrasi Garut

Seksi Percobaan	STA	IRI Referensi	IRI Rata2	Seksi IRI RAta2	Min. 2 Segmen IRI >6 m
SP1	100	3.23	3.288	Seksi 1 ($\leq 3,5$)	OK
	200	2.75			
	300	2.44			
	400	4.26			
	500	3.76			
SP3	100	5.42	5.896	Seksi 2 (2 - 7)	OK
	200	6.13			
	300	4.69			
	400	6.62			
	500	6.62			
SP2	100	5.69	4.876	Seksi 3 (4-5)	OK
	200	4.46			
	300	4.41			
	400	5.81			
	500	4.01			
SP4	100	4.98	5.85	Seksi 4 (2 - 7)	OK
	200	5.87			
	300	5.57			
	400	6.39			
	500	6.44			
SP5	100	7.23	7.388	Seksi 5 ($\geq 5,5$)	OK
	200	5.55			
	300	6.92			
	400	8.49			
	500	8.75			

Tabel 4.3 Peta Lokasi Kegiatan

No.	Peta Lokasi Kegiatan	Tempat Kegiatan Validasi di Lapangan
1.		Lokasi Validasi Sampel 1 Jalan Prof. Otista, Kecamatan Banyuresmi, Garut, Jawa Barat
2.		Lokasi Validasi Sampel 2 Jalan H. Hasan Arif, Sukasenang, Garut, Jawa Barat

No.	Peta Lokasi Kegiatan	Tempat Kegiatan Validasi di Lapangan
3.		Lokasi Validasi Sampel 3 Jalan Prof. KH. Anwar Musaddad, Garut, Jawa Barat
4.		Lokasi Validasi Sampel 4 Jalan Prof. KH. Anwar Musaddad, Garut, Jawa Barat
5.		Lokasi Validasi Sampel 5 Jalan Prof. KH. Anwar Musaddad, Garut, Jawa Barat

Sumber Peta Lokasi Kegiatan

Tabel 4.4 Dokumentasi Lapangan

No	Dokumentasi Lapangan	Tempat Kegiatan Validasi Lapangan
1.		Lokasi Validasi Sampel 1 Jalan Otista, Tarogong Kaler, Garut, Jawa Barat
2.		Lokasi Validasi Sampel 2 Jalan Prof. KH. Anwar Musaddad, Garut, Jawa Barat
3		Lokasi Validasi Sampel 3 Jalan H. Hasan Arif, Garut, Jawa Barat

No	Dokumentasi Lapangan	Tempat Kegiatan Validasi Lapangan
4.		Lokasi Validasi Sampel 4 Jalan Letjen Ibrahim Adjie, Tarogong Kaler, Garut, Jawa Barat
5		Lokasi Validasi Sampel 5 Jalan Suherman, Traogong Kaler, Garut, Jawa Barat

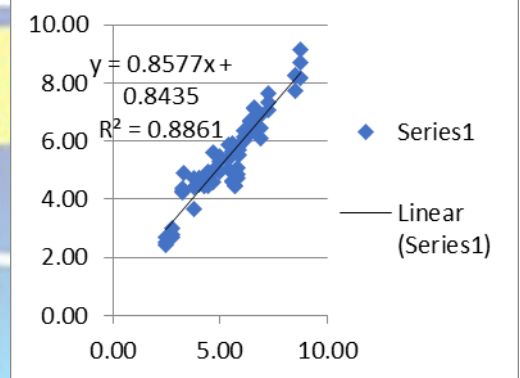
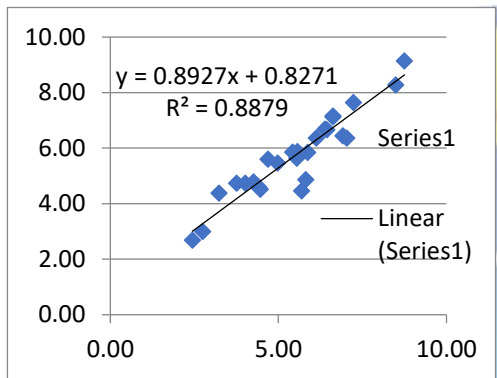
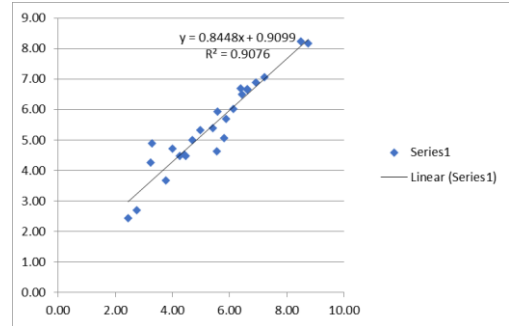
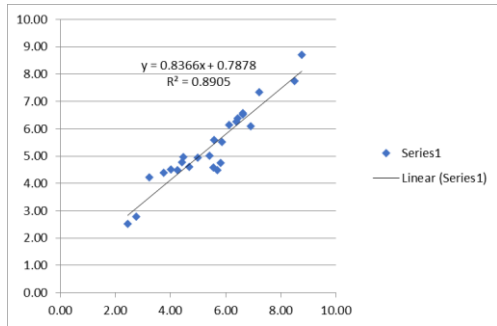
Sumber Dokumentasi Lapangan

4.3. Hasil Alat Sebelum Melakukan Kalibrasi

Alat Survei *Roughometer* III

Tabel 4.5 Hasil Validasi *Roughometer* III Terhadap *Walking Profilometer*

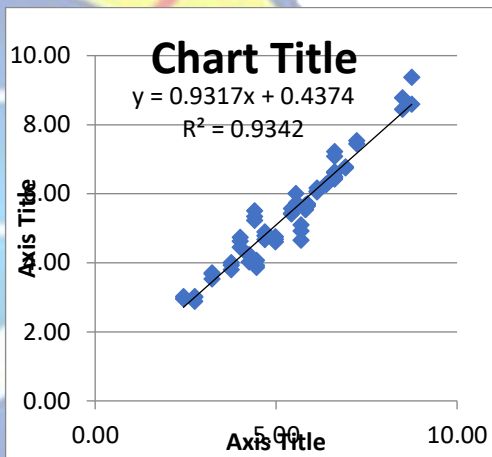
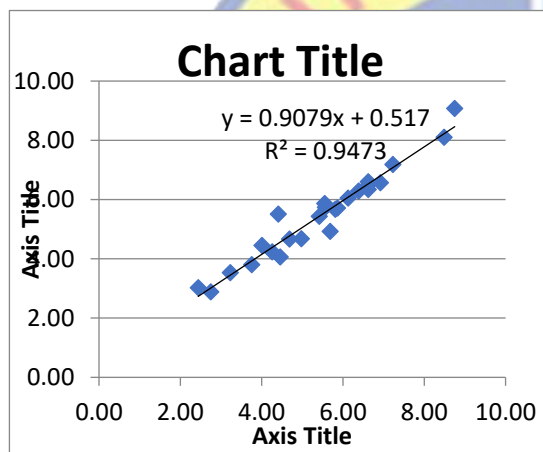
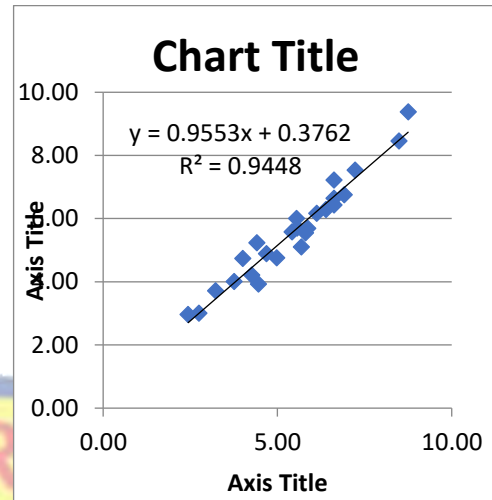
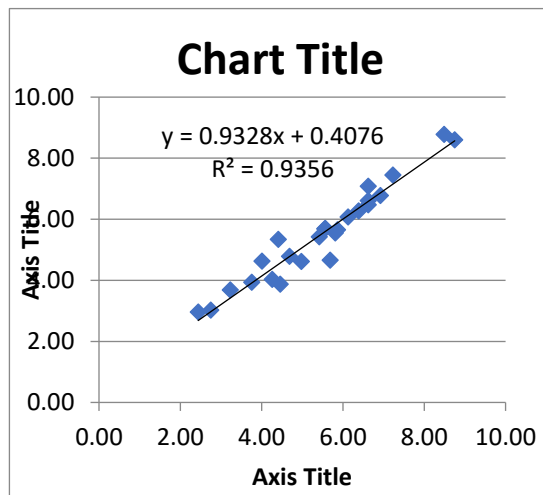
Seksi	Jarak	IRI Referensi	Kecepatan	Coba 1	Coba 2	Coba 3	Coba 4	Coba 5	Rata-rata	Standar Deviasi (SD)	Koefisien Variasi (CV)	
SP 1	100	3.23	40	4.1	4.4	4.2	4.2	4.2	4.22	0.11	3%	Validasi 1 Kecepatan = 40 km/jam IRIacuan = A x IRI akselerometer+B A = 0.837 B = 0.788 R2 = 0.890 CV= 5.85% Persyaratan 0.95 ≤ A ≤ 1.05 = Tidak Memenuhi -0.25 ≤ B ≤ 0.25 = Tidak Memenuhi
	200	2.75	40	2.5	4.0	2.4	2.4	2.6	2.78	0.69	25%	
	300	2.44	40	2.6	2.4	2.6	2.4	2.6	2.52	0.11	4%	
	400	4.26	40	4.7	4.1	4.7	4.1	4.8	4.48	0.35	8%	
	500	3.76	40	4.4	4.4	4.5	4.2	4.5	4.40	0.12	3%	
SP2	100	5.69	40	4.0	4.6	4.5	4.4	4.9	4.48	0.33	7%	
	200	4.46	40	4.2	6.6	4.7	4.4	4.9	4.96	0.96	19%	
	300	4.41	40	4.9	5.0	4.5	4.9	4.6	4.78	0.22	5%	
	400	5.81	40	4.4	4.9	5.2	4.6	4.6	4.74	0.31	7%	
	500	4.01	40	4.1	5.4	4.4	4.1	4.5	4.50	0.53	12%	
SP3	100	5.42	40	4.8	5.4	5.1	4.9	4.9	5.02	0.24	5%	
	200	6.13	40	6.0	6.0	6.0	6.2	6.5	6.14	0.22	4%	
	300	4.69	40	4.8	4.6	4.6	4.5	4.5	4.60	0.12	3%	
	400	6.62	40	6.5	6.4	6.7	6.6	6.7	6.58	0.13	2%	
	500	6.62	40	6.7	6.6	6.6	6.5	6.2	6.52	0.19	3%	
SP4	100	4.98	40	4.9	5.1	4.9	4.8	5.0	4.94	0.11	2%	
	200	5.87	40	5.7	5.5	5.2	5.7	5.5	5.52	0.20	4%	
	300	5.57	40	5.6	5.7	5.7	5.5	5.5	5.60	0.10	2%	
	400	6.39	40	6.4	6.4	6.2	6.1	6.2	6.26	0.13	2%	
	500	6.44	40	6.2	6.4	6.5	6.4	6.4	6.38	0.11	2%	
SP 5	100	7.23	40	7.6	7.6	7.2	6.5	7.8	7.34	0.52	7%	
	200	5.55	40	4.5	4.7	4.8	4.4	4.5	4.58	0.16	4%	
	300	6.92	40	5.9	6.5	6.2	6.1	5.8	6.10	0.27	4%	
	400	8.49	40	7.2	8.2	8.0	7.5	7.8	7.74	0.40	5%	
	500	8.75	40	8.2	8.9	9.4	8.0	9.0	8.70	0.58	7%	
SP 1	100	3.23	50	4.1	4.4	4.4	4.4	4.0	4.26	0.19	5%	Validasi 2 Kecepatan = 50 km/jam IRIacuan = A x IRI akselerometer+B A = 0.845 B = 0.910 R2 = 0.908 CV= 5.70% Persyaratan 0.95 ≤ A ≤ 1.05 = Tidak Memenuhi -0.25 ≤ B ≤ 0.25 = Tidak Memenuhi
	200	2.75	50	2.6	2.8	2.7	2.7	2.7	2.70	0.07	3%	
	300	2.44	50	2.5	2.4	2.4	2.5	2.4	2.44	0.05	2%	
	400	4.26	50	4.9	4.0	4.0	4.8	4.7	4.48	0.44	10%	
	500	3.76	50	4.8	0.1	4.5	4.5	4.5	3.68	2.01	54%	
SP2	100	3.29	50.00	4.90	5.10	5.10	4.90	4.40	4.88	0.29	6%	
	200	4.46	50	4.4	4.4	4.6	4.4	4.6	4.48	0.11	2%	
	300	4.41	50	4.5	4.7	4.4	4.4	4.6	4.52	0.13	3%	
	400	5.81	50	4.8	5.5	4.7	5.5	4.8	5.06	0.40	8%	
	500	4.01	50	4.5	4.9	4.7	4.7	4.8	4.72	0.15	3%	
SP3	100	5.42	50	5.4	5.4	5.2	5.5	5.4	5.38	0.11	2%	
	200	6.13	50	6.2	6.0	5.9	6.1	5.9	6.02	0.13	2%	
	300	4.69	50	4.9	5.1	5.0	4.9	5.1	5.00	0.10	2%	
	400	6.62	50	6.7	6.5	6.6	6.7	6.7	6.64	0.09	1%	
	500	6.62	50	6.8	6.5	6.7	6.6	6.7	6.66	0.11	2%	
SP4	100	4.98	50	5.5	5.4	5.2	5.1	5.4	5.32	0.16	3%	
	200	5.87	50	5.7	5.8	5.8	5.6	5.6	5.70	0.10	2%	
	300	5.57	50	5.8	5.9	6.0	6.0	5.9	5.92	0.08	1%	
	400	6.39	50	6.5	6.7	6.8	6.9	6.6	6.70	0.16	2%	
	500	6.44	50	6.8	6.4	6.4	6.5	6.4	6.50	0.17	3%	
SP 5	100	7.23	50	6.5	7.9	7.0	6.8	7.1	7.06	0.52	7%	
	200	5.55	50	4.8	4.6	4.8	4.4	4.5	4.62	0.18	4%	
	300	6.92	50	6.8	7.1	7.1	6.4	7.0	6.88	0.29	4%	
	400	8.49	50	8.1	8.1	8.4	8.5	8.1	8.24	0.19	2%	
	500	8.75	50	7.2	7.9	8.9	8.4	8.4	8.16	0.64	8%	
SP 1	100	3.23	60	4.4	4.4	4.2	4.5	4.4	4.38	0.11	3%	Validasi 3 Kecepatan = 60 km/jam IRIacuan = A x IRI akselerometer+B A = 0.893 B = 0.827 R2 = 0.888 CV= 4.31% Persyaratan 0.95 ≤ A ≤ 1.05 = Tidak Memenuhi -0.25 ≤ B ≤ 0.25 = Tidak Memenuhi
	200	2.75	60	2.6	2.9	2.9	2.6	4.0	3.00	0.58	19%	
	300	2.44	60	2.6	2.7	2.8	2.6	2.7	2.68	0.08	3%	
	400	4.26	60	4.9	4.8	4.9	4.4	4.9	4.78	0.22	5%	
	500	3.76	60	4.5	4.7	4.9	4.8	4.8	4.74	0.15	3%	
SP2	100	5.69	60	4.0	4.7	4.9	4.0	4.7	4.46	0.43	10%	
	200	4.46	60	4.5	4.6	4.6	4.4	4.5	4.52	0.08	2%	
	300	4.41	60	4.7	4.6	4.6	4.7	4.4	4.60	0.12	3%	
	400	5.81	60	4.7	5.1	4.9	4.8	4.8	4.86	0.15	3%	
	500	4.01	60	4.8	4.9	4.5	4.7	4.8	4.74	0.15	3%	
SP3	100	5.42	60	6.0	5.9	5.8	5.8	5.8	5.86	0.09	2%	
	200	6.13	60	6.4	6.2	6.4	6.4	6.4	6.36	0.09	1%	
	300	4.69	60	5.4	5.6	5.5	5.8	5.7	5.60	0.16	3%	
	400	6.62	60	7.5	7.0	7.2	7.1	7.0	7.16	0.21	3%	
	500	6.62	60	7.0	7.0	7.6	7.0	7.0	7.12	0.27	4%	
SP4	100	4.98	60	5.5	5.4	5.4	5.4	5.6	5.46	0.09	2%	
	200	5.87	60	5.9	5.9	5.8	5.7	5.9	5.84	0.09	2%	
	300	5.57	60	5.8	5.7	5.6	5.8	6.5	5.88	0.36	6%	
	400	6.39	60	6.7	6.5	6.6	6.5	7.1	6.68	0.25	4%	
	500	6.44	60	6.7	6.6	6.4	6.7	6.9	6.66	0.18	3%	
SP 5	100	7.23	60	8.4	7.5	7.1	7.7	7.5	7.64	0.48	6%	
	200	5.55	60	5.9	5.7	5.0	5.9	5.7	5.64	0.37	7%	
	300	6.92	60	6.4	6.6	6.5	6.6	6.1	6.44	0.21	3%	
	400	8.49	60	8.4	8.4	8.4	8.2	8.0	8.28	0.18	2%	
	500	8.75	60	8.6	8.4	10.1	9.8	8.8	9.14	0.76	8%	
Validasi Gabungan									IRIacuan = A x IRI akselerometer+B			Persyaratan
									A = 0.858			0.95 ≤ A ≤ 1.05 = Tidak Memenuhi
									B = 0.843			-0.25 ≤ B ≤ 0.25 = Tidak Memenuhi
									R ² = 0.886			R ² ≥ 0.95 = Tidak Memenuhi
									CV = 5.347			CV< 5% = Tidak Memenuhi



4.3.1. Alat Survei *IRIMETER* 2

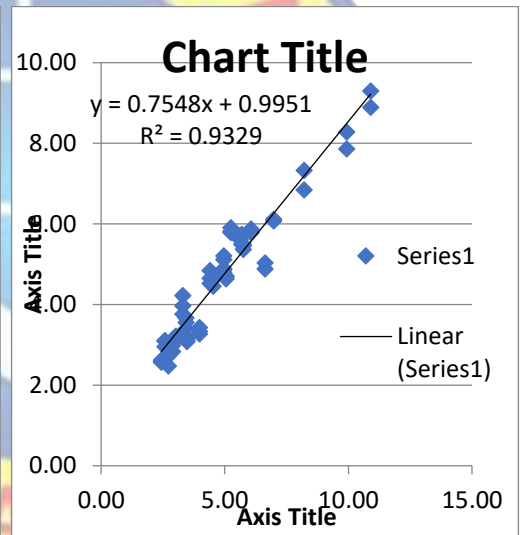
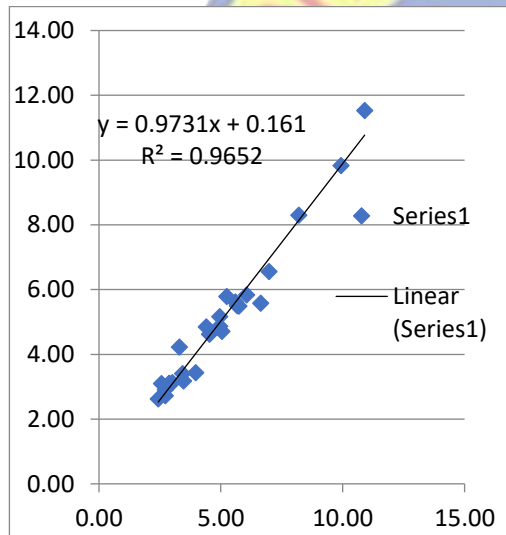
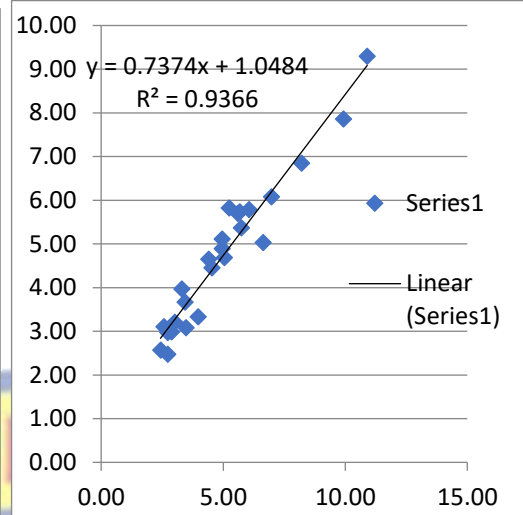
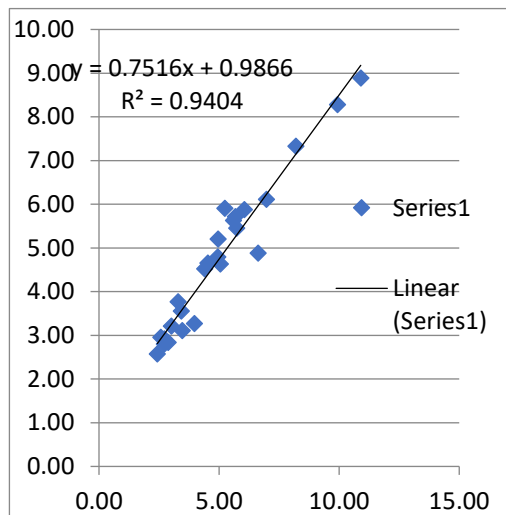
Tabel 4.6 Hasil Validasi Kiri *IRIMETER*-2 Terhadap Walaking Profilometer

HASIL VALIDASI KIRI IRIMETER-2 TERHADAP WALAKING PROFILOMETER											
Seksi	Jarak	Kecepatan	IRI Referensi	Coba 1	Coba 2	Coba 3	Coba 4	Coba 5	Rata-rata	Standar Deviasi (SD)	Koefisien Variasi (CV)
SP1	100	40	3.23	3.7	3.6	3.7	3.7	3.8	3.68	0.08	2%
	200	40	2.75	3.1	3.2	3.0	2.9	2.9	3.02	0.11	4%
	300	40	2.44	2.9	3.0	2.9	3.2	2.9	2.96	0.12	4%
	400	40	4.26	3.87	4.36	4.15	3.90	3.88	4.03	0.22	5%
	500	40	3.76	3.80	4.17	4.05	3.87	3.79	3.94	0.17	4%
SP2	100	40	5.69	4.5	4.7	4.6	4.6	4.9	4.66	0.17	4%
	200	40	4.46	3.9	3.8	3.7	4.0	4.0	3.87	0.12	3%
	300	40	4.41	5.4	5.4	5.4	5.3	5.2	5.34	0.08	1%
	400	40	5.81	5.55	5.53	5.53	5.55	5.57	5.55	0.02	0%
	500	40	4.01	4.44	4.53	4.63	4.70	4.85	4.63	0.16	3%
SP3	100	40	5.42	5.4	5.5	5.4	5.5	5.4	5.42	0.05	1%
	200	40	6.13	6.3	6.2	5.9	6.0	6.0	6.07	0.14	2%
	300	40	4.69	4.8	4.9	4.7	4.8	4.7	4.79	0.10	2%
	400	40	6.62	6.68	6.50	6.70	6.56	6.62	6.61	0.08	1%
	500	40	6.62	7.02	6.94	7.09	7.42	6.96	7.09	0.20	3%
SP4	100	40	4.98	4.8	4.6	4.4	4.7	4.7	4.61	0.15	3%
	200	40	5.87	5.7	5.6	5.7	5.6	5.6	5.65	0.06	1%
	300	40	5.57	5.6	5.8	5.7	5.8	5.6	5.70	0.08	1%
	400	40	6.39	6.35	6.24	6.40	6.17	6.20	6.27	0.10	2%
	500	40	6.62	6.27	6.46	6.51	6.62	6.49	6.47	0.13	2%
SP 5	100	40	7.23	7.79	7.28	7.44	7.24	7.49	7.45	0.22	3%
	200	40	5.55	5.75	5.69	5.88	5.85	5.28	5.69	0.24	4%
	300	40	6.92	6.79	6.63	6.97	6.72	6.78	6.78	0.12	2%
	400	40	8.49	8.81	8.65	9.07	8.84	8.54	8.78	0.20	2%
	500	40	8.75	8.54	8.14	8.59	8.70	9.02	8.60	0.32	4%
SP1	100	50	3.23	3.6	3.8	3.8	3.7	3.7	3.71	0.10	3%
	200	50	2.75	3.1	3.0	2.9	3.0	3.0	3.01	0.08	3%
	300	50	2.44	3.0	3.0	2.9	3.0	2.9	2.97	0.06	2%
	400	50	4.26	4.20	4.07	4.22	4.22	4.35	4.22	0.10	2%
	500	50	3.76	4.07	4.09	4.09	3.97	3.83	4.01	0.11	3%
SP2	100	50	5.69	5.2	5.1	5.0	5.2	5.1	5.11	0.09	2%
	200	50	4.46	3.9	4.0	3.8	4.0	4.0	3.93	0.06	2%
	300	50	4.41	5.4	5.2	5.3	5.2	5.0	5.23	0.18	3%
	400	50	5.81	5.36	5.72	5.53	5.43	5.71	5.55	0.16	3%
	500	50	4.01	4.89	4.86	4.90	4.72	4.32	4.74	0.24	5%
SP3	100	50	5.42	5.6	5.5	5.7	5.5	5.6	5.58	0.06	1%
	200	50	6.13	6.2	6.1	6.3	6.1	6.1	6.17	0.10	2%
	300	50	4.69	5.0	4.8	4.8	5.0	4.9	4.90	0.09	2%
	400	50	6.62	6.46	6.62	6.70	6.58	6.85	6.64	0.14	2%
	500	50	6.62	7.26	7.33	7.24	7.32	6.98	7.23	0.14	2%
SP4	100	50	4.98	4.8	4.7	4.8	4.7	4.8	4.76	0.03	1%
	200	50	5.87	5.6	5.7	5.7	5.7	5.7	5.69	0.04	1%
	300	50	5.57	5.9	5.5	5.7	5.8	5.6	5.70	0.14	2%
	400	50	6.39	6.37	6.20	6.17	6.39	6.29	6.29	0.10	2%
	500	50	6.62	6.34	6.48	6.47	6.64	6.22	6.43	0.16	2%
SP 5	100	50	7.23	7.27	7.65	7.24	7.81	7.72	7.54	0.26	4%
	200	50	5.55	6.22	5.75	6.03	5.92	6.13	6.01	0.18	3%
	300	50	6.92	6.75	6.82	6.88	6.67	6.63	6.75	0.10	1%
	400	50	8.49	8.55	8.30	8.29	8.46	8.67	8.45	0.16	2%
	500	50	8.75	9.31	9.59	9.63	9.16	9.22	9.38	0.22	2%
SP1	100	60	3.23	3.4	3.4	3.7	3.6	3.7	3.54	0.13	4%
	200	60	2.75	3.0	2.8	2.7	3.0	2.9	2.89	0.14	5%
	300	60	2.44	3.0	3.1	3.1	2.8	3.1	3.03	0.13	4%
	400	60	4.26	4.13	4.35	4.31	4.17	4.23	4.24	0.09	2%
	500	60	3.76	3.95	4.01	3.64	3.72	3.70	3.80	0.17	4%
SP2	100	60	5.69	5.0	4.9	5.0	5.0	4.8	4.93	0.10	2%
	200	60	4.46	4.1	4.0	4.1	4.1	4.1	4.07	0.06	1%
	300	60	4.41	5.4	5.6	5.4	5.3	5.9	5.51	0.24	4%
	400	60	5.81	5.69	5.81	5.59	5.74	5.53	5.67	0.11	2%
	500	60	4.01	4.36	4.19	4.61	4.63	4.48	4.45	0.18	4%
SP3	100	60	5.42	5.4	5.6	5.5	5.4	5.4	5.44	0.07	1%
	200	60	6.13	6.1	6.0	6.1	6.0	5.9	6.06	0.09	1%
	300	60	4.69	4.6	4.7	4.6	4.7	4.7	4.67	0.07	1%
	400	60	6.62	6.53	6.68	6.43	6.34	6.52	6.50	0.13	2%
	500	60	6.62	6.55	6.65	6.80	6.50	6.55	6.61	0.12	2%
SP4	100	60	4.98	4.7	4.8	4.5	4.7	4.7	4.69	0.10	2%
	200	60	5.87	6.0	5.7	5.8	5.6	5.6	5.72	0.16	3%
	300	60	5.57	6.0	5.7	5.6	5.8	5.6	5.74	0.17	3%
	400	60	6.39	6.25	6.13	6.54	6.21	6.29	6.29	0.16	2%
	500	60	6.62	6.62	6.47	6.04	6.31	6.29	6.35	0.22	3%
SP 5	100	60	7.23	7.11	7.39	6.90	7.22	7.35	7.19	0.20	3%
	200	60	5.55	6.09	5.48	5.98	5.85	5.98	5.87	0.23	4%
	300	60	6.92	6.47	6.73	6.74	6.41	6.47	6.57	0.16	2%
	400	60	8.49	7.86	8.34	8.32	8.09	7.90	8.10	0.23	3%
	500	60	8.75	9.07	8.91	9.09	9.32	8.98	9.07	0.15	2%
Validasi Gabungan IRIacuan = A x IRI akselerometer+B A = 0.932 B = 0.434 R ² = 0.941 CV= 2.52%											Persyaratan 0.95 ≤ A ≤ 1.05 = Tidak memenuhi -0.25 ≤ B ≤ 0.25 = Tidak memenuhi R ² ≥ 0.95 = Tidak Memenuhi CV< 5% = Memenuhi



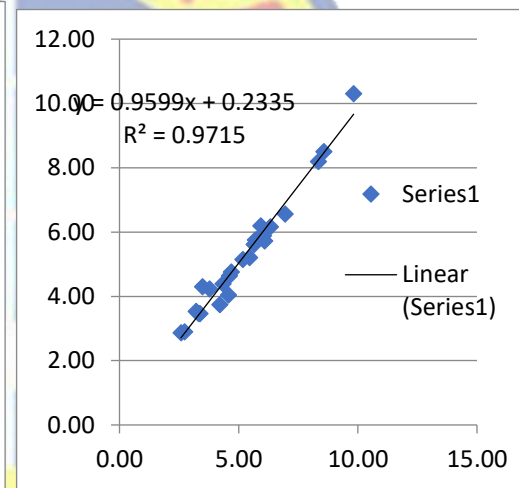
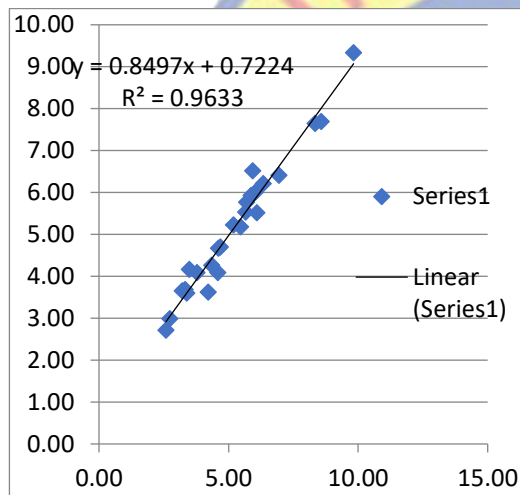
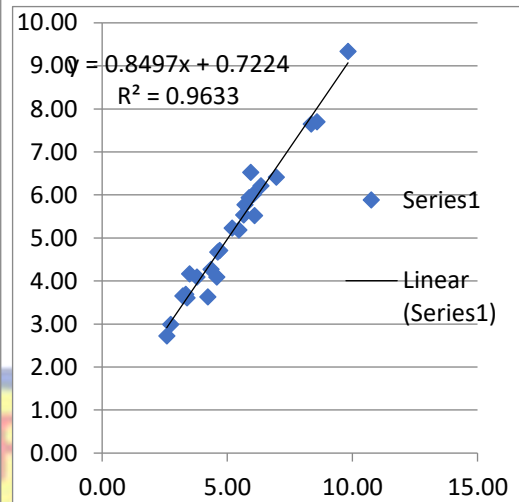
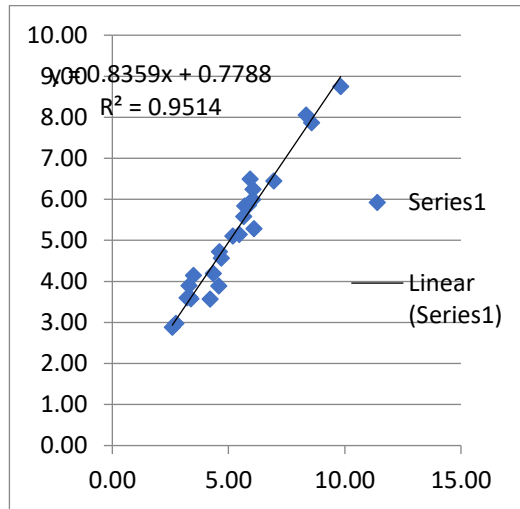
Tabel 4.7 Hasil Validasi Kanan *IRIMETER*-2 Terhadap Walaking Profilometer

Seksi	Jarak	Kecepatan	IRI Referensi	Coba 1	Coba 2	Coba 3	Coba 4	Coba 5	Rata-rata	Standar Deviasi (SD)	Koefisien Variasi (CV)	
SP1	100	40	3.43	3.6	3.6	3.4	3.6	3.5	3.55	0.09	3%	Validasi 1 Kecepatan = 40 km/jam IRI _{lucuan} = A x IRI akselerometer+B A = 0.752 B = 0.987 R ² = 0.940 CV= 2.79% Persyaratan 0.95 ≤ A ≤ 1.05 = Tidak memenuhi -0.25 ≤ B ≤ 0.25 = Tidak memenuhi R ² ≥ 0.95 = Tidak Memenuhi CV< 5% = Memenuhi
	200	40	2.72	2.7	3.0	3.0	2.9	3.0	2.92	0.12	4%	
	300	40	2.72	2.9	2.9	2.8	2.8	2.5	2.80	0.15	5%	
	400	40	3.30	3.82	3.95	3.88	3.54	3.63	3.77	0.17	5%	
	500	40	3.01	3.01	3.26	3.22	3.44	3.13	3.21	0.16	5%	
SP2	100	40	3.47	3.1	3.0	3.2	3.0	3.3	3.11	0.14	4%	
	200	40	3.97	3.1	3.3	3.3	3.3	3.4	3.27	0.13	4%	
	300	40	2.57	2.9	2.9	3.0	2.9	3.0	2.95	0.06	2%	
	400	40	2.88	2.88	2.78	2.83	2.78	2.90	2.83	0.06	2%	
	500	40	2.43	2.59	2.59	2.54	2.50	2.67	2.58	0.07	3%	
SP3	100	40	4.95	4.7	4.8	4.7	4.8	4.9	4.79	0.05	1%	
	200	40	5.60	5.7	5.7	5.5	5.6	5.6	5.63	0.09	2%	
	300	40	4.53	4.7	4.7	4.6	4.6	4.7	4.66	0.06	1%	
	400	40	6.06	5.93	5.79	5.92	5.85	5.88	5.87	0.06	1%	
	500	40	5.24	6.09	5.91	5.98	5.91	5.64	5.91	0.16	3%	
SP4	100	40	4.40	4.5	4.3	4.7	4.5	4.6	4.52	0.14	3%	
	200	40	5.05	4.5	4.7	4.7	4.7	4.6	4.63	0.07	2%	
	300	40	5.74	5.4	5.6	5.5	5.3	5.4	5.45	0.11	2%	
	400	40	5.68	5.94	5.66	5.86	5.43	5.69	5.72	0.20	4%	
	500	40	4.96	5.19	5.28	4.94	5.27	5.35	5.21	0.16	3%	
SP 5	100	40	9.93	7.83	8.13	8.66	8.45	8.34	8.28	0.32	4%	
	200	40	6.63	4.94	5.06	4.88	4.53	4.99	4.88	0.20	4%	
	300	40	6.98	5.90	6.11	6.19	6.16	6.19	6.11	0.12	2%	
	400	40	8.20	7.26	7.32	7.37	7.25	7.45	7.33	0.08	1%	
	500	40	10.90	8.86	8.78	9.08	8.73	8.99	8.89	0.14	2%	
SP1	100	50	3.43	3.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.67	0.04	1%	Validasi 2 Kecepatan = 50 km/jam IRI _{lucuan} = A x IRI akselerometer+B A = 0.737 B = 1.048 R ² = 0.937 CV= 2.64% Persyaratan 0.95 ≤ A ≤ 1.05 = Tidak memenuhi -0.25 ≤ B ≤ 0.25 = Tidak memenuhi R ² ≥ 0.95 = Tidak Memenuhi CV< 5% = Memenuhi
	200	50	2.72	3.0	2.9	3.0	3.1	3.0	2.98	0.08	3%	
	300	50	2.72	2.5	2.5	2.4	2.5	2.4	2.47	0.05	2%	
	400	50	3.30	4.00	4.25	3.73	3.89	3.97	3.97	0.19	5%	
	500	50	3.01	3.30	3.37	3.12	3.03	3.22	3.20	0.14	4%	
SP2	100	50	3.47	3.1	3.2	3.1	3.0	3.1	3.08	0.07	2%	
	200	50	3.97	3.3	3.2	3.4	3.4	3.3	3.33	0.08	2%	
	300	50	2.57	3.1	3.2	3.0	3.0	3.2	3.10	0.10	3%	
	400	50	2.88	3.13	3.07	2.93	2.94	2.85	2.98	0.11	4%	
	500	50	2.43	2.71	2.50	2.55	2.44	2.63	2.57	0.11	4%	
SP3	100	50	4.95	4.9	4.9	4.9	4.8	4.9	4.89	0.04	1%	
	200	50	5.60	5.6	5.8	5.8	5.6	5.6	5.70	0.11	2%	
	300	50	4.53	4.4	4.5	4.2	4.6	4.5	4.45	0.15	3%	
	400	50	6.06	5.71	5.62	5.78	5.82	5.98	5.78	0.13	2%	
	500	50	5.24	5.80	5.95	5.86	5.80	5.69	5.82	0.10	2%	
SP4	100	50	4.40	4.7	4.5	4.7	4.6	4.7	4.65	0.06	1%	
	200	50	5.05	4.5	4.7	4.7	4.7	4.8	4.68	0.09	2%	
	300	50	5.74	5.3	5.3	5.4	5.3	5.5	5.36	0.08	1%	
	400	50	5.68	5.55	5.85	5.88	5.84	5.56	5.73	0.17	3%	
	500	50	4.96	5.11	5.15	5.25	5.05	5.01	5.11	0.09	2%	
SP 5	100	50	9.93	8.16	7.46	7.85	8.16	7.67	7.86	0.31	4%	
	200	50	6.63	5.18	4.94	4.95	5.21	4.88	5.03	0.15	3%	
	300	50	6.98	6.17	6.22	6.12	5.98	5.89	6.08	0.14	2%	
	400	50	8.20	6.33	7.05	7.27	6.84	6.74	6.84	0.35	5%	
	500	50	10.90	9.37	9.23	9.57	9.04	9.28	9.30	0.19	2%	
SP1	100	60	3.43	3.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.40	0.04	1%	Validasi 3 Kecepatan = 60 km/jam IRI _{lucuan} = A x IRI akselerometer+B A = 0.973 B = 0.161 R ² = 0.965 CV= 0.026 Persyaratan 0.95 ≤ A ≤ 1.05 = Memenuhi -0.25 ≤ B ≤ 0.25 = Memenuhi R ² ≥ 0.95 = Memenuhi CV< 5% = Memenuhi
	200	60	2.72	3.0	3.0	2.8	2.9	2.9	2.91	0.10	3%	
	300	60	2.72	2.8	2.7	2.7	2.7	2.8	2.72	0.05	2%	
	400	60	3.30	4.22	4.23	4.45	4.13	4.09	4.22	0.14	3%	
	500	60	3.01	3.08	3.13	3.05	3.12	3.26	3.13	0.08	3%	
SP2	100	60	3.47	3.0	3.3	3.2	3.1	3.3	3.17	0.11	3%	
	200	60	3.97	3.5	3.6	3.6	3.3	3.1	3.43	0.23	7%	
	300	60	2.57	3.0	3.1	3.1	3.1	3.0	3.09	0.06	2%	
	400	60	2.88	2.96	3.03	3.26	2.99	3.31	3.11	0.16	5%	
	500	60	2.43	2.57	2.63	2.61	2.63	2.65	2.62	0.03	1%	
SP3	100	60	4.95	4.8	4.9	4.8	4.9	4.8	4.86	0.05	1%	
	200	60	5.60	5.7	5.7	5.6	5.6	5.5	5.62	0.08	1%	
	300	60	4.53	4.6	4.6	4.6	4.7	4.6	4.62	0.06	1%	
	400	60	6.06	5.87	5.85	5.87	5.73	5.86	5.83	0.06	1%	
	500	60	5.24	5.82	5.88	5.58	5.71	5.93	5.79	0.14	2%	
SP4	100	60	4.40	5.0	4.9	4.9	4.8	4.7	4.84	0.13	3%	
	200	60	5.05	4.6	4.7	4.6	4.8	4.8	4.71	0.09	2%	
	300	60	5.74	5.4	5.5	5.4	5.5	5.6	5.49	0.09	2%	
	400	60	5.68	5.42	5.37	5.65	5.48	5.55	5.49	0.11	2%	
	500	60	4.96	5.30	5.28	5.15	4.95	5.13	5.16	0.14	3%	
SP 5	100	60	9.93	9.80	9.57	9.83	10.26	9.65	9.82	0.27	3%	
	200	60	6.63	5.70	5.55	5.39	5.96	5.28	5.58	0.27	5%	
	300	60	6.98	6.91	6.51	6.59	6.35	6.39	6.55	0.22	3%	
	400	60	8.20	8.54	8.45	8.10	8.04	8.37	8.30	0.22	3%	
	500	60	10.90	11.52	11.65	11.25	11.98	11.27	11.53	0.30	3%	
Validasi Gabungan												
IRI _{lucuan} = A x IRI akselerometer+B												
A = 0.821												
B = 0.732												
R ² = 0.929												
CV= 2,68%												
Persyaratan												
0.95 ≤ A ≤ 1.05 = Tidak memenuhi												
-0.25 ≤ B ≤ 0.25 = Tidak memenuhi												
R ² ≥ 0.95 = Tidak Memenuhi												
CV< 5% = Memenuhi												



Tabel 4.8 Hasil Validasi Gabungan *IRIMETER-2* Terhadap Walaking Profilometer

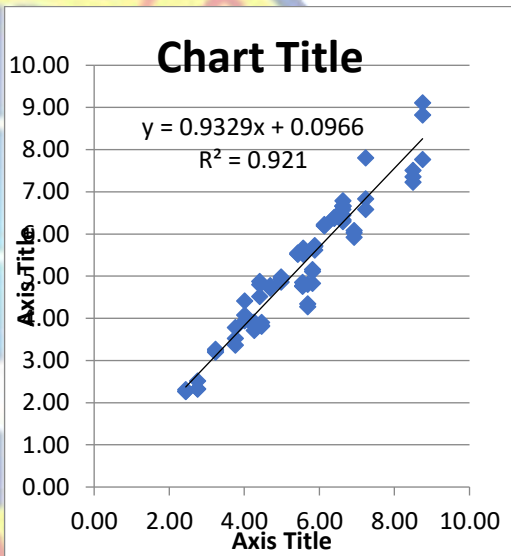
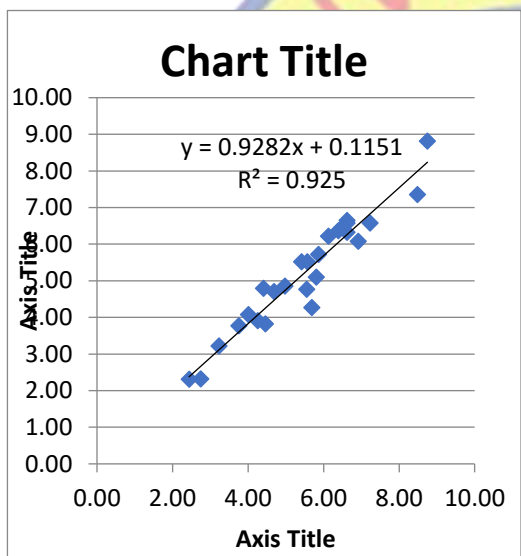
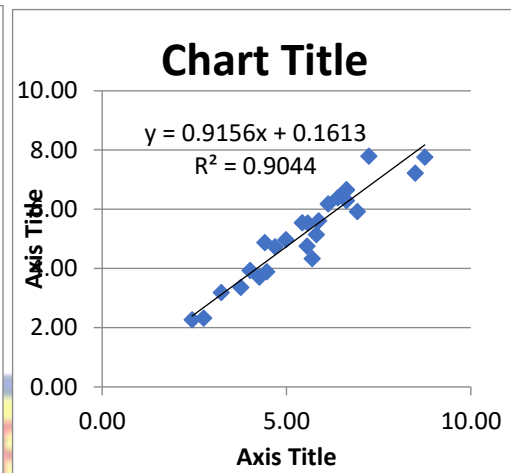
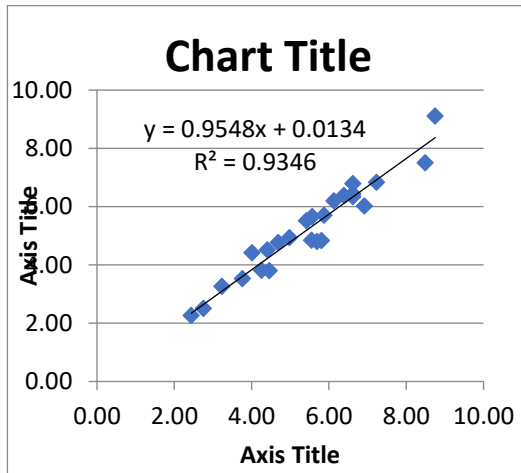
Lokasi	Jarak (Meter)	Kecepatan (Km/Jam)	IRI Referensi (m/Km)	IRIMETER II (m/Km)						Standar Deviasi (SD)	Koefisien Variasi (CV)	
				Coba 1	Coba 2	Coba 3	Coba 4	Coba 5	Rata-Rata			
SP1	100	40	3.33	3.61	3.63	3.54	3.63	3.68	3.62	0.05	1%	Validasi 1 Kecepatan = 40 km/jam $IRI_{lucuan} = A \times IRI_{akselerometer} + B$ $A = 0.836$ $B = 0.779$ $R^2 = 0.951$ $CV = 2.01\%$ Persyaratan $0.95 \leq A \leq 1.05$ = Tidak memenuhi $-0.25 \leq B \leq 0.25$ = Tidak memenuhi $R^2 \geq 0.95$ = Memenuhi $CV < 5\%$ = Memenuhi
	200	40	2.74	2.89	3.07	3.03	2.91	2.97	2.97	0.08	3%	
	300	40	2.58	2.90	2.94	2.86	2.99	2.72	2.88	0.10	4%	
	400	40	3.30	3.85	4.16	4.02	3.72	3.75	3.90	0.18	5%	
	500	40	3.39	3.41	3.71	3.64	3.66	3.46	3.58	0.13	4%	
SP2	100	40	4.58	3.81	3.83	3.87	3.79	4.12	3.88	0.14	4%	
	200	40	4.22	3.46	3.52	3.54	3.65	3.69	3.57	0.09	3%	
	300	40	3.49	4.14	4.17	4.20	4.09	4.13	4.15	0.04	1%	
	400	40	4.35	4.22	4.15	4.18	4.16	4.24	4.19	0.04	1%	
	500	40	3.22	3.51	3.56	3.59	3.60	3.76	3.60	0.09	3%	
SP3	100	40	5.19	5.05	5.14	5.08	5.15	5.12	5.11	0.04	1%	
	200	40	5.87	5.99	5.95	5.73	5.77	5.81	5.85	0.11	2%	
	300	40	4.61	4.75	4.79	4.63	4.72	4.72	4.72	0.06	1%	
	400	40	6.06	6.31	6.14	6.31	6.20	6.25	6.24	0.07	1%	
	500	40	5.93	6.55	6.43	6.54	6.67	6.30	6.50	0.14	2%	
SP4	100	40	4.69	4.63	4.45	4.52	4.57	4.67	4.57	0.09	2%	
	200	40	5.46	5.12	5.16	5.19	5.13	5.12	5.14	0.03	1%	
	300	40	5.66	5.53	5.68	5.59	5.57	5.51	5.58	0.07	1%	
	400	40	6.04	6.15	5.95	6.13	5.80	5.94	5.99	0.15	2%	
	500	40	5.70	5.73	5.87	5.73	5.94	5.92	5.84	0.10	2%	
SP 5	100	40	8.58	7.81	7.70	8.05	7.85	7.91	7.86	0.13	2%	
	200	40	6.09	5.34	5.37	5.38	5.19	5.13	5.28	0.11	2%	
	300	40	6.95	6.35	6.37	6.58	6.44	6.48	6.44	0.09	1%	
	400	40	8.35	8.03	7.98	8.22	8.05	7.99	8.05	0.10	1%	
	500	40	9.83	8.70	8.46	8.84	8.72	9.01	8.75	0.20	2%	
SP1	100	50	3.33	3.59	3.74	3.74	3.68	3.69	3.69	0.06	2%	Validasi 2 Kecepatan = 50 km/jam $IRI_{lucuan} = A \times IRI_{akselerometer} + B$ $A = 0.850$ $B = 0.722$ $R^2 = 0.963$ $CV = 1.73\%$ Persyaratan $0.95 \leq A \leq 1.05$ = Tidak memenuhi $-0.25 \leq B \leq 0.25$ = Tidak memenuhi $R^2 \geq 0.95$ = Memenuhi $CV < 5\%$ = Memenuhi
	200	50	2.74	3.06	2.93	2.97	3.01	2.99	2.99	0.05	2%	
	300	50	2.58	2.75	2.79	2.66	2.74	2.67	2.72	0.05	2%	
	400	50	3.78	4.10	4.16	3.98	4.06	4.16	4.09	0.08	2%	
	500	50	3.39	3.68	3.73	3.60	3.50	3.52	3.61	0.10	3%	
SP2	100	50	4.58	4.15	4.12	4.06	4.08	4.06	4.09	0.04	1%	
	200	50	4.22	3.59	3.59	3.63	3.67	3.66	3.63	0.03	1%	
	300	50	3.49	4.28	4.19	4.16	4.12	4.08	4.17	0.08	2%	
	400	50	4.35	4.25	4.39	4.23	4.19	4.28	4.27	0.08	2%	
	500	50	3.22	3.80	3.68	3.73	3.58	3.48	3.65	0.13	3%	
SP3	100	50	5.19	5.23	5.22	5.28	5.18	5.25	5.23	0.04	1%	
	200	50	5.87	5.92	5.94	6.08	5.86	5.86	5.93	0.09	2%	
	300	50	4.61	4.71	4.62	4.52	4.78	4.74	4.67	0.11	2%	
	400	50	6.34	6.08	6.12	6.24	6.20	6.41	6.21	0.13	2%	
	500	50	5.93	6.53	6.64	6.55	6.56	6.34	6.52	0.11	2%	
SP4	100	50	4.69	4.74	4.63	4.74	4.69	4.72	4.71	0.04	1%	
	200	50	5.46	5.09	5.23	5.17	5.22	5.22	5.19	0.06	1%	
	300	50	5.66	5.59	5.43	5.53	5.55	5.56	5.53	0.06	1%	
	400	50	6.04	5.96	6.03	6.02	6.11	5.93	6.01	0.07	1%	
	500	50	5.70	5.72	5.82	5.86	5.85	5.62	5.77	0.10	2%	
SP 5	100	50	8.58	7.71	7.56	7.55	7.98	7.69	7.70	0.18	2%	
	200	50	6.09	5.70	5.34	5.49	5.57	5.51	5.52	0.13	2%	
	300	50	6.95	6.46	6.52	6.50	6.32	6.26	6.41	0.11	2%	
	400	50	8.35	7.44	7.68	7.78	7.65	7.71	7.65	0.13	2%	
	500	50	9.83	9.34	9.41	9.60	9.10	9.25	9.34	0.19	2%	
SP1	100	60	3.33	3.37	3.42	3.54	3.50	3.52	3.47	0.07	2%	Validasi 3 Kecepatan = 60 km/jam $IRI_{lucuan} = A \times IRI_{akselerometer} + B$ $A = 0.960$ $B = 0.234$ $R^2 = 0.972$ $CV = 1.96\%$ Persyaratan $0.95 \leq A \leq 1.05$ = Memenuhi $-0.25 \leq B \leq 0.25$ = Memenuhi $R^2 \geq 0.95$ = Memenuhi $CV < 5\%$ = Memenuhi
	200	60	2.74	3.04	2.88	2.74	2.96	2.88	2.90	0.11	4%	
	300	60	2.58	2.91	2.87	2.92	2.74	2.94	2.88	0.08	3%	
	400	60	3.78	4.17	4.29	4.38	4.15	4.16	4.23	0.10	2%	
	500	60	3.39	3.51	3.57	3.34	3.42	3.48	3.47	0.09	3%	
SP2	100	60	4.58	4.03	4.10	4.07	4.02	4.02	4.05	0.03	1%	
	200	60	4.22	3.83	3.79	3.85	3.70	3.59	3.75	0.11	3%	
	300	60	3.49	4.20	4.38	4.27	4.21	4.46	4.30	0.11	3%	
	400	60	4.35	4.32	4.42	4.42	4.37	4.42	4.39	0.04	1%	
	500	60	3.22	3.46	3.41	3.61	3.63	3.56	3.54	0.10	3%	
SP3	100	60	5.19	5.11	5.25	5.15	5.13	5.11	5.15	0.06	1%	
	200	60	5.87	5.91	5.85	5.89	5.83	5.72	5.84	0.07	1%	
	300	60	4.61	4.57	4.63	4.63	4.71	4.69	4.65	0.06	1%	
	400	60	6.34	6.20	6.26	6.15	6.04	6.19	6.17	0.08	1%	
	500	60	5.93	6.19	6.27	6.19	6.11	6.24	6.20	0.06	1%	
SP4	100	60	4.69	4.83	4.87	4.71	4.75	4.66	4.76	0.08	2%	
	200	60	5.46	5.28	5.18	5.23	5.21	5.17	5.21	0.05	1%	
	300	60	5.66	5.69	5.62	5.54	5.67	5.58	5.62	0.06	1%	
	400	60	6.04	5.84	5.75	6.10	5.85	5.92	5.89	0.13	2%	
	500	60	5.70	5.96	5.88	5.59	5.63	5.71	5.75	0.16	3%	
SP 5	100	60	8.58	8.46	8.48	8.36	8.74	8.50	8.51	0.14	2%	
	200	60	6.09	5.89	5.51	5.68	5.91	5.63	5.72	0.17	3%	
	300	60	6.95	6.69	6.62	6.67	6.38	6.43	6.56	0.14	2%	
	400	60	8.35	8.20	8.40	8.21	8.06	8.13	8.20	0.12	2%	
	500	60	9.83	10.29	10.28	10.17	10.65	10.13	10.30	0.20	2%	
Validasi Gabungan $IRI_{lucuan} = A \times IRI_{akselerometer} + B$ $A = 0.882$ $B = 0.579$ $R^2 = 0.958$ $CV = 1.900\%$												Persyaratan $0.95 \leq A \leq 1.05$ = Tidak memenuhi $-0.25 \leq B \leq 0.25$ = Tidak memenuhi $R^2 \geq 0.95$ = Memenuhi $CV < 5\%$ = Memenuhi



Alat Survei *Hawkeye* 2000 Series

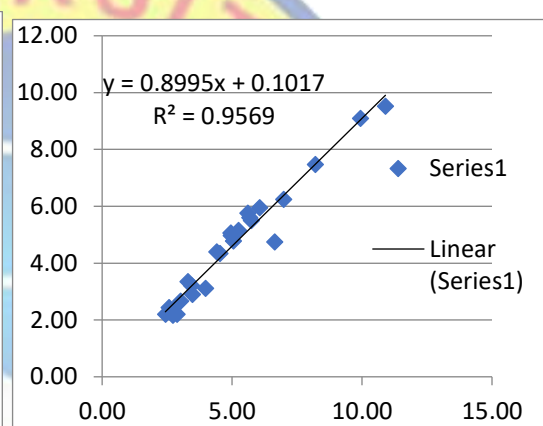
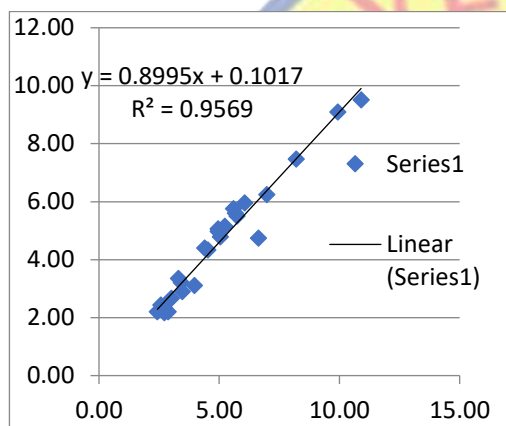
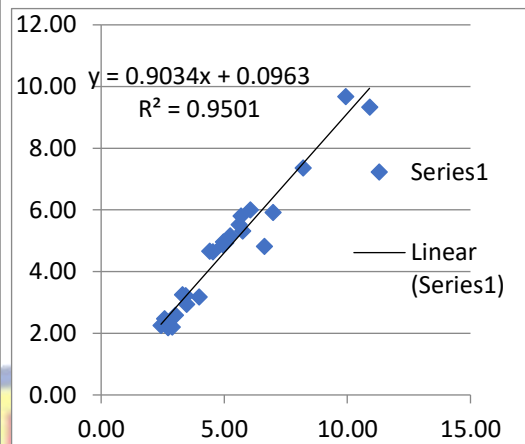
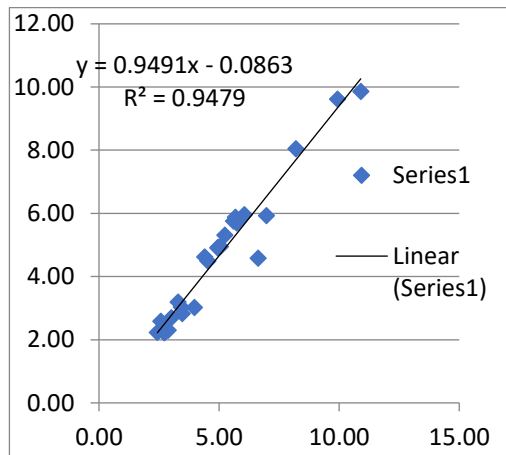
Tabel 4.9 Hasil Validasi Kiri *Hawkeye* 2000 Series Terhadap Walaking Profilometer

Seksi	Jarak	Kecepatan	IRI Referensi	Coba 1	Coba 2	Coba 3	Coba 4	Coba 5	Rata-rata	Standar Deviasi (SD)	Koefisien Variasi (CV)	
SP1	100	40	3.23	3.27	3.25	3.21	3.34	3.26	3.27	0.05	1%	Validasi 1 Kecepatan = 40 km/jam $IRI_{lucuan} = A \times IRI_{akselerometer} + B$ $A = 0.955$ $B = 0.013$ $R^2 = 0.935$ $CV = 3.21\%$ Persyaratan $0.95 \leq A \leq 1.05 = \text{Memenuhi}$ $-0.25 \leq B \leq 0.25 = \text{Memenuhi}$ $R2 \geq 0.95 = \text{Tidak Memenuhi}$ $CV < 5\% = \text{Memenuhi}$
	200	40	2.75	2.44	2.50	2.43	2.63	2.55	2.51	0.08	3%	
	300	40	2.44	2.29	2.27	2.25	2.26	2.26	2.27	0.02	1%	
	400	40	4.26	3.69	3.88	3.62	3.95	3.94	3.82	0.15	4%	
	500	40	3.76	3.79	3.49	3.29	3.50	3.55	3.52	0.18	5%	
SP2	100	40	5.69	4.90	4.94	5.54	4.47	4.16	4.80	0.52	11%	
	200	40	4.46	3.61	3.54	3.73	4.08	4.08	3.81	0.26	7%	
	300	40	4.41	4.25	4.53	4.34	4.70	4.78	4.52	0.23	5%	
	400	40	5.81	4.74	4.49	4.75	5.16	5.02	4.83	0.26	5%	
	500	40	4.01	4.72	4.68	4.66	3.94	4.07	4.41	0.38	9%	
SP3	100	40	5.42	5.44	5.41	5.60	5.60	5.55	5.52	0.09	2%	
	200	40	6.13	6.23	6.25	6.20	6.13	6.16	6.19	0.05	1%	
	300	40	4.69	4.84	4.79	4.72	4.79	4.72	4.77	0.05	1%	
	400	40	6.62	6.63	6.84	6.96	6.65	6.85	6.79	0.14	2%	
	500	40	6.62	6.43	6.41	6.46	6.45	6.47	6.44	0.02	0%	
SP4	100	40	4.98	4.91	4.97	4.95	4.89	4.94	4.93	0.03	1%	
	200	40	5.87	5.69	5.80	5.73	5.63	5.67	5.70	0.06	1%	
	300	40	5.57	5.52	5.71	5.74	5.73	5.61	5.66	0.09	2%	
	400	40	6.39	6.37	6.38	6.42	6.51	6.26	6.39	0.09	1%	
	500	40	6.62	6.35	6.30	6.31	6.34	6.40	6.34	0.04	1%	
SP 5	100	40	7.23	6.86	7.20	6.93	6.62	6.54	6.83	0.26	4%	
	200	40	5.55	4.84	4.81	4.92	4.81	4.87	4.85	0.05	1%	
	300	40	6.92	5.85	6.16	5.99	6.03	6.11	6.03	0.12	2%	
	400	40	8.49	7.78	7.48	7.34	7.19	7.73	7.50	0.25	3%	
	500	40	8.75	9.15	9.62	8.03	9.75	9.01	9.11	0.68	7%	
SP1	100	50	3.23	3.16	3.18	3.20	3.23	3.20	3.19	0.03	1%	Validasi 2 Kecepatan = 50 km/jam $IRI_{lucuan} = A \times IRI_{akselerometer} + B$ $A = 0.916$ $B = 0.161$ $R^2 = 0.904$ $CV = 2.57\%$ Persyaratan $0.95 \leq A \leq 1.05 = \text{Tidak memenuhi}$ $-0.25 \leq B \leq 0.25 = \text{Memenuhi}$ $R2 \geq 0.95 = \text{Tidak Memenuhi}$ $CV < 5\% = \text{Memenuhi}$
	200	50	2.75	2.29	2.32	2.34	2.37	2.30	2.32	0.03	1%	
	300	50	2.44	2.23	2.24	2.31	2.34	2.24	2.27	0.05	2%	
	400	50	4.26	3.64	3.72	3.71	3.71	3.78	3.71	0.05	1%	
	500	50	3.76	3.32	3.19	3.29	3.45	3.56	3.36	0.14	4%	
SP2	100	50	5.69	4.03	4.24	4.18	5.09	4.17	4.34	0.43	10%	
	200	50	4.46	4.08	3.57	3.72	3.99	4.14	3.90	0.24	6%	
	300	50	4.41	4.89	4.84	4.87	4.79	4.98	4.87	0.07	1%	
	400	50	5.81	5.19	5.25	5.03	5.15	5.14	5.15	0.08	2%	
	500	50	4.01	3.85	3.76	3.83	4.12	4.14	3.94	0.18	4%	
SP3	100	50	5.42	5.63	5.64	5.52	5.46	5.49	5.55	0.08	1%	
	200	50	6.13	6.24	6.17	6.20	6.17	6.18	6.19	0.03	0%	
	300	50	4.69	4.77	4.69	4.76	4.71	4.75	4.74	0.03	1%	
	400	50	6.62	6.49	6.77	6.55	6.69	6.79	6.66	0.13	2%	
	500	50	6.62	6.73	6.55	6.73	6.65	6.66	6.66	0.07	1%	
SP4	100	50	4.98	5.03	4.98	4.96	4.99	4.94	4.98	0.03	1%	
	200	50	5.87	5.60	5.60	5.64	5.61	5.63	5.62	0.02	0%	
	300	50	5.57	5.53	5.60	5.53	5.50	5.55	5.54	0.04	1%	
	400	50	6.39	6.35	6.43	6.45	6.34	6.40	6.39	0.05	1%	
	500	50	6.62	6.38	6.39	6.47	5.88	6.36	6.30	0.24	4%	
SP 5	100	50	7.23	7.50	8.39	7.79	7.73	7.60	7.80	0.35	4%	
	200	50	5.55	4.82	4.93	4.60	4.97	4.48	4.76	0.21	4%	
	300	50	6.92	5.60	6.04	5.99	6.09	5.89	5.92	0.19	3%	
	400	50	8.49	7.07	7.20	7.23	7.22	7.42	7.23	0.13	2%	
	500	50	8.75	7.56	7.65	7.72	8.40	7.48	7.76	0.37	5%	
SP1	100	60	3.23	3.19	3.23	3.18	3.24	3.28	3.22	0.04	1%	Validasi 3 Kecepatan = 60 km/jam $IRI_{lucuan} = A \times IRI_{akselerometer} + B$ $A = 0.928$ $B = 0.115$ $R^2 = 0.925$ $CV = 3.04\%$ Persyaratan $0.95 \leq A \leq 1.05 = \text{Tidak memenuhi}$ $-0.25 \leq B \leq 0.25 = \text{Memenuhi}$ $R2 \geq 0.95 = \text{Tidak Memenuhi}$ $CV < 5\% = \text{Memenuhi}$
	200	60	2.75	2.45	2.24	2.26	2.35	2.30	2.32	0.08	4%	
	300	60	2.44	2.33	2.32	2.22	2.38	2.31	2.31	0.06	3%	
	400	60	4.26	3.76	3.55	4.04	4.14	4.07	3.91	0.25	6%	
	500	60	3.76	3.53	4.78	3.58	3.42	3.58	3.78	0.56	15%	
SP2	100	60	5.69	4.24	4.39	4.16	4.31	4.26	4.27	0.09	2%	
	200	60	4.46	3.71	3.62	4.07	3.95	3.78	3.83	0.18	5%	
	300	60	4.41	4.94	4.91	4.63	4.66	4.85	4.80	0.14	3%	
	400	60	5.81	5.09	5.12	5.03	5.19	5.10	5.11	0.06	1%	
	500	60	4.01	4.08	4.02	3.99	4.11	4.20	4.08	0.08	2%	
SP3	100	60	5.42	5.56	5.46	5.47	5.48	5.65	5.52	0.08	1%	
	200	60	6.13	6.23	6.18	6.25	6.25	6.20	6.22	0.03	1%	
	300	60	4.69	4.78	4.67	4.80	4.69	4.62	4.71	0.08	2%	
	400	60	6.62	6.37	6.68	6.55	6.59	6.72	6.58	0.14	2%	
	500	60	6.62	6.74	6.68	6.52	6.73	6.60	6.65	0.09	1%	
SP4	100	60	4.98	4.82	4.92	4.79	4.94	4.82	4.86	0.07	1%	
	200	60	5.87	5.86	5.72	5.73	5.64	5.68	5.73	0.08	1%	
	300	60	5.57	5.67	5.45	5.42	5.58	5.49	5.52	0.10	2%	
	400	60	6.39	6.29	6.38	6.37	6.39	6.42	6.37	0.05	1%	
	500	60	6.62	6.45	6.34	6.28	6.11	6.45	6.33	0.14	2%	
SP 5	100	60	7.23	7.02	7.38	5.85	6.46	6.21	6.58	0.62	9%	
	200	60	5.55	4.91	4.77	4.94	4.71	4.52	4.77	0.17	4%	
	300	60	6.92	5.93	6.19	6.27	6.15	5.85	6.08	0.18	3%	
	400	60	8.49	7.63	7.36	7.33	7.35	7.10	7.35	0.19	3%	
	500	60	8.75	8.94	8.80	8.66	8.81	8.88	8.82	0.10	1%	
Validasi Gabungan $IRI_{lucuan} = A \times IRI_{akselerometer} + B$ $A = 0.933$ $B = 0.097$ $R^2 = 0.921$ $CV = 2.94\%$												Persyaratan $0.95 \leq A \leq 1.05 = \text{Tidak memenuhi}$ $-0.25 \leq B \leq 0.25 = \text{Memenuhi}$ $R2 \geq 0.95 = \text{Tidak Memenuhi}$ $CV < 5\% = \text{Memenuhi}$



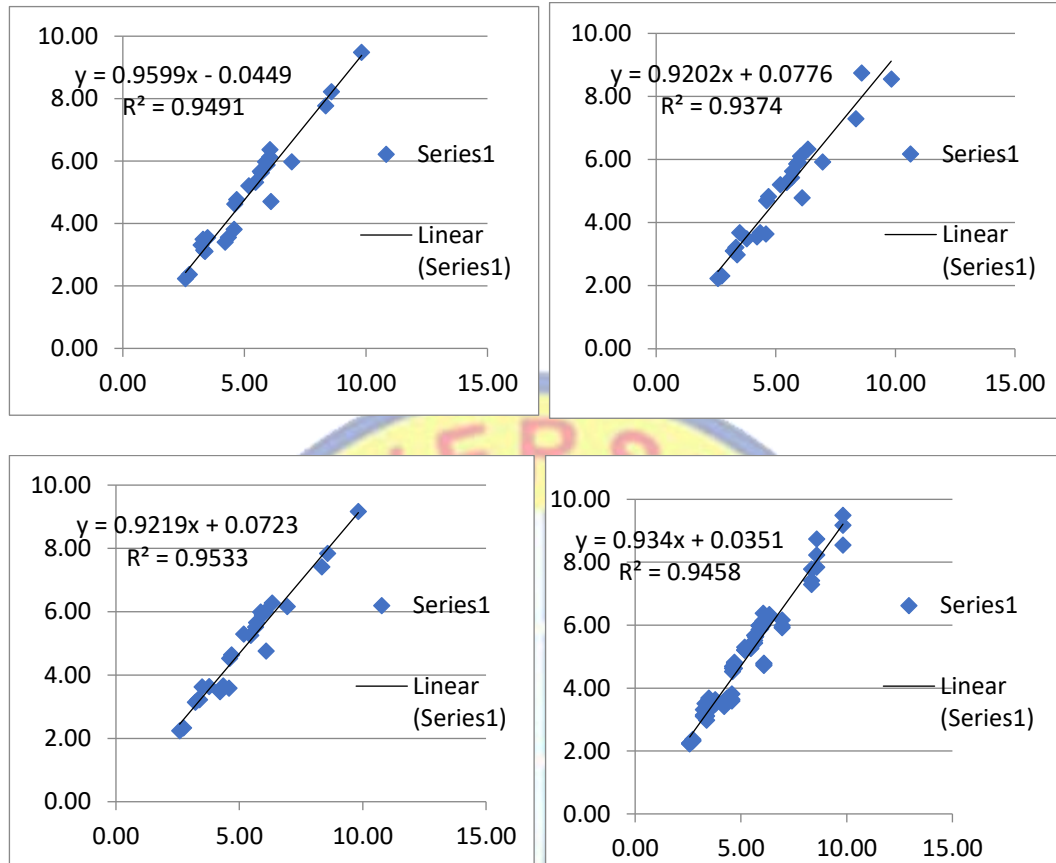
Tabel 4.10 Hasil Validasi Kanan *Hawkeye* 2000 Series Terhadap *Walking Profilometer*

Seksi	Jarak	Kecepatan	IRI Referensi	Coba 1	Coba 2	Coba 3	Coba 4	Coba 5	Rata-rata	Standar Deviasi (SD)	Koefisien Variasi (CV)	
SP1	100	40	3.43	3.06	3.05	2.98	3.01	3.07	3.03	0.04	1%	Validasi 1 Kecepatan = 40 km/jam IRI_{lucuan} = A x IRI akselerometer+B A = 0.949 B = -0.086 R² = 0.948 CV= 2.63% Persyaratan 0.95 ≤ A ≤ 1.05 = Tidak memenuhi -0.25 ≤ B ≤ 0.25 = Memenuhi R² ≥ 0.95 = Tidak Memenuhi CV< 5% = Memenuhi
	200	40	2.72	2.16	2.22	2.23	2.28	2.26	2.23	0.05	2%	
	300	40	2.72	2.15	2.2	2.35	2.21	2.19	2.22	0.08	3%	
	400	40	3.30	3.15	3.04	3.21	3.37	3.18	3.19	0.12	4%	
	500	40	3.01	2.75	2.61	2.68	2.7	2.72	2.69	0.05	2%	
SP2	100	40	3.47	2.92	2.75	2.72	2.87	2.87	2.83	0.09	3%	
	200	40	3.97	3.18	3.2	2.89	2.93	2.88	3.02	0.16	5%	
	300	40	2.57	2.43	2.51	2.72	2.62	2.65	2.59	0.12	4%	
	400	40	2.88	2.19	2.11	2.42	2.32	2.45	2.30	0.15	6%	
	500	40	2.43	2.24	2.34	2.14	2.16	2.24	2.22	0.08	4%	
SP3	100	40	4.95	4.97	4.89	4.85	4.82	4.97	4.90	0.07	1%	
	200	40	5.60	5.8	5.8	5.75	5.75	5.7	5.76	0.04	1%	
	300	40	4.53	4.38	4.67	4.5	4.4	4.47	4.48	0.12	3%	
	400	40	6.06	5.88	6.02	6.03	5.95	5.93	5.96	0.06	1%	
	500	40	5.24	5.04	5.19	5.55	5.35	5.4	5.31	0.20	4%	
SP4	100	40	4.40	4.63	4.61	4.57	4.63	4.65	4.62	0.03	1%	
	200	40	5.05	4.86	5.1	5.02	4.85	4.91	4.95	0.11	2%	
	300	40	5.74	5.56	5.73	5.75	5.67	5.75	5.69	0.08	1%	
	400	40	5.68	5.81	5.91	5.93	5.87	5.87	5.88	0.05	1%	
	500	40	4.96	4.94	4.83	4.88	4.9	5.05	4.92	0.08	2%	
SP 5	100	40	9.93	9.35	9.97	10.11	9.41	9.25	9.62	0.39	4%	
	200	40	6.63	4.74	4.42	4.68	4.55	4.5	4.58	0.13	3%	
	300	40	6.98	5.63	5.93	6.01	6.11	5.95	5.93	0.18	3%	
	400	40	8.20	7.84	8.17	7.94	8.03	8.26	8.05	0.17	2%	
	500	40	10.90	9.9	9.81	9.58	10.2	9.83	9.86	0.22	2%	
SP1	100	50	3.43	3.29	3.23	3.21	3.19	3.19	3.22	0.04	1%	Validasi 2 Kecepatan = 50 km/jam IRI_{lucuan} = A x IRI akselerometer+B A = 0.903 B = 0.096 R² = 0.950 CV= 3.76% Persyaratan 0.95 ≤ A ≤ 1.05 = Tidak memenuhi -0.25 ≤ B ≤ 0.25 = Memenuhi R² ≥ 0.95 = Memenuhi CV< 5% = Memenuhi
	200	50	2.72	2.34	2.22	2.34	2.28	2.32	2.30	0.05	2%	
	300	50	2.72	2.17	2.19	2.2	2.2	2.17	2.19	0.02	1%	
	400	50	3.30	2.99	3.4	3.31	3.24	3.33	3.25	0.16	5%	
	500	50	3.01	2.58	2.46	2.59	2.65	2.65	2.59	0.08	3%	
SP2	100	50	3.47	2.74	3.1	3.13	2.94	2.81	2.94	0.17	6%	
	200	50	3.97	3.18	3.32	3.26	3.04	3.13	3.19	0.11	3%	
	300	50	2.57	2.54	2.57	2.39	2.47	2.43	2.48	0.07	3%	
	400	50	2.88	2.13	2.14	2.27	2.28	2.21	2.21	0.07	3%	
	500	50	2.43	2.25	2.28	2.38	2.21	2.19	2.26	0.07	3%	
SP3	100	50	4.95	4.91	4.85	4.9	5.01	4.64	4.86	0.14	3%	
	200	50	5.60	5.67	5.66	5.68	5.77	4.87	5.53	0.37	7%	
	300	50	4.53	4.38	4.45	4.36	4.29	5.75	4.65	0.62	13%	
	400	50	6.06	5.99	6.04	6.1	6.01	5.89	6.01	0.08	1%	
	500	50	5.24	5.27	5.18	5.21	5.1	5.07	5.17	0.08	2%	
SP4	100	50	4.40	4.64	4.58	4.59	4.61	4.92	4.67	0.14	3%	
	200	50	5.05	4.78	4.72	4.9	4.66	5.62	4.94	0.39	8%	
	300	50	5.74	5.52	5.53	5.59	5.53	4.41	5.32	0.51	10%	
	400	50	5.68	5.79	5.75	5.81	5.76	5.93	5.81	0.07	1%	
	500	50	4.96	4.99	5.05	5.1	4.59	5.09	4.96	0.21	4%	
SP 5	100	50	9.93	9.75	9.57	9.31	9.65	10.09	9.67	0.28	3%	
	200	50	6.63	4.89	5.05	4.71	4.74	4.7	4.82	0.15	3%	
	300	50	6.98	5.94	5.83	5.88	6.06	5.91	5.92	0.09	1%	
	400	50	8.20	7.46	7.16	7.3	7.49	7.41	7.36	0.14	2%	
	500	50	10.90	9.09	9.3	9.25	9.47	9.57	9.34	0.19	2%	
SP1	100	60	3.43	3.2	3.27	3.2	3.17	3.24	3.22	0.04	1%	Validasi 3 Kecepatan = 60 km/jam IRI_{lucuan} = A x IRI akselerometer+B A = 0.899 B = 0.102 R² = 0.957 CV= 0.023 Persyaratan 0.95 ≤ A ≤ 1.05 = Tidak memenuhi -0.25 ≤ B ≤ 0.25 = Memenuhi R² ≥ 0.95 = Memenuhi CV< 5% = Memenuhi
	200	60	2.72	2.28	2.38	2.31	2.39	2.32	2.34	0.05	2%	
	300	60	2.72	2.19	2.21	2.16	2.15	2.16	2.17	0.03	1%	
	400	60	3.30	3.36	2.96	3.25	3.78	3.41	3.35	0.30	9%	
	500	60	3.01	2.63	2.7	2.65	2.62	2.73	2.67	0.05	2%	
SP2	100	60	3.47	2.99	2.92	2.84	2.86	2.92	2.91	0.06	2%	
	200	60	3.97	3.03	2.99	3.2	3.11	3.23	3.11	0.10	3%	
	300	60	2.57	2.37	2.48	2.42	2.44	2.5	2.44	0.05	2%	
	400	60	2.88	2.17	2.22	2.14	2.26	2.24	2.21	0.05	2%	
	500	60	2.43	2.16	2.19	2.25	2.23	2.21	2.21	0.03	2%	
SP3	100	60	4.95	5	5.19	5.07	5.03	5.05	5.07	0.07	1%	
	200	60	5.60	5.78	5.74	5.76	5.83	5.71	5.76	0.05	1%	
	300	60	4.53	4.22	4.41	4.29	4.45	4.35	4.34	0.09	2%	
	400	60	6.06	5.93	5.96	5.95	5.95	6.01	5.96	0.03	1%	
	500	60	5.24	5.21	5.13	5.06	5.14	5.22	5.15	0.07	1%	
SP4	100	60	4.40	4.27	4.45	4.35	4.58	4.37	4.40	0.12	3%	
	200	60	5.05	4.97	4.89	4.83	4.64	4.61	4.79	0.16	3%	
	300	60	5.74	5.43	5.47	5.5	5.53	5.6	5.51	0.06	1%	
	400	60	5.68	5.46	5.63	5.6	5.7	5.66	5.61	0.09	2%	
	500	60	4.96	5.23	4.96	4.86	4.88	4.97	4.98	0.15	3%	
SP 5	100	60	9.93	9.08	9.62	8.94	9.66	8.2	9.10	0.60	7%	
	200	60	6.63	4.62	4.75	4.68	4.73	4.95	4.75	0.12	3%	
	300	60	6.98	6.12	6.41	6.46	6.11	6.15	6.25	0.17	3%	
	400	60	8.20	7.64	7.48	7.38	7.39	7.5	7.48	0.10	1%	
	500	60	10.90	9.51	9.48	9.69	9.44	9.49	9.52	0.10	1%	
Validasi Gabungan IRI_{lucuan} = A x IRI akselerometer+B A = 0.917 B = 0.037 R² = 0.951 CV= 2.91% Persyaratan 0.95 ≤ A ≤ 1.05 = Tidak memenuhi -0.25 ≤ B ≤ 0.25 = Memenuhi R² ≥ 0.95 = Memenuhi CV< 5% = Memenuhi												



Tabel 4.11 Hasil Validasi Gabungan *Hawkeye* 2000 Series Terhadap *Walking Profilometer*

Lokasi	Jarak (Meter)	Kecepatan (Km/Jam)	IRI Referensi (m/Km)	IRIMETER II (m/Km)						Standar Deviasi (SD)	Koefisien Variasi (CV)	
				Coba 1	Coba 2	Coba 3	Coba 4	Coba 5	Rata- Rata			
SP1	100	40	3.33	3.17	3.15	3.10	3.18	3.17	3.15	0.03	1%	Validasi 1 Kecepatan = 40 km/jam IRIacuan = A x IRI akselerometer+B A = 0.960 B = -0.045 R² = 0.949 CV= 2.45% Persyaratan 0.95 ≤ A ≤ 1.05 = Memenuhi -0.25 ≤ B ≤ 0.25 = Memenuhi R² ≥ 0.95 = Tidak Memenuhi CV< 5% = Memenuhi
	200	40	2.74	2.30	2.36	2.33	2.46	2.41	2.37	0.06	3%	
	300	40	2.58	2.22	2.24	2.30	2.24	2.23	2.24	0.03	1%	
	400	40	3.30	3.42	3.46	3.42	3.66	3.56	3.50	0.11	3%	
	500	40	3.39	3.27	3.05	2.99	3.10	3.14	3.11	0.11	3%	
SP2	100	40	4.58	3.91	3.85	4.13	3.67	3.52	3.81	0.23	6%	
	200	40	4.22	3.40	3.37	3.31	3.51	3.48	3.41	0.08	2%	
	300	40	3.49	3.34	3.52	3.53	3.66	3.72	3.55	0.15	4%	
	400	40	4.35	3.47	3.30	3.59	3.74	3.74	3.57	0.19	5%	
	500	40	3.22	3.48	3.51	3.40	3.05	3.16	3.32	0.21	6%	
SP3	100	40	5.19	5.21	5.15	5.23	5.21	5.26	5.21	0.04	1%	
	200	40	5.87	6.02	6.03	5.98	5.94	5.93	5.98	0.04	1%	
	300	40	4.61	4.61	4.73	4.61	4.60	4.60	4.63	0.06	1%	
	400	40	6.06	6.26	6.43	6.50	6.30	6.39	6.37	0.10	2%	
	500	40	5.93	5.74	5.80	6.01	5.90	5.94	5.88	0.11	2%	
SP4	100	40	4.69	4.77	4.79	4.76	4.76	4.80	4.78	0.02	0%	
	200	40	5.46	5.28	5.45	5.38	5.24	5.29	5.33	0.09	2%	
	300	40	5.66	5.54	5.72	5.75	5.70	5.68	5.68	0.08	1%	
	400	40	6.04	6.09	6.15	6.18	6.19	6.07	6.13	0.05	1%	
	500	40	5.70	5.65	5.57	5.60	5.62	5.73	5.63	0.06	1%	
SP 5	100	40	8.58	8.11	8.59	8.52	8.02	7.90	8.22	0.31	4%	
	200	40	6.09	4.79	4.62	4.80	4.68	4.69	4.71	0.08	2%	
	300	40	6.95	5.74	6.05	6.00	6.07	6.03	5.98	0.13	2%	
	400	40	8.35	7.81	7.83	7.64	7.61	8.00	7.78	0.16	2%	
	500	40	9.83	9.53	9.72	8.81	9.98	9.42	9.49	0.44	5%	
SP1	100	50	3.33	3.23	3.21	3.21	3.21	3.20	3.21	0.01	0%	
	200	50	2.74	2.32	2.27	2.34	2.33	2.31	2.31	0.03	1%	
	300	50	2.58	2.20	2.22	2.26	2.27	2.21	2.23	0.03	1%	
	400	50	3.78	3.32	3.56	3.51	3.48	3.56	3.48	0.10	3%	
	500	50	3.39	2.95	2.83	2.94	3.05	3.11	2.97	0.11	4%	
SP2	100	50	4.58	3.39	3.67	3.66	4.02	3.49	3.64	0.24	7%	
	200	50	4.22	3.63	3.45	3.49	3.52	3.64	3.54	0.09	2%	
	300	50	3.49	3.72	3.71	3.63	3.63	3.71	3.68	0.04	1%	
	400	50	4.35	3.66	3.70	3.65	3.72	3.68	3.68	0.03	1%	
	500	50	3.22	3.05	3.02	3.11	3.17	3.17	3.10	0.07	2%	
SP3	100	50	5.19	5.27	5.25	5.21	5.24	5.07	5.21	0.08	2%	
	200	50	5.87	5.96	5.92	5.94	5.97	5.53	5.86	0.19	3%	
	300	50	4.61	4.58	4.57	4.56	4.50	5.25	4.69	0.31	7%	
	400	50	6.34	6.24	6.41	6.33	6.35	6.34	6.33	0.06	1%	
	500	50	5.93	6.00	5.87	5.97	5.88	5.87	5.92	0.06	1%	
SP4	100	50	4.69	4.84	4.78	4.78	4.80	4.93	4.82	0.06	1%	
	200	50	5.46	5.19	5.16	5.27	5.14	5.63	5.28	0.20	4%	
	300	50	5.66	5.53	5.57	5.56	5.52	4.98	5.43	0.25	5%	
	400	50	6.04	6.07	6.09	6.13	6.05	6.17	6.10	0.05	1%	
	500	50	5.70	5.69	5.72	5.79	5.24	5.73	5.63	0.22	4%	
SP 5	100	50	8.58	8.63	8.98	8.55	8.69	8.85	8.74	0.17	2%	
	200	50	6.09	4.86	4.99	4.66	4.86	4.59	4.79	0.16	3%	
	300	50	6.95	5.77	5.94	5.94	6.08	5.90	5.92	0.11	2%	
	400	50	8.35	7.27	7.18	7.27	7.36	7.42	7.30	0.09	1%	
	500	50	9.83	8.33	8.48	8.49	8.94	8.53	8.55	0.23	3%	
SP1	100	60	3.33	3.20	3.25	3.19	3.21	3.26	3.22	0.03	1%	
	200	60	2.74	2.37	2.31	2.29	2.37	2.31	2.33	0.04	2%	
	300	60	2.58	2.26	2.27	2.19	2.27	2.24	2.24	0.03	1%	
	400	60	3.78	3.56	3.26	3.65	3.96	3.74	3.63	0.26	7%	
	500	60	3.39	3.08	3.74	3.12	3.02	3.16	3.22	0.29	9%	
SP2	100	60	4.58	3.62	3.66	3.50	3.59	3.59	3.59	0.06	2%	
	200	60	4.22	3.37	3.31	3.64	3.53	3.51	3.47	0.13	4%	
	300	60	3.49	3.66	3.70	3.53	3.55	3.68	3.62	0.08	2%	
	400	60	4.35	3.63	3.67	3.59	3.73	3.67	3.66	0.05	1%	
	500	60	3.22	3.12	3.11	3.12	3.17	3.21	3.14	0.04	1%	
SP3	100	60	5.19	5.28	5.33	5.27	5.26	5.35	5.30	0.04	1%	
	200	60	5.87	6.01	5.96	6.01	6.04	5.96	5.99	0.04	1%	
	300	60	4.61	4.50	4.54	4.55	4.57	4.49	4.53	0.03	1%	
	400	60	6.34	6.15	6.32	6.25	6.27	6.37	6.27	0.08	1%	
	500	60	5.93	5.98	5.91	5.79	5.94	5.91	5.90	0.07	1%	
SP4	100	60	4.69	4.55	4.69	4.57	4.76	4.60	4.63	0.09	2%	
	200	60	5.46	5.42	5.31	5.28	5.14	5.15	5.26	0.12	2%	
	300	60	5.66	5.55	5.46	5.46	5.56	5.55	5.51	0.05	1%	
	400	60	6.04	5.88	6.01	5.99	6.05	6.04	5.99	0.07	1%	
	500	60	5.70	5.84	5.65	5.57	5.50	5.71	5.65	0.13	2%	
SP 5	100	60	8.58	8.05	8.50	7.40	8.06	7.21	7.84	0.53	7%	
	200	60	6.09	4.77	4.76	4.81	4.72	4.74	4.76	0.03	1%	
	300	60	6.95	6.03	6.30	6.37	6.13	6.00	6.16	0.16	3%	
	400	60	8.35	7.64	7.42	7.36	7.37	7.30	7.42	0.13	2%	
	500	60	9.83	9.23	9.14	9.18	9.13	9.19	9.17	0.04	0%	
Validasi Gabungan										Persyaratan		
IRIacuan = A x IRI akselerometer+B										0.95 ≤ A ≤ 1.05 = Tidak memenuhi		
A = 0.934										-0.25 ≤ B ≤ 0.25 = Memenuhi		
B = 0.035										R ² ≥ 0.95 = Tidak Memenuhi		
R ² = 0.946										CV< 5% = Memenuhi		
CV= 2.384%												



1. Hawkeye 2000 Series

Hasil validasi menunjukkan bahwa alat *Hawkeye* 2000 Series belum memenuhi seluruh persyaratan kalibrasi. Berdasarkan pengujian pada berbagai kecepatan (40, 50, dan 60 km/jam), nilai parameter A (faktor koreksi) berada di bawah batas yang dipersyaratkan ($0,95 \leq A \leq 1,05$), yaitu sekitar 0,93, sehingga tidak memenuhi standar. Meskipun parameter B dan CV (koefisien variasi) sebagian besar memenuhi persyaratan, nilai R^2 gabungan hanya mencapai 0,92, di bawah ambang minimal 0,95. Hal ini menunjukkan bahwa akurasi pengukuran IRI (International Roughness Index) oleh *Hawkeye* masih kurang konsisten dibandingkan referensi. Dengan demikian, alat ini belum layak digunakan sebelum dilakukan kalibrasi ulang untuk meningkatkan kesesuaian hasil pengukuran.

2. *IRIMETER* II

Validasi *IRIMETER* II juga memperlihatkan ketidaksesuaian terhadap standar kalibrasi. Parameter A berada di kisaran 0,88–0,93, yang berarti tidak memenuhi persyaratan ($0,95 \leq A \leq 1,05$). Selain itu, nilai B cenderung tinggi (sekitar 0,43–0,73), jauh di atas batas toleransi ($-0,25 \leq B \leq 0,25$). Walaupun nilai CV berada di bawah 5% dan R^2 mendekati atau sedikit di atas 0,95 pada beberapa pengujian, ketidaksesuaian parameter A dan B mengindikasikan adanya bias signifikan dalam pengukuran. Oleh karena itu, *IRIMETER* II wajib dikalibrasi sebelum digunakan untuk pengambilan data jalan agar hasil pengukuran lebih akurat dan sesuai standar.

3. *Roughometer*

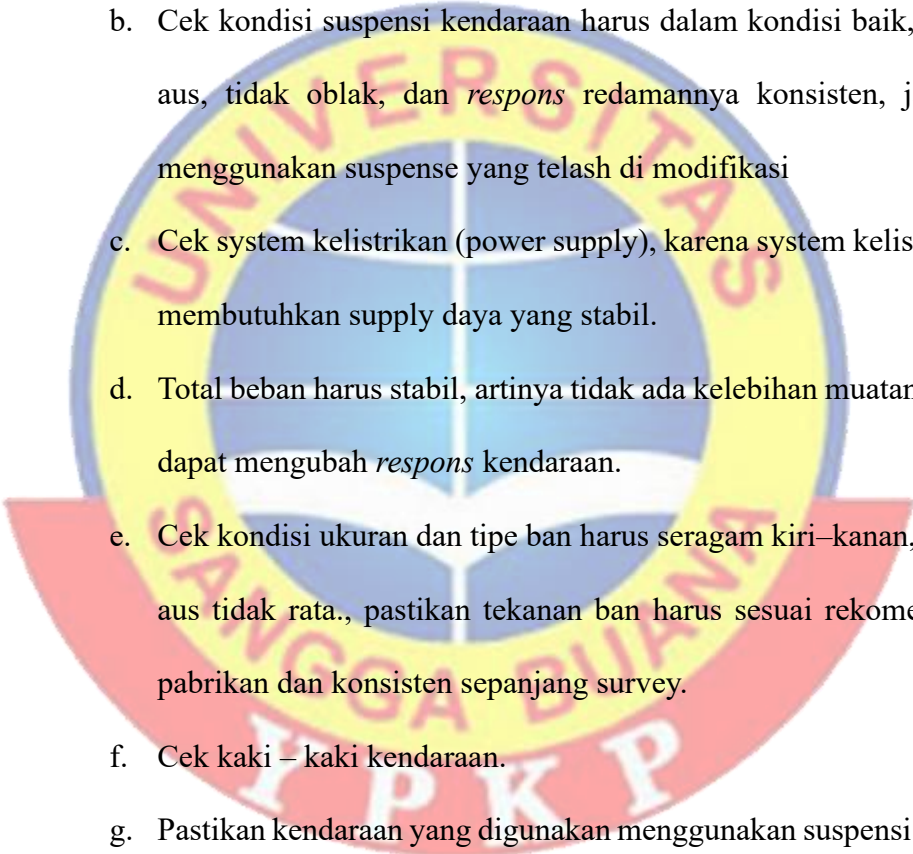
Hasil validasi *Roughometer* terhadap *Walking Profilometer* menunjukkan bahwa alat ini tidak memenuhi semua persyaratan kalibrasi. Parameter A tercatat sekitar 0,85, di bawah batas minimal, dan B berada di kisaran 0,84, jauh melampaui toleransi yang diperbolehkan. Nilai R^2 gabungan hanya mencapai 0,88, serta CV lebih dari 5%, yang menandakan variasi pengukuran cukup tinggi. Kondisi ini menunjukkan bahwa *Roughometer* memiliki deviasi besar terhadap nilai referensi IRI, sehingga tidak dapat digunakan sebelum dilakukan kalibrasi untuk memperbaiki akurasi dan konsistensi pengukuran.

4.4. Pelaksanaan Kalibrasi dan Hasil Kalibrasi Alat Survei IRI

4.4.1. Cara Kalibrasi *Roughometer* 3

1. Pengecekan Kendaraan

Sebelum pemasangan alat pada kendaraan pastikan beberapa komponen terlebih dahulu seperti

- 
- a. Pastikan jenis kendaraan yang digunakan yang mempunyai suspensi mempunyai gandara belakang (Rigid) atau survey okeeevehicle yang stabil untuk operasi jalan raya. *Roughometer 3* memang didesain untuk dipasang pada kendaraan standar tanpa modifikasi struktural.
 - b. Cek kondisi suspensi kendaraan harus dalam kondisi baik, tidak aus, tidak oblok, dan *respons* redamannya konsisten, jangan menggunakan suspensi yang telah di modifikasi
 - c. Cek system kelistrikan (power supply), karena system kelistrikan membutuhkan supply daya yang stabil.
 - d. Total beban harus stabil, artinya tidak ada kelebihan muatan yang dapat mengubah *respons* kendaraan.
 - e. Cek kondisi ukuran dan tipe ban harus seragam kiri–kanan, tidak aus tidak rata., pastikan tekanan ban harus sesuai rekomendasi pabrikan dan konsisten sepanjang survey.
 - f. Cek kaki – kaki kendaraan.
 - g. Pastikan kendaraan yang digunakan menggunakan suspensi Rigid atau yang mempunya gandar belakang, jangan di pasang di suspensi Independen.
 - h. Cek Suspensi Kendaraan.
 - i. Cek kondisi alur ban dan pastikan tekanan angin sama.
2. Instalasi Komponen *Roughometer 3*
 - a. Sebelum di pasang Inertial di cek pembacaan sesuai pedoman dan nilai yang di dikeluarkan oleh produsen yaitu (4.06 – 4.27)

apabila alat tersebut memiliki rentan nilai yang telah di tentukan kemudian pasang modul inertial (Sensor) pada poros kendaraan (biasanya poros belakang) menggunakan braket bawaan.

- b. Hubungkan controller, interface module, Distance Measurement Instrument (DMI), Sesnsor dan antena GPS (tembakkan magnet di atap kabin).

3. Kalibrasi pada DMI

Lakukan kalibrasi jarak roda (DMI) dengan cara:

- a. Uji perjalanan sejauh 1 km (atau sesuai spesifikasi manual).
- b. Bandingkan jarak aktual dengan yang tercatat.
- c. Masukkan nilai koreksi ke controller jika ada perbedaan.

Ini penting untuk memastikan nilai IRI (International Roughness Index) akurat berdasarkan jarak yang benar.

4. Vertifikasi Sinyal dan Integritas Data

Hidupkan sistem dan periksa:

- a. Status GPS (jumlah satelit terkunci).
- b. Koneksi dengan modul inertial.
- c. Konsistensi output akselerasi dalam kondisi diam.

Jalankan uji jalan:

- a. Ambil data pada jalan rata → pastikan profil rendah.
- b. Uji di jalan dengan roughness berbeda → pastikan data naik sesuai kondisi.

Tabel 4.12 Hasil Kalibrasi Statis

		
		Hasil Nilai Kalibrasi Accelerometer = 4.14 Masuk Rentan

Tabel 4.13 Hasil Kalibrasi Dinamis

IRI Referensi	Hasil Pengukuran			Rata - rata Hasil Alat	Perhitungan Error	Toleransi
	Uji 1	Uji 2	Uji 3			
3.29	3.28	3.26	3.22	3.25	0.03	Memenuhi

Perhitungan Error

- Rata-rata Hasil Alat = $(3.28 + 3.26 + 3.22) / 3$
= 3.25 m/km
- Error terhadap Referensi = $(3.29 - 3.25)$
= 0.03 m/km

Status Kelayakan

- Batas toleransi standar: ± 0.15 m/km
- Error alat: 0.03 m/km → MASIH DALAM TOLERANSI

4.4.2. Cara Kalibrasi Alat Survei *IRIMETER 2*

1. Pengecekan kendaraan

- a. Pastikan jenis kendaraan yang digunakan (sedan, hatchback, SUV) atau survey vehicle yang stabil untuk operasi jalan raya. *IRIMETER-2* memang didesain untuk dipasang pada kendaraan standar tanpa modifikasi struktural.
- b. Cek kondisi suspensi kendaraan harus dalam kondisi baik, tidak aus, tidak oblok, dan *respons* redamannya konsisten, jangan menggunakan suspensi yang telah di modifikasi
- c. Cek system kelistrikan (power supply), karena system kelistrikan membutuhkan supply daya yang stabil.
- d. Total beban harus stabil, artinya tidak ada kelebihan muatan yang dapat mengubah *respons* kendaraan.
- e. Cek kondisi ukuran dan tipe ban harus seragam kiri–kanan, tidak aus tidak rata., pastikan tekanan ban harus sesuai rekomendasi pabrikan dan konsisten sepanjang survey.
- f. Cek kaki kaki kendaraan

2. Perakitan dan Pemasangan Sensor

- a. Pasang sensor inertial pada sistem suspensi depan (biasanya tipe MacPherson), dan pasang unit kontrol di dalam kabin sesuai posisi OEM. Sensor dan unit kontrol tersambung secara nirkabel.
- b. Pastikan koneksi GPS stabil—antena dipasang di atap kendaraan dan menyatu ke unit kontrol.

3. Inisiasi dan Zeroing

- a. Nyakan unit kontrol. Tunggu unit mengenali sensor dan GPS.
- b. Masuk ke menu zero atau reset baseline di dalam unit kontrol untuk menyetel nilai awal pembacaan getaran menjadi nol. Ini penting sebelum pengukuran mulai.

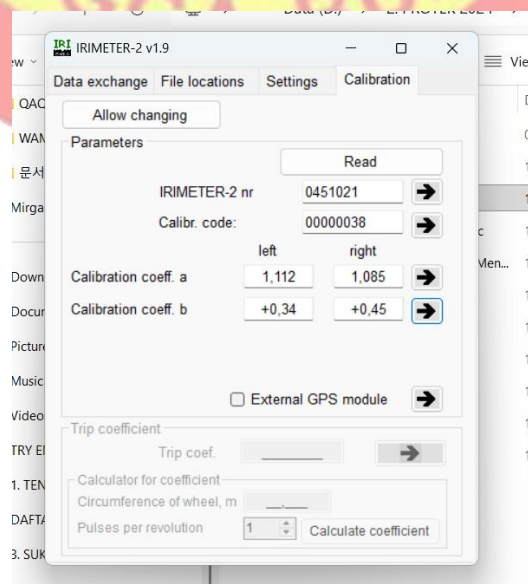
4. Tes Kalibrasi Rute

- Gunakan rute uji kalibrasi yang sudah diketahui profilnya—idealnya permukaan relatif datar atau memiliki benchmark IRI ideal.
- Berkendara pada kecepatan rekomendasi (20–100 km/jam sesuai spesifikasi).
- Amati output IRI di unit kontrol/LCD. Output ini adalah bacaan sementara dari kondisi jalan sebenarnya.
- Melakukan uji sampling dengan mengambil 50 sample dataset

5. Verifikasi dan Koreksi

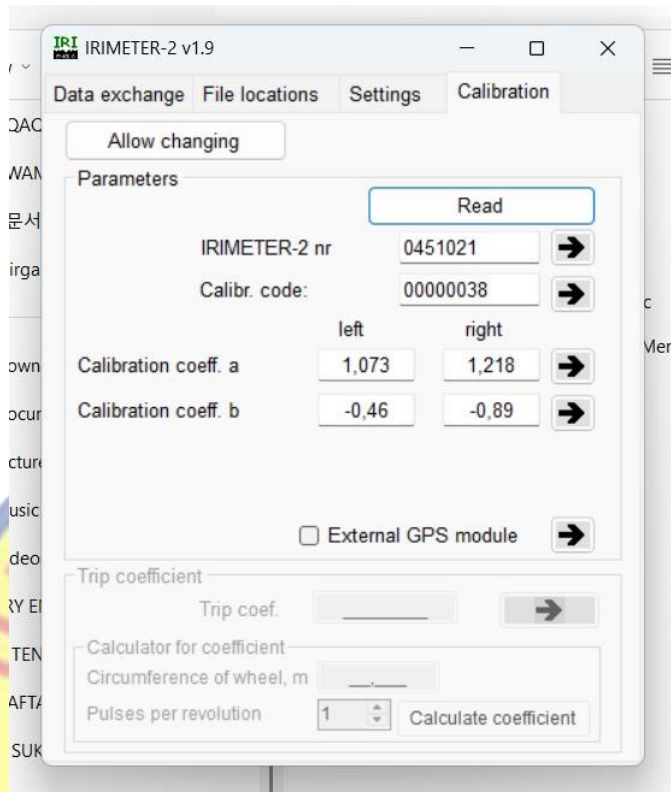
- Bandungkan hasil IRI dengan nilai referensi yang diketahui pada rute tersebut.
- Jika terjadi offset/filter tidak sesuai, lakukan koreksi lewat setting di unit kontrol atau melalui software (biasanya disediakan dalam format USB-export dan software PC).
- Hasil yang di dapat dari 50 dataset didapatkan nilai koefien yang dapat di gunakan atau di masukkan sebagai nilai kalibrasi alat terhadap kendaraan yang di gunakan. Dengan cara merubah nilai koefien a dan Koefien b di kontroler alat yang terhubung dengan laptop.

Dengan mengikuti langkah-langkah instalasi → kalibrasi DMI → verifikasi sensor & GPS → olah data → dokumentasi, Anda dapat menjamin *Roughometer* III bekerja secara optimal dan menghasilkan output IRI yang akurat dan dapat diandalkan.



Gambar 4.1 Nilai Koefisien Sebelum Disesuaikan dengan Pengambilan Data

Sumber: Data Diolah



Gambar 4.2 Nilai koefisien yang telah terkoreksi

Sumber: Data Diolah

4.4.3. Cara Kalibrasi Alat Survei *Hawkeye* 2000 Series

1. Persiapan Sistem

a. Instal semua modul sesuai keperluan survei:

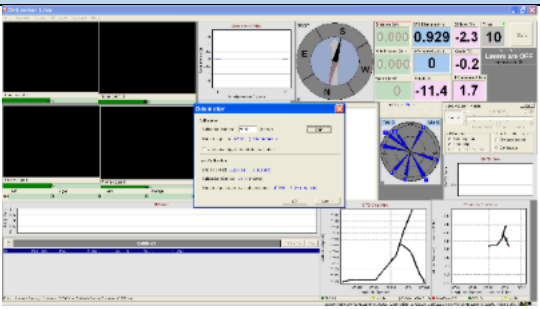
- 1) Digital *Laser Profiler* (DLP)
- 2) Modul GPS/GNSS + inertial (GIPSI-Trac2)
- 3) Distance Measurement Instrument (DMI)
- 4) Sistem sinkronisasi (Heartbeat)

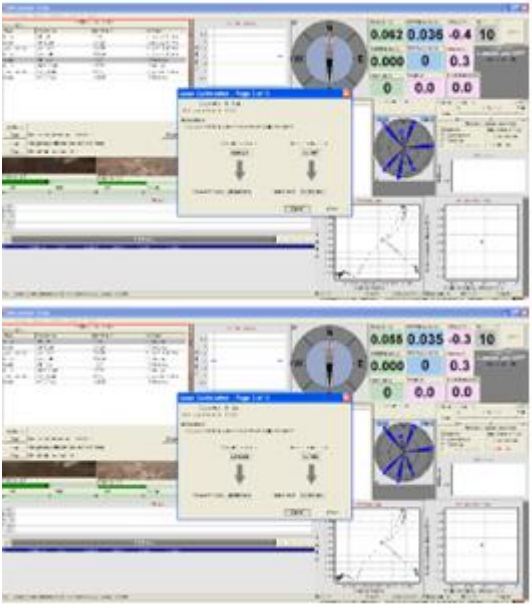
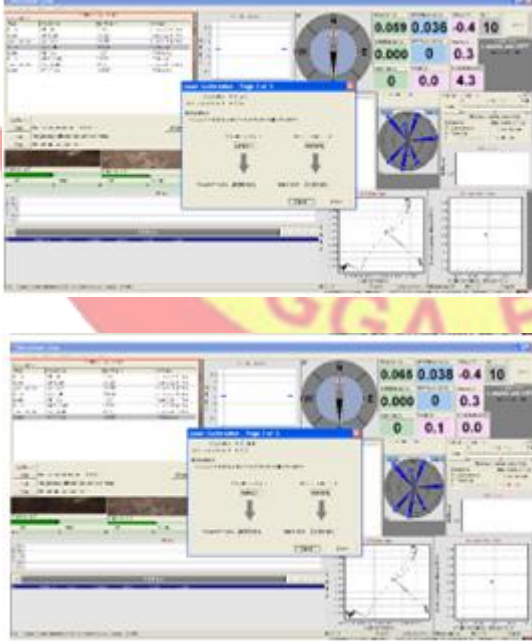
b. Verifikasi koneksi dan pengaturan:

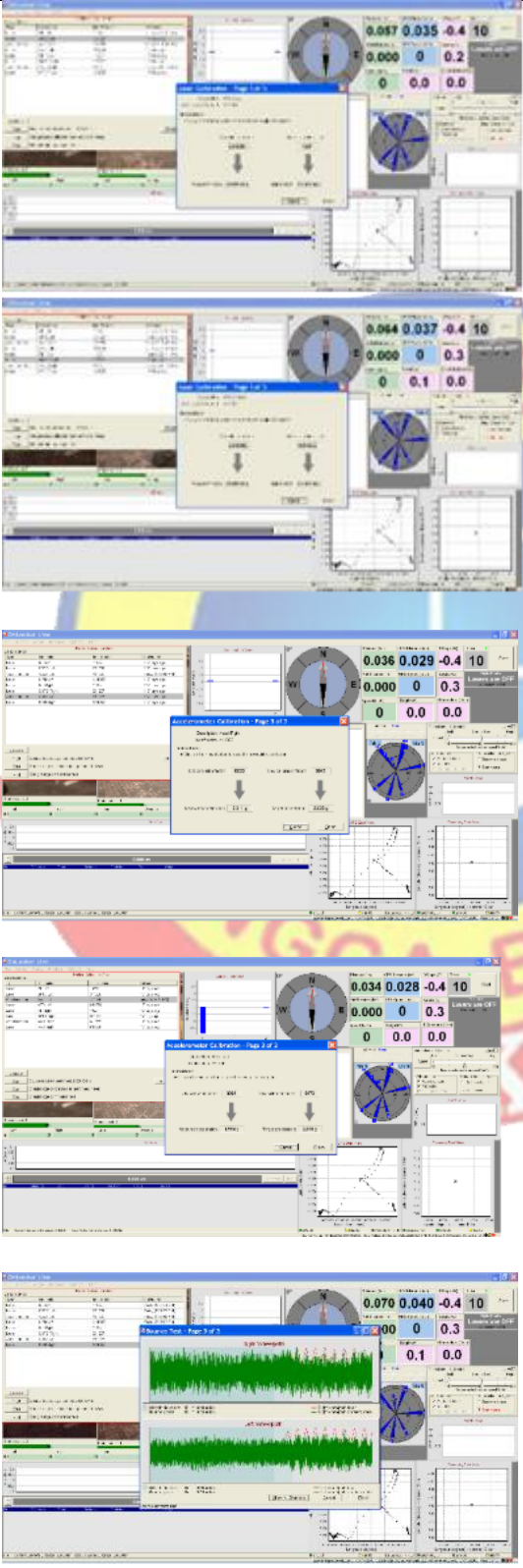
- 1) DLP terpasang mantap, laser diarahkan dengan benar
- 2) Antena GPS pada posisi bebas gangguan

- 3) DMI terhubung dan terkalibrasi
2. Kalibrasi Distance Measuring Instrument (DMI)
 - c. Kalibrasi sepanjang misalnya 1 km:
 - 1) Catat jarak aktual vs pembacaan sistem
 - 2) Masukkan koreksi jarak ke parameter sistem
3. Verifikasi Sinkronisasi dan GPS
 - a. Sistem sinkronisasi (Heartbeat) memastikan data gabungan dari DMI, GPS/GNSS, dan inertial konsisten
 - b. Pastikan sistem mengunci GPS dan inertial bekerja normal
4. Kalibrasi *Laser Profiler*
 - a. Jalankan kendaraan pada permukaan datar (benchmark):
 - 1) Pastikan output profil longitudinal $\approx$ nol
 - 2) Kemudian uji pada permukaan kasar; pantau kenaikan nilai IRI/SMTD/MPD
5. Pengambilan dan Vertifikasi Data
 - a. Lakukan survei pada lintasan dengan kondisi berbeda
 - b. Simpan data menggunakan Onlooker Live
 - c. Gunakan Processing Toolkit untuk menganalisis

Tabel 4.14 Dokumentasi Pengambilan dan Vertifikasi Data

No	Dokumentasi Lapangan	Keterangan
1		Kalibrasi Jarak

No	Dokumentasi Lapangan	Keterangan
		Kalibrasi laser
		Kalibrasi Laser

No	Dokumentasi Lapangan	Keterangan
		

No	Dokumentasi Lapangan	Keterangan
		Kalibrasi Gyro

4.5. Hasil Validasi Alat Survei IRI

4.5.1. Desain Validasi

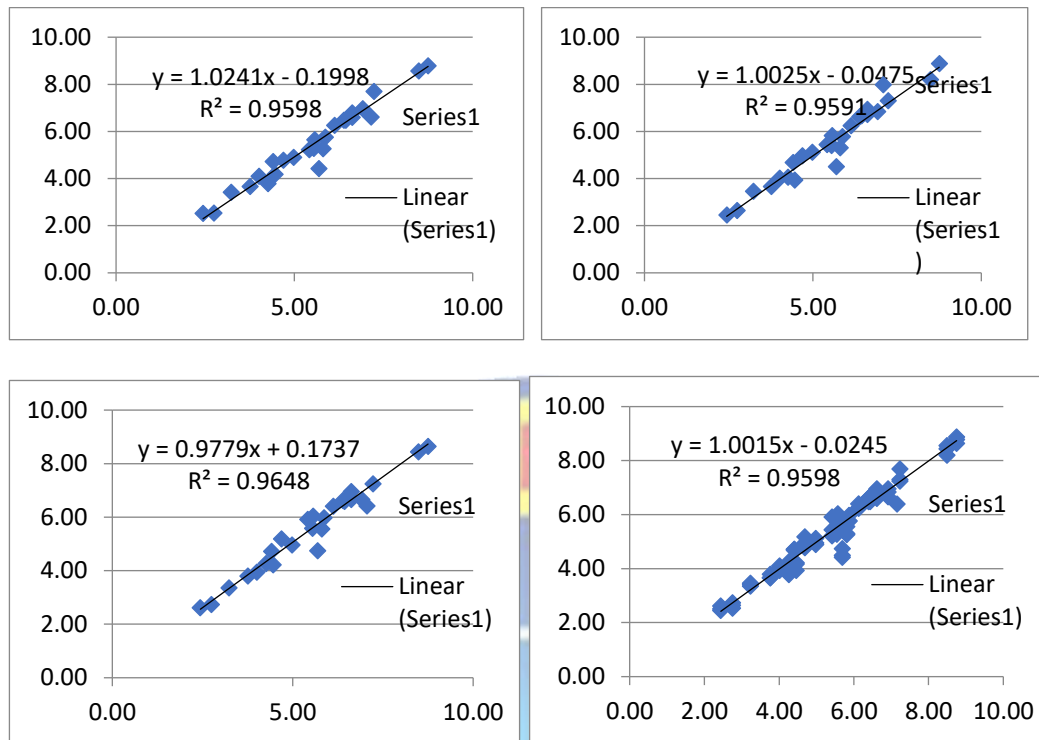
Validasi dilakukan pada ≥ 5 sampel uji yang berbeda dari sampel kalibrasi (200–500 m) dengan rentang IRI yang sama. Setiap sampel diukur:

- Min. 3 kali oleh alat referensi.
- Min. 5 kali oleh alat uji pasca-kalibrasi.
- Waktu/hari berbeda dari sesi kalibrasi untuk memastikan generalitas.

4.5.2. Hasil Pengukuran Validasi Alat Survei *Roughometer* III

Tabel 4.15 Hasil Validasi *Roughometer* III Terhadap *Walking Profilometer*

Seksi	Jarak	IRI Referensi	Kecepatan	Coba 1	Coba 2	Coba 3	Coba 4	Coba 5	Rata-rata	Standar Deviasi (SD)	Koefisien Variasi (CV)	
SP 1	100	3.23	40	3.2	3.5	3.5	3.5	3.4	3.42	0.13	4%	Validasi 1 Kecepatan = 40 km/jam $IRI_{lucuan} = A \times IRI_{akselerometer} + B$ $A = 1.024$ $B = -0.200$ $R^2 = 0.960$ $CV = 2.01\%$ Persyaratan $0.95 \leq A \leq 1.05 = \text{Memenuhi}$ $-0.25 \leq B \leq 0.25 = \text{Memenuhi}$
	200	2.75	40	2.5	2.5	2.7	2.5	2.5	2.54	0.09	4%	
	300	2.44	40	2.5	2.5	2.6	2.5	2.5	2.52	0.04	2%	
	400	4.26	40	3.8	3.7	3.7	3.9	3.8	3.78	0.08	2%	
	500	3.76	40	3.7	3.6	3.6	3.7	3.7	3.66	0.05	1%	
SP2	100	5.69	40	4.3	4.5	4.4	4.6	4.3	4.42	0.13	3%	
	200	4.46	40	4.1	4.5	4.2	3.9	4.2	4.18	0.22	5%	
	300	4.41	40	4.8	4.7	4.7	4.7	4.7	4.72	0.04	1%	
	400	5.81	40	5.4	5.1	5.2	5.3	5.3	5.26	0.11	2%	
	500	4.01	40	4.2	4.1	4.0	4.2	4.0	4.10	0.10	2%	
SP3	100	5.42	40	5.1	5.2	5.2	5.3	5.3	5.22	0.08	2%	
	200	6.13	40	6.4	6.2	6.3	6.3	6.1	6.26	0.11	2%	
	300	4.69	40	4.7	4.8	4.9	4.8	4.7	4.78	0.08	2%	
	400	6.62	40	6.9	6.7	6.8	6.9	6.6	6.78	0.13	2%	
	500	6.62	40	6.3	6.6	6.5	6.9	6.7	6.60	0.22	3%	
SP4	100	4.98	40	4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	4.90	0.00	0%	
	200	5.87	40	5.7	5.8	5.8	5.7	5.8	5.76	0.05	1%	
	300	5.57	40	5.5	5.7	5.8	5.6	5.6	5.64	0.11	2%	
	400	6.39	40	6.5	6.5	6.5	6.5	6.4	6.48	0.04	1%	
	500	6.44	40	6.4	6.3	6.5	6.5	6.7	6.48	0.15	2%	
SP 5	100	7.23	40	7.8	7.8	7.5	7.8	7.6	7.70	0.14	2%	
	200	5.55	40	5.3	5.4	5.2	5.3	5.2	5.28	0.08	2%	
	300	6.92	40	6.9	6.9	7.0	7.0	7.0	6.96	0.05	1%	
	400	8.49	40	8.6	8.5	8.4	8.7	8.6	8.56	0.11	1%	
	500	8.75	40	8.7	9.0	8.9	8.7	8.6	8.78	0.16	2%	
SP 1	100	3.23	50	3.4	3.4	3.5	3.5	3.5	3.46	0.05	2%	Validasi 2 Kecepatan = 50 km/jam $IRI_{lucuan} = A \times IRI_{akselerometer} + B$ $A = 1.002$ $B = -0.048$ $R^2 = 0.959$ $CV = 2.92\%$ Persyaratan $0.95 \leq A \leq 1.05 = \text{Memenuhi}$ $-0.25 \leq B \leq 0.25 = \text{Memenuhi}$
	200	2.75	50	2.6	2.6	2.6	2.7	2.7	2.64	0.05	2%	
	300	2.44	50	2.4	2.5	2.4	2.5	2.5	2.46	0.05	2%	
	400	4.26	50	4.1	3.8	4.3	3.9	4.2	4.06	0.21	5%	
	500	3.76	50	3.9	3.7	3.5	3.5	3.7	3.66	0.17	5%	
SP2	100	5.69	50	4.3	4.3	4.4	4.4	5.1	4.50	0.34	8%	
	200	4.46	50	3.8	3.9	3.9	3.8	4.3	3.94	0.21	5%	
	300	4.41	50	4.8	4.7	4.6	4.5	4.8	4.68	0.13	3%	
	400	5.81	50	5.1	5.2	5.2	5.6	5.4	5.30	0.20	4%	
	500	4.01	50	3.9	4.0	4.2	4.0	4.0	4.02	0.11	3%	
SP3	100	5.42	50	5.3	5.5	5.3	5.5	5.6	5.44	0.13	2%	
	200	6.13	50	6.3	6.3	6.1	6.3	6.2	6.24	0.09	1%	
	300	4.69	50	5.1	5.0	4.7	4.9	5.1	4.96	0.17	3%	
	400	6.62	50	6.9	6.6	6.7	6.6	6.8	6.72	0.13	2%	
	500	6.62	50	7.0	6.9	7.0	6.7	7.1	6.94	0.15	2%	
SP4	100	4.98	50	5.2	5.1	5.2	4.9	5.2	5.12	0.13	3%	
	200	5.87	50	5.8	5.9	5.8	5.6	5.8	5.78	0.11	2%	
	300	5.57	50	5.7	5.9	5.7	5.8	6.0	5.82	0.13	2%	
	400	6.39	50	6.6	6.6	6.6	6.7	6.6	6.62	0.04	1%	
	500	6.44	50	6.6	6.5	6.7	6.7	6.8	6.66	0.11	2%	
SP 5	100	7.23	50	7.4	7.5	7.3	7.2	7.1	7.30	0.16	2%	
	200	5.55	50	5.6	5.4	5.5	5.1	5.4	5.40	0.19	3%	
	300	6.92	50	7.0	6.8	6.6	7.1	6.7	6.84	0.21	3%	
	400	8.49	50	8.2	8.4	8.1	8.1	8.1	8.20	0.14	2%	
	500	8.75	50	9.3	9.1	8.5	9.1	8.4	8.88	0.40	5%	
SP 1	100	3.23	60	3.1	3.4	3.3	3.5	3.5	3.36	0.17	5%	Validasi 3 Kecepatan = 60 km/jam $IRI_{lucuan} = A \times IRI_{akselerometer} + B$ $A = 0.978$ $B = 0.174$ $R^2 = 0.965$ $CV = 2.87\%$ Persyaratan $0.95 \leq A \leq 1.05 = \text{Memenuhi}$ $-0.25 \leq B \leq 0.25 = \text{Memenuhi}$
	200	2.75	60	2.7	2.9	2.8	2.6	2.7	2.74	0.11	4%	
	300	2.44	60	2.7	2.6	2.5	2.7	2.6	2.62	0.08	3%	
	400	4.26	60	4.1	4.2	4.4	4.3	4.3	4.26	0.11	3%	
	500	3.76	60	3.9	3.8	3.8	3.8	3.7	3.80	0.07	2%	
SP2	100	5.69	60	4.5	5.2	5.3	4.4	4.3	4.74	0.47	10%	
	200	4.46	60	4.2	4.3	4.1	4.1	4.4	4.22	0.13	3%	
	300	4.41	60	4.6	4.7	4.8	4.7	4.8	4.72	0.08	2%	
	400	5.81	60	5.6	5.5	5.5	5.7	5.5	5.56	0.09	2%	
	500	4.01	60	3.8	4.1	3.9	3.8	4.1	3.94	0.15	4%	
SP3	100	5.42	60	5.9	6.2	5.6	6.1	5.8	5.92	0.24	4%	
	200	6.13	60	6.4	6.3	6.3	6.5	6.5	6.40	0.10	2%	
	300	4.69	60	5.2	5.3	4.8	5.3	5.3	5.18	0.22	4%	
	400	6.62	60	6.8	6.8	7.1	7.1	7.0	6.96	0.15	2%	
	500	6.62	60	6.5	6.7	6.5	6.8	6.8	6.66	0.15	2%	
SP4	100	4.98	60	5.0	4.9	5.2	4.9	4.8	4.96	0.15	3%	
	200	5.87	60	6.1	5.8	6.0	5.9	6.1	5.98	0.13	2%	
	300	5.57	60	5.8	6.2	5.9	6.2	6.1	6.04	0.18	3%	
	400	6.39	60	6.8	6.5	6.6	6.5	6.7	6.62	0.13	2%	
	500	6.44	60	6.7	6.5	6.7	6.4	6.6	6.58	0.13	2%	
SP 5	100	7.23	60	7.3	7.2	7.3	7.4	7.0	7.24	0.15	2%	
	200	5.55	60	5.6	5.6	5.5	5.7	5.5	5.58	0.08	1%	
	300	6.92	60	6.7	6.8	6.5	6.5	6.8	6.66	0.15	2%	
	400	8.49	60	8.5	8.3	8.6	8.4	8.4	8.44	0.11	1%	
	500	8.75	60	8.6	8.7	8.7	8.5	8.7	8.64	0.09	1%	
Validasi Gabungan $IRI_{lucuan} = A \times IRI_{akselerometer} + B$ $A = 1.001$ $B = -0.025$ $R^2 = 0.960$ $CV = 2.692$												Persyaratan $0.95 \leq A \leq 1.05 = \text{Memenuhi}$ $-0.25 \leq B \leq 0.25 = \text{Memenuhi}$ $R^2 \geq 0.95 = \text{Memenuhi}$ $CV \leq 5\% = \text{Memenuhi}$



Validasi dilakukan untuk memastikan akurasi pengukuran International Roughness Index (IRI) oleh alat *Roughometer* III terhadap nilai acuan dari *Walking Profilometer* (WP). Proses validasi dilakukan pada beberapa seksi pengujian dengan variasi kecepatan 40 km/jam, 50 km/jam, dan 60 km/jam, serta penggabungan data keseluruhan.

Metode Validasi yang digunakan

$$IRI_{Acuan} = A \times IRI_{Alat} + B$$

dengan parameter A, B, koefisien determinasi (R^2), dan koefisien variasi (CV) sebagai indikator kualitas kalibrasi. Persyaratan kelulusan sesuai standar:

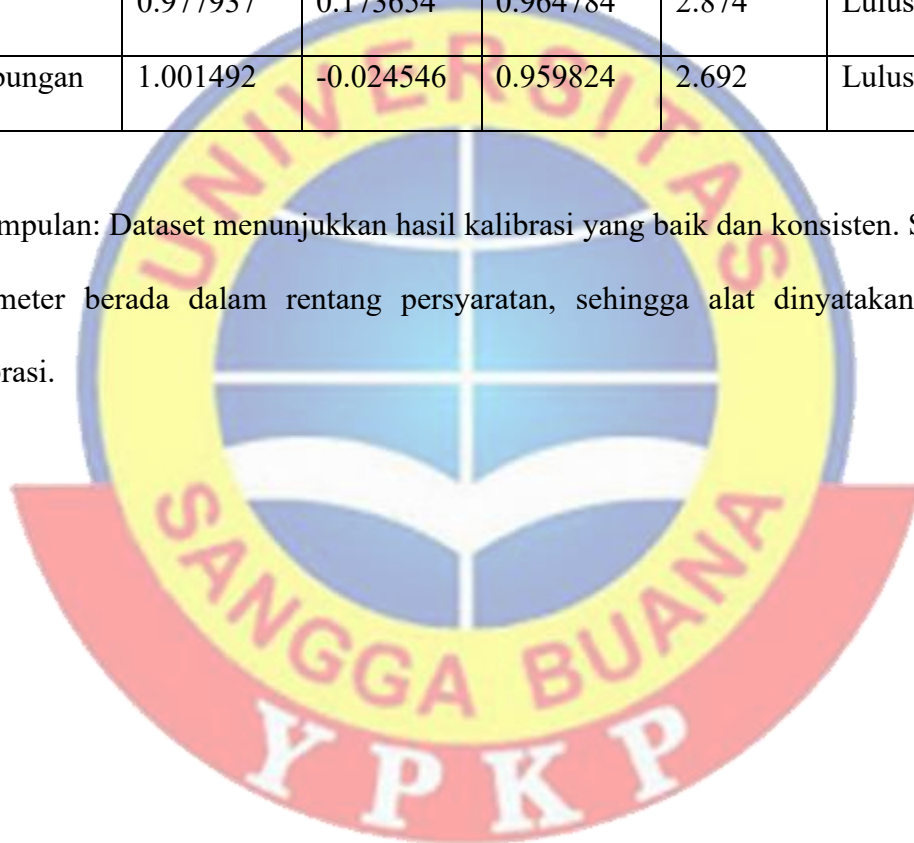
Persyaratan kelulusan:

- $0,95 \leq A \leq 1,05$
- $-0,25 \leq B \leq 0,25$
- $R^2 \geq 0,95$
- $CV < 5\%$

Tabel 4.16 Parameter Kalibrasi dan Validasi Roughmeter III

Kecepatan (km/jam)	A	B	R ²	CV (%)	Status
40	1.024064	-0.199778	0.959785	2.014	Lulus
50	1.002475	-0.047513	0.959120	2.921	Lulus
60	0.977937	0.173654	0.964784	2.874	Lulus
Gabungan	1.001492	-0.024546	0.959824	2.692	Lulus

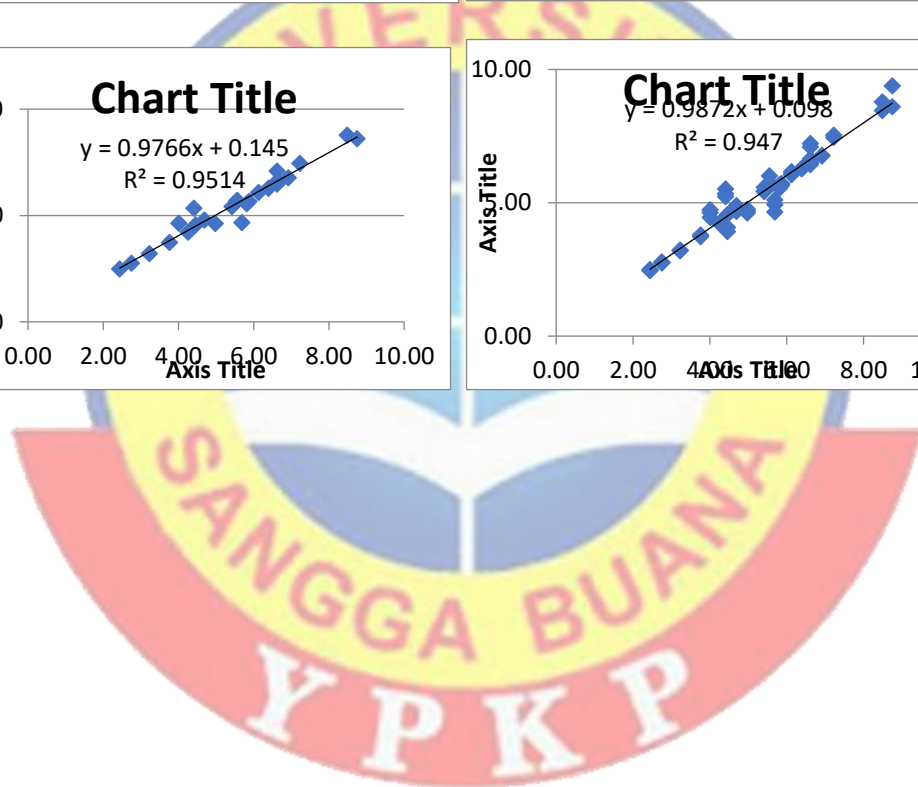
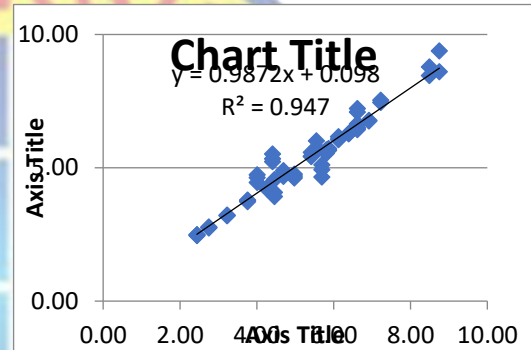
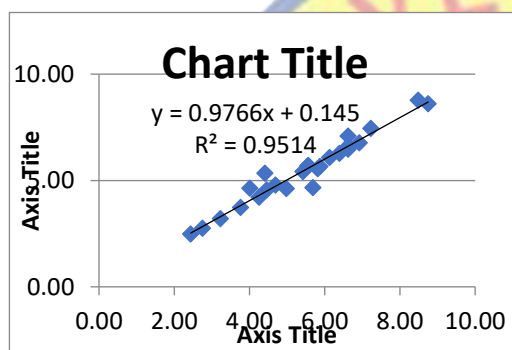
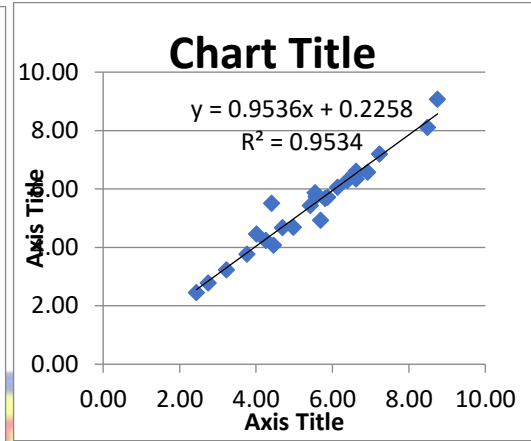
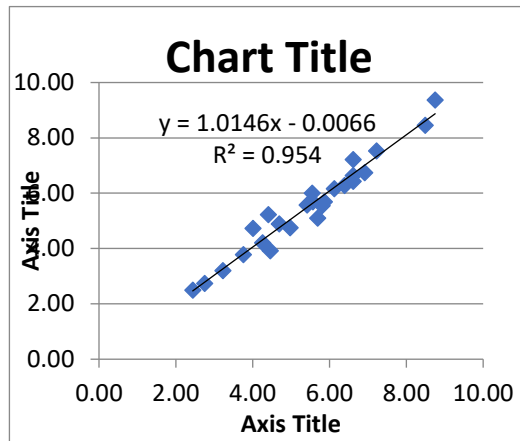
Kesimpulan: Dataset menunjukkan hasil kalibrasi yang baik dan konsisten. Semua parameter berada dalam rentang persyaratan, sehingga alat dinyatakan lulus kalibrasi.



4.5.3. Hasil Pengukuran Validasi Alat Survei *IRIMETER 2*

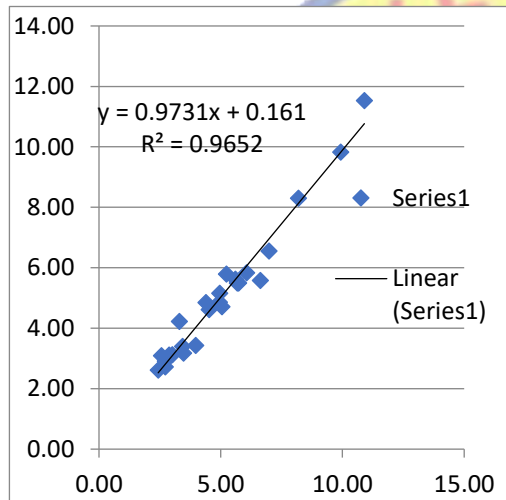
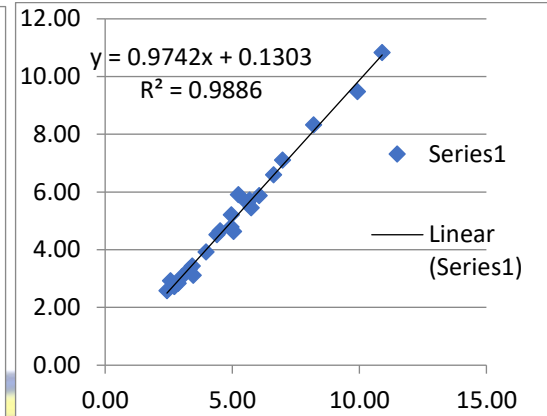
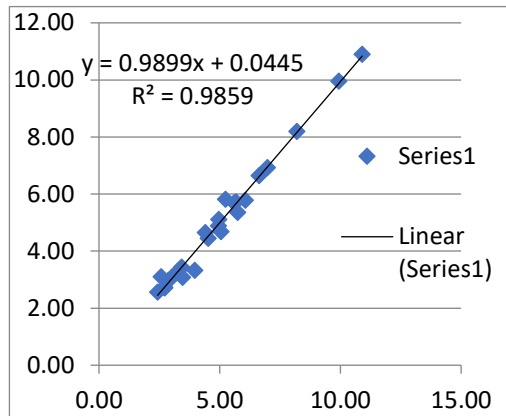
Tabel 4.17 Hasil Validasi Kiri *IRIMETER-2* Terhadap *Walking Profilometer*

Seksi	Jarak	Kecepatan	IRI Referensi	Coba 1	Coba 2	Coba 3	Coba 4	Coba 5	Rata-rata	Standar Deviasi (SD)	Koefisien Variasi (CV)	
SP1	100	40	3.23	3.26	3.15	3.16	3.26	3.20	3.20	0.05	2%	Validasi 1 Kecepatan = 40 km/jam IRI_{lucuan} = A x IRI_{akselerometer}+B A = 0.977 B = 0.145 R² = 0.951 CV= 2.53% Persyaratan 0.95 ≤ A ≤ 1.05 = Memenuhi -0.25 ≤ B ≤ 0.25 = Memenuhi R² ≥ 0.95 = Memenuhi CV< 5% = Memenuhi
	200	40	2.75	2.75	2.85	2.80	2.61	2.73	2.75	0.09	3%	
	300	40	2.44	2.51	2.38	2.37	2.65	2.50	2.48	0.11	5%	
	400	40	4.26	4.17	4.36	4.15	4.00	4.39	4.21	0.16	4%	
	500	40	3.76	3.80	3.70	3.50	3.87	3.79	3.73	0.14	4%	
SP2	100	40	5.69	4.52	4.67	4.57	4.59	4.93	4.66	0.17	4%	
	200	40	4.46	4.56	4.50	4.74	4.28	4.70	4.55	0.18	4%	
	300	40	4.41	5.40	5.41	5.38	5.27	5.24	5.34	0.08	1%	
	400	40	5.81	5.55	5.53	5.53	5.55	5.57	5.55	0.02	0%	
	500	40	4.01	4.44	4.53	4.63	4.70	4.85	4.63	0.16	3%	
SP3	100	40	5.42	5.36	5.47	5.42	5.48	5.38	5.42	0.05	1%	
	200	40	6.13	6.25	6.18	5.93	5.97	6.05	6.07	0.14	2%	
	300	40	4.69	4.80	4.91	4.67	4.84	4.71	4.79	0.10	2%	
	400	40	6.62	6.68	6.50	6.70	6.56	6.62	6.61	0.08	1%	
	500	40	6.62	7.02	6.94	7.09	7.42	6.96	7.09	0.20	3%	
SP4	100	40	4.98	4.76	4.57	4.38	4.65	4.70	4.61	0.15	3%	
	200	40	5.87	5.72	5.61	5.71	5.61	5.61	5.65	0.06	1%	
	300	40	5.57	5.64	5.76	5.66	5.80	5.65	5.70	0.08	1%	
	400	40	6.39	6.35	6.24	6.40	6.17	6.20	6.27	0.10	2%	
	500	40	6.62	6.27	6.46	6.51	6.62	6.49	6.47	0.13	2%	
SP 5	100	40	7.23	7.79	7.28	7.44	7.24	7.49	7.45	0.22	3%	
	200	40	5.55	5.75	5.69	5.88	5.85	5.28	5.69	0.24	4%	
	300	40	6.92	6.79	6.63	6.97	6.72	6.78	6.78	0.12	2%	
	400	40	8.49	8.81	8.65	9.07	8.84	8.54	8.78	0.20	2%	
	500	40	8.75	8.54	8.14	8.59	8.70	9.02	8.60	0.32	4%	
SP1	100	50	3.23	3.17	3.29	3.10	3.20	3.27	3.21	0.08	2%	Validasi 2 Kecepatan = 50 km/jam IRI_{lucuan} = A x IRI_{akselerometer}+B A = 1.015 B = -0.007 R² = 0.954 CV= 2.32% Persyaratan 0.95 ≤ A ≤ 1.05 = Memenuhi -0.25 ≤ B ≤ 0.25 = Memenuhi R² ≥ 0.95 = Memenuhi CV< 5% = Memenuhi
	200	50	2.75	2.74	2.90	2.62	2.65	2.80	2.74	0.11	4%	
	300	50	2.44	2.40	2.40	2.59	2.60	2.49	2.50	0.10	4%	
	400	50	4.26	4.20	4.07	4.22	4.22	4.35	4.22	0.10	2%	
	500	50	3.76	3.70	3.85	3.85	3.70	3.83	3.78	0.08	2%	
SP2	100	50	5.69	5.23	5.06	5.03	5.16	5.05	5.11	0.09	2%	
	200	50	4.46	3.89	3.96	3.83	3.98	3.97	3.93	0.06	2%	
	300	50	4.41	5.44	5.19	5.34	5.22	4.97	5.23	0.18	3%	
	400	50	5.81	5.36	5.72	5.53	5.43	5.71	5.55	0.16	3%	
	500	50	4.01	4.89	4.86	4.90	4.72	4.32	4.74	0.24	5%	
SP3	100	50	5.42	5.57	5.53	5.68	5.54	5.58	5.58	0.06	1%	
	200	50	6.13	6.22	6.10	6.32	6.08	6.13	6.17	0.10	2%	
	300	50	4.69	4.97	4.77	4.82	4.96	4.95	4.90	0.09	2%	
	400	50	6.62	6.46	6.62	6.70	6.58	6.85	6.64	0.14	2%	
	500	50	6.62	7.26	7.33	7.24	7.32	6.98	7.23	0.14	2%	
SP4	100	50	4.98	4.77	4.72	4.79	4.74	4.78	4.76	0.03	1%	
	200	50	5.87	5.63	5.74	5.69	5.72	5.66	5.69	0.04	1%	
	300	50	5.57	5.89	5.54	5.68	5.77	5.62	5.70	0.14	2%	
	400	50	6.39	6.37	6.20	6.17	6.39	6.29	6.29	0.10	2%	
	500	50	6.62	6.34	6.48	6.47	6.64	6.22	6.43	0.16	2%	
SP 5	100	50	7.23	7.27	7.65	7.24	7.81	7.72	7.54	0.26	4%	
	200	50	5.55	6.22	5.75	6.03	5.92	6.13	6.01	0.18	3%	
	300	50	6.92	6.75	6.82	6.88	6.67	6.63	6.75	0.10	1%	
	400	50	8.49	8.55	8.30	8.29	8.46	8.67	8.45	0.16	2%	
	500	50	8.75	9.31	9.59	9.63	9.16	9.22	9.38	0.22	2%	
SP1	100	60	3.23	3.14	3.20	3.28	3.25	3.25	3.22	0.06	2%	Validasi 3 Kecepatan = 60 km/jam IRI_{lucuan} = A x IRI_{akselerometer}+B A = 0.954 B = 0.226 R² = 0.953 CV= 2.53% Persyaratan 0.95 ≤ A ≤ 1.05 = Memenuhi -0.25 ≤ B ≤ 0.25 = Memenuhi R² ≥ 0.95 = Memenuhi CV< 5% = Memenuhi
	200	60	2.75	2.84	2.81	2.71	2.64	2.90	2.78	0.11	4%	
	300	60	2.44	2.35	2.50	2.40	2.50	2.50	2.45	0.07	3%	
	400	60	4.26	4.13	4.35	4.31	4.17	4.23	4.24	0.09	2%	
	500	60	3.76	3.95	3.81	3.64	3.72	3.70	3.76	0.12	3%	
SP2	100	60	5.69	5.00	4.92	4.99	4.95	4.77	4.93	0.10	2%	
	200	60	4.46	4.15	4.00	4.05	4.07	4.10	4.07	0.06	1%	
	300	60	4.41	5.38	5.61	5.42	5.28	5.89	5.51	0.24	4%	
	400	60	5.81	5.69	5.81	5.59	5.74	5.53	5.67	0.11	2%	
	500	60	4.01	4.36	4.19	4.61	4.63	4.48	4.45	0.18	4%	
SP3	100	60	5.42	5.38	5.56	5.47	5.38	5.40	5.44	0.07	1%	
	200	60	6.13	6.14	6.01	6.15	6.03	5.94	6.06	0.09	1%	
	300	60	4.69	4.58	4.70	4.63	4.73	4.73	4.67	0.07	1%	
	400	60	6.62	6.53	6.68	6.43	6.34	6.52	6.50	0.13	2%	
	500	60	6.62	6.55	6.65	6.80	6.50	6.55	6.61	0.12	2%	
SP4	100	60	4.98	4.70	4.79	4.53	4.74	4.67	4.69	0.10	2%	
	200	60	5.87	5.95	5.67	5.81	5.59	5.58	5.72	0.16	3%	
	300	60	5.57	6.00	5.70	5.64	5.83	5.55	5.74	0.17	3%	
	400	60	6.39	6.25	6.13	6.54	6.21	6.29	6.29	0.16	2%	
	500	60	6.62	6.62	6.47	6.04	6.31	6.29	6.35	0.22	3%	
SP 5	100	60	7.23	7.11	7.39	6.90	7.22	7.35	7.19	0.20	3%	
	200	60	5.55	6.09	5.48	5.98	5.85	5.98	5.87	0.23	4%	
	300	60	6.92	6.47	6.73	6.74	6.41	6.47	6.57	0.16	2%	
	400	60	8.49	7.86	8.34	8.32	8.09	7.90	8.10	0.23	3%	
	500	60	8.75	9.07	8.91	9.09	9.32	8.98	9.07	0.15	2%	
Validasi Gabungan												
IRI _{lucuan} = A x IRI _{akselerometer} +B										Persyaratan		
A = 0.982										0.95 ≤ A ≤ 1.05 = Memenuhi		
B = 0.121										-0.25 ≤ B ≤ 0.25 = Memenuhi		
R ² = 0.952										R ² ≥ 0.95 = Memenuhi		
CV= 2.46%										CV< 5% = Memenuhi		



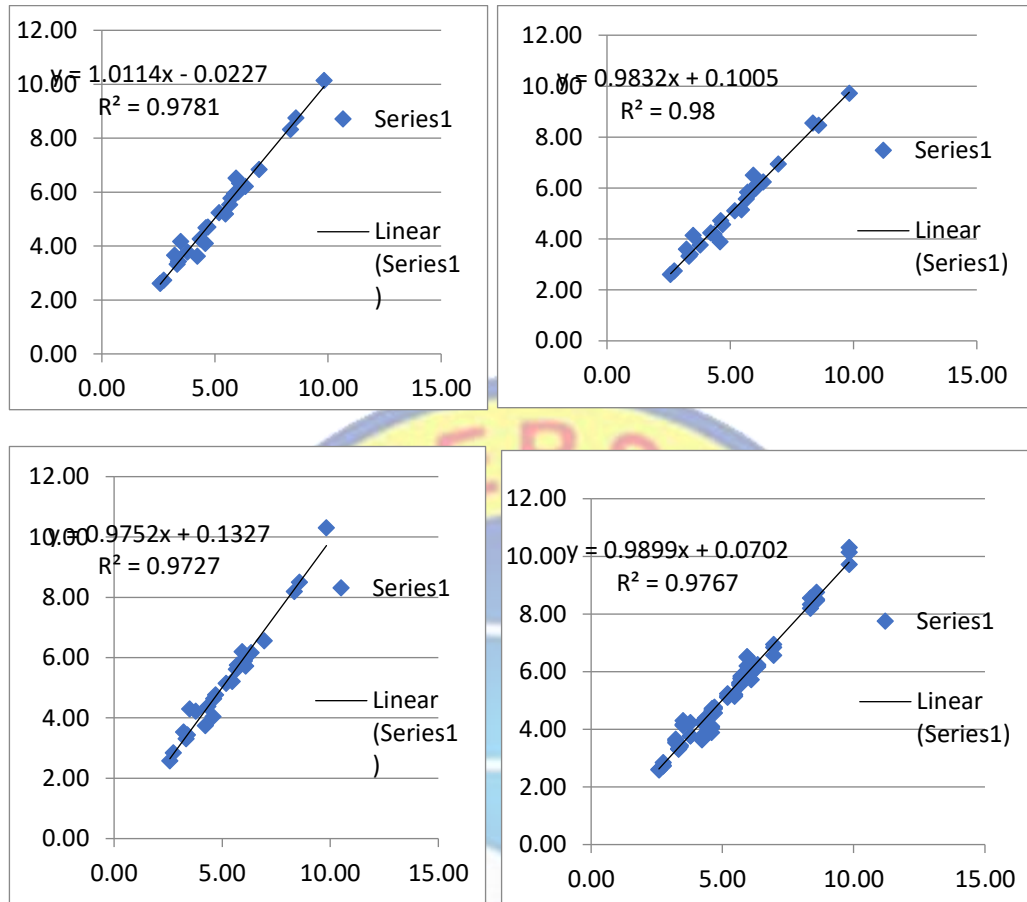
Tabel 4.18 Hasil Validasi Kanan *IRIMETER-2* Terhadap *Walking Profilometer*

Seksi	Jarak	Kecepatan	IRI Referensi	Coba 1	Coba 2	Coba 3	Coba 4	Coba 5	Rata-rata	Standar Deviasi (SD)	Koefisien Variasi (CV)	
SP1	100	40	3.43	3.26	3.45	3.41	3.51	3.54	3.43	0.11	3%	Validasi 1 Kecepatan = 40 km/jam IRIlucuan = A x IRI akselerometer+B A = 0.974 B = 0.130 R2 = 0.989 CV= 3.07% Persyaratan $0.95 \leq A \leq 1.05$ = Memenuhi $-0.25 \leq B \leq 0.25$ = Memenuhi R2 ≥ 0.95 = Memenuhi CV< 5% = Memenuhi
	200	40	2.72	2.72	2.55	2.79	2.79	2.80	2.73	0.11	4%	
	300	40	2.72	2.70	2.70	2.85	2.81	2.55	2.72	0.12	4%	
	400	40	3.30	3.20	3.50	3.18	3.40	3.30	3.32	0.13	4%	
	500	40	3.01	3.01	3.06	3.02	3.04	3.13	3.05	0.05	2%	
SP2	100	40	3.47	3.09	2.99	3.17	2.98	3.31	3.11	0.14	4%	
	200	40	3.97	4.00	3.96	3.84	3.94	3.91	3.93	0.06	2%	
	300	40	2.57	2.48	2.62	3.52	2.62	3.40	2.93	0.49	17%	
	400	40	2.88	2.88	2.78	2.83	2.78	2.90	2.83	0.06	2%	
	500	40	2.43	2.59	2.59	2.54	2.50	2.67	2.58	0.07	3%	
SP3	100	40	4.95	4.73	4.80	4.74	4.82	4.86	4.79	0.05	1%	
	200	40	5.60	5.72	5.73	5.53	5.58	5.58	5.63	0.09	2%	
	300	40	4.53	4.69	4.66	4.59	4.61	4.73	4.66	0.06	1%	
	400	40	6.06	5.93	5.79	5.92	5.85	5.88	5.87	0.06	1%	
	500	40	5.24	6.09	5.91	5.98	5.91	5.64	5.91	0.16	3%	
SP4	100	40	4.40	4.49	4.33	4.66	4.49	4.64	4.52	0.14	3%	
	200	40	5.05	4.52	4.70	4.67	4.66	4.63	4.63	0.07	2%	
	300	40	5.74	5.43	5.60	5.53	5.33	5.37	5.45	0.11	2%	
	400	40	5.68	5.94	5.66	5.86	5.43	5.69	5.72	0.20	4%	
	500	40	4.96	5.19	5.28	4.94	5.27	5.35	5.21	0.16	3%	
SP 5	100	40	9.93	9.83	9.13	9.66	9.45	9.34	9.48	0.27	3%	
	200	40	6.63	6.94	6.06	6.88	6.53	6.59	6.60	0.35	5%	
	300	40	6.98	6.90	7.11	7.19	7.16	7.19	7.11	0.12	2%	
	400	40	8.20	8.26	8.32	8.37	8.25	8.45	8.33	0.08	1%	
	500	40	10.90	10.86	10.78	10.80	10.73	10.99	10.83	0.10	1%	
SP1	100	50	3.43	3.41	3.50	3.47	3.36	3.49	3.45	0.06	2%	Validasi 2 Kecepatan = 50 km/jam IRIlucuan = A x IRI akselerometer+B A = 0.990 B = 0.044 R2 = 0.986 CV= 2.09% Persyaratan $0.95 \leq A \leq 1.05$ = Memenuhi $-0.25 \leq B \leq 0.25$ = Memenuhi R2 ≥ 0.95 = Memenuhi CV< 5% = Memenuhi
	200	50	2.72	2.68	2.76	2.72	2.65	2.76	2.71	0.05	2%	
	300	50	2.72	2.78	2.73	2.74	2.69	2.71	2.73	0.04	1%	
	400	50	3.30	3.50	3.25	3.35	3.29	3.27	3.33	0.10	3%	
	500	50	3.01	3.10	3.17	3.12	3.03	3.02	3.08	0.06	2%	
SP2	100	50	3.47	3.07	3.19	3.10	2.99	3.07	3.08	0.07	2%	
	200	50	3.97	3.29	3.22	3.44	3.36	3.35	3.33	0.08	2%	
	300	50	2.57	3.13	3.20	2.97	3.03	3.18	3.10	0.10	3%	
	400	50	2.88	3.13	3.07	2.93	2.94	2.85	2.98	0.11	4%	
	500	50	2.43	2.71	2.50	2.55	2.44	2.63	2.57	0.11	4%	
SP3	100	50	4.95	4.89	4.91	4.89	4.83	4.93	4.89	0.04	1%	
	200	50	5.60	5.62	5.79	5.84	5.64	5.60	5.70	0.11	2%	
	300	50	4.53	4.45	4.47	4.21	4.60	4.54	4.45	0.15	3%	
	400	50	6.06	5.71	5.62	5.78	5.82	5.98	5.78	0.13	2%	
	500	50	5.24	5.80	5.95	5.86	5.80	5.69	5.82	0.10	2%	
SP4	100	50	4.40	4.71	4.54	4.69	4.64	4.66	4.65	0.06	1%	
	200	50	5.05	4.54	4.73	4.66	4.71	4.78	4.68	0.09	2%	
	300	50	5.74	5.29	5.33	5.38	5.32	5.49	5.36	0.08	1%	
	400	50	5.68	5.55	5.85	5.88	5.84	5.56	5.73	0.17	3%	
	500	50	4.96	5.11	5.15	5.25	5.05	5.01	5.11	0.09	2%	
SP 5	100	50	9.93	9.82	9.95	9.95	10.02	10.07	9.96	0.09	1%	
	200	50	6.63	6.75	6.94	6.65	6.41	6.48	6.65	0.21	3%	
	300	50	6.98	6.97	6.92	6.92	6.98	6.89	6.94	0.04	1%	
	400	50	8.20	8.33	8.05	8.27	8.18	8.17	8.20	0.11	1%	
	500	50	10.90	11.07	10.92	10.70	10.90	10.93	10.91	0.13	1%	
SP1	100	60	3.43	3.34	3.43	3.40	3.44	3.38	3.40	0.04	1%	Validasi 3 Kecepatan = 60 km/jam IRIlucuan = A x IRI akselerometer+B A = 0.973 B = 0.161 R2 = 0.965 CV= 0.026 Persyaratan $0.95 \leq A \leq 1.05$ = Memenuhi $-0.25 \leq B \leq 0.25$ = Memenuhi R2 ≥ 0.95 = Memenuhi CV< 5% = Memenuhi
	200	60	2.72	3.04	2.95	2.78	2.92	2.87	2.91	0.10	3%	
	300	60	2.72	2.78	2.66	2.74	2.67	2.76	2.72	0.05	2%	
	400	60	3.30	4.22	4.23	4.45	4.13	4.09	4.22	0.14	3%	
	500	60	3.01	3.08	3.13	3.05	3.12	3.26	3.13	0.08	3%	
SP2	100	60	3.47	3.05	3.28	3.16	3.09	3.28	3.17	0.11	3%	
	200	60	3.97	3.52	3.58	3.64	3.34	3.07	3.43	0.23	7%	
	300	60	2.57	3.03	3.15	3.13	3.13	3.03	3.09	0.06	2%	
	400	60	2.88	2.96	3.03	3.26	2.99	3.31	3.11	0.16	5%	
	500	60	2.43	2.57	2.63	2.61	2.63	2.65	2.62	0.03	1%	
SP3	100	60	4.95	4.84	4.95	4.83	4.88	4.82	4.86	0.05	1%	
	200	60	5.60	5.67	5.68	5.63	5.63	5.49	5.62	0.08	1%	
	300	60	4.53	4.55	4.56	4.63	4.70	4.64	4.62	0.06	1%	
	400	60	6.06	5.87	5.85	5.87	5.73	5.86	5.83	0.06	1%	
	500	60	5.24	5.82	5.88	5.58	5.71	5.93	5.79	0.14	2%	
SP4	100	60	4.40	4.95	4.95	4.90	4.76	4.65	4.84	0.13	3%	
	200	60	5.05	4.61	4.69	4.65	4.84	4.76	4.71	0.09	2%	
	300	60	5.74	5.39	5.53	5.43	5.51	5.60	5.49	0.09	2%	
	400	60	5.68	5.42	5.37	5.65	5.48	5.55	5.49	0.11	2%	
	500	60	4.96	5.30	5.28	5.15	4.95	5.13	5.16	0.14	3%	
SP 5	100	60	9.93	9.80	9.57	9.83	10.26	9.65	9.82	0.27	3%	
	200	60	6.63	5.70	5.55	5.39	5.96	5.28	5.58	0.27	5%	
	300	60	6.98	6.91	6.51	6.59	6.35	6.39	6.55	0.22	3%	
	400	60	8.20	8.54	8.45	8.10	8.04	8.37	8.30	0.22	3%	
	500	60	10.90	11.52	11.65	11.25	11.98	11.27	11.53	0.30	3%	
Validasi Gabungan IRIlucuan = A x IRI akselerometer+B A = 0.979 B = 0.112 R ² = 0.980 CV= 2.59%												Persyaratan $0.95 \leq A \leq 1.05$ = Memenuhi $-0.25 \leq B \leq 0.25$ = Memenuhi R2 ≥ 0.95 = Memenuhi CV< 5% = Memenuhi



Tabel 4.19 Hasil Validasi Gabungan *IRIMETER-2* Terhadap *Walking Profilometer*

Lokasi	Jarak (Meter)	Kecepatan (Km/Jam)	IRI Referensi (m/Km)	IRIMETER II (m/Km)						Standar Deviasi (SD)	Koefisien Variasi (CV)	
				Coba 1	Coba 2	Coba 3	Coba 4	Coba 5	Rata-Rata			
SP1	100	40	3.33	3.26	3.30	3.29	3.38	3.37	3.32	0.05	2%	Validasi 1 Kecepatan = 40 km/jam $IRI_{lucuan} = A \times IRI_{akselerometer} + B$ $A = 0.983$ $B = 0.100$ $R^2 = 0.980$ $CV = 2.09\%$ Persyaratan $0.95 \leq A \leq 1.05 = \text{Memenuhi}$ $-0.25 \leq B \leq 0.25 = \text{Memenuhi}$ $R^2 \geq 0.95 = \text{Memenuhi}$ $CV < 5\% = \text{Memenuhi}$
	200	40	2.74	2.74	2.70	2.80	2.70	2.77	2.74	0.04	2%	
	300	40	2.58	2.60	2.54	2.61	2.73	2.53	2.60	0.08	3%	
	400	40	3.78	3.69	3.93	3.67	3.70	3.84	3.77	0.12	3%	
	500	40	3.39	3.41	3.38	3.26	3.46	3.46	3.39	0.08	2%	
SP2	100	40	4.58	3.81	3.83	3.87	3.79	4.12	3.88	0.14	4%	
	200	40	4.22	4.28	4.23	4.29	4.11	4.30	4.24	0.08	2%	
	300	40	3.49	3.94	4.02	4.45	3.94	4.32	4.13	0.24	6%	
	400	40	4.35	4.22	4.15	4.18	4.16	4.24	4.19	0.04	1%	
	500	40	3.22	3.51	3.56	3.59	3.60	3.76	3.60	0.09	3%	
SP3	100	40	5.19	5.05	5.14	5.08	5.15	5.12	5.11	0.04	1%	
	200	40	5.87	5.99	5.95	5.73	5.77	5.81	5.85	0.11	2%	
	300	40	4.61	4.75	4.79	4.63	4.72	4.72	4.72	0.06	1%	
	400	40	6.34	6.31	6.14	6.31	6.20	6.25	6.24	0.07	1%	
	500	40	5.93	6.55	6.43	6.54	6.67	6.30	6.50	0.14	2%	
SP4	100	40	4.69	4.63	4.45	4.52	4.57	4.67	4.57	0.09	2%	
	200	40	5.46	5.12	5.16	5.19	5.13	5.12	5.14	0.03	1%	
	300	40	5.66	5.53	5.68	5.59	5.57	5.51	5.58	0.07	1%	
	400	40	6.04	6.15	5.95	6.13	5.80	5.94	5.99	0.15	2%	
	500	40	5.70	5.73	5.87	5.73	5.94	5.92	5.84	0.10	2%	
SP 5	100	40	8.58	8.81	8.20	8.55	8.35	8.41	8.46	0.23	3%	
	200	40	6.09	6.34	5.87	6.38	6.19	5.93	6.14	0.23	4%	
	300	40	6.95	6.85	6.87	7.08	6.94	6.98	6.94	0.09	1%	
	400	40	8.35	8.53	8.48	8.72	8.55	8.49	8.55	0.10	1%	
	500	40	9.83	9.70	9.46	9.70	9.72	10.01	9.72	0.19	2%	
SP1	100	50	3.33	3.29	3.39	3.29	3.28	3.38	3.33	0.06	2%	Validasi 2 Kecepatan = 50 km/jam $IRI_{lucuan} = A \times IRI_{akselerometer} + B$ $A = 1.011$ $B = -0.023$ $R^2 = 0.978$ $CV = 1.58\%$ Persyaratan $0.95 \leq A \leq 1.05 = \text{Memenuhi}$ $-0.25 \leq B \leq 0.25 = \text{Memenuhi}$ $R^2 \geq 0.95 = \text{Memenuhi}$ $CV < 5\% = \text{Memenuhi}$
	200	50	2.74	2.71	2.83	2.67	2.65	2.78	2.73	0.07	3%	
	300	50	2.58	2.59	2.56	2.66	2.64	2.60	2.61	0.04	2%	
	400	50	3.78	3.85	3.66	3.79	3.76	3.81	3.77	0.07	2%	
	500	50	3.39	3.40	3.51	3.48	3.36	3.42	3.43	0.06	2%	
SP2	100	50	4.58	4.15	4.12	4.06	4.08	4.06	4.09	0.04	1%	
	200	50	4.22	3.59	3.59	3.63	3.67	3.66	3.63	0.03	1%	
	300	50	3.49	4.28	4.19	4.16	4.12	4.08	4.17	0.08	2%	
	400	50	4.35	4.25	4.39	4.23	4.19	4.28	4.27	0.08	2%	
	500	50	3.22	3.80	3.68	3.73	3.58	3.48	3.65	0.13	3%	
SP3	100	50	5.19	5.23	5.22	5.28	5.18	5.25	5.23	0.04	1%	
	200	50	5.87	5.92	5.94	6.08	5.86	5.86	5.93	0.09	2%	
	300	50	4.61	4.71	4.62	4.52	4.78	4.74	4.67	0.11	2%	
	400	50	6.34	6.08	6.12	6.24	6.20	6.41	6.21	0.13	2%	
	500	50	5.93	6.53	6.64	6.55	6.56	6.34	6.52	0.11	2%	
SP4	100	50	4.69	4.74	4.63	4.74	4.69	4.72	4.71	0.04	1%	
	200	50	5.46	5.09	5.23	5.17	5.22	5.22	5.19	0.06	1%	
	300	50	5.66	5.59	5.43	5.53	5.55	5.56	5.53	0.06	1%	
	400	50	6.04	5.96	6.03	6.02	6.11	5.93	6.01	0.07	1%	
	500	50	5.70	5.72	5.82	5.86	5.85	5.62	5.77	0.10	2%	
SP 5	100	50	8.58	8.54	8.80	8.60	8.91	8.89	8.75	0.17	2%	
	200	50	6.09	6.49	6.34	6.34	6.17	6.31	6.33	0.11	2%	
	300	50	6.95	6.86	6.87	6.90	6.82	6.76	6.84	0.05	1%	
	400	50	8.35	8.44	8.18	8.28	8.32	8.42	8.33	0.11	1%	
	500	50	9.83	10.19	10.25	10.16	10.03	10.07	10.14	0.09	1%	
SP1	100	60	3.33	3.24	3.31	3.34	3.35	3.32	3.31	0.04	1%	Validasi 3 Kecepatan = 60 km/jam $IRI_{lucuan} = A \times IRI_{akselerometer} + B$ $A = 0.975$ $B = 0.133$ $R^2 = 0.973$ $CV = 1.79\%$ Persyaratan $0.95 \leq A \leq 1.05 = \text{Memenuhi}$ $-0.25 \leq B \leq 0.25 = \text{Memenuhi}$ $R^2 \geq 0.95 = \text{Memenuhi}$ $CV < 5\% = \text{Memenuhi}$
	200	60	2.74	2.94	2.88	2.74	2.78	2.88	2.84	0.08	3%	
	300	60	2.58	2.57	2.58	2.57	2.59	2.63	2.59	0.03	1%	
	400	60	3.78	4.17	4.29	4.38	4.15	4.16	4.23	0.10	2%	
	500	60	3.39	3.51	3.47	3.34	3.42	3.48	3.45	0.07	2%	
SP2	100	60	4.58	4.03	4.10	4.07	4.02	4.02	4.05	0.03	1%	
	200	60	4.22	3.83	3.79	3.85	3.70	3.59	3.75	0.11	3%	
	300	60	3.49	4.20	4.38	4.27	4.21	4.46	4.30	0.11	3%	
	400	60	4.35	4.32	4.42	4.42	4.37	4.42	4.39	0.04	1%	
	500	60	3.22	3.46	3.41	3.61	3.63	3.56	3.54	0.10	3%	
SP3	100	60	5.19	5.11	5.25	5.15	5.13	5.11	5.15	0.06	1%	
	200	60	5.87	5.91	5.85	5.89	5.83	5.72	5.84	0.07	1%	
	300	60	4.61	4.57	4.63	4.63	4.71	4.69	4.65	0.06	1%	
	400	60	6.34	6.20	6.26	6.15	6.04	6.19	6.17	0.08	1%	
	500	60	5.93	6.19	6.27	6.19	6.11	6.24	6.20	0.06	1%	
SP4	100	60	4.69	4.83	4.87	4.71	4.75	4.66	4.76	0.08	2%	
	200	60	5.46	5.28	5.18	5.23	5.21	5.17	5.21	0.05	1%	
	300	60	5.66	5.69	5.62	5.54	5.67	5.58	5.62	0.06	1%	
	400	60	6.04	5.84	5.75	6.10	5.85	5.92	5.89	0.13	2%	
	500	60	5.70	5.96	5.88	5.59	5.63	5.71	5.75	0.16	3%	
SP 5	100	60	8.58	8.46	8.48	8.36	8.74	8.50	8.51	0.14	2%	
	200	60	6.09	5.89	5.51	5.68	5.91	5.63	5.72	0.17	3%	
	300	60	6.95	6.69	6.62	6.67	6.38	6.43	6.56	0.14	2%	
	400	60	8.35	8.20	8.40	8.21	8.06	8.13	8.20	0.12	2%	
	500	60	9.83	10.29	10.28	10.17	10.65	10.13	10.30	0.20	2%	
Validasi Gabungan $IRI_{lucuan} = A \times IRI_{akselerometer} + B$ $A = 0.990$ $B = 0.070$ $R^2 = 0.977$ $CV = 1.82\%$												Persyaratan $0.95 \leq A \leq 1.05 = \text{Memenuhi}$ $-0.25 \leq B \leq 0.25 = \text{Memenuhi}$ $R^2 \geq 0.95 = \text{Memenuhi}$ $CV < 5\% = \text{Memenuhi}$



Tabel 4.20 Parameter Kalibrasi dan Validasi *IRIMETER 2*

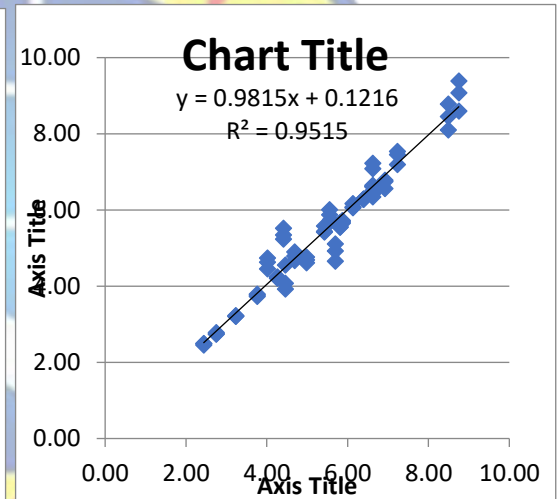
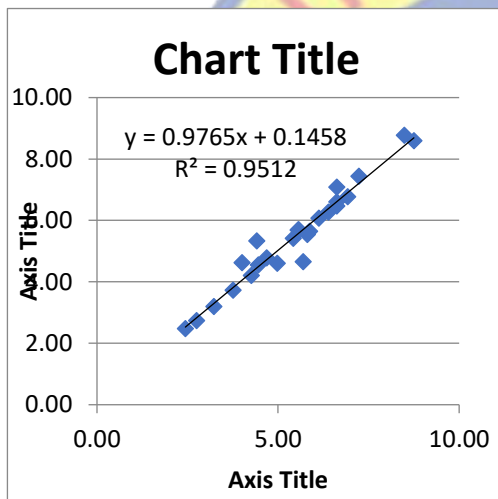
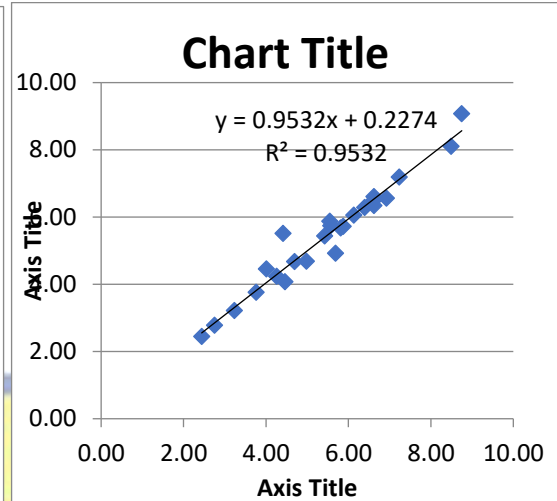
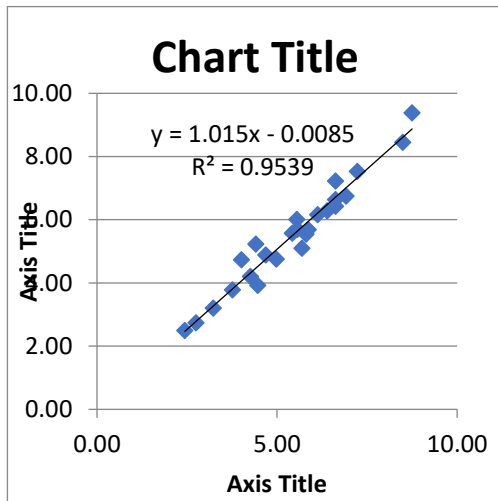
Kecepatan (km/jam)	A	B	R ²	CV (%)	Status
40	0.983	0.100	0.980	2.09	Lulus
50	1.011	-0.023	0.978	1.58	Lulus
60	0.975	0.133	0.973	1.79	Lulus
Gabungan	0.990	0.070	0.977	1.82	Lulus

Kesimpulan: Dataset menunjukkan hasil kalibrasi dan validasi yang baik dan konsisten. Semua parameter berada dalam rentang persyaratan, sehingga alat dinyatakan lulus kalibrasi.

4.5.4. Hasil Pengukuran Alat survey IRI *Hawkeye* 2000 Series

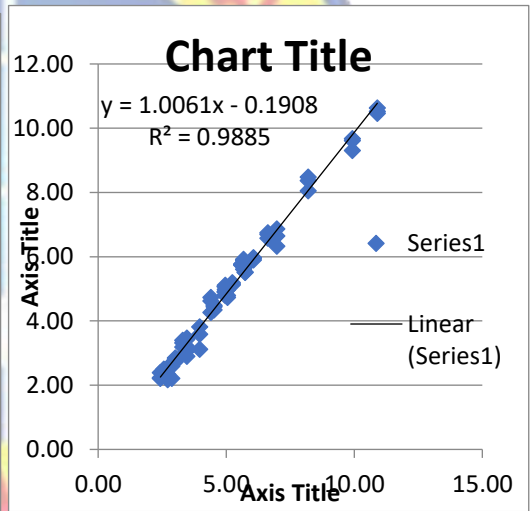
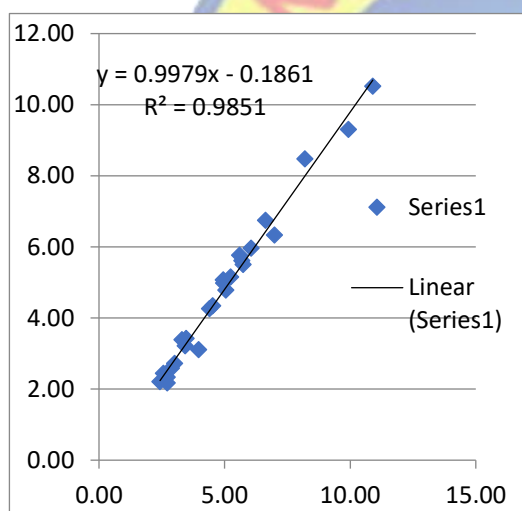
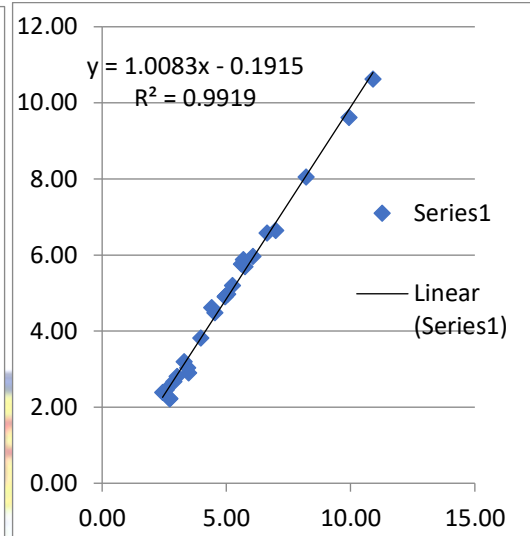
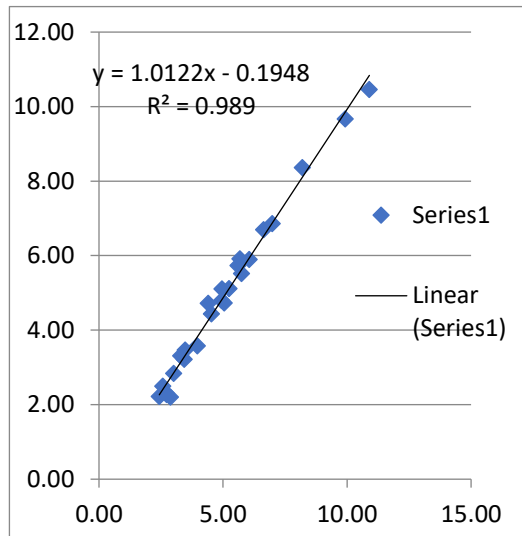
Tabel 4.21 Hasil Validasi Kiri *Hawkeye* 2000 Series Terhadap *Walking Profilometer*

Seksi	Jarak	Kecepatan	IRI Referensi	Coba 1	Coba 2	Coba 3	Coba 4	Coba 5	Rata-rata	Standar Deviasi (SD)	Koefisien Variasi (CV)	
SP1	100	40	3.23	3.26	3.15	3.16	3.26	3.20	3.21	0.05	2%	Validasi 1 Kecepatan = 40 km/jam $IRI_{lucuan} = A \times IRI_{akselerometer} + B$ $A = 0.976$ $B = 0.146$ $R^2 = 0.951$ $CV = 2.53\%$ Persyaratan $0.95 \leq A \leq 1.05 = \text{Memenuhi}$ $-0.25 \leq B \leq 0.25 = \text{Memenuhi}$
	200	40	2.75	2.75	2.85	2.80	2.61	2.73	2.75	0.09	3%	
	300	40	2.44	2.51	2.38	2.37	2.65	2.50	2.48	0.11	5%	
	400	40	4.26	4.17	4.36	4.15	4.00	4.39	4.21	0.16	4%	
	500	40	3.76	3.80	3.70	3.50	3.87	3.79	3.73	0.14	4%	
SP2	100	40	5.69	4.52	4.67	4.57	4.59	4.93	4.66	0.16	3%	
	200	40	4.46	4.56	4.50	4.74	4.28	4.70	4.56	0.18	4%	
	300	40	4.41	5.40	5.41	5.38	5.27	5.24	5.34	0.08	1%	
	400	40	5.81	5.55	5.53	5.53	5.55	5.57	5.55	0.02	0%	
	500	40	4.01	4.44	4.53	4.63	4.70	4.85	4.63	0.16	3%	
SP3	100	40	5.42	5.36	5.47	5.42	5.48	5.38	5.42	0.05	1%	
	200	40	6.13	6.25	6.18	5.93	5.97	6.05	6.08	0.14	2%	
	300	40	4.69	4.80	4.91	4.67	4.84	4.71	4.79	0.10	2%	
	400	40	6.62	6.68	6.50	6.70	6.56	6.62	6.61	0.08	1%	
	500	40	6.62	7.02	6.94	7.09	7.42	6.96	7.09	0.20	3%	
SP4	100	40	4.98	4.76	4.57	4.38	4.65	4.70	4.61	0.15	3%	
	200	40	5.87	5.72	5.61	5.71	5.61	5.61	5.65	0.06	1%	
	300	40	5.57	5.64	5.76	5.66	5.80	5.65	5.70	0.07	1%	
	400	40	6.39	6.35	6.24	6.40	6.17	6.20	6.27	0.10	2%	
	500	40	6.62	6.27	6.46	6.51	6.62	6.49	6.47	0.13	2%	
SP 5	100	40	7.23	7.79	7.28	7.44	7.24	7.49	7.45	0.22	3%	
	200	40	5.55	5.75	5.69	5.88	5.85	5.28	5.69	0.24	4%	
	300	40	6.92	6.79	6.63	6.97	6.72	6.78	6.78	0.12	2%	
	400	40	8.49	8.81	8.65	9.07	8.84	8.54	8.78	0.20	2%	
	500	40	8.75	8.54	8.14	8.59	8.70	9.02	8.60	0.32	4%	
SP1	100	50	3.23	3.17	3.29	3.10	3.20	3.27	3.21	0.08	2%	Validasi 2 Kecepatan = 50 km/jam $IRI_{lucuan} = A \times IRI_{akselerometer} + B$ $A = 1.015$ $B = -0.008$ $R^2 = 0.954$ $CV = 2.34\%$ Persyaratan $0.95 \leq A \leq 1.05 = \text{Memenuhi}$ $-0.25 \leq B \leq 0.25 = \text{Memenuhi}$
	200	50	2.75	2.74	2.90	2.62	2.65	2.80	2.74	0.11	4%	
	300	50	2.44	2.40	2.40	2.59	2.60	2.49	2.50	0.10	4%	
	400	50	4.26	4.20	4.07	4.22	4.22	4.35	4.21	0.10	2%	
	500	50	3.76	3.70	3.85	3.85	3.70	3.83	3.79	0.08	2%	
SP2	100	50	5.69	5.23	5.06	5.03	5.16	5.05	5.11	0.09	2%	
	200	50	4.46	3.89	3.96	3.83	3.98	3.97	3.93	0.06	2%	
	300	50	4.41	5.44	5.19	5.34	5.22	4.97	5.23	0.18	3%	
	400	50	5.81	5.36	5.72	5.53	5.43	5.71	5.55	0.16	3%	
	500	50	4.01	4.89	4.86	4.90	4.72	4.32	4.74	0.24	5%	
SP3	100	50	5.42	5.57	5.53	5.68	5.54	5.58	5.58	0.06	1%	
	200	50	6.13	6.22	6.10	6.32	6.08	6.13	6.17	0.10	2%	
	300	50	4.69	4.97	4.77	4.82	4.96	4.95	4.89	0.09	2%	
	400	50	6.62	6.46	6.62	6.70	6.58	6.85	6.64	0.14	2%	
	500	50	6.62	7.26	7.33	7.24	7.32	6.98	7.23	0.14	2%	
SP4	100	50	4.98	4.77	4.72	4.79	4.74	4.78	4.76	0.03	1%	
	200	50	5.87	5.63	5.74	5.69	5.72	5.66	5.69	0.04	1%	
	300	50	5.57	5.89	5.54	5.68	5.77	5.62	5.70	0.14	2%	
	400	50	6.39	6.37	6.20	6.17	6.39	6.29	6.28	0.10	2%	
	500	50	6.62	6.34	6.48	6.47	6.64	6.22	6.43	0.16	2%	
SP 5	100	50	7.23	7.27	7.65	7.24	7.81	7.72	7.54	0.26	4%	
	200	50	5.55	6.22	5.75	6.03	5.92	6.13	6.01	0.18	3%	
	300	50	6.92	6.75	6.82	6.88	6.67	6.63	6.75	0.10	2%	
	400	50	8.49	8.55	8.30	8.29	8.46	8.67	8.45	0.16	2%	
	500	50	8.75	9.31	9.59	9.63	9.16	9.22	9.38	0.22	2%	
SP1	100	60	3.23	3.14	3.20	3.28	3.25	3.25	3.22	0.06	2%	Validasi 3 Kecepatan = 60 km/jam $IRI_{lucuan} = A \times IRI_{akselerometer} + B$ $A = 0.953$ $B = 0.227$ $R^2 = 0.953$ $CV = 2.52\%$ Persyaratan $0.95 \leq A \leq 1.05 = \text{Memenuhi}$ $-0.25 \leq B \leq 0.25 = \text{Memenuhi}$
	200	60	2.75	2.84	2.81	2.71	2.64	2.90	2.78	0.10	4%	
	300	60	2.44	2.35	2.50	2.40	2.50	2.50	2.45	0.07	3%	
	400	60	4.26	4.13	4.35	4.31	4.17	4.23	4.24	0.09	2%	
	500	60	3.76	3.95	3.81	3.64	3.72	3.70	3.76	0.12	3%	
SP2	100	60	5.69	5.00	4.92	4.99	4.95	4.77	4.93	0.09	2%	
	200	60	4.46	4.15	4.00	4.05	4.07	4.10	4.07	0.06	1%	
	300	60	4.41	5.38	5.61	5.42	5.28	5.89	5.52	0.24	4%	
	400	60	5.81	5.69	5.81	5.59	5.74	5.53	5.67	0.11	2%	
	500	60	4.01	4.36	4.19	4.61	4.63	4.48	4.45	0.18	4%	
SP3	100	60	5.42	5.38	5.56	5.47	5.38	5.40	5.44	0.08	1%	
	200	60	6.13	6.14	6.01	6.15	6.03	5.94	6.05	0.09	1%	
	300	60	4.69	4.58	4.70	4.63	4.73	4.73	4.67	0.07	1%	
	400	60	6.62	6.53	6.68	6.43	6.34	6.52	6.50	0.13	2%	
	500	60	6.62	6.55	6.65	6.80	6.50	6.55	6.61	0.12	2%	
SP4	100	60	4.98	4.70	4.79	4.53	4.74	4.67	4.69	0.10	2%	
	200	60	5.87	5.95	5.67	5.81	5.59	5.58	5.72	0.16	3%	
	300	60	5.57	6.00	5.70	5.64	5.83	5.55	5.74	0.18	3%	
	400	60	6.39	6.25	6.13	6.54	6.21	6.29	6.28	0.15	2%	
	500	60	6.62	6.62	6.47	6.04	6.31	6.29	6.35	0.22	3%	
SP 5	100	60	7.23	7.11	7.39	6.90	7.22	7.35	7.19	0.20	3%	
	200	60	5.55	6.09	5.48	5.98	5.85	5.98	5.88	0.24	4%	
	300	60	6.92	6.47	6.73	6.74	6.41	6.47	6.56	0.16	2%	
	400	60	8.49	7.86	8.34	8.32	8.09	7.90	8.10	0.23	3%	
	500	60	8.75	9.07	8.91	9.09	9.32	8.98	9.07	0.16	2%	
Validasi Gabungan $IRI_{lucuan} = A \times IRI_{akselerometer} + B$ $A = 0.982$ $B = 0.122$ $R^2 = 0.951$ $CV = 2.46\%$												Persyaratan $0.95 \leq A \leq 1.05 = \text{Memenuhi}$ $-0.25 \leq B \leq 0.25 = \text{Memenuhi}$ $R^2 \geq 0.95 = \text{Memenuhi}$ $CV \leq 5\% = \text{Memenuhi}$



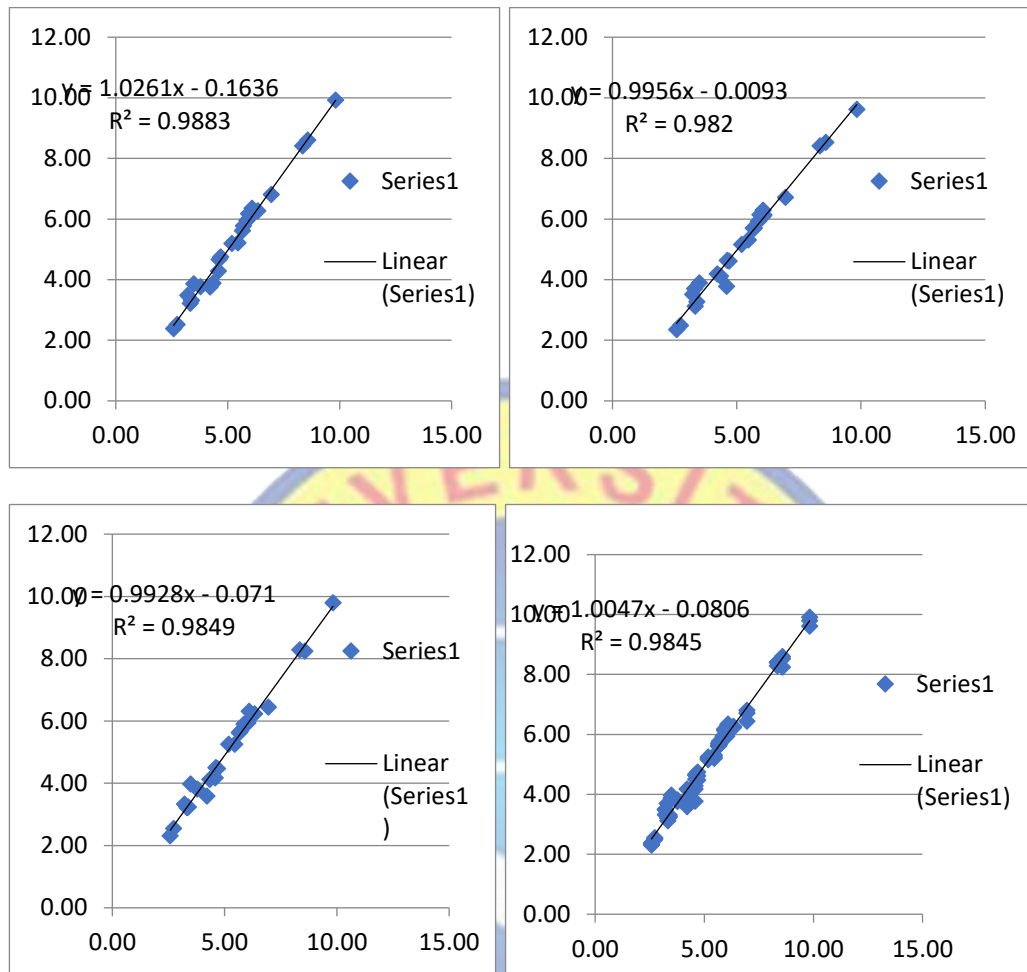
Tabel 4.22 Hasil Validasi Kanan *Hawkeye* 2000 Series Terhadap *Walking Profilometer*

Seksi	Jarak	Kecepatan	IRI Referensi	Coba 1	Coba 2	Coba 3	Coba 4	Coba 5	Rata-rata	Standar Deviasi (SD)	Koefisien Variasi (CV)	
SP1	100	40	3.43	3.06	3.05	2.98	3.01	3.07	3.03	0.04	1%	Validasi 1 Kecepatan = 40 km/jam IRI_{lucuan} = A x IRI_{akselerometer}+B A = 1.008 B = -0.191 R² = 0.992 CV= 2.35% Persyaratan 0.95 ≤ A ≤ 1.05 = Memenuhi -0.25 ≤ B ≤ 0.25 = Memenuhi
	200	40	2.72	2.16	2.22	2.23	2.28	2.26	2.23	0.05	2%	
	300	40	2.72	2.15	2.2	2.35	2.21	2.19	2.22	0.08	3%	
	400	40	3.30	3.15	3.04	3.21	3.37	3.18	3.19	0.12	4%	
	500	40	3.01	2.75	2.91	2.88	2.78	2.72	2.81	0.08	3%	
SP2	100	40	3.47	2.89	2.75	2.92	2.86	3.06	2.90	0.11	4%	
	200	40	3.97	3.72	3.82	3.78	3.91	3.84	3.81	0.07	2%	
	300	40	2.57	2.42	2.51	2.43	2.43	2.47	2.45	0.04	2%	
	400	40	2.88	2.64	2.51	2.79	2.59	2.84	2.67	0.14	5%	
	500	40	2.43	2.49	2.34	2.44	2.33	2.34	2.39	0.07	3%	
SP3	100	40	4.95	4.97	4.89	4.85	4.82	4.97	4.90	0.07	1%	
	200	40	5.60	5.8	5.8	5.75	5.75	5.7	5.76	0.04	1%	
	300	40	4.53	4.38	4.67	4.5	4.4	4.47	4.48	0.12	3%	
	400	40	6.06	5.88	6.02	6.03	5.95	5.93	5.96	0.06	1%	
	500	40	5.24	5.04	5.19	5.25	5.35	5.14	5.19	0.12	2%	
SP4	100	40	4.40	4.63	4.61	4.57	4.63	4.65	4.62	0.03	1%	
	200	40	5.05	4.96	5.1	5.02	4.85	4.91	4.97	0.10	2%	
	300	40	5.74	5.56	5.73	5.75	5.67	5.75	5.69	0.08	1%	
	400	40	5.68	5.81	5.91	5.93	5.87	5.87	5.88	0.05	1%	
	500	40	4.96	4.94	4.83	4.88	4.9	5.05	4.92	0.08	2%	
SP 5	100	40	9.93	9.35	9.97	10.11	9.41	9.25	9.62	0.39	4%	
	200	40	6.63	6.74	6.42	6.68	6.55	6.5	6.58	0.13	2%	
	300	40	6.98	6.63	6.93	6.61	6.11	6.95	6.65	0.34	5%	
	400	40	8.20	7.84	8.17	7.94	8.03	8.26	8.05	0.17	2%	
	500	40	10.90	10.9	10.81	10.48	10.52	10.43	10.63	0.21	2%	
SP1	100	50	3.43	3.29	3.23	3.21	3.19	3.19	3.22	0.04	1%	Validasi 2 Kecepatan = 50 km/jam IRI_{lucuan} = A x IRI_{akselerometer}+B A = 1.012 B = -0.195 R² = 0.989 CV= 2.41% Persyaratan 0.95 ≤ A ≤ 1.05 = Memenuhi -0.25 ≤ B ≤ 0.25 = Memenuhi
	200	50	2.72	2.34	2.22	2.34	2.28	2.32	2.30	0.05	2%	
	300	50	2.72	2.37	2.19	2.32	2.32	2.17	2.27	0.09	4%	
	400	50	3.30	3.29	3.4	3.31	3.24	3.33	3.31	0.06	2%	
	500	50	3.01	2.88	2.76	2.99	2.85	2.75	2.85	0.10	3%	
SP2	100	50	3.47	3.74	3.31	3.44	3.54	3.31	3.47	0.18	5%	
	200	50	3.97	3.68	3.52	3.54	3.54	3.63	3.58	0.07	2%	
	300	50	2.57	2.54	2.57	2.47	2.47	2.43	2.50	0.06	2%	
	400	50	2.88	2.13	2.14	2.28	2.28	2.21	2.21	0.07	3%	
	500	50	2.43	2.25	2.28	2.21	2.21	2.19	2.23	0.04	2%	
SP3	100	50	4.95	4.91	4.58	4.59	5.01	4.92	4.80	0.20	4%	
	200	50	5.60	5.67	5.72	5.9	5.77	5.62	5.74	0.11	2%	
	300	50	4.53	4.38	4.53	4.59	4.29	4.41	4.44	0.12	3%	
	400	50	6.06	5.99	5.75	5.81	6.01	5.93	5.90	0.11	2%	
	500	50	5.24	5.27	5.05	5.1	5.1	5.09	5.12	0.09	2%	
SP4	100	50	4.40	4.64	4.85	4.9	4.61	4.64	4.73	0.14	3%	
	200	50	5.05	4.78	4.66	4.68	4.66	4.87	4.73	0.09	2%	
	300	50	5.74	5.52	5.45	5.36	5.53	5.75	5.52	0.14	3%	
	400	50	5.68	5.79	6.04	6.1	5.76	5.89	5.92	0.15	3%	
	500	50	4.96	4.99	5.18	5.21	5.09	5.07	5.11	0.09	2%	
SP 5	100	50	9.93	9.75	9.57	9.31	9.65	10.09	9.67	0.28	3%	
	200	50	6.63	6.89	6.45	6.71	6.74	6.7	6.70	0.16	2%	
	300	50	6.98	6.94	6.83	6.88	6.76	6.91	6.86	0.07	1%	
	400	50	8.20	8.46	8.16	8.3	8.49	8.41	8.36	0.14	2%	
	500	50	10.90	10.49	10.53	10.25	10.47	10.57	10.46	0.12	1%	
SP1	100	60	3.43	3.2	3.27	3.2	3.17	3.24	3.22	0.04	1%	Validasi 3 Kecepatan = 60 km/jam IRI_{lucuan} = A x IRI_{akselerometer}+B A = 0.998 B = -0.186 R² = 0.985 CV= 0.019 Persyaratan 0.95 ≤ A ≤ 1.05 = Memenuhi -0.25 ≤ B ≤ 0.25 = Memenuhi
	200	60	2.72	2.28	2.38	2.31	2.39	2.32	2.34	0.05	2%	
	300	60	2.72	2.19	2.21	2.16	2.15	2.16	2.17	0.03	1%	
	400	60	3.30	3.36	3.46	3.25	3.48	3.41	3.39	0.09	3%	
	500	60	3.01	2.73	2.7	2.85	2.62	2.73	2.73	0.08	3%	
SP2	100	60	3.47	3.59	3.42	3.24	3.46	3.42	3.43	0.13	4%	
	200	60	3.97	3.03	2.99	3.2	3.11	3.23	3.11	0.10	3%	
	300	60	2.57	2.37	2.48	2.42	2.44	2.5	2.44	0.05	2%	
	400	60	2.88	2.57	2.62	2.54	2.56	2.64	2.59	0.04	2%	
	500	60	2.43	2.16	2.19	2.25	2.23	2.21	2.21	0.03	2%	
SP3	100	60	4.95	5	5.19	5.07	5.03	5.05	5.07	0.07	1%	
	200	60	5.60	5.78	5.74	5.76	5.83	5.71	5.76	0.05	1%	
	300	60	4.53	4.22	4.41	4.29	4.45	4.35	4.34	0.09	2%	
	400	60	6.06	5.93	5.96	5.95	5.95	6.01	5.96	0.03	1%	
	500	60	5.24	5.21	5.13	5.06	5.14	5.22	5.15	0.07	1%	
SP4	100	60	4.40	4.27	4.25	4.25	4.28	4.27	4.26	0.01	0%	
	200	60	5.05	4.97	4.89	4.83	4.64	4.61	4.79	0.16	3%	
	300	60	5.74	5.43	5.47	5.5	5.53	5.6	5.51	0.06	1%	
	400	60	5.68	5.46	5.63	5.6	5.7	5.66	5.61	0.09	2%	
	500	60	4.96	5.23	4.96	4.86	4.88	4.97	4.98	0.15	3%	
SP 5	100	60	9.93	9.08	9.62	8.94	9.66	9.2	9.30	0.32	3%	
	200	60	6.63	6.62	6.75	6.68	6.73	6.95	6.75	0.12	2%	
	300	60	6.98	6.52	6.41	6.46	6.11	6.15	6.33	0.19	3%	
	400	60	8.20	8.64	8.48	8.38	8.39	8.5	8.48	0.10	1%	
	500	60	10.90	10.51	10.48	10.69	10.44	10.49	10.52	0.10	1%	
Validasi Gabungan IRI_{lucuan} = A x IRI_{akselerometer}+B A = 1.006 B = -0.191 R² = 0.989 CV= 2.23%												Persyaratan 0.95 ≤ A ≤ 1.05 = Memenuhi -0.25 ≤ B ≤ 0.25 = Memenuhi R² ≥ 0.95 = Memenuhi CV< 5% = Memenuhi



Tabel 4.23 Hasil Validasi Gabungan *Hawkeye* 2000 Series Terhadap *Walking Profilometer*

Lokasi	Jarak (Meter)	Kecepatan (Km/Jam)	IRI Referensi (m/Km)	IRIMETER II (m/km)						Standar Deviasi (SD)	Koefisien Variasi (CV)	
				Coba 1	Coba 2	Coba 3	Coba 4	Coba 5	Rata- Rata			
SP1	100	40	3.33	3.16	3.10	3.07	3.14	3.14	3.12	0.04	1%	Validasi 1 Kecepatan = 40 km/jam IRIacuan = A x IRI akselerometer+B A = 0.996 B = -0.009 R² = 0.982 CV= 1.60% Persyaratan 0.95 ≤ A ≤ 1.05 = Memenuhi -0.25 ≤ B ≤ 0.25 = Memenuhi R2 ≥ 0.95 = Memenuhi CV< 5% = Memenuhi
	200	40	2.74	2.46	2.54	2.52	2.45	2.50	2.49	0.04	2%	
	300	40	2.58	2.33	2.29	2.36	2.43	2.35	2.35	0.05	2%	
	400	40	3.30	3.66	3.70	3.68	3.69	3.79	3.70	0.05	1%	
	500	40	3.39	3.28	3.31	3.19	3.33	3.26	3.27	0.05	2%	
SP2	100	40	4.58	3.71	3.71	3.75	3.73	4.00	3.78	0.12	3%	
	200	40	4.22	4.14	4.16	4.26	4.10	4.27	4.19	0.08	2%	
	300	40	3.49	3.91	3.96	3.91	3.85	3.86	3.90	0.05	1%	
	400	40	4.35	4.10	4.02	4.16	4.07	4.21	4.11	0.07	2%	
	500	40	3.22	3.47	3.44	3.54	3.52	3.60	3.51	0.06	2%	
SP3	100	40	5.19	5.17	5.18	5.14	5.15	5.18	5.16	0.02	0%	
	200	40	5.87	6.03	5.99	5.84	5.86	5.88	5.92	0.08	1%	
	300	40	4.61	4.59	4.79	4.59	4.62	4.59	4.64	0.09	2%	
	400	40	6.06	6.28	6.26	6.37	6.26	6.28	6.29	0.04	1%	
	500	40	5.93	6.03	6.07	6.17	6.39	6.05	6.14	0.15	2%	
SP4	100	40	4.69	4.70	4.59	4.48	4.64	4.68	4.62	0.09	2%	
	200	40	5.46	5.34	5.36	5.37	5.23	5.26	5.31	0.06	1%	
	300	40	5.66	5.60	5.75	5.71	5.74	5.70	5.70	0.06	1%	
	400	40	6.04	6.08	6.08	6.17	6.02	6.04	6.08	0.06	1%	
	500	40	5.70	5.61	5.65	5.70	5.76	5.77	5.70	0.07	1%	
SP 5	100	40	8.58	8.57	8.63	8.78	8.33	8.37	8.53	0.19	2%	
	200	40	6.09	6.25	6.06	6.28	6.20	5.89	6.13	0.16	3%	
	300	40	6.95	6.71	6.78	6.79	6.42	6.87	6.71	0.17	3%	
	400	40	8.35	8.33	8.41	8.51	8.44	8.40	8.42	0.06	1%	
	500	40	9.83	9.72	9.48	9.54	9.61	9.73	9.61	0.11	1%	
SP1	100	50	3.33	3.23	3.26	3.16	3.20	3.23	3.21	0.04	1%	
	200	50	2.74	2.54	2.56	2.48	2.47	2.56	2.52	0.05	2%	
	300	50	2.58	2.39	2.30	2.46	2.46	2.33	2.39	0.07	3%	
	400	50	3.78	3.75	3.74	3.77	3.73	3.84	3.76	0.05	1%	
	500	50	3.39	3.29	3.31	3.42	3.28	3.29	3.32	0.06	2%	
SP2	100	50	4.58	4.49	4.19	4.24	4.35	4.18	4.29	0.13	3%	
	200	50	4.22	3.79	3.74	3.69	3.76	3.80	3.75	0.04	1%	
	300	50	3.49	3.99	3.88	3.91	3.85	3.70	3.86	0.11	3%	
	400	50	4.35	3.75	3.93	3.91	3.86	3.96	3.88	0.08	2%	
	500	50	3.22	3.57	3.57	3.56	3.47	3.26	3.48	0.13	4%	
SP3	100	50	5.19	5.24	5.06	5.14	5.28	5.25	5.19	0.09	2%	
	200	50	5.87	5.95	5.91	6.11	5.93	5.88	5.95	0.09	2%	
	300	50	4.61	4.68	4.65	4.71	4.63	4.68	4.67	0.03	1%	
	400	50	6.34	6.23	6.19	6.26	6.30	6.39	6.27	0.08	1%	
	500	50	5.93	6.27	6.19	6.17	6.21	6.04	6.17	0.09	1%	
SP4	100	50	4.69	4.71	4.79	4.85	4.68	4.71	4.74	0.07	1%	
	200	50	5.46	5.21	5.20	5.19	5.19	5.27	5.21	0.03	1%	
	300	50	5.66	5.71	5.50	5.52	5.65	5.69	5.61	0.10	2%	
	400	50	6.04	6.08	6.12	6.14	6.08	6.09	6.10	0.03	0%	
	500	50	5.70	5.67	5.83	5.84	5.87	5.65	5.77	0.11	2%	
SP 5	100	50	8.58	8.51	8.61	8.28	8.73	8.91	8.61	0.24	3%	
	200	50	6.09	6.56	6.10	6.37	6.33	6.42	6.35	0.17	3%	
	300	50	6.95	6.85	6.83	6.88	6.72	6.77	6.81	0.07	1%	
	400	50	8.35	8.51	8.23	8.30	8.48	8.54	8.41	0.14	2%	
	500	50	9.83	9.90	10.06	9.94	9.82	9.90	9.92	0.09	1%	
SP1	100	60	3.33	3.17	3.24	3.24	3.21	3.25	3.22	0.03	1%	
	200	60	2.74	2.56	2.60	2.51	2.52	2.61	2.56	0.05	2%	
	300	60	2.58	2.27	2.36	2.28	2.33	2.33	2.31	0.04	2%	
	400	60	3.78	3.75	3.91	3.78	3.83	3.82	3.82	0.06	2%	
	500	60	3.39	3.34	3.26	3.25	3.17	3.22	3.25	0.06	2%	
SP2	100	60	4.58	4.30	4.17	4.12	4.21	4.10	4.18	0.08	2%	
	200	60	4.22	3.59	3.50	3.63	3.59	3.67	3.59	0.06	2%	
	300	60	3.49	3.88	4.05	3.92	3.86	4.20	3.98	0.14	4%	
	400	60	4.35	4.13	4.22	4.07	4.15	4.09	4.13	0.06	1%	
	500	60	3.22	3.26	3.19	3.43	3.43	3.35	3.33	0.11	3%	
SP3	100	60	5.19	5.19	5.38	5.27	5.21	5.23	5.25	0.07	1%	
	200	60	5.87	5.96	5.88	5.96	5.93	5.83	5.91	0.06	1%	
	300	60	4.61	4.40	4.56	4.46	4.59	4.54	4.51	0.08	2%	
	400	60	6.34	6.23	6.32	6.19	6.15	6.27	6.23	0.07	1%	
	500	60	5.93	5.88	5.89	5.93	5.82	5.89	5.88	0.04	1%	
SP4	100	60	4.69	4.49	4.52	4.39	4.51	4.47	4.48	0.05	1%	
	200	60	5.46	5.46	5.28	5.32	5.12	5.10	5.25	0.15	3%	
	300	60	5.66	5.72	5.59	5.57	5.68	5.58	5.63	0.07	1%	
	400	60	6.04	5.86	5.88	6.07	5.96	5.98	5.95	0.09	1%	
	500	60	5.70	5.93	5.72	5.45	5.60	5.63	5.66	0.17	3%	
SP 5	100	60	8.58	8.10	8.51	7.92	8.44	8.28	8.25	0.24	3%	
	200	60	6.09	6.36	6.12	6.33	6.29	6.47	6.31	0.13	2%	
	300	60	6.95	6.50	6.57	6.60	6.26	6.31	6.45	0.15	2%	
	400	60	8.35	8.25	8.41	8.35	8.24	8.20	8.29	0.09	1%	
	500	60	9.83	9.79	9.70	9.89	9.88	9.74	9.80	0.09	1%	
Validasi Gabungan IRIacuan = A x IRI akselerometer+B A = 1.005 B = -0.081 R ² = 0.984 CV= 1.708%										Persyaratan 0.95 ≤ A ≤ 1.05 = Memenuhi -0.25 ≤ B ≤ 0.25 = Memenuhi R ² ≥ 0.95 = Memenuhi CV< 5% = Memenuhi		



Tabel 4.24 Parameter Kalibrasi dan Validasi *Hawkeye 2000 Series*

Kecepatan (km/jam)	A	B	R ²	CV (%)	Status
40	0.996	-0.009	0.982	1.60	Lulus
50	1.026	-0.164	0.988	1.75	Lulus
60	0.993	-0.071	0.985	1.78	Lulus
Gabungan	1.005	-0.081	0.984	1.708	Lulus

Kesimpulan: Dataset menunjukkan hasil kalibrasi dan validasi yang baik dan konsisten. Semua parameter berada dalam rentang persyaratan, sehingga alat dinyatakan lulus kalibrasi.

4.6. Perbandingan Kinerja Antar Alat Survei

Perbandingan dilakukan terhadap tiga alat survei: *Hawkeye* 2000 Series, *IRIMETER* II, dan *Roughometer* III, dengan acuan *Walking Profilometer* (WP). Data diambil dari hasil pengukuran pada beberapa seksi (SP1–SP5) dengan variasi jarak (100–500 m) dan kecepatan (40–60 km/jam).

Secara umum, nilai IRI yang dihasilkan oleh ketiga alat setelah kalibrasi berada dalam rentang yang mendekati nilai referensi WP.

- a. *Hawkeye* 2000 Series menunjukkan konsistensi tinggi, dengan rata-rata deviasi kecil dan $CV < 5\%$.
- b. *IRIMETER* II juga memenuhi kriteria SNI, meskipun pada beberapa titik terdapat variasi lebih besar dibanding *Hawkeye*.
- c. *Roughometer* III mengalami peningkatan signifikan setelah kalibrasi; sebelumnya memiliki bias besar ($A < 0,95$; $B > 0,25$), kini memenuhi semua parameter dengan CV sekitar 2,7%.

Diskusi Kelebihan dan Kekurangan

1. *Hawkeye* 2000 Series
 - a. Kelebihan: Akurasi tinggi, stabil di berbagai kecepatan, CV rendah ($< 2\%$), integrasi dengan sistem video untuk analisis visual.
 - b. Kekurangan: Biaya investasi tinggi, memerlukan operator terlatih dan kalibrasi rutin.
2. *IRIMETER* II
 - a. Kelebihan: Portabilitas baik, hasil memenuhi SNI, korelasi kuat dengan WP ($R^2 > 0,95$).
 - b. Kekurangan: Sensitif terhadap kondisi mounting dan kecepatan; variasi sedikit lebih besar dibanding *Hawkeye*.
3. *Roughometer* III

- a. Kelebihan: Biaya relatif rendah, mudah digunakan untuk survei cepat.
- b. Kekurangan: Sebelum kalibrasi, error besar; meskipun setelah kalibrasi memenuhi SNI, CV lebih tinggi dibanding dua alat lainnya, sehingga kurang ideal untuk survei presisi tinggi.

Kalibrasi berperan penting dalam menyamakan kinerja antar alat. Setelah kalibrasi, ketiga alat memenuhi kriteria SNI dan tidak menunjukkan perbedaan signifikan secara statistik. Pemilihan alat dapat disesuaikan dengan kebutuhan survei: *Hawkeye* untuk survei detail, *IRIMETER* untuk fleksibilitas, dan *Roughometer* untuk survei cepat dengan anggaran terbatas.

4.7. Analisa Faktor yang Mempengaruhi Hasil Pengukuran

A. Pengaruh Kecepatan Kendaraan

Kecepatan merupakan salah satu faktor paling dominan yang memengaruhi hasil pengukuran IRI. Berdasarkan data validasi (40, 50, dan 60 km/jam), terlihat pola bahwa:

- a. *Hawkeye* 2000 Series dan *IRIMETER* II relatif stabil, dengan deviasi kecil antar kecepatan ($CV < 5\%$). Namun, pada kecepatan 60 km/jam, terdapat sedikit peningkatan variabilitas, terutama pada seksi dengan IRI tinggi.
- b. *Roughometer* III menunjukkan sensitivitas lebih besar terhadap kecepatan. Pada 60 km/jam, nilai IRI cenderung lebih fluktuatif dibanding 40 km/jam, yang mengindikasikan bahwa alat ini lebih cocok untuk kecepatan konstan rendah. Hal ini sejalan dengan prinsip

pengukuran berbasis akselerometer, di mana peningkatan kecepatan dapat memperbesar noise dinamis.

B. Pengaruh Kondisi Lingkungan (Cuaca, Suhu)

Kondisi lingkungan seperti hujan, kelembapan, dan suhu permukaan jalan memengaruhi *respons* sensor:

1. Permukaan basah dapat mengubah karakteristik pantulan laser (pada *Hawkeye*) dan *respons* suspensi (pada *Roughometer*), sehingga meningkatkan error.
2. Suhu ekstrem memengaruhi tekanan ban dan kekakuan suspensi, yang berdampak pada alat berbasis akselerometer (*Roughometer*, *IRIMETER*). Dalam pengujian ini, pengukuran dilakukan pada kondisi kering dan suhu normal, sehingga pengaruh lingkungan relatif minimal. Namun, literatur menunjukkan bahwa koreksi faktor lingkungan perlu dipertimbangkan untuk survei di lapangan.

C. Pengaruh Operator

Operator memengaruhi hasil melalui:

1. Konsistensi kecepatan: Fluktuasi ± 5 km/jam dapat mengubah hasil IRI, terutama pada alat yang sensitif terhadap kecepatan.
2. Posisi sensor: Kesalahan pemasangan (*misalignment*) dapat menyebabkan bias pengukuran. Pelatihan operator dan SOP yang ketat terbukti mengurangi variabilitas antar pengukuran.

Kecepatan adalah faktor paling berpengaruh terhadap hasil pengukuran, terutama untuk alat berbasis akselerometer. Kondisi lingkungan dan operator memiliki pengaruh potensial, meskipun tidak signifikan dalam

pengujian ini. Analisis regresi memperkuat temuan bahwa kalibrasi mengurangi bias antar alat, dan pengendalian faktor eksternal penting untuk menjaga akurasi survei.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai “Evaluasi Hasil Kalibrasi dan Validasi Alat Survei Ketidakrataan Jalan International Roughness Index (IRI) Berdasarkan SNI 3426:2022”, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Tingkat akurasi alat survei kondisi jalan nasional menunjukkan peningkatan signifikan setelah dilakukan proses kalibrasi. Sebelum kalibrasi, alat survey terutama tipe *respons* seperti *Roughometer* III dan *IRIMETER* 2 menunjukkan deviasi cukup besar terhadap nilai referensi *Walking Profilometer* (Kelas 1). Namun setelah dilakukan kalibrasi sesuai standar SNI 3426:2022, seluruh alat mengalami peningkatan akurasi yang ditandai dengan peningkatan nilai slope mendekati 1, intercept mendekati 0, serta koefisien determinasi ($R^2 \geq 0,95$) yang menandakan hubungan linier yang kuat antara hasil alat uji dan alat referensi.
2. Proses kalibrasi terhadap standar yang berlaku terbukti efektif dalam mengoreksi bias pengukuran. Parameter kalibrasi seperti slope (A), intercept (B), coefficient of variation (CV), dan R^2 pada *Roughometer* III, *IRIMETER* 2, dan *Hawkeye* 2000 Series berada dalam batas keberterimaan setelah proses kalibrasi dilakukan. Hal ini menunjukkan bahwa metode kalibrasi berbasis regresi linier dan pengujian berulang sesuai SNI telah berhasil meningkatkan ketelitian serta kesesuaian alat terhadap standar nasional.

3. Tingkat validitas hasil pengukuran terhadap metode referensi (*Walking Profilometer*) sangat baik setelah proses kalibrasi. Hasil validasi pada sampel uji yang berbeda menunjukkan perbedaan absolut dan relatif berada dalam batas toleransi, dengan *RMSE* dan *MAPE* yang kecil. Nilai korelasi Pearson dan ICC ($>0,8$) memperkuat bukti bahwa ketiga alat survey khususnya *IRIMETER 2* dan *Hawkeye* mampu memberikan hasil yang sepadan dengan alat referensi kelas 1. Ini menunjukkan alat layak digunakan untuk survei kondisi jalan nasional.
4. Hasil kalibrasi dan validasi memberikan implikasi positif terhadap efektivitas pemantauan kondisi jalan nasional. Dengan meningkatnya akurasi, presisi, serta konsistensi hasil pengukuran, proses pemantauan kondisi jalan dapat dilakukan secara lebih efisien dan dapat dipertanggungjawabkan. Data IRI yang valid memungkinkan pengambilan keputusan pemeliharaan yang lebih tepat sasaran, perencanaan anggaran yang optimal, serta peningkatan keandalan sistem manajemen aset jalan nasional. Selain itu, alat kelas 3 yang telah dikalibrasi dapat digunakan untuk survei jaringan luas dengan biaya lebih rendah tanpa mengorbankan kualitas data secara signifikan.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang diperoleh, beberapa saran yang dapat diberikan untuk peningkatan kualitas survei kondisi jalan nasional adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan kalibrasi berkala terhadap seluruh alat survei IRI. Mengingat kondisi alat, kendaraan, dan lingkungan dapat berubah seiring

waktu, proses kalibrasi dan validasi rutin perlu dilakukan agar hasil pengukuran tetap konsisten dan memenuhi standar. Frekuensi optimal kalibrasi dapat mengikuti pedoman Bina Marga atau dilaksanakan setiap kali terjadi perubahan signifikan pada kendaraan atau konfigurasi alat.

2. Standarisasi kendaraan survei dan parameter operasional harus diperketat. Faktor eksternal seperti jenis suspensi kendaraan, tekanan ban, kecepatan pengukuran, serta kondisi permukaan jalan sangat mempengaruhi hasil IRI. Karena itu, diperlukan SOP (Standard Operating Procedure) yang ketat, termasuk pemilihan kendaraan yang sesuai untuk setiap alat survei dan pengendalian variabel kecepatan selama pengambilan data.
3. Peningkatan kompetensi operator alat survei perlu menjadi prioritas. Pelatihan yang berkelanjutan perlu diberikan kepada operator untuk memastikan pemasangan sensor, pengoperasian alat, dan proses pengolahan data dilakukan sesuai standar teknis. Hal ini penting terutama bagi alat kelas 3 yang sensitif terhadap kesalahan pemasangan dan variasi kecepatan kendaraan.
4. Penggunaan alat survei kelas 1 seperti *Hawkeye* 2000 Series direkomendasikan untuk survei detail skala besar. Alat ini memiliki akurasi tertinggi, kestabilan pengukuran terbaik, dan dilengkapi teknologi pendukung seperti kamera dan laser profilometri. Penggunaan alat kelas 3 tetap dapat dilakukan untuk survei jaringan secara luas, namun wajib disertai kalibrasi dan kontrol kualitas ketat.

Perlu pengembangan integrasi data survei dengan sistem manajemen aset jalan nasional. Dengan data IRI yang semakin konsisten dan berkualitas, sistem analisis

seperti HDM-4 dan aplikasi manajemen jalan lainnya dapat menghasilkan rekomendasi penanganan yang lebih akurat. Hal ini akan meningkatkan efisiensi pengambilan keputusan di tingkat nasional maupun daerah.



DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. (1993). Guide for Design of Pavement Structures. Washington DC:
American Association of State Highway and Transportation Officials.
- ARRB Group. (2011). Roughometer III User Manual. Melbourne: ARRB
Transport Research.
- ASTM International. (2015). ASTM E1926-08: Standard Practice for Computing
International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile
Measurements. West Conshohocken.
- Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan. (2022). Pedoman Survei Kondisi
Jalan Menggunakan IRI. Jakarta: Kementerian PUPR.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2021). Pedoman Survei Kondisi Jalan Nasional.
Jakarta: Kementerian PUPR.
- FHWA. (2000). Highway Performance Monitoring System Field Manual.
Washington DC: Federal Highway Administration.
- Herman, A., dkk. (2022). Evaluasi Nilai Tingkat Ketidakrataan Permukaan Jalan
Raya Menggunakan Alat Roughmeter. Jurnal Teknik Sipil.
- Hermawan, R., dkk. (2021). Implementasi Mobile Laser Scanner Untuk Penilaian
International Roughness Index Jalan Tol. Jurnal Infrastruktur.
- Husen, M., dkk. (2023). Penggunaan Aplikasi Roadbump Pro Dalam Penilaian
Kondisi Perkerasan Jalan. Jurnal Teknik Sipil.
- Ilham. (2022). Menentukan Tingkat Kerusakan Jalan Menggunakan Metode
International Roughness Index pada Ruas Jalan Medan–Tebing Tinggi.
Universitas Sumatera Utara.

- ISO. (2017). ISO 8608: Mechanical Vibration – Road Surface Profiles. Geneva:
International Organization for Standardization.
- Kementerian PUPR. (2020). Manual Pemeliharaan Jalan Nasional. Jakarta:
Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Kusnianti, N., dkk. (2019). Model Penurunan Ketidakrataan pada Perkerasan
Lentur. Jurnal Jalan dan Jembatan.
- Mulyono, A. T. (2015). Teknologi Perkerasan Jalan. Yogyakarta: Beta Offset.
- Papagiannakis, A. T., & Masad, E. (2008). Pavement Design and Materials. New
Jersey: Wiley.
- Paterson, W. D. O. (1987). Road Deterioration and Maintenance Effects.
Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Punto Budiharto. (2023). Kajian Finansial Pengadaan Peralatan Pengukur
Ketidakrataan Jalan Laser Profilemeter Kelas I Hawkeye 2000. Jurnal
Transportasi.
- Rafizma Saadah & Hagni Puspito. (2023). Analisis Kerusakan Jalan
Menggunakan Metode International Roughness Index. Jurnal Teknik Sipil.
- Romdas. (2018). ROMDAS Laser Profiler Technical Specifications. Auckland:
ROMDAS.
- SNI 3426:2022. (2022). Tata Cara Survei Kondisi Jalan. Badan Standardisasi
Nasional.
- Sukirman, S. (1999). Perkerasan Lentur Jalan Raya. Bandung: Nova.
- Sukirman, S. (2010). Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Lentur. Bandung:
Nova.

Transportation Research Board. (2000). Highway Capacity Manual. Washington DC.

Widjajanto, D., dkk. (2017). Penerapan Teknologi Murah untuk Survei Kondisi Jalan. Jurnal Jalan dan Jembatan.

World Bank. (1995). Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements. Washington DC.

Wang, X., dkk. (2021). Algoritma Adaboost dalam Kecerdasan Buatan untuk Mengoptimalkan Akurasi Prediksi IRI Perkerasan Beton Aspal. Journal of Transportation Engineering.

Yoder, E. J., & Witczak, M. W. (1975). Principles of Pavement Design. New York: Wiley.

Yuliani, R., dkk. (2019). Analisis Tingkat Ketidakrataan Jalan Nasional dengan Menggunakan Alat NAASRA. Jurnal Teknik Sipil.

Zhang, Z. (2019). Pavement Roughness Evaluation Using Laser Profiler Technology. International Journal of Pavement Engineering.

PIARC. (2002). International Experiment to Compare and Harmonize Roughness Measurements. Paris: World Road Association.

LAMPIRAN

LEMBAR ASISTENSI

 UNIVERSITAS SANGGA BUANA YPKP	FORMULIR BIMBINGAN/ASISTENSI (SKRIPSI)			 PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
	PENGARUH PERUBAHAN URUTAN KERJA OLEH MAIN/ CONTRACTOR TERHADAP PROGRES VENDOR PADA PEKERJAAN INSTALASI SISTEM IRIGASI SIRAM TAMAN			
	Mahasiswa: Ade Kurniawan NPM. 2112211146	Dosen Pembimbing: Ir. Dody Kusmana, MT. NIK. 432.200.168	TA 2025-2026	

No	Tanggal Pertemuan	Uraian Kegiatan/Catatan Perbaikan	Paraf Pembimbing
1.	29/06 2025	Pengujian dilakukan sebelum dan sesudah kalibrasi	
2.	29/06 2025	perbaiki format penulisan	
3.	07/11 2025	Buat tahapan kalibrasi masing-masing alat	
4.	29/11 2025	Tampilkan regresi linier serta hasil	
5.	20/12 25	Buat analisa faktor hasil masing-masing alat	
6.	10/1 2026	Buat kinerja antar alat survei	
7.	29/1 2026	identifikasi kekurangan dan kelebihan tiap alat	
8.	31/1 2026	Buat kesimpulan masing-masing alat	

Bandung, Januari 2026

Dosen Pembimbing,



Ir. Dody Kusmana, S.T., M.T

Surat Keterangan Cek Plagiarisme

Nomor: 130/III/SKCP/USB-YPKP/2026

Sehubungan dengan kewajiban Cek Plagiarisme dengan *similarity check maximal 25%* sebagai salah satu kelengkapan persyaratan administrasi bagi mahasiswa tingkat akhir, dengan ini UPT Perpustakaan Universitas Sangga Buana menerangkan bahwa:

Nama : Ade Kurniawan
NPM : 2112211146
Program Studi : S1 Teknik Sipil
Judul Karya Tulis Ilmiah : "EVALUASI HASIL KALIBRASI DAN VALIDASI ALAT SURVEI KETIDAKRATAAN JALAN INTERNATIONAL ROUGHNESS INDEX (IRI) BERDASARKAN SNI 3426:2022"
Tanggal Cek Turnitin : 11 Maret 2026
Status : Lulus dengan 14% *Similaraty Check*

Adalah benar telah dilakukan *similarity check* sebagaimana data tersebut diatas, dan surat ini dibuat berdasarkan keadaan yang sebenar benarnya, untuk bisa dipergunakan sebagaimana mestinya.

Bandung, 11 Maret 2026

Kepala Pustakalaya



Widyapuri Prasastiningtyas, S.Sos., M.I.kom.

NIP. 432.200.173