

DOI: <https://doi.org/10.38035/rj.v8i6><https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Received: 7, Oktober 2026 | Revised: 11, Oktober 2026 | Accepted: 26, Oktober 2026

Variasi Fenotipik dan Keberulangan Sifat Semen pada Sapi Pejantan Limousin dan Simmental Terkait Umur, Musim, dan Frekuensi Ejakulasi

Heni Sri Maryati¹, Mudawamah Mudawamah², Sumartono Sumartono³

¹Program Pascasarjana Fakultas Peternakan, Universitas Islam Malang, Malang, Jawa Timur, Indonesia, 22202041003@unisma.ac.id

²Program Pascasarjana Fakultas Peternakan, Universitas Islam Malang, Malang, Jawa Timur, Indonesia, mudawamah@unisma.ac.id

³Program Pascasarjana Fakultas Peternakan, Universitas Islam Malang, Malang, Jawa Timur, Indonesia, sumartono@unisma.ac.id

Corresponding Author: 22202041003@unisma.ac.id¹

Abstract: Artificial insemination programmes depend on high-quality semen from superior bulls, yet integrated analyses that jointly consider age, season, and ejaculation frequency and relate them to trait repeatability remain scarce for Limousin and Simmental bulls under tropical conditions. This study analysed phenotypic variation and repeatability of semen traits and the effects of these factors. Secondary fresh-semen records of four bulls (two Limousin, two Simmental) from the Singosari National Artificial Insemination Centre, Indonesia, 2021–2024 (1,456 ejaculate records) were analysed for semen volume, sperm concentration, total sperm concentration, abnormality, and motility. Breed, age group, season, ejaculation frequency, and their interactions with breed were tested using a factorial linear mixed model with bull as a random effect, and repeatability was estimated as the intraclass correlation before and after adjustment. Age significantly affected volume, concentration, total concentration, and motility; season affected concentration, total concentration, and abnormality; ejaculation frequency had no significant main effect. Repeatability was moderate to high for sperm concentration (0.41 adjusted) but low for other traits. Limousin bulls produced higher volume, whereas Simmental bulls showed superior sperm quality. The novelty lies in integrating these factors with repeatability estimation, identifying sperm concentration as the most repeatable indicator for bull evaluation in tropical AI centres.

Keyword: bull semen, ejaculation frequency, Limousin, repeatability, Simmental

Abstrak: Swasembada daging sapi di Indonesia bergantung pada program inseminasi buatan yang didukung semen berkualitas dari pejantan unggul, tetapi analisis terintegrasi yang mempertimbangkan umur, musim, dan frekuensi ejakulasi sekaligus mengaitkannya dengan keberulangan sifat masih langka untuk pejantan Limousin dan Simmental pada kondisi tropis. Penelitian ini bertujuan menganalisis variasi fenotipik dan keberulangan sifat semen serta pengaruh ketiga faktor tersebut. Data sekunder semen segar empat pejantan (dua Limousin dan

dua Simmental) yang ditampung di Balai Besar Inseminasi Buatan Singosari pada 2021–2024 (1.456 catatan ejakulasi) dianalisis untuk volume semen, konsentrasi spermatozoa, konsentrasi total, abnormalitas, dan motilitas. Pengaruh tetap bangsa, kelompok umur, musim, frekuensi ejakulasi, dan interaksinya dengan bangsa diuji menggunakan model linear campuran faktorial dengan pejantan sebagai pengaruh acak, dan keberulangan diestimasi sebagai korelasi intrakelas sebelum dan sesudah penyesuaian. Umur berpengaruh nyata terhadap volume, konsentrasi, konsentrasi total, dan motilitas; musim berpengaruh terhadap konsentrasi, konsentrasi total, dan abnormalitas; frekuensi ejakulasi tidak berpengaruh nyata. Keberulangan konsentrasi spermatozoa tergolong sedang hingga tinggi (0,41 setelah penyesuaian), sedangkan sifat lain rendah. Pejantan Limousin unggul pada volume, sedangkan Simmental unggul pada kualitas spermatozoa. Kebaruan penelitian terletak pada integrasi ketiga faktor dengan estimasi keberulangan, yang menetapkan konsentrasi spermatozoa sebagai indikator paling berulang untuk evaluasi pejantan di balai inseminasi buatan tropis.

Kata Kunci: semen pejantan, frekuensi ejakulasi, Limousin, keberulangan, Simmental

PENDAHULUAN

Permintaan nasional daging sapi di Indonesia terus meningkat dan sebagian masih dipenuhi melalui impor, meskipun negara ini memiliki sumber daya lahan dan potensi ternak yang besar; volume impor daging sapi meningkat dari 167.129 ton pada tahun 2020 menjadi 238.434 ton pada tahun 2024 (BPS, 2024). Kesenjangan yang terus berlangsung antara produksi domestik dan konsumsi menegaskan perlunya peningkatan produktivitas sapi potong lokal, dan salah satu strategi utamanya adalah perbaikan mutu genetik melalui inseminasi buatan (IB) serta persilangan pejantan unggul dengan sapi lokal (Laurestabo et al., 2022). Pejantan unggul umumnya dipilih karena kualitas daging yang baik, pertumbuhan yang cepat, dan kemampuan beradaptasi terhadap lingkungan setempat (Hidayat et al., 2023).

Keberhasilan program IB sangat bergantung pada ketersediaan semen berkualitas tinggi dari pejantan yang secara genetik unggul. Karakteristik semen seperti volume, konsentrasi spermatozoa, motilitas, dan morfologi merupakan indikator utama kinerja reproduksi pejantan yang menentukan jumlah dosis semen beku yang dihasilkan per ejakulasi, dan karakteristik tersebut bervariasi menurut bangsa, umur, musim, dan manajemen penampungan (Zamuna et al., 2015). Variasi fenotipik total suatu sifat dapat diuraikan menjadi komponen genetik dan lingkungan (Dalton, 1980), dan variasi fenotipik sifat semen antarpejantan juga dilaporkan pada populasi sapi perah di Kenya (Achola et al., 2025). Untuk sifat yang diukur berulang seperti karakteristik semen, keberulangan (*repeatability*) menyatakan proporsi ragam fenotipik yang disebabkan oleh perbedaan permanen antarindividu. Nilai keberulangan menunjukkan seberapa konsisten seekor pejantan memproduksi pada berbagai penampungan dan seberapa andal sejumlah catatan yang terbatas mencerminkan kemampuan produksi yang sebenarnya (Suprpto et al., 2018), sementara kemajuan genetik yang dapat dicapai melalui seleksi pejantan sebagian dibatasi oleh keberulangan sifat yang diseleksi (Lasley, 1978).

Meskipun pengaruh tunggal umur, musim, dan frekuensi penampungan terhadap produksi semen telah diteliti pada berbagai bangsa, temuan yang dilaporkan masih tidak konsisten. Murphy et al. (2018) menemukan bahwa umur pejantan, nomor ejakulasi, dan musim seluruhnya memengaruhi produksi semen, sedangkan sejumlah penelitian di daerah tropis melaporkan pengaruh musim yang tidak nyata terhadap volume semen (Konenda et al., 2020; Suyadi et al., 2020). Sebagian besar penelitian terdahulu berfokus pada rata-rata kuantitas dan kualitas semen atau pada estimasi heritabilitas, sedangkan analisis terintegrasi yang secara bersamaan mempertimbangkan umur, musim, dan frekuensi ejakulasi serta mengaitkannya dengan keberulangan masih langka, terutama untuk pejantan Limousin dan Simmental yang dikelola pada kondisi IB tropis. Kelangkaan tersebut, bersama dengan ketidakkonsistenan

temuan terdahulu, membentuk *research gap* sekaligus kebaruan (*state of the art*) penelitian ini. Tujuan penelitian ini adalah (1) menganalisis pengaruh umur, musim, dan frekuensi ejakulasi terhadap variasi fenotipik volume dan kualitas semen; (2) mengestimasi keberulangan sifat-sifat tersebut sebelum dan sesudah penyesuaian terhadap ketiga faktor; dan (3) membandingkan variasi fenotipik dan keberulangan sifat semen antara pejantan Limousin dan Simmental.

METODE

Lokasi Penelitian dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder dari Sub-unit Produksi Semen dan Pengembangan Inseminasi Buatan, Balai Besar Inseminasi Buatan (BBIB) Singosari, Malang, Indonesia, yaitu unit pelaksana teknis di bawah Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan yang memelihara catatan berulang jangka panjang karakteristik semen pejantan. Dataset mencakup catatan produksi semen segar pejantan Limousin dan Simmental yang ditampung dari tahun 2021 hingga 2024. Izin penggunaan data sekunder diberikan oleh BBIB Singosari [nomor dan tanggal surat izin akan dilengkapi oleh penulis]. Karena penelitian ini menganalisis catatan produksi yang telah ada tanpa intervensi terhadap hewan hidup, persetujuan etik formal untuk percobaan hewan tidak diperlukan.

Hewan dan Rancangan Penelitian

Sebanyak 1.456 catatan ejakulasi dari empat pejantan (dua Limousin dan dua Simmental) dianalisis. Penelitian ini bersifat observasional dan non-eksperimental karena tidak ada perlakuan yang diberikan kepada pejantan; variabel diamati sebagaimana terjadi secara alami tanpa manipulasi maupun pengacakan perlakuan (Edmonds & Kennedy, 2017). Data mengikuti struktur faktorial $2 \times 2 \times 2 \times 2$ yang terdiri atas dua bangsa (Limousin dan Simmental), dua kelompok umur (2–4 dan 5–10 tahun), dua musim (kemarau dan hujan), serta dua frekuensi ejakulasi (satu dan dua kali penampungan per minggu). Karena penampungan tidak diacak, jumlah catatan per kombinasi faktor tidak sama dan sejumlah catatan berasal dari pejantan yang sama, data merupakan pengukuran berulang yang tersarang dalam pejantan, bukan percobaan faktorial yang seimbang. Jumlah catatan berbeda antarsifat: volume, konsentrasi spermatozoa, dan konsentrasi total masing-masing memiliki 1.456 catatan, abnormalitas 1.371 catatan, dan motilitas 929 catatan. Catatan yang tidak memiliki nilai untuk suatu sifat dikeluarkan dari analisis sifat tersebut.

Sifat yang Diukur

Variabel respons adalah kuantitas dan kualitas semen segar. Volume semen (mL) adalah cairan yang diperoleh dari satu ejakulasi; konsentrasi spermatozoa ($\times 10^6$ sel/mL) adalah jumlah spermatozoa per mililiter; konsentrasi total spermatozoa ($\times 10^6$) adalah perkiraan jumlah total spermatozoa per ejakulasi; abnormalitas spermatozoa (%) adalah persentase spermatozoa dengan cacat morfologis; dan motilitas (%) adalah persentase spermatozoa yang menunjukkan gerakan maju progresif.

Penampungan dan Evaluasi Semen

Semen ditampung dua kali seminggu menggunakan vagina buatan sesuai prosedur baku yang diterapkan di BBIB Singosari, dengan satu hingga dua ejakulasi per pejantan pada interval sekitar 15 menit. Sebelum penampungan, penunggang semu (*false mounting*) dilakukan tiga hingga lima kali untuk merangsang libido dan ereksi penuh. Evaluasi makroskopis (warna, pH, volume, konsistensi) dan evaluasi mikroskopis (motilitas individu dan abnormalitas) dilakukan di laboratorium segera setelah penampungan. Volume dibaca dari tabung penampung berskala, dan konsentrasi spermatozoa ditentukan secara fotometris setelah semen segar dicampur dengan larutan garam fisiologis. Motilitas dan abnormalitas morfologis dinilai menggunakan

penganalisis semen berbantuan komputer (Sperm Vision Analyzer IVOS II, IMV Technologies, Prancis) mengikuti prosedur spermatologi baku (Susilawati, 2011).

Analisis Statistik

Statistik deskriptif (jumlah pengamatan, rata-rata, simpangan baku, median, minimum, dan maksimum) dihitung untuk setiap sifat. Normalitas diperiksa menggunakan plot Q–Q dan uji Shapiro–Wilk, serta homogenitas ragam menggunakan uji Levene berbasis median, dengan asumsi dianggap terpenuhi pada $P > 0,05$. Karena data tidak seimbang dan diukur berulang pada pejantan, pengaruh bangsa, umur, musim, dan frekuensi ejakulasi dianalisis menggunakan model linear campuran faktorial. Bangsa, umur, musim, frekuensi ejakulasi, serta interaksi bangsa dengan umur, musim, dan frekuensi ditetapkan sebagai pengaruh tetap, dan pejantan individu yang tersarang dalam bangsa ditetapkan sebagai pengaruh acak. Perbandingan kelompok dinyatakan sebagai rata-rata marginal terestimasi yang disesuaikan terhadap jumlah catatan yang tidak seimbang dan faktor lainnya, dan perbandingan berpasangan dilakukan dengan uji Tukey pada taraf nyata 5%; rata-rata dengan superskrip berbeda dinyatakan berbeda nyata ($P < 0,05$). Seluruh analisis dilakukan menggunakan [perangkat lunak statistik dan versi, misalnya R versi 4.3.x dengan paket lme4, emmeans, dan car — akan dikonfirmasi oleh penulis], dan model linear campuran diduga dengan *restricted maximum likelihood* (REML). Signifikansi pengaruh tetap dinilai menggunakan uji Wald χ^2 .

Keberulangan (r) setiap sifat diestimasi sebagai koefisien korelasi intrakelas dari komponen ragam model linear campuran, yaitu rasio ragam antarpejantan terhadap jumlah ragam antarpejantan dan ragam sisa (dalam pejantan), baik sebelum maupun sesudah penyesuaian terhadap umur, musim, dan frekuensi ejakulasi. Keberulangan diklasifikasikan sebagai rendah ($< 0,20$), sedang ($0,20–0,40$), atau tinggi ($> 0,40$) sesuai konvensi yang umum digunakan dalam pemuliaan ternak (Lasley, 1978; Warmadewi et al., 2015). Karena hanya tersedia empat pejantan (dua per bangsa), galat baku dan selang kepercayaan yang andal untuk estimasi keberulangan tidak dapat diperoleh, sehingga estimasi dilaporkan sebagai nilai titik yang harus ditafsirkan dengan hati-hati.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi Data dan Volume Semen

Seluruh sifat semen menyimpang secara nyata dari sebaran normal (Shapiro–Wilk, $P < 0,001$) dan menunjukkan ragam yang heterogen antarkelompok (Levene, $P < 0,001$; Tabel 1), yang membenarkan penggunaan model linear campuran dengan pejantan individu sebagai pengaruh acak untuk mengakomodasi ketidakbebasan pengamatan berulang dan jumlah catatan yang tidak sama.

Tabel 1. Hasil uji normalitas (Shapiro–Wilk) dan homogenitas ragam (Levene) sifat semen pada pejantan Limousin dan Simmental

Sifat semen	n	Shapiro–Wilk W	P	Levene F	P	Sebaran
Volume (mL)	1.456	0,9840	$< 0,001$	9,0596	$< 0,001$	Tidak normal
Konsentrasi ($\times 10^6/\text{mL}$)	1.456	0,9815	$< 0,001$	10,1942	$< 0,001$	Tidak normal
Konsentrasi total ($\times 10^6$)	1.456	0,9726	$< 0,001$	4,3017	$< 0,001$	Tidak normal
Abnormalitas (%)	1.371	0,7981	$< 0,001$	5,7830	$< 0,001$	Tidak normal
Motilitas (%)	929	0,8828	$< 0,001$	4,0903	$< 0,001$	Tidak normal

Sumber: data BBIB Singosari 2021–2024, diolah. n = jumlah catatan; W = statistik Shapiro–Wilk; F = statistik Levene berbasis median. Seluruh sifat menyimpang dari normalitas dan menunjukkan ragam heterogen ($P < 0,001$), yang membenarkan penggunaan model linear campuran.

Bangsa dan umur berpengaruh nyata terhadap volume semen ($P < 0,05$), sedangkan musim dan frekuensi ejakulasi tidak (Tabel 3). Pejantan Limousin menghasilkan rata-rata volume semen yang lebih tinggi ($5,68 \pm 1,64$ mL) dibandingkan pejantan Simmental ($4,99 \pm$

1,36 mL), dan pejantan muda berumur 2–4 tahun menghasilkan volume yang lebih besar ($5,70 \pm 1,94$ mL) dibandingkan pejantan berumur 5–10 tahun ($5,19 \pm 1,32$ mL) (Tabel 2). Tidak ada interaksi bangsa dengan umur, musim, atau frekuensi yang mencapai taraf nyata ($P > 0,05$).

Tabel 2. Rata-rata ($\pm$ SD) sifat semen pejantan Limousin dan Simmental menurut bangsa, umur, musim, dan frekuensi ejakulasi

Faktor	Kelompok	Volume (mL)	Konsentrasi ($\times 10^6$ /mL)	Konsentrasi total ($\times 10^6$)	Abnormalitas (%)	Motilitas (%)
Bangsa	Limousin	$5,68 \pm 1,64^a$	$832,44 \pm 346,27^b$	$4.853,17 \pm 2.701,17^b$	$8,72 \pm 6,11^a$	$61,33 \pm 15,38^b$
	Simmental	$4,99 \pm 1,36^b$	$1.378,72 \pm 401,23^a$	$6.948,94 \pm 2.883,82^a$	$6,54 \pm 3,61^b$	$66,31 \pm 12,82^a$
Umur	2–4 tahun	$5,70 \pm 1,94^a$	$1.085,90 \pm 479,41^b$	$6.351,24 \pm 3.668,52^a$	$8,90 \pm 5,81$	$64,71 \pm 14,54^a$
	5–10 tahun	$5,19 \pm 1,32^b$	$1.117,78 \pm 457,42^a$	$5.734,73 \pm 2.396,52^b$	$7,12 \pm 4,73$	$63,39 \pm 14,11^b$
Musim	Hujan	$5,30 \pm 1,51$	$1.145,51 \pm 469,52^a$	$6.083,79 \pm 2.863,24^a$	$6,83 \pm 3,93^b$	$64,53 \pm 13,95$
	Kemarau	$5,39 \pm 1,58$	$1.053,61 \pm 450,28^b$	$5.657,64 \pm 2.811,38^b$	$8,72 \pm 5,97^a$	$62,99 \pm 14,93$
Frekuensi	1×/minggu	$5,36 \pm 1,85$	$1.059,65 \pm 433,38$	$5.665,19 \pm 2.907,49$	$7,96 \pm 5,87$	$62,12 \pm 15,37$
	2×/minggu	$5,33 \pm 1,50$	$1.114,33 \pm 467,18$	$5.941,62 \pm 2.844,42$	$7,58 \pm 4,96$	$64,07 \pm 14,15$

Sumber: data BBIB Singosari 2021–2024, diolah. Rata-rata dalam faktor yang sama dengan superskrip berbeda (a, b) pada kolom yang sama berbeda nyata ($P < 0,05$). Tanpa superskrip menunjukkan pengaruh faktor tidak nyata untuk sifat tersebut. SD = simpangan baku.

Volume semen yang lebih tinggi pada pejantan Limousin konsisten dengan Zamuna et al. (2015), yang melaporkan volume semen tertinggi pada Limousin di antara beberapa bangsa sapi potong. Pengaruh umur mencerminkan perubahan fungsi organ reproduksi selama pertumbuhan, pematangan seksual, dan penuaan; pada pejantan muda, testis dan kelenjar aksesoris masih berkembang menuju kapasitas produksi optimal, setelah itu produksi dapat menurun. Pola ini tidak selalu linear dan dapat berbeda menurut bangsa, individu, dan manajemen. Rostellato et al. (2021) mengamati bahwa produksi semen harian pejantan Piemontese mencapai puncak setelah umur tiga tahun, sementara Murphy et al. (2018) melaporkan pengaruh umur terhadap volume, konsentrasi, dan total produksi spermatozoa pada pejantan Holstein Friesian. Hasil penelitian ini berbeda dengan Isnaini et al. (2019), yang menemukan bahwa volume semen pejantan Limousin dan Simmental cenderung meningkat pada hewan yang lebih tua; ketidaksesuaian tersebut diduga berasal dari perbedaan pengelompokan umur, jumlah pejantan, kondisi pemeliharaan, dan periode pencatatan.

Tidak adanya pengaruh musim yang nyata terhadap volume ($5,30 \pm 1,51$ mL pada musim hujan versus $5,39 \pm 1,58$ mL pada musim kemarau) sejalan dengan Konenda et al. (2020) untuk pejantan Limousin pada kondisi tropis dan dengan Suyadi et al. (2020) pada sapi Peranakan Ongole di balai yang sama, tetapi berbeda dengan Snoj et al. (2013), yang mendeteksi pengaruh musim terhadap volume dan jumlah total spermatozoa pada beberapa bangsa *Bos taurus* dalam penelitian beriklim sedang; pengaruh tersebut bervariasi menurut lokasi, suhu, fotoperiode, dan bangsa. Frekuensi ejakulasi juga tidak berpengaruh nyata terhadap volume, berbeda dengan Murphy et al. (2018), yang menemukan ejakulasi pertama sekitar 15% lebih besar daripada ejakulasi kedua yang berurutan; perbedaan ini berkaitan dengan interval penampungan dan periode istirahat seksual yang tidak terkendali dalam catatan retrospektif yang dianalisis di sini.

Sifat Kualitas Semen

Bangsa berpengaruh nyata terhadap seluruh sifat kualitas ($P < 0,001$). Berlawanan dengan pola volume, pejantan Simmental menunjukkan konsentrasi spermatozoa ($1.378,72 \pm$

401,23 $\times 10^6$ /mL), konsentrasi total (6.948,94 $\pm$ 2.883,82 $\times 10^6$), dan motilitas (66,31 $\pm$ 12,82%) yang lebih tinggi dengan abnormalitas yang lebih rendah (6,54 $\pm$ 3,61%) dibandingkan pejantan Limousin (Tabel 2). Umur berpengaruh nyata terhadap konsentrasi spermatozoa, konsentrasi total, dan motilitas ($P < 0,001$) tetapi tidak terhadap abnormalitas ($P = 0,070$), sedangkan musim berpengaruh nyata terhadap konsentrasi dan abnormalitas ($P < 0,001$) serta konsentrasi total ($P = 0,005$) tetapi tidak terhadap motilitas ($P = 0,059$) (Tabel 3). Frekuensi ejakulasi tidak menunjukkan pengaruh utama yang nyata terhadap sifat kualitas mana pun, meskipun interaksi bangsa $\times$ frekuensi (konsentrasi, $P = 0,025$), bangsa $\times$ musim (abnormalitas, $P = 0,006$), dan bangsa $\times$ umur (motilitas, $P < 0,001$) terdeteksi nyata.

Tabel 3. Hasil model linear campuran (Wald χ^2 dengan nilai P dalam tanda kurung) untuk pengaruh bangsa, umur, musim, frekuensi ejakulasi, dan interaksinya terhadap sifat semen

Sumber keragaman	df	Volume	Konsentrasi	Konsentrasi total	Abnormalitas	Motilitas
Bangsa	4	16,08 (0,003)**	31,05 ($<0,001$)**	23,39 ($<0,001$)**	21,64 ($<0,001$)**	20,12 ($<0,001$)**
Umur	2	8,29 (0,016)*	16,95 ($<0,001$)**	17,45 ($<0,001$)**	5,31 (0,070)	18,72 ($<0,001$)**
Musim	2	2,76 (0,252)	20,23 ($<0,001$)**	10,78 (0,005)**	47,70 ($<0,001$)**	5,67 (0,059)
Frekuensi ejakulasi	2	0,71 (0,702)	5,09 (0,078)	1,03 (0,597)	0,10 (0,949)	0,16 (0,925)
Bangsa $\times$ umur	1	1,66 (0,198)	1,30 (0,254)	0,003 (0,957)	0,80 (0,372)	18,68 ($<0,001$)**
Bangsa $\times$ musim	1	2,28 (0,131)	0,39 (0,532)	1,13 (0,288)	7,66 (0,006)**	1,26 (0,262)
Bangsa $\times$ frekuensi	1	0,71 (0,400)	5,06 (0,025)*	1,02 (0,312)	0,01 (0,906)	0,12 (0,731)

Sumber: data BBIB Singosari 2021–2024, diolah. Nilai adalah statistik Wald χ^2 dengan nilai P dalam tanda kurung. df = derajat bebas uji pengaruh tetap. $P < 0,05$; $P < 0,01$. Abnormalitas memiliki 1.371 catatan dan motilitas 929 catatan; sifat lainnya memiliki 1.456 catatan

Konsentrasi spermatozoa yang lebih tinggi dan abnormalitas yang lebih rendah pada pejantan Simmental sesuai dengan laporan bahwa bangsa ini mempertahankan kualitas semen yang baik pada berbagai kondisi (Fuerst-Waltl et al., 2006; Nyuwita et al., 2015). Pengaruh umur yang nyata terhadap konsentrasi, konsentrasi total, dan motilitas sejalan dengan pemahaman bahwa kapasitas spermatogenik dan kualitas spermatozoa berubah seiring pematangan dan penuaan pejantan (Brito et al., 2002; Dewi et al., 2012; Yanuarista et al., 2022), yang juga dikaitkan dengan perubahan komposisi lipid dan antioksidan spermatozoa serta plasma seminalis sepanjang masa reproduksi (Kelso et al., 1997). Pengaruh musim yang jelas terhadap abnormalitas, dengan abnormalitas yang lebih tinggi pada musim kemarau, konsisten dengan penelitian tropis yang mengaitkan fluktuasi musiman dengan cekaman panas (Aisah et al., 2017; Bebas et al., 2021), dan Hapsari et al. (2022) melaporkan pengaruh musim yang serupa terhadap kualitas semen pejantan Limousin dan Simmental di Indonesia. Balić et al. (2012) lebih lanjut menunjukkan bahwa faktor umur dan lingkungan secara bersama-sama memengaruhi kualitas semen dan status oksidatif pada pejantan Simmental.

Meskipun frekuensi ejakulasi tidak memberikan pengaruh utama yang nyata, interaksi yang nyata menunjukkan bahwa respons beberapa sifat kualitas terhadap faktor manajemen dan lingkungan tidak identik pada kedua bangsa. Tidak adanya pengaruh frekuensi yang konsisten berbeda dengan Taaffe et al. (2022), yang melaporkan bahwa peningkatan frekuensi penampungan meningkatkan produksi spermatozoa dan fertilitas lapangan pada pejantan sapi perah muda, serta penelitian lokal yang melaporkan pengaruh frekuensi terhadap kualitas semen segar (Seuk, 2018; Wijayanto et al., 2019). Perbedaan ini diduga disebabkan oleh interval penampungan dan periode istirahat seksual yang tidak terkendali dalam catatan ini, sehingga kategori satu dan dua kali seminggu tidak selalu mewakili keadaan fisiologis yang setara.

Keberulangan Sifat Semen

Keberulangan volume semen secara gabungan tergolong rendah, menurun dari 0,043 menjadi 0,030 setelah penyesuaian terhadap umur, musim, dan frekuensi (Tabel 4). Penurunan ini menunjukkan bahwa sebagian variasi volume berkaitan dengan ketiga faktor tersebut, tetapi estimasi yang rendah menandakan bahwa sebagian besar variasi berasal dari fluktuasi sementara dalam pejantan, bukan dari perbedaan permanen antarpejantan, sehingga satu kali penampungan menjadi prediktor yang lemah bagi kemampuan produksi volume seekor pejantan. Sensitivitas lingkungan yang sebanding dan keberulangan sifat produksi semen yang sedang telah dilaporkan pada pejantan Holstein (Boujenane & Boussaïq, 2013; Mathevon et al., 1998) dan pejantan Peranakan Ongole (Sitanggang, 2018).

Tabel 4. Estimasi keberulangan sifat semen (gabungan pejantan) sebelum dan sesudah penyesuaian terhadap umur, musim, dan frekuensi ejakulasi

Sifat	n	Tidak disesuaikan	Disesuaikan	Kategori
Volume	1.456	0,043	0,030	Rendah
Konsentrasi	1.456	0,433	0,406	Sedang–tinggi
Konsentrasi total	1.456	0,247	0,196	Rendah
Abnormalitas	1.371	0,049	0,037	Rendah
Motilitas	929	0,161	0,163	Rendah

Sumber: data BBIB Singosari 2021–2024, diolah. Kategori berdasarkan keberulangan yang disesuaikan: rendah (<0,20), sedang (0,20–0,40), tinggi (>0,40).

Di antara sifat kualitas, konsentrasi spermatozoa menunjukkan keberulangan tertinggi (0,433 tanpa penyesuaian; 0,406 setelah penyesuaian) dan tergolong sedang hingga tinggi, sedangkan konsentrasi total (0,247 menjadi 0,196), abnormalitas (0,049 menjadi 0,037), dan motilitas (0,161 menjadi 0,163) tetap rendah (Tabel 4). Keberulangan konsentrasi spermatozoa yang sedang hingga tinggi menunjukkan bahwa sifat ini diukur dengan konsistensi yang lebih besar di seluruh penampungan dan mencerminkan proporsi perbedaan permanen antarpejantan yang lebih besar, sesuai dengan laporan bahwa sifat ini termasuk sifat produksi semen yang lebih berulang pada sapi dan kerbau (Nagai et al., 2022; Ramajayan et al., 2023). Dari sudut pandang terapan, konsentrasi spermatozoa dengan demikian merupakan indikator tunggal yang paling sesuai bagi kinerja pejantan yang konsisten, meskipun seleksi tetap harus mengintegrasikan volume, total produksi spermatozoa, abnormalitas, motilitas, dan nilai pemuliaan (Hartoyo et al., 2021; Mudawamah et al., 2021).

Tabel 5. Estimasi keberulangan sifat semen secara terpisah untuk pejantan Limousin dan Simmental

Sifat	Limousin	Kategori	Simmental	Kategori
Volume	0,001	Rendah	0,018	Rendah
Konsentrasi	0,101	Rendah	0,048	Rendah
Konsentrasi total	0,089	Rendah	0,079	Rendah
Abnormalitas	0,008	Rendah	<0,001	Rendah
Motilitas	0,156	Rendah	0,156	Rendah

Sumber: data BBIB Singosari 2021–2024, diolah. Estimasi harus ditafsirkan dengan hati-hati karena setiap bangsa hanya diwakili oleh dua pejantan.

Bangsa memengaruhi seluruh sifat secara nyata, tetapi arah keunggulannya berbeda antara kuantitas dan kualitas: pejantan Limousin lebih unggul pada volume, sedangkan pejantan Simmental lebih unggul pada konsentrasi, konsentrasi total, dan motilitas dengan abnormalitas yang lebih rendah, sehingga tidak ada satu bangsa pun yang secara seragam superior. Ketika keberulangan diestimasi secara terpisah untuk setiap bangsa, seluruh estimasi tergolong rendah (Tabel 5). Perbedaan antarbangsa ini bersifat deskriptif dan harus ditafsirkan dengan hati-hati karena setiap bangsa hanya diwakili oleh dua pejantan; dengan jumlah pejantan yang sangat terbatas, estimasi komponen ragam antarpejantan dan keberulangan menjadi tidak presisi dan

tidak dapat digeneralisasi ke populasi yang lebih luas, serta bangsa dan individu pejantan sebagian terbaaur (*confounded*).

Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada analisis terintegrasi yang secara bersamaan menguji umur, musim, dan frekuensi ejakulasi dalam satu model linear campuran pada data berulang yang tidak seimbang, kemudian mengaitkannya dengan estimasi keberulangan sebelum dan sesudah penyesuaian pada pejantan Limousin dan Simmental di balai IB tropis. Pendekatan ini menghasilkan dua temuan utama yang belum dilaporkan secara bersama pada kedua bangsa tersebut di Indonesia: umur merupakan sumber variasi fenotipik yang paling konsisten, dan konsentrasi spermatozoa merupakan satu-satunya sifat dengan keberulangan sedang hingga tinggi, sehingga paling layak dijadikan indikator praktis konsistensi kemampuan produksi pejantan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Umur merupakan sumber variasi fenotipik yang paling konsisten pada sifat semen pejantan Limousin dan Simmental, berpengaruh nyata terhadap volume, konsentrasi spermatozoa, konsentrasi total, dan motilitas, sedangkan musim berpengaruh nyata terhadap konsentrasi, konsentrasi total, dan abnormalitas, dan frekuensi ejakulasi tidak memiliki pengaruh utama yang nyata. Konsentrasi spermatozoa merupakan sifat yang paling berulang (sedang hingga tinggi, 0,41 setelah penyesuaian), sementara sifat lain menunjukkan keberulangan yang rendah; pejantan Limousin lebih unggul pada volume dan pejantan Simmental pada sifat kualitas semen. Temuan ini mengisyaratkan bahwa kinerja pejantan di balai IB tropis sebaiknya dievaluasi dari penampungan berulang dan bukan penampungan tunggal, penjadwalan penampungan dapat mempertimbangkan umur pejantan, dan konsentrasi spermatozoa dapat menjadi indikator praktis kemampuan produksi yang konsisten, meskipun perbandingan bangsa harus ditafsirkan dengan hati-hati mengingat jumlah pejantan yang diamati sedikit.

Keterbatasan

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, hanya empat pejantan (dua per bangsa) yang tersedia, sehingga estimasi komponen ragam antarpejantan dan keberulangan tidak presisi, bangsa dan individu pejantan sebagian terbaaur, dan selang kepercayaan yang andal tidak dapat diperoleh. Kedua, data bersifat retrospektif sehingga interval penampungan dan periode istirahat seksual tidak terkendali, dan kategori frekuensi ejakulasi tidak selalu mewakili keadaan fisiologis yang setara. Ketiga, faktor nutrisi, status kesehatan, suhu dan kelembapan lingkungan, serta kualitas semen pascapencairan tidak tercakup dalam catatan yang dianalisis. Oleh karena itu, hasil penelitian ini perlu ditafsirkan sesuai dengan ruang lingkup data BBIB Singosari periode 2021–2024.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan melibatkan jumlah pejantan yang lebih banyak dari setiap bangsa dan periode pencatatan yang lebih panjang agar estimasi keberulangan lebih stabil dan dapat digeneralisasi, serta memasukkan kovariat nutrisi, status kesehatan, suhu dan kelembapan, interval antarpemampungan, dan kualitas semen pascapencairan. Secara praktis, balai IB disarankan mengevaluasi pejantan berdasarkan rata-rata beberapa pemampungan, menjadikan konsentrasi spermatozoa sebagai indikator utama konsistensi produksi, dan mempertimbangkan umur pejantan dalam penjadwalan pemampungan.

Kontribusi Author

Seluruh penulis berkontribusi secara signifikan terhadap penelitian ini. Heni Sri Maryati berkontribusi pada konseptualisasi, pengumpulan dan analisis data, serta penulisan naskah;

Mudawamah berkontribusi pada penyusunan kerangka teori, metodologi, dan revisi ilmiah; Sumartono berkontribusi pada interpretasi hasil, supervisi, dan penyuntingan naskah. Seluruh penulis menyatakan telah membaca dan menyetujui versi final artikel.

Pernyataan Pengungkapan AI

Para penulis menyatakan bahwa alat kecerdasan buatan (AI) generatif, yaitu ChatGPT, digunakan secara eksklusif untuk penyuntingan bahasa dan perbaikan tata bahasa. Penggunaan AI tersebut tidak memengaruhi isi ilmiah, desain penelitian, analisis data, interpretasi data, hasil penelitian, maupun kesimpulan dalam manuskrip ini. Seluruh tanggung jawab atas isi manuskrip tetap berada pada para penulis.

Konflik Kepentingan

Para penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan berupa hubungan finansial, pribadi, atau lainnya dengan orang atau organisasi lain yang terkait dengan materi yang dibahas dalam naskah ini.

Acknowledgment

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Besar Inseminasi Buatan (BBIB) Singosari, Malang, atas akses terhadap catatan produksi semen yang digunakan dalam penelitian ini, serta kepada Program Pascasarjana, Fakultas Peternakan, Universitas Islam Malang, atas dukungan akademik. Penelitian ini tidak menerima hibah khusus dari lembaga pendanaan mana pun di sektor publik, komersial, maupun nirlaba.

REFERENSI

- Achola, D. O., Kios, D., Barasa, K. W., & Wasike, C. B. (2025). Phenotypic variation in semen traits of dairy cattle populations in Kenya. *Tanzania Journal of Agricultural Sciences*, 24(1), 18–24.
- Aisah, S., Isnaini, N., & Wahyuningsih, S. (2017). Kualitas semen segar dan recovery rate sapi Bali pada musim yang berbeda. *Jurnal Ilmu-Ilmu Peternakan*, 27(1), 63–79.
- Balić, I. M., Milinković-Tur, S., Samardžija, M., & Vince, S. (2012). Effect of age and environmental factors on semen quality, glutathione peroxidase activity and oxidative parameters in Simmental bulls. *Theriogenology*, 78(2), 423–431. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2012.02.022>
- Bebas, W., Gorda, I. W., & Dada, K. A. (2021). Pengaruh musim hujan dan kemarau terhadap kualitas semen sapi Bali di Balai Inseminasi Buatan Baturiti, Tabanan, Bali. *Buletin Veteriner Udayana*, 13(1), 105–112.
- Boujenane, I., & Boussaïq, K. (2013). Environmental effects and repeatability estimates for sperm production and semen quality of Holstein bulls. *Archiv Tierzucht*, 56(1), 971–979. <https://doi.org/10.7482/0003-9438-56-098>
- BPS. (2024). *Impor daging sejenis lembu menurut negara asal utama, 2018–2023*. Badan Pusat Statistik. <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/1/MjAxMSMx/impor-daging-sejenis-lembu-menurut-negara-asal-utama--2018-2023.html>
- Brito, L. F., Silva, A. E., Rodrigues, L. H., Vieira, F. V., Deragon, L. A., & Kastelic, J. P. (2002). Effects of age and genetic group on characteristics of the scrotum, testes and testicular vascular cones, and on sperm production and semen quality in AI bulls in Brazil. *Theriogenology*, 58(6), 1175–1186. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(02\)00921-4](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(02)00921-4)
- Dalton, D. C. (1980). *An introduction to practical animal breeding*. Granada Publishing.
- Dewi, A. S., Ondho, Y. S., & Kurnianto, E. (2012). Kualitas semen berdasarkan umur pada sapi jantan Jawa. *Animal Agriculture Journal*, 1(2), 126–133.

- Edmonds, W. A., & Kennedy, T. D. (2017). *An applied guide to research designs: Quantitative, qualitative, and mixed methods* (2nd ed.). SAGE Publications.
- Fuerst-Waltl, B., Schwarzenbacher, H., Perner, C., & Sölkner, J. (2006). Effects of age and environmental factors on semen production and semen quality of Austrian Simmental bulls. *Animal Reproduction Science*, 95(1–2), 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2005.09.002>
- Hapsari, F. R., Samsudewa, D., Setiatin, E. T., Ondho, Y. S., Setiaji, A., Harsi, T., Irfan, I. Z., Syamsono, O., & Sukmawati, E. (2022). Seasonal effect on semen quality of Limousine and Simmental bulls. *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture*, 47(4), 340–345. <https://doi.org/10.14710/jitaa.47.4.340-345>
- Hartoyo, Y., Mudawamah, M., & Sumartono, S. (2021). Perbandingan kadar dan variasi fenotipe albumin induk beranak kembar dan tunggal pada domba Sapudi, Dormas, dan Suffas. *Ternak Tropika: Journal of Tropical Animal Production*, 22(2), 130–136. <https://doi.org/10.21776/ub.jtapro.2021.022.02.7>
- Hidayat, Z. M., Laksana, A. T., & Triska, A. (2023). Kajian matematis mengenai strategi pengembangbiakan sapi potong lokal guna meningkatkan kualitas daging sapi. *Diophantine Journal of Mathematics and Its Applications*, 2(1), 1–10.
- Isnaini, N., Wahjuningsih, S., Ma'ruf, A., & Witayanto, D. A. (2019). Effects of age and breed on semen quality of beef bull sires in an Indonesian artificial insemination center. *Livestock Research for Rural Development*, 31(5), Article 78. <https://www.lrrd.org/lrrd31/5/nurul31078.html>
- Kelso, K. A., Redpath, A., Noble, R. C., & Speake, B. K. (1997). Lipid and antioxidant changes in spermatozoa and seminal plasma throughout the reproductive period of bulls. *Journal of Reproduction and Fertility*, 109(1), 1–6.
- Konenda, M. T. K., Ondho, Y. S., Samsudewa, D., Herwijanti, E., Amaliya, A., & Setiawan, I. A. (2020). Seasonal variation and age-related changes in semen quality of Limousin bull at Indonesian artificial insemination center. *International Journal of Veterinary Science*, 9(4), 553–557.
- Lasley, J. F. (1978). *Genetics of livestock improvement* (3rd ed.). Prentice-Hall.
- Laurestabo, A. S., Poli, Z., Lomboan, A., Bujung, J. R., & Paath, J. F. (2022). Evaluasi hasil penerapan teknologi inseminasi buatan (IB) pada ternak sapi potong di Kecamatan Sangkub. *Zootec*, 42(1), 220–228.
- Mathevon, M., Buhr, M. M., & Dekkers, J. C. (1998). Environmental, management, and genetic factors affecting semen production in Holstein bulls. *Journal of Dairy Science*, 81(12), 3321–3330. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75898-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75898-9)
- Mudawamah, M., Ciptadi, G., & Retnaningtyas, I. D. (2021). Variasi yang melimpah, morfometri tubuh, dan nilai pembiakan kambing Etawah lokal Indonesia yang berbasis di Jawa Timur. *Animal Production*, 23(1), 54–61.
- Murphy, E. M., Kelly, A. K., O'Meara, C., Eivers, B., Lonergan, P., & Fair, S. (2018). Influence of bull age, ejaculate number, and season of collection on semen production and sperm motility parameters in Holstein Friesian bulls in a commercial artificial insemination centre. *Journal of Animal Science*, 96(6), 2408–2418. <https://doi.org/10.1093/jas/sky130>
- Nagai, R., Kinukawa, M., Watanabe, T., Ogino, A., Kurogi, K., Adachi, K., Satoh, M., & Uemoto, Y. (2022). Genomic dissection of repeatability considering additive and non-additive genetic effects for semen production traits in beef and dairy bulls. *Journal of Animal Science*, 100(9), skac241. <https://doi.org/10.1093/jas/skac241>
- Nyuwita, A., Susilawati, T., & Isnaini, N. (2015). Kualitas semen segar dan produksi semen beku sapi Simmental pada umur yang berbeda. *Ternak Tropika: Journal of Tropical Animal Production*, 16(1), 61–68.

- Ramajayan, P., Sivaselvam, S. N., Karthickeyan, S. M. K., Venkataramanan, R., & Gopinathan, A. (2023). Non-genetic effects and repeatability estimates of semen production traits in Murrah buffalo bulls. *Tropical Animal Health and Production*, 55(2), Article 73. <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03493-8>
- Rostellato, R., Bonfatti, V., Dias, V. A. D., Savoia, S., Spalenza, V., Albero, A., & Carnier, P. (2021). Estimates of non-genetic effects and genetic parameters for semen traits in Piemontese bulls. *Animal*, 15(8), 100302. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100302>
- Seuk, M. O. (2018). Pengaruh frekuensi penampungan terhadap kualitas spermatozoa sapi Bali. *Journal of Animal Science*, 3(4), 51–53.
- Sitanggang, G. (2018). Pengaruh lingkungan dan nilai ripitabilitas pada kualitas semen sapi Peranakan Ongole jantan. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 23(2), 88–92.
- Snoj, T., Kobal, S., & Majdič, G. (2013). Effects of season, age, and breed on semen characteristics in different Bos taurus breeds in a 31-year retrospective study. *Theriogenology*, 79(5), 847–852. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2012.12.014>
- Suprptono, S., Rahmat, D., & Hilmia, N. (2018). Evaluasi produktivitas semen dan nilai ripitabilitasnya pada pejantan sapi Friesian Holstein (FH) di Balai Inseminasi Buatan Lembang. *JANHUS: Journal of Animal Husbandry Science*, 3(1), 43–51.
- Susilawati, T. (2011). *Spermatologi*. UB Press.
- Suyadi, S., Purwantara, B., Furqon, A., Septian, W. A., Novianti, I., Nursita, I. W., Nugraha, C. D., Putri, R. F., Pratiwi, H., & Herwiyati, E. (2020). Effect of bull age and season on sperm motility, sperm concentration and ejaculate volume of Ongole Grade cattle at Singosari National Artificial Insemination Center. *Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture*, 45(4), 261–267.
- Taaffe, P., O'Meara, C. M., Stiavnicka, M., Byrne, C. J., Eivers, B., Lonergan, P., & Fair, S. (2022). Increasing the ejaculate collection frequency of young dairy bulls increases sperm output and field fertility. *Theriogenology*, 182, 45–52.
- Warmadewi, D. A., Oka, I. G. L., Sarini, N. P., Ardika, I. N., & Dewantari, M. (2015). *Bahan ajar ilmu pemuliaan ternak*. Universitas Udayana.
- Wijayanto, F. S., Ondho, Y. S., & Setiatin, E. T. (2019). Pengaruh frekuensi penampungan terhadap kualitas semen segar sapi PO Kebumen yang dievaluasi secara makroskopis dan mikroskopis. *Agromedia: Berkala Ilmiah Ilmu-Ilmu Pertanian*, 37(2), 26–33.
- Yanuarista, W., Setiatin, E. T., & Samsudewa, D. (2022). Pengaruh umur pejantan sapi Simmental terhadap tingkah laku reproduksi, kualitas semen segar dan jumlah produksi semen beku. *Livestock and Animal Research*, 20(1), 38–47.
- Zamuna, K. K., Susilawati, T., Ciptadi, G., & Marjuki, M. (2015). Perbedaan kualitas semen dan produksi semen beku pada berbagai rumpun sapi potong. *Ternak Tropika: Journal of Tropical Animal Production*, 16(2), 1–6.