

Effect of Bull Age on Fresh Semen Quality of Pasundan Cattle in Ciamis**Pengaruh Umur Pejantan terhadap Kualitas Semen Segar Sapi Pasundan di Ciamis****Sahrul Nurohman, Dwi Wijayanti*, Novia Rahayu***Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Universitas Perjuangan Tasikmalaya, Jalan Pembela Tanah Air No. 177, Kahuripan, Tawang, Tasikmalaya, West Java 46115, Indonesia.***Corresponding E-mail : wijayantidwi12@gmail.com***ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan mendeskripsikan kualitas semen segar pada tiga pejantan sapi Pasundan berumur 3, 5, dan 6 tahun di UPTD Balai Perbibitan dan Pengembangan Inseminasi Buatan Ternak Sapi Potong Ciamis. Penelitian menggunakan pendekatan observasional kuantitatif dengan data sekunder produksi semen periode September sampai November 2025. Tiga pejantan, masing-masing mewakili satu umur, memiliki sembilan catatan ejakulat sehingga diperoleh 27 catatan pengamatan. Parameter yang dianalisis meliputi volume semen, motilitas spermatozoa, dan konsentrasi spermatozoa. Karena setiap umur hanya diwakili oleh satu pejantan dan sembilan ejakulat merupakan pengukuran berulang pada individu yang sama, data dianalisis secara deskriptif menggunakan rata-rata dan simpangan baku. Rata-rata volume semen pada umur 3, 5, dan 6 tahun berturut-turut sebesar $5,79 \pm 1,23$; $5,61 \pm 1,92$; dan $10,29 \pm 2,11$ ml. Rata-rata konsentrasi spermatozoa masing-masing sebesar $1.261,56 \pm 180,55$; $1.298,33 \pm 207,63$; dan $1.025,56 \pm 233,47 \times 10^6/\text{ml}$, sedangkan motilitas sebesar $74,93 \pm 5,52\%$; $72,58 \pm 4,90\%$; dan $74,40 \pm 6,80\%$. Secara deskriptif, pejantan umur 6 tahun menunjukkan volume semen paling tinggi sekaligus konsentrasi paling rendah, sedangkan nilai motilitas ketiga pejantan berada pada kisaran yang berdekatan. Temuan ini menunjukkan bahwa umur dapat dipertimbangkan sebagai informasi pendukung dalam seleksi pejantan, tetapi interpretasinya harus dikombinasikan dengan parameter kualitas semen dan variasi individu karena efek umur tidak dapat dipisahkan dari identitas pejantan pada rancangan penelitian ini.

Kata Kunci: Konsentrasi spermatozoa, Motilitas spermatozoa, Sapi Pasundan, Semen segar, Umur pejantan.

ABSTRACT

This study aimed to describe fresh semen quality in three Pasundan bulls aged 3, 5, and 6 years at the Regional Technical Implementation Unit for Beef Cattle Breeding and Artificial Insemination Development, Ciamis. A quantitative observational approach was applied to secondary semen-production records collected from September to November 2025. Three bulls, each representing one age, contributed nine ejaculate records, yielding 27 observations. Semen volume, sperm motility, and sperm concentration were evaluated. Because each age was represented by only one bull and the nine ejaculates were repeated measurements from the same individual, the data were analyzed descriptively using means and standard

deviations. Mean semen volumes at 3, 5, and 6 years were 5.79 ± 1.23 , 5.61 ± 1.92 , and 10.29 ± 2.11 ml, respectively. Corresponding sperm concentrations were $1,261.56 \pm 180.55$, $1,298.33 \pm 207.63$, and $1,025.56 \pm 233.47 \times 10^6/\text{ml}$, while motility values were $74.93 \pm 5.52\%$, $72.58 \pm 4.90\%$, and $74.40 \pm 6.80\%$. Descriptively, the 6-year-old bull showed the greatest semen volume and the lowest sperm concentration, whereas motility values were similar in magnitude among the three bulls. These findings indicate that age may serve as supporting information in bull selection, but it should be interpreted together with semen-quality traits and individual variation because age effects cannot be separated from bull identity in the present design.

Keywords: Bull age, Fresh semen, Pasundan cattle, Sperm concentration, Sperm motility.

PENDAHULUAN

Sapi Pasundan merupakan sumber daya genetik sapi potong lokal Indonesia yang pemanfaatan reproduksinya penting untuk mempertahankan keragaman genetik sekaligus mendukung produktivitas. Pemanfaatan sapi lokal secara berkelanjutan memerlukan keputusan pemuliaan yang mampu mempertahankan sifat adaptif dan mengendalikan erosi genetik (Widyas dkk., 2022). Inseminasi buatan merupakan salah satu cara yang efisien untuk menyebarkan materi genetik pejantan terpilih (Santoso dkk., 2021). UPTD Balai Perbibitan dan Pengembangan Inseminasi Buatan Ternak Sapi Potong Ciamis merupakan lokasi yang relevan untuk kajian ini karena unit tersebut melaksanakan penampungan dan evaluasi semen sapi Pasundan secara rutin. Penelitian pada unit yang sama menunjukkan bahwa karakteristik semen segar sapi Pasundan dapat bervariasi akibat faktor biologis dan manajemen, sehingga data spesifik lokasi penting untuk menggambarkan kondisi

produksi semen di Ciamis (Susandani dkk., 2021; Baharun dkk., 2023a).

Kualitas semen segar bersifat multidimensional. Volume menggambarkan jumlah ejakulat dan kontribusi sekresi kelenjar aksesori, konsentrasi menunjukkan kepadatan spermatozoa per satuan volume, sedangkan motilitas menggambarkan proporsi spermatozoa yang mampu bergerak (Ribas-Maynou dkk., 2023). Ketiga parameter tersebut perlu dipertimbangkan secara bersama karena satu parameter saja tidak cukup untuk menggambarkan potensi reproduksi pejantan. Pendekatan evaluasi yang menggabungkan karakteristik semen konvensional, penanda plasma semen, analisis multivariat, dan informasi fertilitas lapangan memberikan gambaran yang lebih komprehensif dibandingkan penilaian berdasarkan satu indikator saja (Pardede dkk., 2021; Iskandar dkk., 2022; Silva dkk., 2023; Azevedo dkk., 2024).

Umur pejantan merupakan salah satu faktor biologis yang dapat memengaruhi

produksi semen, meskipun pengaruhnya tidak selalu bersifat linear dan tidak selalu muncul pada seluruh parameter semen. Selama proses kematangan seksual, pertumbuhan testis, aktivitas endokrin, fungsi epididimis, dan perkembangan kelenjar aksesori terus mengalami perubahan. Karakteristik semen dapat meningkat sejak masa pubertas menuju dewasa reproduktif dan dapat menurun pada umur yang lebih lanjut, tetapi titik perubahan tersebut berbeda antarbangsa, antarindividu, dan lingkungan pemeliharaan (Baharun dkk., 2021; Westfalewicz dkk., 2021; Abah dkk., 2023). Kajian molekuler pada sapi Simmental dan Bali menunjukkan bahwa protein spermatozoa serta penanda yang berkaitan dengan fertilitas dapat dianalisis bersama umur dan parameter semen konvensional, sehingga interpretasi tidak hanya terbatas pada pengukuran makroskopis rutin (Fatmila dkk., 2024; Satrio dkk., 2024). Penelitian terbaru pada sapi Brahman juga menunjukkan bahwa umur dan perkembangan skrotum dapat berinteraksi dengan morfologi spermatozoa, sehingga umur perlu diinterpretasikan bersama karakteristik reproduksi lainnya (Sevilla dkk., 2025).

Pengaruh umur terhadap kualitas semen juga dapat dipengaruhi oleh faktor manajemen. Frekuensi penampungan dapat mengubah jumlah semen dan keluaran spermatozoa pada pejantan muda, sedangkan penampungan berulang dapat mempengaruhi karakteristik semen dan respons fisiologis

terhadap proses koleksi (Brillianti dkk., 2021; Kowalczyk dkk., 2021; Taaffe dkk., 2022). Beban panas juga merupakan sumber variasi penting karena suhu lingkungan yang tinggi dapat mengganggu spermatogenesis dan kompetensi spermatozoa (Capela dkk., 2022). Teknik penampungan juga dapat mempengaruhi respons ejakulasi dan karakteristik semen, sebagaimana ditunjukkan pada kelompok bovina yang menggunakan vagina buatan dan metode elektroejakulasi (Nadaf dkk., 2022). Oleh karena itu, hubungan antara umur dan kualitas semen sebaiknya dipahami sebagai pola biologis yang berada dalam konteks kondisi manajemen, bukan sebagai hubungan numerik yang berdiri sendiri.

Pemanfaatan lebih awal pejantan yang memiliki potensi genetik tinggi juga meningkatkan perhatian terhadap kematangan semen. Sebagian ejakulat dari pejantan muda pada awalnya belum memenuhi ambang pemrosesan komersial, tetapi kualitas semen dapat membaik seiring kematangan sistem reproduksi atau melalui optimalisasi proses laboratorium (Hurri dkk., 2022; Lima-Verde dkk., 2022; Bremer dkk., 2023). Pada saat yang sama, karakteristik semen memiliki komponen genetik yang dapat diteliti melalui gen kandidat, proteomik, dan pemodelan prediktif. Hal ini menegaskan adanya variasi antar pejantan yang cukup besar meskipun berada pada umur yang serupa (Ambike dkk., 2022; Modiba dkk., 2022; Ashwitha dkk.,

2023; Hürland dkk., 2023; Khan dkk., 2024). Variasi individu tersebut sangat penting dipertimbangkan ketika catatan produksi rutin digunakan untuk membandingkan kelompok umur.

Hasil penelitian pada berbagai bangsa sapi di Indonesia menunjukkan bahwa hubungan umur dengan karakteristik semen tidak selalu mengikuti pola yang sama. Kualitas semen pada sapi Bali, Pasundan, Limousin, dan Aceh berbeda menurut bangsa, individu, serta kondisi pengelolaan unit pembibitan (Iskandar dkk., 2022; Baharun dkk., 2023a; Baharun dkk., 2023b; Sophian dkk., 2025). Oleh karena itu, data lokal diperlukan untuk menggambarkan profil semen pejantan Pasundan pada umur berbeda tanpa mengasumsikan bahwa umur merupakan satu-satunya penyebab variasi. Penelitian ini menggunakan catatan produksi semen rutin dari tiga pejantan sapi Pasundan berumur 3, 5, dan 6 tahun di UPTD BPPIBT Sapi Potong Ciamis. Tujuan penelitian adalah mendeskripsikan dan membandingkan secara deskriptif volume semen, motilitas spermatozoa, dan konsentrasi spermatozoa pada ketiga pejantan tersebut. Karena setiap umur hanya diwakili oleh satu pejantan, hasil penelitian ditafsirkan sebagai profil individu pada umur masing-masing dan bukan sebagai estimasi kausal pengaruh umur.

MATERI DAN METODE

Penelitian dilaksanakan sebagai penelitian observasional kuantitatif yang

bersifat komparatif dengan menggunakan data sekunder dari UPTD Balai Perbibitan dan Pengembangan Inseminasi Buatan Ternak Sapi Potong Ciamis, Cijeungjing, Kabupaten Ciamis, Jawa Barat, Indonesia. Data produksi semen yang dianalisis berasal dari periode September sampai November 2025, sedangkan kegiatan akses data, verifikasi, dan observasi lapangan dilaksanakan pada Maret sampai April 2026. Data tersebut dihasilkan melalui prosedur rutin penampungan semen dan evaluasi semen segar yang berlaku di unit tersebut.

Penelitian melibatkan tiga pejantan sapi Pasundan. Wisesa dengan nomor eartag 252222 berumur 3 tahun, Mandala dengan nomor eartag 252021 berumur 5 tahun, dan Sastrawinata dengan nomor eartag 251920 berumur 6 tahun. Masing-masing pejantan memiliki sembilan catatan ejakulat sehingga total terdapat 27 catatan pengamatan. Variabel yang dianalisis adalah volume semen dalam mililiter, motilitas spermatozoa dalam persen, dan konsentrasi spermatozoa yang dinyatakan dalam 10^6 spermatozoa/ml. Satu pejantan merupakan unit biologis, sedangkan sembilan catatan ejakulat pada setiap pejantan merupakan pengukuran berulang dan tidak diperlakukan sebagai sembilan ulangan biologis yang independen. Data penelitian disalin dari catatan produksi laboratorium; karena itu, hanya parameter dan prosedur yang terdokumentasi dalam arsip yang dilaporkan

dan tidak dilakukan asumsi mengenai merek atau model peralatan yang tidak tercatat.

Ejakulat segar dievaluasi setelah penampungan sesuai dengan prosedur rutin laboratorium di unit tersebut. Volume semen ditentukan dengan membaca skala pada wadah penampungan terkalibrasi. Motilitas dicatat sebagai persentase spermatozoa motil berdasarkan pengamatan mikroskopis pada sistem evaluasi semen laboratorium, sedangkan konsentrasi dicatat sebagai jumlah spermatozoa per mililiter sesuai hasil pemeriksaan laboratorium yang tercantum dalam catatan produksi. Validasi data dilakukan melalui pencocokan antara catatan produksi, identitas pejantan, tanggal penampungan, dan parameter hasil pemeriksaan sebelum data di tabulasi untuk analisis. Karena penelitian menggunakan data sekunder, peneliti tidak mengubah prosedur penampungan maupun pemeriksaan. Detail teknis yang tidak tercantum dalam arsip, seperti merk alat, pembesaran mikroskop, atau metode kalibrasi instrumen, tidak direkonstruksi agar pelaporan tetap sesuai dengan bukti yang tersedia.

Analisis dilakukan secara deskriptif menggunakan IBM SPSS Statistics versi 27. Untuk setiap pejantan, sembilan catatan ejakulat diringkas sebagai rata-rata dan simpangan baku pada parameter volume, motilitas, dan konsentrasi. Uji ANOVA satu arah dan uji lanjut tidak digunakan untuk menarik inferensi mengenai pengaruh umur

karena masing-masing umur hanya diwakili oleh satu pejantan. Dengan rancangan tersebut, umur berimpit dengan identitas pejantan sehingga variasi antarumur tidak dapat dipisahkan dari variasi antarindividu. Oleh sebab itu, hasil disajikan sebagai perbandingan profil deskriptif ketiga pejantan dan tidak ditafsirkan sebagai bukti kausal bahwa umur menyebabkan perbedaan kualitas semen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian disajikan sebagai statistik deskriptif dari sembilan catatan ejakulat pada masing-masing pejantan. Karena satu pejantan mewakili satu umur, perbedaan nilai rata-rata antarumur sekaligus mencerminkan perbedaan antarindividu. Oleh karena itu, pembahasan berikut menekankan pola deskriptif volume, konsentrasi, dan motilitas tanpa menyatakan signifikansi statistik efek umur.

Volume Semen

Rataan volume semen pada pejantan umur 3, 5, dan 6 tahun masing-masing adalah $5,79 \pm 1,23$ ml; $5,61 \pm 1,92$ ml; dan $10,29 \pm 2,11$ ml. Secara deskriptif, pejantan umur 3 dan 5 tahun memiliki rata-rata volume yang hampir sama, sedangkan pejantan umur 6 tahun menghasilkan rata-rata volume sekitar dua kali lebih tinggi. Pola ini menggambarkan profil tiga individu yang diamati dan tidak dapat digunakan untuk menyimpulkan bahwa kenaikan umur secara langsung meningkatkan volume semen.

Tabel 1. Volume semen sapi Pasundan pada tiga kelompok umur pejantan.

Umur (tahun)	N	Volume (ml $\pm$ SD)
3	9	5,79 $\pm$ 1,23
5	9	5,61 $\pm$ 1,92
6	9	10,29 $\pm$ 2,11

Nilai disajikan sebagai rata-rata $\pm$ SD dari sembilan catatan ejakulat pada setiap pejantan. Setiap umur diwakili oleh satu pejantan, sehingga tabel menunjukkan profil deskriptif individu dan bukan ulangan biologis independen.

Rataan volume yang lebih tinggi pada pejantan umur 6 tahun dapat dikaitkan secara biologis dengan kematangan fungsi reproduksi dan kontribusi kelenjar aksesori yang dapat meningkat pada pejantan dewasa, tetapi pola tersebut tidak seragam antarbangsa maupun antarindividu (Baharun dkk., 2021; Abah dkk, 2023; Baharun dkk., 2023b). Pada data penelitian ini, pejantan umur 3 dan 5 tahun justru menunjukkan rata-rata volume yang hampir sama. Hal tersebut menegaskan bahwa umur bukan satu-satunya faktor yang berkaitan dengan volume semen. Faktor individu, kondisi fisiologis, frekuensi dan interval penampungan, serta respons pejantan terhadap koleksi juga dapat memengaruhi keluaran semen (Hurri dkk., 2022; Taaffe dkk 2022). Karena hanya satu pejantan tersedia pada setiap umur, kontribusi faktor umur dan faktor individu tidak dapat dipisahkan. Selain itu, volume yang lebih besar tidak otomatis menunjukkan kualitas semen yang lebih baik

karena peningkatan cairan plasma semen tidak selalu diikuti peningkatan jumlah spermatozoa. Oleh sebab itu, volume perlu dibaca bersama konsentrasi dan motilitas (Ribas-Maynou dkk., 2023; Azevedo dkk., 2024).

Konsentrasi Spermatozoa

Rataan konsentrasi spermatozoa pada pejantan umur 3, 5, dan 6 tahun masing-masing adalah 1.261,56 $\pm$ 180,55 $\times 10^6$ /ml; 1.298,33 $\pm$ 207,63 $\times 10^6$ /ml; dan 1.025,56 $\pm$ 233,47 $\times 10^6$ /ml. Secara deskriptif, pejantan umur 3 dan 5 tahun memiliki konsentrasi yang berdekatan, sedangkan pejantan umur 6 tahun menunjukkan rata-rata konsentrasi lebih rendah. Dengan demikian, data tidak menunjukkan pola penurunan konsentrasi yang konsisten dari umur 3 ke 6 tahun; perbedaan terutama tampak pada individu umur 6 tahun.

Tabel 2. Konsentrasi spermatozoa sapi Pasundan pada tiga kelompok umur pejantan.

Umur (tahun)	N	Konsentrasi (10^6 /ml $\pm$ SD)
3	9	1.261,56 $\pm$ 180,55
5	9	1.298,33 $\pm$ 207,63
6	9	1.025,56 $\pm$ 233,47

Nilai disajikan sebagai rata-rata $\pm$ SD dari sembilan catatan ejakulat pada setiap pejantan. Setiap umur diwakili oleh satu pejantan, sehingga tabel menunjukkan profil deskriptif

individu dan bukan ulangan biologis independen.

Pada pejantan umur 6 tahun, rataan volume tertinggi terjadi bersamaan dengan rataan konsentrasi terendah. Pola tersebut dapat menunjukkan bahwa peningkatan volume cairan semen tidak selalu diikuti peningkatan kepadatan spermatozoa.

Konsentrasi dipengaruhi oleh fungsi testis, proses spermatogenesis, penyimpanan spermatozoa di epididimis, frekuensi dan interval penampungan, komposisi plasma semen, serta faktor genetik individu (Kowalczyk dkk., 2021; Iskandar dkk., 2022; Modiba dkk., 2022). Namun, karena pejantan umur 3 dan 5 tahun memiliki nilai konsentrasi yang relatif berdekatan, hasil penelitian ini tidak mendukung interpretasi adanya perubahan konsentrasi yang linier berdasarkan umur. Variasi individu perlu mendapat perhatian, sebagaimana kajian proteomik menunjukkan adanya perbedaan molekuler yang besar antar pejantan maupun antar kategori umur (Westfalewicz dkk., 2021; Ashwitha dkk., 2023; Satrio dkk., 2024). Dengan demikian, profil konsentrasi pada penelitian ini lebih tepat dipahami sebagai hasil kombinasi umur, karakteristik individu, dan kondisi manajemen penampungan.

Motilitas Spermatozoa

Rataan motilitas spermatozoa pada pejantan umur 3, 5, dan 6 tahun masing-masing adalah $74,93 \pm 5,52\%$; $72,58 \pm 4,90\%$; dan $74,40 \pm 6,80\%$. Ketiga nilai

rataan berada pada kisaran yang berdekatan, dengan selisih numerik yang kecil. Secara deskriptif, data tersebut menunjukkan bahwa motilitas relatif serupa pada ketiga individu yang diamati meskipun umur dan profil volume serta konsentrasinya berbeda.

Tabel 3. Motilitas spermatozoa sapi Pasundan pada tiga kelompok umur pejantan.

Umur (tahun)	N	Motilitas (% $\pm$ SD)
3	9	$74,93 \pm 5,52$
5	9	$72,58 \pm 4,90$
6	9	$74,40 \pm 6,80$

Nilai disajikan sebagai rataan $\pm$ SD dari sembilan catatan ejakulat pada setiap pejantan. Nilai motilitas ketiga pejantan berada pada kisaran yang berdekatan; tidak dilakukan pengujian inferensial efek umur karena setiap umur hanya diwakili oleh satu pejantan.

Kemiripan rataan motilitas antar pejantan dapat terjadi karena motilitas tidak hanya ditentukan oleh umur. Spermatozoa dibentuk melalui spermatogenesis di testis, kemudian mengalami pematangan dan penyimpanan di epididimis sebelum diejakulasikan. Kualitas spermatozoa yang dilepaskan pada saat penampungan dipengaruhi oleh kondisi fisiologis pejantan, interval penampungan, lama penyimpanan di epididimis, serta proses penanganan semen setelah ejakulasi. Penampungan yang terlalu rapat atau perubahan interval koleksi dapat mengubah jumlah dan karakteristik spermatozoa yang tersedia pada ejakulat berikutnya (Kowalczyk dkk., 2021; Taaffe

dkk., 2022). Selain itu, suhu lingkungan, waktu penanganan, status oksidatif, dan prosedur pengolahan dapat mempengaruhi fungsi spermatozoa (Capela dkk., 2022; Lima-Verde dkk., 2022). Karena faktor-faktor tersebut bekerja bersamaan, pejantan dengan umur berbeda dapat memperlihatkan nilai motilitas yang serupa. Temuan ini juga mendukung pandangan bahwa motilitas perlu diinterpretasikan bersama parameter semen lain dan tidak digunakan secara tunggal untuk memperkirakan fertilitas (Hürland dkk., 2023; Khan dkk., 2024).

Secara keseluruhan, ketiga pejantan menunjukkan profil semen yang tidak bergerak dalam satu pola umur yang sederhana. Pejantan umur 6 tahun memiliki rata-rata volume paling tinggi sekaligus konsentrasi paling rendah, pejantan umur 3 dan 5 tahun memiliki volume yang berdekatan, sedangkan konsentrasi umur 3 dan 5 tahun juga relatif serupa. Motilitas ketiganya berada pada kisaran yang berdekatan. Pola tersebut konsisten dengan literatur yang menunjukkan bahwa karakteristik semen dapat berubah berbeda arah karena dipengaruhi oleh umur, bangsa, individu, fungsi reproduksi, dan manajemen (Santoso dkk., 2021; Iskandar dkk., 2022; Baharun dkk., 2023b; Sophian dkk., 2025). Keterbatasan utama penelitian ini adalah hanya satu pejantan yang mewakili setiap umur, sehingga umur sepenuhnya berimpit dengan identitas individu. Dengan demikian, data ini berguna untuk

menggambarkan profil tiga pejantan pada kondisi unit pembibitan Ciamis, tetapi belum cukup untuk menetapkan pola umum pengaruh umur. Penelitian berikutnya perlu melibatkan beberapa pejantan independen pada setiap strata umur dan menggunakan model pengukuran berulang atau model campuran yang memperlakukan pejantan sebagai efek acak.

KESIMPULAN

Pejantan umur 6 tahun menunjukkan volume semen paling tinggi sekaligus konsentrasi paling rendah, sedangkan nilai motilitas ketiga pejantan berada pada kisaran yang berdekatan. Temuan ini menunjukkan bahwa umur dapat dipertimbangkan sebagai informasi pendukung dalam seleksi pejantan, tetapi interpretasinya harus dikombinasikan dengan parameter kualitas semen dan variasi individu karena efek umur tidak dapat dipisahkan dari identitas pejantan pada rancangan penelitian ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada UPTD Balai Perbibitan dan Pengembangan Inseminasi Buatan Ternak Sapi Potong Ciamis yang telah memberikan izin akses terhadap catatan produksi semen serta mendukung kegiatan observasi lapangan dan verifikasi data.

REFERENCES

Baharun, A., S. Said, R.I. Arifiantini, and N.W.K. Karja. 2021. Correlation between

- age, testosterone and adiponectin concentrations, and sperm abnormalities in Simmental bulls. *Veterinary World*. 14:2124-2130.
- Brillianti, F.F., P. Sianto, T. Sardjito, T.W. Suprayogi, I.N. Triana, and D. Rahardjo. 2021. Kualitas semen sapi pejantan berdasarkan umur, suhu, dan kelembaban di Taman Ternak Pendidikan Universitas Airlangga. *Ovozoa: Journal of Animal Reproduction*. 10:81-89.
- Kowalczyk, A., E. Gałęska, E. Czerniawska-Piątkowska, A. Szul, and L. Hebda. 2021. The impact of regular sperm donation on bulls' seminal plasma hormonal profile and phantom response. *Scientific Reports*. 11:11116.
- Pardede, B.P., T. Maulana, E.M. Kaiin, M. Agil, N.W.K. Karja, C. Sumantri, and I. Supriatna. 2021. The potential of sperm bovine protamine as a protein marker of semen production and quality at the National Artificial Insemination Center of Indonesia. *Veterinary World*. 14:2473-2481.
- Santoso, S., Herdis, R.I. Arifiantini, A. Gunawan, and C. Sumantri. 2021. Characteristics and potential production of frozen semen of Pasundan bull. *Tropical Animal Science Journal*. 44:24-31.
- Susandani, O., T.W. Suprayogi, R. Damayanti, and A. Ma'ruf. 2021. Factors affecting fresh semen quality in Pasundan cattle at UPTD BPPIBTSP Ciamis. *Journal of Applied Veterinary Science and Technology*. 2:37-42.
- Westfalewicz, B., M. Słowińska, S. Judycka, A. Ciereszko, and M.A. Dietrich. 2021. Comparative proteomic analysis of young and adult bull (*Bos taurus*) cryopreserved semen. *Animals*. 11:2013..
- Ambike, V.B., R. Venkataramanan, S.M.K. Karthickeyan, K.G. Tirumurugaan, K.G. Bhav, J. Khadse, R. Jadhav, and M. Swaminathan. 2022. Genetic evaluation of semen production potential in Indigenous bulls using random regression models in a Bayesian framework. *Tropical Animal Health and Production*. 54:253.
- Capela, L., I. Leites, R. Romão, L. Lopes-da-Costa, and R.M.L.N. Pereira. 2022. Impact of heat stress on bovine sperm quality and competence. *Animals*. 12:975.
- Hurri, E., I. Lima-Verde, A. Johannisson, H. Stålhammar, T. Ntallaris, and J.M. Morrell. 2022. Post-thaw semen quality in young bull ejaculates before being accepted for commercial semen doses. *Veterinary Record*. 191:e1386.
- Iskandar, H., H. Sonjaya, R.I. Arifiantini, and H. Hasbi. 2022. The quality of fresh and frozen semen and its correlation with molecular weight of seminal plasma protein in Bali cattle. *Tropical Animal Science Journal*. 45:405-412.

- Lima-Verde, I., E. Hurri, T. Ntallaris, A. Johannisson, H. Stålhammar, and J.M. Morrell. 2022. Sperm quality in young bull semen can be improved by single layer centrifugation. *Animals*. 12:2435.
- Modiba, M.C., K.A. Nephawe, K.H. Mdladla, W. Lu, and B. Mtileni. 2022. Candidate genes in bull semen production traits: An information approach review. *Veterinary Sciences*. 9:155.
- Nadaf, S.M., V. Ramesh, M. Mech, M.H. Khan, F.A. Ahmed, P. Ponraj, and A. Mitra. 2022. Comparative ejaculatory response, fresh and frozen semen quality and fertility to artificial vagina versus electroejaculation method of semen collection in mithun (*Bos frontalis*) bulls. *Andrologia*. 54:e14330.
- Taaffe, P., C.M. O'Meara, M. Stiavnicka, C.J. Byrne, B. Eivers, P. Lonergan, and S. Fair. 2022. Increasing the frequency of ejaculate collection in young dairy bulls increases semen production and field fertility. *Theriogenology*. 182:45-52.
- Widyas, N., T.S.M. Widi, S. Prastowo, I. Sumantri, B.J. Hayes, and H.M. Burrow. 2022. Promoting sustainable utilization and genetic improvement of Indonesian local beef cattle breeds: A review. *Agriculture*. 12:1566.
- Abah, K.O., A. Fontbonne, A. Partyka, and W. Nizanski. 2023. Effect of male age on semen quality in domestic animals: Potential for advanced functional and translational research. *Veterinary Research Communications*. 47:1125-1137.
- Ashwitha, A., K.P. Ramesha, P. Ramesh, C.N. Kootimole, M.J. Devadasan, S. Ammankallu, S. Jeyakumar, A. Kumaresan, V.G. Veerappa, D.N. Das, and T.S.K. Prasad. 2023. Quantitative proteomics profiling of spermatozoa and seminal plasma reveals proteins associated with semen quality in *Bos indicus* bulls. *Journal of Proteomics*. 273:104794.
- Baharun, A., A. Rahmi, R. Handarini, T. Maulana, S. Said, H. Iskandar, I. Darussalam, W.M.M. Nalley, and R.I. Arifiantini. 2023a. Semen quality and frozen semen production in Pasundan bulls: A molecular weight perspective on seminal plasma and spermatozoa protein. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research*. 10:730-737.
- Baharun, A., A.B. Setiawan, A. Rahmi, H. Iskandar, M. Gunawan, S. Anwar, T. Maulana, E.M. Kaiin, and S. Said. 2023b. Frozen semen characteristics of Limousin bull at different ages. *Tropical Animal Science Journal*. 46:306-312.
- Bremer, J., B. Heringstad, J.M. Morrell, and E. Kommisrud. 2023. Novel interpretation of sperm stress test and morphology for maturity assessment of young Norwegian Red bulls. *Animal Reproduction Science*. 253:107261.

- Hürland, M., D.A. Kuhlitz, C. Kuhlitz, J.H. Osmer, M. Jung, and M. Schulze. 2023. The use of machine learning methods to predict sperm quality in Holstein bulls. *Theriogenology*. 197:16-25.
- Ribas-Maynou, J., I. Barranco, and A. Salas-Huetos. 2023. Sperm quality and fertility of livestock animals. *Animals*. 13:604.
- Silva, C.S., E.V. da Costa-E-Silva, M.A.N. Dode, A.T.M. Cunha, W.R. Garcia, B.F.B. Sampaio, J.C. Borges Silva, F.E.M. Vaz, K. Kerns, P. Sutovsky, and E. Nogueira. 2023. Semen quality of Nellore and Angus bulls classified by fertility indices and relations with field fertility in fixed-time artificial insemination. *Theriogenology*. 212:148-156.
- Azevedo, H.C., H.D. Blackburn, E.A. Lozada-Soto, S.F. Spiller, and P.H. Purdy. 2024. Enhancing evaluation of bull fertility through multivariate analysis of sperm. *Journal of Dairy Science*. 107:11774-11784.
- Fatmila, D.T., B.P. Pardede, T. Maulana, S. Said, Yudi, and B. Purwantara. 2024. Sperm HSP70: may not be an age-dependent gene but is associated with field fertility in Bali bulls (*Bos sondaicus*). *Animal Reproduction*. 21:e20230048.
- Khan, M.Z., W. Chen, S. Naz, X. Liu, H. Liang, Y. Chen, X. Kou, Y. Liu, I. Ashraf, Y. Han, Y. Peng, C. Wang, and M. Zahoor. 2024. Determinant genetic markers of semen quality in livestock. *Frontiers in Endocrinology*. 15:1456305.
- Satrio, F.A., N.W.K. Karja, M.A. Setiadi, E.M. Kaiin, B.P. Pardede, and B. Purwantara. 2024. Age-dependent variations in proteomic characteristics of spermatozoa in Simmental bull. *Frontiers in Veterinary Science*. 11:1393706.
- Sophian, E., S. Said, M.A. Setiadi, and R.I. Arifiantini. 2025. Variations in semen quality and potential for frozen semen production in Aceh cattle. *Tropical Animal Science Journal*. 48:1-7.
- Sevilla, F., I. Araya-Zúñiga, A. Salamanca-Carreño, M.A. Silvestre, J. Rodríguez, K. Matamoros, R. Molina-Montero, L.C. Carranza-Rojas, E.R.S. Roldan, and A. Valverde. 2025. Effect of age and scrotal circumference on sperm morphology in Brahman bulls using a modified fixation technique. *Frontiers in Veterinary Science*. 12:1626425.