

Reliabilitas Pengukuran Morfometrik Sapi Menggunakan Citra Digital ImageJ pada Berbagai Jarak Kamera

Reliability of Cattle Morphometric Measurements Using ImageJ-Based Digital Imaging at Different Camera Distances

Novadhila Rahmi*, Irzal Irda, Devi Kumala Sari, Nadia Rahma, Melisa Putri, Ahmad Farhan

Program Studi teknologi Produksi Ternak, Jurusan Peternakan dan Kesehatan Hewan, Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh, Lima Puluh Kota, Sumatera Barat, Indonesia, 26271

*Alamat Email: rahminovadhila@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi akurasi dan reliabilitas pengukuran morfometrik sapi menggunakan citra digital dengan aplikasi ImageJ pada berbagai jarak pengambilan gambar. Sampel yang digunakan adalah 10 ekor sapi berumur 1,5–3 tahun diukur dimensi tubuhnya secara manual sebagai acuan, kemudian difoto dari jarak 2, 3, dan 4 meter menggunakan kamera smartphone 12 MP dengan marker lakban sebagai skala kalibrasi. Parameter yang diamati meliputi morfometrik umum (tinggi gumba, tinggi pinggul, panjang badan, dalam dada), alat gerak depan dan belakang, serta sumbu tubuh. Data dianalisis menggunakan ANOVA untuk menguji akurasi antar jarak dan *Intraclass Correlation Coefficient* (ICC) model *two-way mixed absolute agreement* untuk menilai reliabilitas antara metode manual dan citra digital jarak pengambilan gambar 2, 3, dan 4 meter. Hasil ANOVA menunjukkan hasil yang akurat, tidak terdapat perbedaan nyata ($p > 0,05$) antara pengukuran manual dan pengukuran citra digital pada jarak 2, 3 dan 4 meter untuk seluruh parameter morfometrik (utama, alat gerak depan, alat gerak belakang, sumbu tubuh). Nilai ICC *single measures* untuk parameter morfometrik utama berkisar 0,90–0,96, sedangkan ICC *average measures* mencapai 0,97–0,99, yang mengindikasikan reliabilitas sangat tinggi. Sebagian besar tulang alat gerak dan sumbu tubuh juga menunjukkan ICC di atas 0,80, meskipun beberapa segmen *ekstremitas distal* dan *Vertebrae lumbales* memiliki reliabilitas cukup. Secara keseluruhan, pengukuran morfometrik sapi berbasis citra digital menggunakan aplikasi ImageJ pada jarak pengambilan gambar 2, 3, dan 4 meter dapat diterapkan dengan baik serta mampu menghasilkan data morfometrik yang akurat dan reliabel.

Kata Kunci: Citra Digital, ImageJ, Jarak Pengambilan Gambar, Morfometrik, Sapi

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the accuracy and reliability of cattle morphometric measurements using digital image analysis with the ImageJ application at different image acquisition distances. A total of 10 cattle aged 1.5–3 years were used as samples. Body dimensions were first measured manually as a reference standard and subsequently photographed from distances of 2, 3, and 4 meters using a 12 MP smartphone camera with adhesive tape markers serving as calibration scales. The observed parameters included general morphometric traits (withers height, hip height, body length, and chest depth), forelimb and hindlimb measurements, as well as body axis parameters. Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) to assess measurement accuracy among distances and *Intraclass Correlation Coefficient* (ICC) using a *two-way mixed absolute agreement* model to evaluate the reliability between manual measurements and digital image measurements at image acquisition distances of 2, 3, and 4 meters. The ANOVA results demonstrated high accuracy, with no significant differences ($p > 0.05$) between manual measurements and digital image measurements at distances of 2, 3, and 4 meters for all morphometric parameters, including general morphometric traits, forelimb measurements, hindlimb measurements, and body axis parameters. The ICC *single measures* values for the main morphometric parameters ranged from 0.90 to 0.96, while ICC *average measures* ranged from 0.97 to 0.99, indicating excellent reliability. Most skeletal measurements of the limbs and body axis also showed ICC values above 0.80, although several distal extremity segments and the *vertebrae lumbales* exhibited moderate reliability. Overall, cattle morphometric measurements based on digital images using the ImageJ application at image acquisition distances of 2, 3, and 4 meters can be effectively applied and are capable of producing accurate and reliable morphometric data.

Keywords: Cattle, Digital Imaging, Image Acquisition Distance, ImageJ, Morphometrics

PENDAHULUAN

Morfometrik merupakan cabang ilmu yang mempelajari bentuk dan ukuran tubuh organisme secara kuantitatif. Dalam bidang peternakan, data morfometrik merupakan indikator penting menggambarkan pertumbuhan, potensi reproduksi/genetik, kondisi fisiologis, dan

produktivitas ternak, karena ukuran tubuh sangat terkait dengan karakter produksi dan status kesehatan hewan (Rahagiyanto *et al.*, 2019; Sulfiar dkk, 2025; Yin *et al.*, 2026). Karakteristik morfometrik seperti lingkaran dada, panjang badan, dan tinggi pundak diketahui memiliki korelasi yang kuat dengan bobot badan dan performa produksi sehingga dapat digunakan sebagai indikator seleksi dalam program pemuliaan ternak (Adinata *et al.*, 2023). Selain itu, analisis morfometrik juga berperan dalam mendukung evaluasi fenotipik, identifikasi potensi genetik, pemilihan bibit, serta pengembangan strategi konservasi dan peningkatan mutu ternak lokal (Baliarti *et al.*, 2023; Nurgiartiningih *et al.*, 2026).

Pengukuran morfometrik sapi umumnya dilakukan secara manual menggunakan pita ukur maupun tongkat ukur. Namun, metode tersebut masih menghadapi berbagai kendala di lapangan, terutama pada sistem pemeliharaan semi intensif dan ekstensif yang banyak diterapkan pada peternakan rakyat di Indonesia. Ternak yang belum terbiasa dengan proses restrain cenderung mudah bergerak, memberontak, bahkan berpotensi mencederai petugas saat pengukuran dilakukan. Selain itu, keterbatasan fasilitas handling seperti kandang jepit menyebabkan proses pengukuran manual membutuhkan tenaga, waktu, dan biaya operasional yang lebih besar. Li *et al.* (2022) menyatakan bahwa metode manual memiliki beberapa keterbatasan, antara lain ketidakakuratan akibat pergerakan ternak, variasi keterampilan operator, serta risiko keselamatan kerja pada saat pengukuran sapi yang agresif. Kondisi tersebut menyebabkan pengukuran manual menjadi kurang efisien apabila diterapkan secara rutin dalam kegiatan recording, seleksi bibit, maupun penelitian lapangan berskala besar.

Perkembangan teknologi digital memberikan peluang baru dalam pengukuran morfometrik yang lebih efisien, dan aman. Penggunaan citra digital memungkinkan pengambilan data tanpa kontak langsung dengan ternak, serta menghasilkan dokumentasi visual yang dapat dianalisis ulang (Putra dkk, 2016). Berbagai pendekatan digital telah dikembangkan, diantaranya pemodelan 3D dengan kamera stereo, teknologi *depth sensor*, pemindaian laser, dan analisis citra 2D (Kadlec *et al.*, 2022; Putra dkk, 2016). Di antara berbagai metode tersebut, pengolahan citra 2D menggunakan ImageJ menjadi salah satu alternatif yang praktis dan ekonomis. ImageJ merupakan perangkat lunak *open-source* yang banyak digunakan dalam pengukuran morfometrik berbasis citra digital karena mampu melakukan analisis ukuran dan bentuk objek secara kuantitatif melalui proses kalibrasi citra (Schneider *et al.*, 2012). Aplikasi ini mudah digunakan, memiliki tampilan yang intuitif, serta telah terbukti menghasilkan data yang presisi dalam berbagai penelitian morfometrik (Pye *et al.*, 2019).

Di Indonesia, beberapa penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa penggunaan citra digital dan perangkat lunak ImageJ dalam pengukuran morfometrik menghasilkan tingkat akurasi yang tinggi serta keragaman pengukuran yang relatif rendah. Penelitian pada sapi Peranakan Ongole (PO), sapi Bali, sapi Pegon, dan kerbau menunjukkan bahwa hasil pengukuran digital memiliki kesesuaian yang tinggi dengan metode manual, sehingga metode ini dinilai valid untuk diaplikasikan pada pengukuran tubuh ternak (Putra dkk., 2016; Hilmawan dkk., 2017; Erni dan Teguh., 2024).

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu masih berfokus pada perbandingan antara metode manual dan digital, sedangkan pengaruh faktor teknis pengambilan gambar terhadap konsistensi hasil pengukuran masih jarang dilaporkan. Perbedaan jarak pengambilan gambar berpotensi menimbulkan distorsi perspektif, perubahan skala objek, serta variasi proporsi tubuh pada citra yang dihasilkan, sehingga dapat menyebabkan ketidakkonsistenan ukuran antar foto dan memengaruhi tingkat akurasi pengukuran digital. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengevaluasi akurasi dan reliabilitas

pengukuran morfometrik sapi menggunakan citra digital berbasis ImageJ pada berbagai jarak pengambilan gambar. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan metode pengukuran morfometrik digital yang lebih efisien, praktis, dan aplikatif untuk kegiatan penelitian maupun recording ternak di lapangan.

METODE

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Produksi Ternak, Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh pada bulan Oktober 2025. Materi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: sapi sebanyak 10 ekor berumur 1,5-3 tahun yang terdiri dari bangsa heterogen, yaitu berupa persilangan Sapi limousin, PO dan persilangan FH (PFH).

Peralatan yang digunakan terdiri dari: kamera digital adalah jenis smartphone dengan resolusi 12 MP merk iPhone 13, Tripod untuk menjaga kestabilan posisi kamera, pita ukur, tongkat ukur, dan laptop dengan perangkat lunak ImageJ. Variabel pengukuran morfometrik mengacu kepada *World Association of Veterinary Anatomist* [WAFA] (2005) disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Cara pengukuran morfometrik sapi

No	Morfometrik	Deskripsi Pengukuran
1	Panjang Badan (PB)	Jarak dari ujung <i>tuber humerus</i> hingga ke <i>tuber ischium</i> .
2	Tinggi Gumba (TG)	Jarak vertikal dari permukaan tanah hingga titik tertinggi pada <i>withers</i> , tepat di belakang <i>Scapula</i> .
3	Tinggi Pinggul (TP)	Jarak vertikal dari permukaan tanah hingga titik <i>tuber ischii</i>
4	Dalam Dada (DD)	Jarak dari sisi dorsal ke ventral tulang rusuk tepat di belakang <i>Scapula</i> .
5	<i>Os scapula</i>	Jarak dari titik tertinggi bahu hingga ke <i>tuber humerus</i> .
6	<i>Os humerus</i>	Jarak dari <i>tuber humerus</i> hingga ke titik tengah <i>tuber radius-ulna</i> .
7	<i>Ossa radius-ulna</i>	Jarak dari <i>tuber radius-ulna</i> hingga <i>os carpal</i> .
8	<i>Ossa metacarpale</i>	Jarak dari <i>os carpal</i> hingga pangkal <i>os phalanx</i> .
9	<i>Os femoris</i>	Jarak dari <i>tuber ilium</i> hingga <i>tuber femoris</i> .
10	<i>Ossa tibia-fibula</i>	Jarak dari <i>tuber femoris</i> hingga <i>tuber calcis</i> .
11	<i>Ossa metatarsale</i>	Jarak dari <i>os tarsal</i> hingga pangkal <i>os phalanx</i> .
12	<i>Ossa vertebrae cervicales</i>	Diukur pada sepanjang tulang cervical.
13	<i>Ossa vertebrae thoracicae</i>	Jarak dari pangkal leher hingga titik tengah dorsal tulang rusuk.
14	<i>Ossa vertebrae lumbales</i>	Jarak dari titik tengah dorsal hingga <i>processus spinosus</i> pertama pada sakrum.
15	<i>Ossa vertebrae sacrales</i>	Diukur pada sepanjang tulang sacral.
16	<i>Ossa Illium-ischium/rump lengh</i>	Jarak dari <i>Os coxae</i> hingga <i>tuber ischii</i> (<i>pin bone</i>).

Sumber: WAFA (2005)

Perlakuan dalam penelitian ini adalah perbedaan jarak pengambilan gambar terhadap objek sapi yang terdiri dari 3 perlakuan yaitu: jarak 2, 3, 4 meter. Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap, yaitu (1) pengambilan gambar; (2) pengukuran sapi secara manual; (3) pengukuran sapi secara digital.

1. Prosedur pengambilan gambar

Teknik pengambilan gambar yang tepat adalah kunci utama dalam memperoleh data morfometrik yang akurat. Pengambilan citra digital dilakukan pada jarak penuh, yaitu jarak yang

diambil tanpa zoom sehingga diperoleh citra ternak penuh pada tampilan layar. Titik fokus utama kamera diambil pada pertemuan diagonal tubuh, yaitu pertemuan antara diagonal pangkal ekor-ujung kaki depan dengan punuk-ujung kaki belakang (Putra dkk., 2016). Gambar harus dalam kondisi *full frame* (memenuhi bingkai) dengan seluruh bagian tubuh sapi dan skala pembanding terlihat jelas. Hindari foto yang blur, gelap, atau terpotong. Latar belakang sebaiknya kontras dengan warna tubuh sapi untuk memudahkan identifikasi batas-batas anatomis. Pencahayaan yang cukup sangat penting untuk menghasilkan gambar dengan kualitas optimal, sehingga pemilihan waktu pemotretan dengan pencahayaan alami optimal direkomendasikan untuk meminimalkan distorsi dan memastikan semua titik anatomi terlihat jelas (Herfena dan Kuswati., 2023).

Gambar diambil dengan menempatkan skala pembanding berupa lakban yang dimodifikasi dari metode Herfena dan Kuswati (2023). Pada penelitian ini tidak digunakan tongkat sebagai skala pembanding karena dikhawatirkan dapat menyebabkan stres akibat keberadaan benda asing disekitar tubuh sapi. Penggunaan lakban dipilih karena lebih praktis dan tidak memerlukan pengaturan posisi linieritas terhadap tubuh ternak. Penelitian ini menggunakan tiga lakban sebagai skala pembanding, yaitu dua ditempatkan secara vertikal pada alat gerak depan dan belakang, serta satu secara horizontal pada bagian badan. Penempatan beberapa skala pembanding dimaksudkan untuk meminimalkan ketidakakuratan akibat kesalahan fokus atau distorsi gambar, sehingga ukuran morfometrik yang diperoleh lebih presisi. Skala pembanding yang lebih banyak ini juga memungkinkan proses kalibrasi dilakukan pada bagian tubuh yang paling dekat dengan posisi pembanding, sehingga meningkatkan ketelitian pengukuran. Ilustrasi foto digital dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Gambar citra digital dengan marker lakban putih

2. Pengukuran manual

Parameter morfometrik diukur manual menggunakan tongkat ukur dan pita ukur. Setiap ukuran diambil dua kali dan dirata-rata.

3. Pengukuran digital

Alur pengukuran digital mengikuti Putra dkk. (2016), tahap pertama adalah impor foto ke ImageJ, selanjutnya lakukan kalibrasi skala menggunakan panjang *known-object* (lakban putih dengan panjang 20 cm) pada foto, lalu ukur parameter morfometrik yang sama dengan manual pada titik anatomi yang serupa. Setelah skala dikalibrasi, pengukuran pada titik-titik anatomi dapat dilakukan. Arismendi dkk. (2021) menjelaskan bahwa setelah kalibrasi gambar selesai, pengukuran dapat menggunakan "*segmented line tool*" untuk mengikuti kurva atau kontur hewan. Menurut petunjuk NIH, langkah pertama adalah memilih "*Straight Line Tool*" atau "*Segmented Line Tool*" untuk mengukur panjang atau jarak. Tarik garis dari titik awal ke titik akhir pengukuran pada bagian

tubuh sapi. Buka menu *Analyze*, pilih *Measure* maka akan keluar hasil ukuran. Setiap ukuran diambil tiga (3) kali dan dirata-rata.

4. Analisis Data

Data dianalisis ANOVA untuk melihat perbedaan pengaruh jarak yang berbeda. Selanjutnya analisis data reliabilitas menggunakan *Intraclass Correlation Coefficient* (ICC) dilakukan untuk mengevaluasi tingkat kesesuaian antara metode pengukuran manual dan pengukuran berbasis citra digital pada berbagai jarak pengambilan gambar (2m, 3m, dan 4m). ICC mengukur sejauh mana hasil pengukuran antar metode tersebut konsisten, baik pada pengukuran tunggal (*single measures*) maupun rata-rata (*average measures*). Analisis data dilakukan menggunakan aplikasi IBM SPSS Statistics 23. Hasil pada penelitian ini tidak menyajikan data standar deviasi disebabkan pada pengujian metode pengukuran disini tidak menggunakan sapi yang homogen.

Interpretasi reliabilitas *Intraclass Correlation Coefficient* (ICC) pada penelitian ini mengacu pada kriteria yang dikemukakan oleh Koo dan Li (2016), yaitu nilai ICC <0,50 dikategorikan sebagai reliabilitas buruk, 0,50–0,75 sebagai reliabilitas cukup (*moderate*), 0,75–0,90 sebagai reliabilitas baik, dan >0,90 sebagai reliabilitas sangat baik (*excellent*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Perbedaan ukuran morfometrik manual dan digital pada berbagai jarak

Hasil analisis morfometrik umum sapi dengan jarak pengambilan gambar yang berbeda disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Morfometrik umum sapi pada berbagai jarak pengambilan gambar

Jarak pengambilan gambar	Morfometrik umum				Sig
	Tinggi Gumba	Tinggi Pinggul	Panjang Badan	Dalam Dada	
2 Meter	129.41	127.25	133.45	66.12	ns
3 Meter	129.86	128.29	132.22	66.33	ns
4 Meter	128.93	127.94	132.67	65.86	ns
Manual	128.63	127.67	133.07	65.13	ns

Berdasarkan hasil ANOVA, pengambilan gambar dengan variasi jarak tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap ukuran tinggi gumba, tinggi pinggul, panjang badan, dan dalam dada sapi. Nilai rata-rata dari tiap jarak relatif seragam, mengindikasikan bahwa pencitraan digital dapat menangkap dimensi tubuh pokok secara konsisten meski dengan variasi jarak pengambilan. Hal ini sejalan dengan penelitian Yang *et al.* (2022) yang menunjukkan bahwa fotogrametri mampu merepresentasikan ukuran morfometrik tinggi gumba, panjang badan dan dalam dada dengan presisi tinggi pada sapi.

Hasil analisis morfometrik alat gerak depan sapi dengan jarak pengambilan gambar yang berbeda disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Morfometrik alat gerak depan sapi pada berbagai jarak pengambilan gambar

Jarak pengambilan gambar	Morfometrik alat gerak depan				Sig
	<i>Os scapula</i>	<i>Os humerus</i>	<i>Ossa radius-ulna</i>	<i>Ossa metacarpale</i>	
2 meter	53.50	33.26	38.41	24.56	ns
3 meter	52.09	32.87	37.70	23.44	ns
4 meter	51.99	33.94	38.16	23.39	ns
Manual	52.80	33.60	37.80	24.05	ns

Ukuran tulang-tulang penyusun alat gerak depan sapi juga tidak terpengaruh secara signifikan oleh variasi jarak kamera. Meskipun secara visual perbedaan panjang dapat muncul, analisis statistik menunjukkan bahwa deviasi yang terjadi masih berada dalam rentang yang dapat diterima. Hal ini menunjukkan bahwa fitur-fitur tulang ekstremitas anterior dapat direkam dengan baik tanpa distorsi besar dari variasi jarak. Hal ini sejalan dengan Hakim dkk. (2019) menemukan bahwa ukuran tubuh termasuk bagian ekstremitas dan panjang tulang bisa diukur digital dengan ketelitian tinggi dan tanpa perbedaan signifikan dibandingkan manual.

Hasil analisis morfometrik alat gerak belakang sapi dengan jarak pengambilan gambar yang berbeda disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Morfometrik alat gerak belakang sapi pada berbagai jarak pengambilan gambar

Jarak pengambilan gambar	Morfometrik alat gerak belakang				Sig
	<i>Ossa Illium-ischium</i>	<i>Os femoris</i>	<i>Ossa tibia-fibula</i>	<i>Ossa metatarsale</i>	
2 meter	34.45	39.70	42.59	31.65	ns
3 meter	35.21	39.78	42.24	31.75	ns
4 meter	35.72	38.32	41.18	31.24	ns
Manual	34.45	39.80	42.20	31.03	ns

Ukuran alat gerak belakang sapi tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan antar jarak pengambilan gambar. Meskipun terdapat sedikit fluktuasi pada nilai rata-rata, hasil tersebut masih berada dalam kisaran kesalahan pengukuran yang rendah dan dapat diterima pada sistem fotogrametri ternak. Hal ini disebabkan pengaruh posisi tubuh dan variasi alami antar individu saat pengambilan citra digital. Sebagaimana McVey *et al.* (2022) dan Ma *et al.* (2026) menyatakan bahwa perubahan kecil pada sudut tubuh, pose, dan orientasi hewan dapat menghasilkan variasi pengukuran yang lebih besar dibandingkan pengaruh teknis jarak kamera, selama kualitas citra dan kalibrasi tetap terjaga (McVey *et al.*, 2022; Ma *et al.*, 2026)

Hasil analisis morfometrik sumbu tubuh sapi dengan jarak pengambilan gambar yang berbeda disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Morfometrik alat sumbu tubuh sapi pada berbagai jarak pengambilan gambar

Jarak pengambilan gambar	Morfometrik Sumbu Tubuh				Sig
	<i>Ossa vertebrae cervicales</i>	<i>Ossa vertebrae thoracicae</i>	<i>Ossa vertebrae lumbales</i>	<i>Os sacrum</i>	
2 meter	27.89	68.51	36.07	21.44	ns
3 meter	28.50	68.89	35.39	21.60	ns
4 meter	28.43	67.98	36.45	21.39	ns
Manual	29.35	68.75	36.35	21.40	ns

Morfometrik sumbu tubuh sapi (*Vertebrae*) menunjukkan konsistensi hasil pengukuran pada seluruh perlakuan jarak. Tulang-tulang ini umumnya lebih panjang dan lebih stabil dari segi visual, sehingga tidak mudah terdistorsi oleh perubahan sudut kamera. Jones *et al.*, (2018) menegaskan bahwa struktur tulang vertebra memiliki bentuk berulang dan konsisten sehingga sangat cocok sebagai objek pengukuran menggunakan teknik fotogrametri.

2. Intraclass Correlation Coefficient (ICC)

Hasil penelitian *Intraclass correlation coefficient* morfometrik sapi pada pengukuran manual, jarak 2, 3 dan 4 meter disajikan pada tabel 6. Empat parameter utama (tinggi gumba, tinggi pinggul, panjang badan, dalam dada) menunjukkan tingkat reliabilitas yang sangat tinggi antara metode manual dan jarak citra digital 2, 3 dan 4 meter. Hal ini menunjukkan bahwa teknik pencitraan digital mampu menggantikan pengukuran manual dengan keakuratan sangat baik. Hasil ini menunjukkan bahwa parameter tubuh utama relatif mudah diidentifikasi pada citra digital karena memiliki titik anatomi yang jelas dan ukuran tubuh yang lebih besar, sehingga meminimalkan kesalahan pengukuran. Sejalan dengan Yang *et. al* (2022) menemukan penggunaan fotogrametri pada sapi menghasilkan ukuran morfometrik tinggi badan, panjang badan, dan lebar dada, dengan tingkat galat relatif yang rendah (<5%).

Tabel 6. *Intraclass correlation coefficient* (ICC) pengukuran sapi manual, jarak 2, 3 dan 4 meter

Parameter	<i>Intraclass correlation coefficient</i>	
	<i>Single</i>	<i>Avarage</i>
Performa Umum		
Tinggi gumba	0.93	0.98
Dalam dada	0.90	0.97
Tinggi pinggul	0.92	0.99
Panjang badan	0.96	0.99
Alat Gerak Depan		
<i>Os scapula</i>	0.91	0.96
<i>Os humerus</i>	0.91	0.98
<i>Ossa radius-ulna</i>	0.86	0.96
<i>Ossa metacarpale</i>	0.79	0.94
Alat Gerak Belakang		
<i>Ossa Illium-ischium</i>	0.90	0.97
<i>Os femoris</i>	0.90	0.97
<i>Ossa tibia-fibula</i>	0.62	0.87
<i>Ossa metatarsale</i>	0.76	0.93
Sumbu tubuh		
<i>Ossa vertebrae cervicales</i>	0.85	0.95
<i>Ossa vertebrae thoracicae</i>	0.85	0.96
<i>Ossa vertebrae lumbales</i>	0.68	0.89
<i>Os sacrum</i>	0.75	0.92

Tulang-tulang pada ekstremitas depan seperti *Os scapula*, *Os humerus*, dan *Ossa radius-ulna* menunjukkan reliabilitas baik hingga sangat baik. Nilai terendah dicatat pada *Ossa metacarpale* (single: 0.79), namun masih dalam kategori baik. Ini terjadi karena bagian distal lebih kecil dan lebih rentan terhadap distorsi visual. Untuk meminimalkan distorsi visual akibat sudut pengambilan gambar yang kurang tepat dapat dilakukan dengan menggunakan marker/penanda ukuran lebih banyak pada bagian-bagian morfometrik yang diukur. Selanjutnya lakukan kalibrasi/*set scale* berdasarkan marker terdekat dengan morfometrik yang diukur. Sejumlah studi merekomendasikan penggunaan marker/penanda ukuran pada objek atau bidang gambar serta prosedur kalibrasi skala sebelum melakukan pengukuran. Misalnya, penggunaan fiducial markers dalam citra 2D membantu mengoreksi distorsi lensa dan parallax sehingga ukuran menjadi lebih akurat dibandingkan tanpa penanda (Monkman *et al.*, 2020).

Komponen alat gerak belakang menunjukkan reliabilitas yang bervariasi. *Ossa tibia-fibula* menunjukkan nilai ICC single terendah dengan kategori reliabilitas cukup (0.62), meskipun nilai average cukup tinggi (0.87), hal ini mengindikasikan ketidakstabilan pada pengukuran satuan individu (*single*) tetapi cukup stabil bila dilihat secara rata-rata (*average*). Pengukuran fotogrametri pada area ekstremitas atau alat gerak belakang cenderung memiliki variabilitas individu yang lebih tinggi dibandingkan bagian tubuh utama lainnya karena dipengaruhi oleh perubahan postur, sudut tungkai, dan posisi berdiri ternak selama pengambilan citra. Sebagaimana dijelaskan Jagtap (2026) bahwa perubahan sudut pengambilan gambar, pose ternak, dan ketidakkonsistenan posisi ekstremitas merupakan sumber utama peningkatan error pada pengukuran morfometrik berbasis *computer vision*.

Morfometrik tulang belakang menunjukkan konsistensi pengukuran yang cukup baik. Nilai ICC tertinggi terdapat pada *Vertebra cervical* dan *thoracic*. Untuk menghasilkan ukuran vertebra *cervical* yang akurat, kepala sapi perlu diposisikan dengan leher lurus dan kepala tegak pada posisi berdiri normal, sehingga tulang leher tampak sejajar dan tidak tertunduk atau menoleh ke samping. Sedangkan *vertebra lumbales* dan *sacrum* memiliki ICC lebih rendah. Hal ini disebabkan oleh kesulitan visualisasi bagian belakang tubuh sapi secara utuh dari satu sisi pengambilan gambar. Guan *et al.* (2020) juga menemukan bahwa pengukuran *vertebra lumbales* memiliki kesulitan dalam pengukuran pada citra 2D karena overlapping struktur tubuh, sehingga pengukuran morfometrik pada vertebra ini memerlukan perhatian ekstra atau metode tambahan untuk meningkatkan akurasi.

PENUTUP

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa pengukuran morfometrik sapi berbasis citra digital menggunakan aplikasi ImageJ pada jarak pengambilan gambar 2, 3, dan 4 meter menghasilkan nilai yang tidak berbeda nyata ($p>0,05$) pada parameter utama, alat gerak depan, alat gerak belakang, dan sumbu tubuh.

Hasil analisis *Intraclass Correlation Coefficient* (ICC), pengukuran morfometrik sapi menggunakan citra digital berbasis ImageJ pada jarak pengambilan gambar 2, 3, dan 4 meter menunjukkan tingkat reliabilitas yang baik hingga sangat baik dibandingkan metode manual. Nilai ICC *single measures* yang sebagian besar berada di atas 0,90 serta ICC *average measures* yang mendekati atau melebihi 0,98 menunjukkan adanya konsistensi dan kesesuaian pengukuran yang sangat baik antara citra digital jarak gambar 2, 3, 4 meter dan metode pengukuran manual. Terdapat beberapa parameter pada segmen *ekstremitas distal*/alat gerak dan *vertebrae lumbales* menunjukkan reliabilitas cukup hingga baik. Secara keseluruhan, pengukuran morfometrik sapi berbasis citra digital menggunakan aplikasi ImageJ pada jarak pengambilan gambar 2, 3, dan 4 meter dapat diterapkan dengan baik serta mampu menghasilkan data morfometrik yang akurat dan reliabel.

Saran

Disarankan agar teknik pengukuran morfometrik berbasis citra digital ImageJ pada jarak 2, 3, 4 meter mulai diintegrasikan dalam kegiatan penelitian dan evaluasi performa sapi, terutama pada kondisi lapangan yang membatasi penggunaan metode manual karena faktor keamanan atau kenyamanan ternak. Untuk parameter yang menunjukkan reliabilitas sedang, seperti beberapa tulang *ekstremitas distal* dan *Vertebrae lumbales*, perlu dilakukan penyempurnaan protokol pengambilan gambar, misalnya dengan pengaturan sudut kamera yang lebih konsisten, peningkatan resolusi citra, atau penambahan marker anatomis yang lebih jelas.

DAFTAR PUSTAKA

- Adinata, Y., Ronny R. Noor, R. Priyanto, L. Cyrilla, & P. Sudrajad. (2023). Morphometric and physical characteristics of Indonesian beef cattle. *Archives Animal Breeding*, 66(2), 153–161. <https://doi.org/10.5194/aab-66-153-2023>.
- Arismendi, I., Bury, G., Zatkos, L., Snyder, J., & Lindley, D. (2021). A method to evaluate body length of live aquatic vertebrates using digital images. *Ecology and Evolution*, 11(10), 5497–5502. <https://doi.org/10.1002/ece3.7444>.
- Baliarti, E., Widi, T. S. M., & colleagues. (2023). Body morphometric characterization in conjunction with reproductive performance of Bali and Bali cross cattle in Indonesia. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 11(5), 741–749. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.aavs/2023/11.6.977.986>.
- Erni, N & Teguh, R. (2024). Analisis Morfometrik Sapi Lokal yang Dipelihara di Balai Pembibitan Ternak Sei Kelampai Kabupaten Lamandau Provinsi Kalimantan Tengah Dengan Menggunakan Teknik Citra Digital. *Jurnal Peternakan Borneo*, 3 (2). <https://share.google/hJLdF0jR2ire5guEU>.
- Guan, W., Yu, W., Lin, Q., Zhang, Z., Du, G., Tian, J., Xu, Y., & Hsieh, E. (2020). Lumbar Vertebrae Morphological Analysis and an Additional Approach for Vertebrae Identification in Lumbar Spine DXA Images. *Journal of Clinical Densitometry*, 23(3), 395–402. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2018.09.004>.
- Hakim, A., Nuraini, H., Priyanto, R., & Harsi, T. (2019). Dimensi tubuh sapi Friesian Holstein dan Limousin betina berdasarkan morfometrik dengan citra digital. *Jurnal Ilmu Produksi dan Teknologi Hasil Peternakan*, 7(2), 47–56. <https://sl1nk.com/26v1757>.
- Hilmawan, F., Nuraini, H., Priyanto, R., & Putra, B. W. (2017). Pengukuran morfometrik sapi peranakan ongole dan kerbau jantan dengan metode citra digital, *Jurnal Veteriner*, 17(4), 587–596. <https://doi.org/10.19087/jveteriner.2016.17.4.587>.
- Herfena, & Kuswati. (2023). *Studi Morfometrik Sapi Pegon Secara Manual dan Citra Digital* [Thesis]. Universitas Brawijaya. <https://repository.ub.ac.id/id/eprint/214021/>.
- Jagtap, A., Shreyash, I., Aditya, P., Sandeep, K. (2026). Landmark-Based Image Morphometrics for Dairy Cattle: A Comparative Study, *International Journal Of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 15 (03), 1–6. <https://doi.org/10.5281/zenodo.19429088>.
- Jones, K.E., Benitez, L., & Angielczyk, K.D. (2018). Adaptation and constraint in the evolution of the mammalian backbone. *BMC Evol Biol*, 18, 172. <https://doi.org/10.1186/s12862-018-1282-2>.
- Kadlec R., Indest S., Castro K., Waqar SC., Ampos LM., Amorim ST., Bi Y., Hanigan MD., & Morota G. (2022). Automated acquisition of top-view dairy cow depth image data using an RGB-D sensor camera. *Transl Anim Sci*, 6(4), 1–6. <https://doi.org/10.1093/tas/txac163>.
- Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *Journal of Chiropractic Medicine*, 15(2), 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>.
- Li, K.; Teng, G. (2022). Study on Body Size Measurement Method of Goat and Cattle Under Different Background Based on Deep Learning. *Electronics*, 11(7), 993. <https://doi.org/10.3390/electronics11070993>.
- Ma, W.; Guo, M., Li, Z., Liang, X., Yang SX., Zhong, Z. & Li, Q. (2026) . Computer vision-based livestock weight measurement: principles, methods, and challenges. *Intell. Robot*, 6(2), 205–228. <https://dx.doi.org/10.20517/ir.2026.11>.

- McVey, C., Egger, D., & Pinedo, P. (2022). Improving the Reliability of Scale-Free Image Morphometrics in Applications with Minimally Restrained Livestock Using Projective Geometry and Unsupervised Machine Learning. *Sensors*, 22(21), 8347. <https://doi.org/10.3390/s22218347>.
- Monkman, G. G., Hyder, K., Kaiser, M., & Vidal, F. P. (2020). Accurate estimation of fish length in single camera photogrammetry with a fiducial marker. *ICES Journal of Marine Science*, 77(6), 2245–2254. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsz030>.
- Nurgiartiningsih, V. M. A., Kuswati, K., & Marjuki, M. (2026). Morphometric traits increase genetics selection accuracy in beef cattle. *Italian Journal of Animal Science*, 25(1), 1–10. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2025.2606507>.
- Putra, B. W., Fuah, A. M., Nuraini, H., & Priyanto, R. (2016). Penerapan teknik citra digital sebagai metode pengukuran morfometrik ternak pada sapi Bali dan Peranakan Ongole. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 21(1), 63–68. <http://journal.ipb.ac.id/index.php/JIPI>.
- Pye, F., Raja, N. B., Shirley, B., Kocsis, Á. T., Hohmann, N., Murdock, D. J., & Jarochowska, E. (2019). ImageJ and 3D Slicer: open source 2/3D morphometric software. *PeerJ Preprints*, 7. <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.27998v2>.
- Rahagiyanto, A., Adhyatma, M., & Nurkholis. 2021. *A Review of Morphometric Measurements Techniques on Animals Using Digital Image Processing*. Food and Agricultural Sciences Polije Proceedings Series, 3: 67–72. <https://proceedings.polije.ac.id/index.php/food-science/article/view/177/179>.
- Sulfiar, A. E. T., Maranditya, B., & Alzahra, H. (2025). Manajemen Pemeliharaan Sapi Lokal dengan Sistem Produksi Berbeda di Kabupaten Muna Sulawesi Tenggara. *Jurnal Peternakan Lokal*, 7(1), 1–10. <https://doi.org/10.46918/peternakan.v7i1.2443>.
- World Association of Veterinary Anatomists. International Committee on Veterinary Gross Anatomical Nomenclature. (2005). *Nomina Anatomica Veterinaria* (5th ed.). Editorial Committee, Hannover, Columbia. https://www.wava-amav.org/downloads/nav_2005.pdf.
- Yang, G., Xu, X., Song, L., Zhang, Q., Duan, Y., & Song, H. (2022). Automated measurement of dairy cows body size via 3D point cloud data analysis. *Computers and Electronics in Agriculture*, 199, 107218. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107218>.
- Yin, Z., Tao, W., Lu, L., Xianrui, Z., Zongjun, Y., Yuwei, W. (2026). Computer vision-based body measurement of cattle and pigs: A systematic review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 247, 111688. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2026.111688>.