

## Pemanfaatan Termografi Inframerah dalam *Monitoring* Status Fisiologi Reproduksi Ruminansia akibat Stres Panas

### (The Application of Infrared Thermography in Monitoring Reproduction Physiology Status of Ruminant Due to Heat Stress)

Fitra Aji Pamungkas<sup>1,5</sup>, BP Purwanto<sup>2</sup>, W Manalu<sup>3</sup>, A Yani<sup>4</sup> dan RG Sianturi<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Ilmu Produksi dan Teknologi Peternakan, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor

<sup>2</sup>Sekolah Vokasi Institut Pertanian Bogor, Bogor

<sup>3</sup>Departemen Anatomi Fisiologi dan Farmakologi, Fakultas Kedokteran Hewan, Institut Pertanian Bogor

<sup>4</sup>Departemen Ilmu Produksi dan Teknologi Peternakan, Fakultas Peternakan, Institut Pertanian Bogor

<sup>5</sup>Balai Penelitian Ternak Ciawi, Bogor

Kontributor utama: Fitra Aji Pamungkas; alamat email: [fitrap@yahoo.com](mailto:fitrap@yahoo.com)

(Diterima 10 Januari 2020 – Direvisi 28 Februari 2020 – Disetujui 3 Maret 2020)

#### ABSTRACT

Assessment on reproduction physiological parameters of ruminant caused by thermal stress usually uses invasive methods. However, these methods are less accurate because they are subjective, require a significant time and resources, and there are problems in animal welfare. Infrared thermography is one alternative solution that can be used. Infrared thermography is a modern, non-invasive, non-destructive, and safe technique to visualize thermal profile and surface temperature. This paper describes the application of infrared thermography in monitoring reproduction physiology status of ruminant. This method does not require physical contact and allows direct visualisation of temperature distribution so that it can be used as a reference in understanding and evaluating several parameters in livestock during normal condition or heat stress.

**Key words:** Thermography, infrared, physiology, reproduction, heat stress, ruminant

#### ABSTRAK

Penilaian parameter fisiologi reproduksi ruminansia sebagai akibat dari stres panas biasanya menggunakan metode invasif. Namun, metode ini kurang akurat karena bersifat subjektif, membutuhkan waktu dan tenaga, dan ada kekhawatiran tidak memperhatikan kesejahteraan ternak. Termografi inframerah menjadi salah satu solusi alternatif yang bisa digunakan. Termografi inframerah merupakan metode yang non-invasif, non-destruktif, dan aman digunakan untuk memperoleh gambaran profil termal dari suhu permukaan secara visual. Tulisan ini mengulas aplikasi pemanfaatan termografi inframerah dalam monitoring status fisiologis reproduksi ruminansia. Metode ini tidak memerlukan adanya kontak fisik dengan ternak dan memungkinkan visualisasi distribusi temperatur secara langsung sehingga dapat dijadikan acuan dalam pemahaman dan penilaian beberapa parameter pada ternak pada keadaan normal atau stres panas.

**Kata kunci:** Termografi, infrared, fisiologi, reproduksi, stres panas, ruminansia

#### PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang terletak pada garis khatulistiwa dengan iklim tropis yang mempunyai dua musim yaitu musim hujan dan kemarau. Permasalahan yang sering terjadi di daerah tropis adalah kondisi yang seringkali kurang atau tidak nyaman bagi ternak. Suhu lingkungan di sekitar kandang yang tinggi terutama pada musim kemarau dapat menjadi pemicu terjadinya stres panas pada ternak.

Stres digambarkan sebagai efek kumulatif dari berbagai faktor yang berkaitan dengan kesehatan dan produktivitas ternak, atau juga digambarkan sebagai besarnya pengaruh luar terhadap tubuh yang cenderung

menurunkan sistem kerja tubuh (Silanikove 2000a). Ternak mengalami berbagai jenis stres baik fisik, nutrisi, kimia, psikologis dan stres panas.

Di antara berbagai jenis stres, stres panas merupakan stres yang paling sering terjadi saat ini dikarenakan faktor iklim yang terus berubah (Silanikove & Koluman 2015) dan menjadi salah satu pemicu stres terutama di daerah tropis dan subtropis (Nardone et al. 2010). Stres panas merupakan ketidaknyamanan yang dirasakan dan perubahan kondisi fisiologis yang terkait dengan paparan lingkungan yang panas dan ekstrim (Gupta et al. 2013).

Stres panas mempengaruhi fungsi ovarium dan perkembangan embrionik sehingga terjadi penurunan fertilitas (Gupta et al. 2013). Stres panas mengganggu

kemampuan tubuh ternak untuk memproses protein dan energi yang dihasilkan sehingga terjadi penurunan pertumbuhan, reproduksi, produksi dan kesehatan ternak (Gupta et al. 2013).

Respon homeostatis yang secara umum terjadi akibat stres panas pada kambing termasuk peningkatan laju respirasi, suhu tubuh dan konsumsi air dan penurunan asupan pakan (Gupta et al. 2013; Caulfield et al. 2014). Selain itu, stres panas mengurangi kuantitas dan kualitas produksi susu, menurunkan kekebalan tubuh sehingga lebih rentan terhadap penyakit, bahkan dapat menyebabkan kematian (Bernabucci et al. 2009; Pragna et al. 2017).

Penilaian respon fisiologis dan reproduksi ternak ruminansia terhadap stres panas umumnya menggunakan metode invasif seperti laju pernapasan, denyut jantung, suhu rektal, hematologis dan biokimia darah. Namun, metode ini menunjukkan hasil yang kurang akurat dikarenakan respon anxiogenik (berkaitan dengan penyebab kecemasan) dari prosedur itu sendiri sehingga menyulitkan dalam hal menginterpretasikan hasil (Stewart et al. 2008; Soerensen & Pedersen 2015).

Metode invasif ini juga bersifat subjektif, membutuhkan waktu dan tenaga dalam penentuan suatu parameter produksi pada ternak dan ada kekhawatiran tidak memperhatikan kesejahteraan ternak (Blokhuis et al. 2013). Oleh karena itu, tulisan ini akan mengulas salah satu solusi alternatif yang dapat digunakan dalam penilaian atau monitoring parameter fisiologis dan reproduksi ternak ruminansia melalui penggunaan termografi inframerah dimana dengan metode ini tidak diperlukan adanya kontak fisik dengan ternak dan memungkinkan visualisasi distribusi temperatur secara langsung sehingga dapat dijadikan acuan dalam pemahaman dan penilaian beberapa parameter pada ternak.

## **RESPON FISIOLOGIS RUMINANSIA TERHADAP STRES PANAS**

Parameter fisiologis seperti pernapasan, denyut jantung dan suhu rektal memberikan respon terhadap stres panas, terlihat dari ketidaknyamanan pada ternak (Helal et al. 2010). Perubahan fisiologis termasuk respon endokrin (sekresi hormon tyroid dan adrenalin) dan respon selular (biokimia dan ekspresi gen) yang terjadi sering digunakan sebagai indeks kemampuan adaptasi terhadap cekaman panas pada ruminansia (Adedeji 2012; Sharma et al. 2013). Suhu tubuh dan laju pernapasan yang meningkat merupakan indikator paling penting terjadinya stres panas pada kambing (Alam et al. 2011).

## **Frekuensi pernapasan**

Frekuensi pernapasan bisa selalu berubah dan secara tidak langsung dipengaruhi oleh aktivitas ternak (metabolisme dan gerak otot) maupun kondisi lingkungan (Silanikove 2000b). Frekuensi pernapasan per menit meningkat akibat peningkatan suhu lingkungan karena terjadi mekanisme pengaturan panas tubuh yang menyebabkan peningkatan dalam pertukaran pernapasan (Phulia et al. 2010). Perubahan metabolisme dan aktivitas otot pada ternak juga menyebabkan perubahan denyut jantung dan frekuensi pernapasan. Frekuensi pernapasan diukur dengan menghitung tarikan napas per menit dari jarak 4-5 m tanpa mengganggu ternak (Shilja et al. 2015) atau dari jarak yang tidak terhalang (Adedeji 2012). Penilaian tingkat stres seekor ternak berdasarkan pada frekuensi pernapasan (kali/menit) yaitu rendah: 40–60, sedang: 60–80, tinggi: 80–120, serta parah: diatas 150 pada sapi dan diatas 200 pada domba, merupakan metode yang paling mudah untuk mengevaluasi dampak stres panas pada ternak di bawah kondisi ekstrim (Silanikove 2000a).

Penelitian tentang meningkatnya frekuensi pernapasan akibat stres panas telah dilaporkan pada kambing Dwarf di Nigeria bagian selatan sebesar 23 kali/menit (Okoruwa 2014). Sebelumnya, Okoruwa et al. (2013) menyatakan bahwa frekuensi pernapasan sangat praktis dalam pengukuran stres panas dan melaporkan bahwa frekuensi pernapasan di atas 20 kali/menit pada domba maupun kambing sudah mengindikasikan ternak dalam kondisi stres panas. Peningkatan frekuensi pernapasan mengindikasikan sebagai upaya ternak untuk mempertahankan suhu tubuh normalnya dengan meningkatkan pembuangan panas melalui peningkatan frekuensi pernapasan (Hamzaoui et al. 2013).

## **Denyut jantung**

Denyut jantung adalah detak jantung yang teratur ketika darah dipompa melalui arteri ke hati (Osakew et al. 2017). Denyut jantung dapat berubah dengan cepat karena aktivitas biologis ternak atau faktor eksternal seperti suhu lingkungan. Paparan panas menunjukkan denyut jantung yang lebih tinggi dari 74 hingga 91 denyut/menit pada kambing (Okoruwa 2014; Alam et al. 2011). Peningkatan denyut jantung dalam kondisi stres panas menyebabkan peningkatan aliran darah ke permukaan tubuh untuk memberikan kesempatan agar lebih banyak panas yang hilang melalui konduksi, konvensi dan radiasi, serta difusi air dari kulit (Adedeji 2012). Peningkatan denyut jantung disebabkan oleh dua hal yaitu <sup>1)</sup> peningkatan aktivitas otot dalam mengendalikan laju pernapasan dan <sup>2)</sup> pengurangan resistensi perifer vaskular dan arteri (Sarangi 2018).

## Suhu rektal

Suhu rektal merupakan suhu tubuh yang dapat digunakan dalam mengukur toleransi panas pada ternak termasuk proses penambahan dan kehilangan panas tubuh. Suhu rektal dianggap sebagai indeks dari suhu tubuh meskipun adanya variasi suhu di beberapa bagian tubuh ternak pada waktu yang berbeda dalam satu hari (Sarangi 2018). Suhu rektal merupakan indikator keseimbangan termal yang dapat digunakan untuk menilai kehilangan panas akibat peningkatan suhu lingkungan yang dapat mempengaruhi pertumbuhan, laktasi, dan reproduksi ternak (West 1999).

Paparan panas di siang hari hingga mencapai suhu 33°C dengan kelembaban 59,98% dan *temperature humidity index* 83,97 menghasilkan respon suhu rektal yang berbeda antara kambing yang dikandangkan dengan kambing yang digembalakan dari pukul 13.00 hingga 18.00 yaitu berturut-turut sebesar 37,98 dan 41,02°C (Okoruwa 2014). Helal et al. (2010) melaporkan penilaian *temperature humidity index* kedalam 4 kategori yaitu status normal:  $\leq 74$ , peringatan: 75-78, bahaya 79-83, serta gawat:  $\geq 84$ , sehingga *temperature humidity index* dan suhu rektal dapat dijadikan indikator untuk mengetahui tingkat stres panas pada ternak.

## Hematologis dan biokimia darah

Profil darah ternak sensitif terhadap perubahan suhu lingkungan dan merupakan indikator penting respon fisiologis terhadap stres (Okoruwa 2014). Penentuan parameter darah sangat penting untuk mengetahui efek dari stres panas. Stres panas pada ternak terlihat dari perubahan beberapa parameter hematologi, yaitu sel darah merah, sel darah putih, hemoglobin, limfosit, neutrofil, eosinofil, monosit, granulosit dan pH darah. Ternak yang terkena stres panas menunjukkan peningkatan jumlah sel darah merah, hemoglobin, neutrofil, eosinofil, limfosit dan monosit.

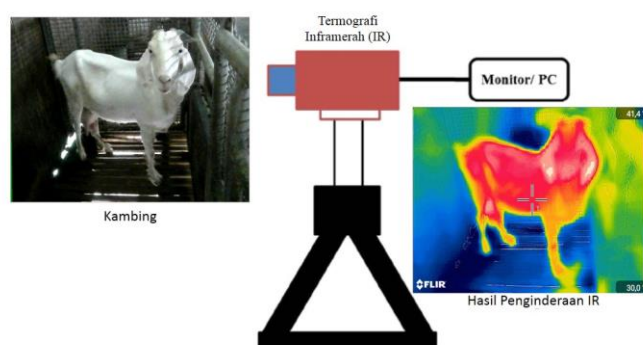
Neutrofil merupakan pelindung utama tubuh terhadap infeksi dan antigen, jumlah sel neutrofil yang tinggi dapat mengindikasikan infeksi aktif. Limfosit berperan dalam memberikan perlindungan tubuh dari infeksi virus, jumlah sel limfosit yang tinggi mengindikasikan sistem kekebalan tubuh yang menurun. Begitupula sel monosit merupakan sel terbesar dalam aliran darah yang berperan dalam pertahanan tubuh untuk melawan infeksi akut. Peningkatan kadar hemoglobin dan sel darah merah terjadi untuk mengatasi sirkulasi oksigen saat ternak terengah-engah atau dikarenakan meningkatnya serangan radikal bebas pada membran sel darah merah dan berkurangnya asupan pakan akibat stres panas (Srikandakumar et al. 2003; Alam et al. 2011; Okurawa 2014). Regulator metabolik berperan penting

dalam menjelaskan gambaran mekanisme fisiologis dan menentukan enzim yang mengatur berbagai reaksi metabolisme yang terjadi baik pada plasma maupun serum selama kondisi stres (Gupta et al. 2013). Konsentrasi enzim mencerminkan kegiatan metabolisme selama ternak dalam kondisi stres. Stres panas mengurangi aktivitas *alkaline phosphatase* dan *lactate dehydrogenase* pada kambing, dimana penurunan enzim ini disebabkan oleh penurunan aktivitas tiroid sebagai respon aklimasi terhadap peningkatan panas untuk mengurangi stres panas.

Penurunan fungsi tiroid selama stres panas dikarenakan efek panas pada sumbu hipofisis hipotalamus menyebabkan penurunan hormon pelepasan thyrotropin sehingga ternak mengurangi metabolisme tubuh dan produksi panas (West 2003; Helal et al. 2010). Fungsi hati tergantung pada kombinasi berbagai aktivitas enzimatik yang terjadi di dalam sel hati. Enzim *aspartate transaminase* dan *alanine aminotransferase* merupakan enzim yang sebagian besar terdapat di hati dan digunakan sebagai indikator yang berguna untuk menunjukkan integritas hepatosit, dimana gangguan maupun penyakit pada hati dapat terdeteksi (Singh 2013). Dalam kondisi normal, enzim tersebut dalam darah relatif rendah, namun ketika kondisi hati menurun atau mengalami kerusakan, hati akan melepaskan enzim tersebut ke dalam aliran darah sehingga konsentrasinya meningkat, begitupula selama stress panas pada kambing (Sharma & Kataria 2011).

## TERMOGRAFI INFRAMERAH: SOLUSI MONITORING STATUS FISILOGI RUMINANSIA

Termografi inframerah merupakan metode pengukuran parameter fisiologi reproduksi yang bersifat non-invasif, non-destruktif dan aman digunakan untuk memperoleh gambaran profil termal dari suhu permukaan tubuh secara visual. Termografi inframerah mampu memonitor perubahan suhu dan inframerah yang berdampak pada status fisiologi yang berhubungan dengan reproduksi. Hasil penginderaan dari termografi inframerah seperti terlihat pada Gambar 1. Sistem kamera termal akan mengukur intensitas inframerah yang dipancarkan oleh permukaan kulit ternak dan mengubahnya menjadi sinyal elektromagnetik, selanjutnya diproses dan ditampilkan dalam bentuk peta termal yang menunjukkan distribusi suhu dimana setiap warna mengekspresikan secara spesifik kisaran suhu pada permukaan kulit dan berkorelasi dengan status fisiologi ternak (Alsaad et al. 2014; Knizkova et al. 2007). Keuntungan besar metode ini adalah tidak diperlukannya kontak fisik dengan objek yang diamati sehingga memungkinkan pembacaan jarak jauh dari distribusi temperatur yang lebih luas (Usamentiaga et al. 2014; Tattersall 2016).



Gambar 1. Prinsip hasil penginderaan menggunakan termografi inframerah

## PRINSIP KERJA TERMOGRAFI INFRAMERAH

Setiap benda menghasilkan radiasi panas berupa inframerah yang berasal dari spektrum cahaya, yang intensitas dan distribusinya bergantung pada suhu dan sifat radiasi di bagian permukaan benda tersebut. Radiasi adalah suatu bentuk kehilangan panas melalui sinar inframerah yang melibatkan perpindahan panas dari satu objek ke objek lainnya tanpa adanya kontak fisik. Setiap benda memancarkan radiasi inframerah sebagai salah satu karakteristik fungsi tubuhnya dikarenakan pergerakan internal molekul secara mekanis. Sejak pergerakan molekuler merefleksikan perpindahan muatan, dan radiasi elektromagnetik dalam bentuk partikel foton yang dipancarkan. Foton ini bergerak dengan kecepatan cahaya dan bekerja seperti prinsip pada optik (bisa dibelokkan, fokus pada lensa, atau dipantulkan), dengan panjang gelombang radiasinya berkisar antara 0,7-1.000  $\mu\text{m}$ . Spektrum elektromagnetik yang digunakan dalam pengukuran termografi inframerah terutama pada gelombang sedang (3-5  $\mu\text{m}$ ) dan panjang (8-14  $\mu\text{m}$ ), di mana radiasi maksimum bergerak ke arah panjang gelombang yang lebih pendek pada saat suhu suatu benda naik (Kastberger & Stachl 2003).

Radiasi yang diukur oleh kamera tidak hanya bergantung pada suhu objek, tetapi juga fungsi emisivitasnya, suhu yang dipantulkan, jarak antara objek dan kamera, serta kelembaban relatif (Knizkova et al. 2007). Menurut Bagavathiappan et al. (2013), beberapa parameter yang harus dipertimbangkan dalam penggunaan termografi inframerah untuk menghasilkan gambar termal yang tajam dan akurat ialah *spectral range*, *spatial resolution*, *temperature resolution*, *temperature range*, dan *frame rate*.

*Spectral range* didefinisikan sebagai bagian dari spektrum inframerah yang beroperasi ketika kamera inframerah pada posisi aktif. Ketika suhu suatu benda meningkat, radiasi termal yang dipancarkan oleh objek lebih banyak dalam panjang gelombang yang lebih

pendek. Untuk mengamati objek pada suhu lingkungan dengan sistem panjang gelombang (8-14  $\mu\text{m}$ ), suhu termal pada tubuh akan memancar dan pengukuran tidak terpengaruh oleh radiasi matahari sehingga berlaku untuk pengukuran di lapangan, sedangkan sistem gelombang pendek (2-5  $\mu\text{m}$ ) lebih banyak digunakan pada kondisi cuaca mendung atau pada malam hari (Jadin & Taib 2012).

*Spatial resolution* didefinisikan sebagai kemampuan kamera untuk membedakan antara dua benda dalam bidang pandang. Resolusi spasial yang lebih baik akan menghasilkan kualitas gambar yang superior. Resolusi spasial inframerah terutama bergantung pada jarak objek ke kamera, sistem lensa, dan ukuran detektor. Resolusi spasial menurun dengan meningkatnya jarak objek ke kamera. Sistem lensa dengan bidang pandang kecil memiliki resolusi spasial yang lebih tinggi. Selain itu, detektor dengan jumlah elemen *array* yang lebih besar akan menghasilkan thermal gambar dengan resolusi spasial yang lebih baik.

*Temperature resolution* didefinisikan sebagai perbedaan suhu terkecil di bidang pandang yang dapat diukur oleh kamera inframerah. Hal ini bergantung pada beberapa parameter eksperimental, seperti suhu objek, suhu lingkungan, jarak objek ke kamera, dan filter.

*Temperature range* menandakan nilai suhu minimum dan maksimum yang dapat diukur menggunakan kamera inframerah. Besaran temperatur yang umum digunakan berada dalam kisaran 20-500°C. Jangkauan dapat diperpanjang hingga 1700°C dengan menggunakan berbagai filter.

*Frame rate* didefinisikan sebagai jumlah *frame* yang diperoleh kamera inframerah per detik. Kamera dengan *frame rate* lebih tinggi pada umumnya lebih baik untuk memantau objek bergerak.

Dalam pengukuran termografi inframerah perlu juga diperhatikan beberapa faktor yang dapat mengurangi keakuratan pengukuran, seperti prosedur,

kondisi teknis dan lingkungan. Faktor prosedur dapat diminimalkan dengan penggunaan alat termografi inframerah yang berkualitas, pengetahuan tentang objek yang diamati dan kondisi eksperimental. Faktor teknis dapat diminimalisir dengan pengaturan emisivitas objek dan jarak kamera ke objek (Jadin & Taib 2012). Sementara itu, faktor kondisi lingkungan dapat diminimalisir dengan peningkatan suhu udara yang lebih tinggi dari objek yang diamati, aliran angin, dan radiasi matahari (Titman 2001; Barreira & Freitas 2007).

Selain itu, koefisien emisivitas objek merupakan faktor yang menjadi perhatian khusus dalam penggunaan termografi inframerah. Ferreira et al. (2011) melaporkan bahwa koefisien emisivitas suhu kulit pada ternak adalah sebesar 0,94 untuk bagian tubuh yang berbulu dan 0,95 untuk bagian tubuh yang tanpa bulu, dan nilai tersebut masih berada dalam kisaran nilai emisivitas untuk materi biologis. Selain itu, beberapa penelitian pada ternak yang berbulu menggunakan nilai emisivitas sebesar 0,95 (Alsaod et al. 2014; Paim et al. 2012) dan 0,98 (Talukder et al. 2014; Lees et al. 2017).

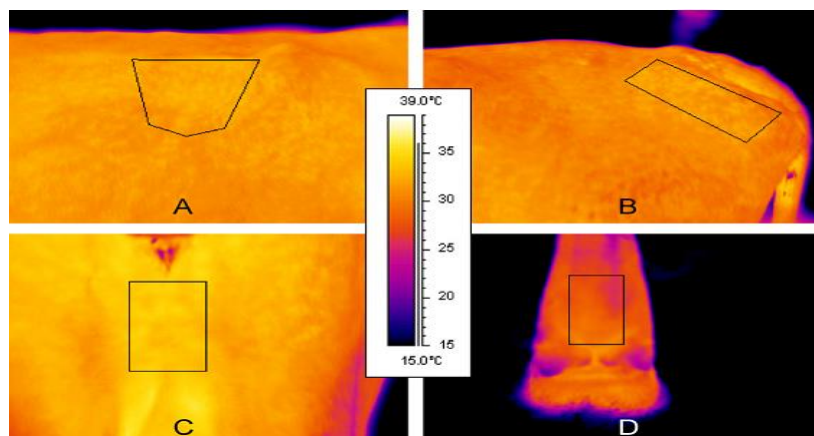
#### APLIKASI TERMOGRAFI INFRAMERAH DALAM *MONITORING* STATUS FISILOGI REPRODUKSI RUMINANSIA

Termografi inframerah dapat digunakan untuk mengevaluasi kemampuan adaptasi dan toleransi ternak terhadap panas. Beberapa penelitian terkait aplikasi penggunaan termografi inframerah dalam *monitoring* status fisiologi ternak seperti terlihat pada Tabel 1. Stewart et al. (2007) telah melakukan penelitian untuk melihat kemungkinan perubahan suhu pada mata yang diukur menggunakan alat termografi inframerah untuk mendeteksi stres sapi perah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian *adrenocorticotrophic hormone*

(ACTH), *bovine corticotrophin-releasing hormone* (bCRH) dan epinephrine untuk stimulasi *hypothalamic-pituitary-adrenal* (HPA) yang berperan sebagai respons fisiologis utama terhadap stres tidak berpengaruh terhadap peningkatan suhu pada mata yang diukur menggunakan termografi inframerah.

Montanholi et al. (2008) melaporkan bahwa termografi inframerah (Gambar 2) dapat diaplikasikan untuk menilai produksi panas dan metana, melalui analisis suhu pada kaki dan perbedaannya antara kaki bagian kiri dan kanan. Selain itu, teknologi ini juga berguna untuk menilai respons fisiologis terhadap pemberian pakan dan proses pemerahan. Produksi panas memiliki fluktuasi lebih dari 30% mulai dari 1200 W pada pukul 09.00 hingga lebih dari 1.600 W pada pukul 15.20. Berbeda halnya dengan produksi metana, dimana peningkatan produksi metana terjadi 10-20 menit setelah pemberian pakan yaitu sebesar 347-410 mL/menit, namun selanjutnya mengalami penurunan. Korelasi sebesar 0,58-0,88 diperoleh antara suhu permukaan kulit dan produksi panas. Suhu kaki depan sangat berkorelasi dengan produksi panas (kiri: 0,83; kanan: 0,88). Suhu pada tubuh bagian belakang kiri dan kanan dan bokong memiliki korelasi yang lebih rendah dengan produksi panas dibandingkan dengan suhu kaki. Mayoritas hasil penginderaan IR tidak menunjukkan korelasi yang signifikan dengan CH<sub>4</sub>, kecuali pada bagian tubuh kiri dan kanan yang menunjukkan korelasi 0,53.

Studi tentang metabolisme energi telah menunjukkan bahwa produksi daging sapi akan lebih efisien dengan kehilangan panas (Castro Bulle et al. 2007) dan produksi metana (Hegarty et al. 2007) yang lebih rendah. Penelitian oleh Montanholi et al. (2009) pada sapi potong persilangan dengan bobot tubuh 311,9±59,2 kg menunjukkan bahwa hasil penginderaan termografi inframerah pada bagian kaki dan muka menjadi indikator yang paling tepat untuk menilai efisiensi pakan pada sapi potong secara tidak langsung.

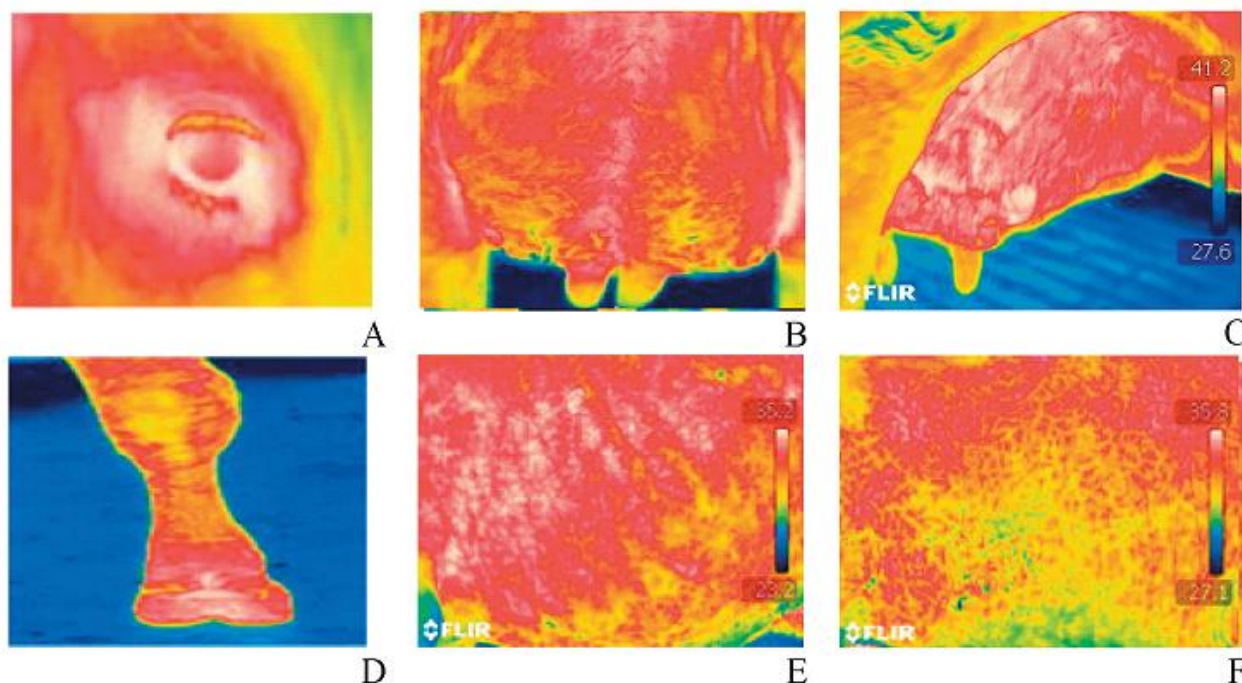


**Gambar 2.** Hasil penginderaan termografi inframerah pada berbagai wilayah tubuh sapi perah (A), bokong (B), area belakang (C) dan kaki (D). Sumber: Montanholi et al. (2008)

Rataan penginderaan termografi inframerah pada bagian kaki dan muka berturut-turut sebesar 29,64 dan 29,02°C, dengan rata-rata asupan bahan kering dan penambahan bobot badan harian berturut-turut sebesar 9,57 kg bahan kering per hari dan 1,93 kg/hari. Korelasi kontribusi relatif hasil penginderaan termografi inframerah terhadap efisiensi pakan menunjukkan bahwa termografi inframerah pada bagian kaki dan muka berturut-turut sebesar 43 dan 31%, lebih besar dibandingkan bagian rusuk (18%), mata (6%), area belakang (1%) dan skrotum (1%).

Paim et al. (2012) melaporkan bahwa kondisi lingkungan memiliki pengaruh yang besar terhadap pertumbuhan dan kelangsungan hidup domba, termasuk efisiensi sistem produksi. Terdapat korelasi antara termografi inframerah dengan radiasi matahari, kecepatan angin dan indeks suhu termal yang nyaman bagi ternak, yaitu sebesar 0,70. Sedangkan kelembaban udara berkorelasi negatif (-0,99) dengan kecepatan angin dan kelembaban, menunjukkan bahwa peningkatan suhu disertai dengan penurunan kelembaban begitu pula sebaliknya. Disimpulkan oleh Paim et al. (2012) bahwa hasil penginderaan termografi inframerah di bagian hidung, leher dan bokong secara umum merupakan indikator yang baik untuk menentukan kondisi nyaman bagi ternak.

Hoffmann et al. (2016) melaporkan penggunaan termografi inframerah untuk memantau suhu tubuh anak sapi. Hasil penginderaan termografi inframerah diambil pada tiga area yaitu kepala, tubuh dan area keseluruhan tubuh ternak. Rataan suhu maksimum di area seluruh tubuh ( $37,66 \pm 0,90^\circ\text{C}$ ) dan area kepala ( $37,64 \pm 0,86^\circ\text{C}$ ) selalu lebih tinggi daripada area tubuh ( $36,75 \pm 1,06^\circ\text{C}$ ). Namun, suhu maksimum yang diukur menggunakan termografi inframerah meningkat dengan peningkatan suhu rektal. Begitu pula Daltro et al. (2017) telah melakukan penelitian pada sapi perah yang bertujuan untuk menentukan apakah termografi inframerah dapat digunakan dalam memberikan rekomendasi terkait pengukuran stres panas pada ternak serta menentukan area tubuh ternak yang dapat digunakan dalam pengukuran tersebut seperti terlihat pada Gambar 3. Indeks kelembaban merupakan indikator kenyamanan lingkungan yang paling akurat dalam hubungannya dengan pengukuran termografi inframerah. Korelasi positif ditemukan antara parameter fisiologis dengan termografi inframerah, dimana korelasi positif tertinggi (0,74) ditemukan antara suhu di wilayah lateral suhu ambing dan dubur. Posisi area tubuh terbaik untuk mengidentifikasi stres panas pada sapi menggunakan termografi inframerah adalah daerah lateral ambing (Daltro et al. 2017).



**Gambar 3.** Hasil penginderaan termografi inframerah pada berbagai wilayah tubuh sapi perah; mata (A), posterior ambing (B), lateral ambing (C), kaki depan kanan (D), area tubuh bagian kiri (E), dan area tubuh bagian kanan (F). Sumber: Daltro et al. (2017)

**Tabel 1.** Aplikasi termografi inframerah dalam *monitoring* status fisiologi ruminansia

Ternak	Jumlah ternak (ekor)	Posisi	Model alat	Resolusi gambar (piksel)	Jarak <sup>*)</sup> (m)	Sumber referensi
Sapi perah	6	Mata	FLIR S60	320 x 240	0,5-1	Stewart et al. (2007)
Sapi perah	4	Punggung, bokong, dan kaki	FLIR SC2000	320 x 240	1,5	Montanholi et al. (2008)
Sapi potong	154	Mata, muka, punggung, bokong, skrotum, dan kaki	FLIR SC2000	320 x 240	1,5	Montanholi et al. (2009)
Domba	126	Bokong, dada, dan perut	FLIR i3	60 x 60	-	Paim et al. (2012)
Sapi perah	9	Muka, telinga, dan badan	OPTRIS PI450	382 x 288	1,5	Hoffmann & Schmidt (2015)
Sapi perah	38	Mata, ambing, kaki, dan badan	FLIR T300	-	1,5	Daltro et al. (2017)

\*) jarak alat termografi inframerah ke objek

**Tabel 2.** Aplikasi termografi inframerah dalam *monitoring* status reproduksi ternak

Ternak	Jumlah ternak (ekor)	Posisi	Model alat	Resolusi gambar (piksel)	Jarak <sup>*)</sup> (m)	Sumber referensi
Domba	6	Badan	-	-	-	Ramires et al. (2011)
Sapi perah	20	Vulva	FLIR T620	640 x 480	1	Talukder et al. (2014)
Domba	12	Skrotum	FLIR T300	-	1	Cruz Junior et al. (2015)
Sapi potong	70	Skrotum dan mata	FLIR T300	320 x 240	7	Menegassi et al. (2015)

\*) jarak alat termografi inframerah ke objek

Gambaran termografi inframerah juga dapat menunjukkan perubahan aliran darah akibat peningkatan suhu tubuh yang berhubungan dengan stres akibat kondisi lingkungan. Suhu yang spesifik pada beberapa bagian tubuh ternak, seperti mata, leher, hidung, tulang rusuk, pinggul, perut, paha, ambing dan kaki, yang diperoleh menggunakan termografi inframerah telah digunakan untuk memprediksi parameter fisiologis dan stres pada ternak (Montanholi et al. 2008; Luzi et al. 2013; Soerensen et al. 2014; Weschenfelder et al. 2014). Penentuan suhu tubuh menggunakan termografi inframerah pada ternak yang akan disembelih juga dapat dijadikan teknik untuk memprediksi variasi sifat kualitas daging yang penting (Weschenfelder et al. 2013).

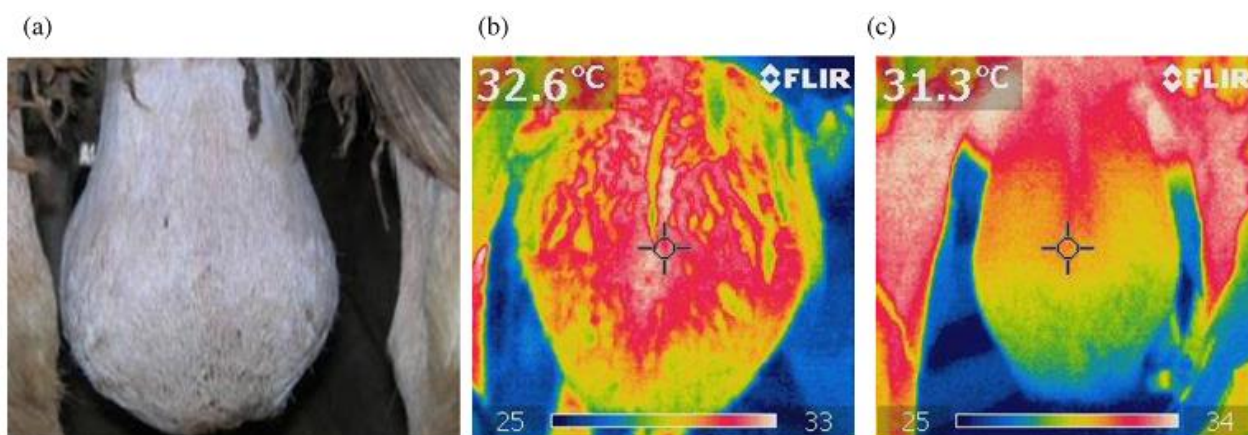
Berkaitan dengan penggunaan hasil penginderaan termografi inframerah terhadap kaitannya dalam status reproduksi ternak juga telah dilaporkan oleh beberapa peneliti seperti terlihat pada Tabel 2. Aliran darah di daerah skrotum berkontribusi pada termoregulasi dikarenakan peningkatan suhu lingkungan dan memfasilitasi kehilangan panas melalui radiasi (Brito et al. 2004). Termografi inframerah digunakan untuk mengevaluasi efek perubahan musim pada kualitas semen melalui penilaian suhu di daerah skrotum dan pengaruhnya pada aspek fisik/kuantitatif (Menegassi et al. 2015). Pengukuran panas yang dipancarkan oleh skrotum menggunakan gambaran termal inframerah juga merupakan alat yang efektif dalam karakterisasi suhu permukaan skrotum pada domba (Ramires et al. 2011).

Penelitian oleh Ramires et al. (2011) pada domba yang berada dalam naungan dan tempat yang terpapar sinar matahari secara langsung menunjukkan perbedaan hanya pada frekuensi pernapasan, dan tidak berbeda pada denyut jantung, suhu rektal, dan suhu permukaan skrotum di daerah testis dan epididimis. Adanya efisiensi termoregulasi pada skrotum dapat mengontrol

suhu tubuh meskipun ternak berada pada kondisi lingkungan yang tidak nyaman.

Pemanfaatan termografi inframerah pada skrotum dilaporkan oleh Cruz Junior et al. (2015). Pada Gambar 1a terlihat bahwa skrotum domba mengalami pembengkakan setelah di insulasi menggunakan kantong selama 7 hari. Selanjutnya pada Gambar 1b terlihat skrotum yang mengalami luka di minggu ke-1 setelah insulasi, sedangkan skrotum kembali pada kondisi normal di minggu ke-11 setelah insulasi (Gambar 1c). Setelah kantong termal dilepas, terjadi degenerasi skrotum dan penurunan panas yang dipancarkan oleh skrotum hingga minggu ke-1 setelah insulasi yang semula sebesar 31-36 °C menjadi 19-28 °C, lalu selanjutnya pemulihan suhu skrotum terjadi pada minggu ke-3 setelah insulasi. Konsentrasi dan motilitas spermatozoa mengalami penurunan bahkan terjadi azoospermia hingga ke-4 setelah insulasi dan kembali normal pada minggu ke-8 setelah insulasi (Cruz Junior et al. 2015).

Dalam deteksi estrus sapi, penggunaan termografi dapat meningkatkan kebuntingan pada sapi dengan kondisi estrus yang *silent heat*, karena suhu meningkat secara signifikan tiga hari sebelum ovulasi. Penggunaan termografi inframerah mampu mendeteksi sapi estrus yang ditandai dengan terjadinya ovulasi sebesar 73%, lebih tinggi dibandingkan pengamatan visual (67%) dan penggunaan Estroprotect sebagai alat deteksi estrus (67%). Penurunan suhu di bagian vulva (36,5 menjadi 35,5°C) dan hidung (35,3 menjadi 33,5°C) yang terjadi 48 jam sebelum ovulasi dapat dikaitkan dengan korpus luteum yang mengalami regresi, sedangkan peningkatan suhu di bagian vulva (35,5 menjadi 36,8°C) dan hidung (33,5 menjadi 34,5°C) yang terjadi pada 24 jam sebelum ovulasi menunjukkan ternak dalam kondisi estrus (Talukder et al. 2014).



**Gambar 4.** Skrotum dalam kondisi bengkak (a) dan hasil penginderaan termografi inframerah pada skrotum yang mengalami luka (b) dan normal (c). Sumber: Cruz Junior et al. (2015)



Pengaruh musim pada suhu testis dilaporkan oleh Menegassi et al. (2015). Hasil penginderaan termografi inframerah pada suhu testis sapi lebih tinggi di musim gugur (4,5°C), musim dingin (4,0°C), dan musim semi (2,9°C) dibandingkan dengan musim panas (0,9°C). Suhu termografi inframerah di bagian mata lebih rendah pada musim dingin (27,6°C) dan musim gugur (26,8°C) dibandingkan dengan musim panas (33,9°C) dan musim semi (31,1°C). Rataan gerakan massa (2,58), motilitas (52,64), dan viabilitas (2,70) semen menurun di musim panas dibandingkan dengan musim lainnya. Suhu testis berkorelasi negatif dengan *Temperature Humidity Index* (-0,44), sehingga dapat disimpulkan bahwa termografi inframerah dapat digunakan untuk menilai suhu testis, kualitas dan kuantitas spermatozoa.

### POTENSI PENGEMBANGAN TERMOGRAFI INFRAMERAH DI INDONESIA

Penginderaan termografi inframerah di Indonesia telah banyak digunakan dalam berbagai studi terutama tentang limbah berbahaya atau kandungan logam berat (Sulma et al. 2014), elektronik (Kusmantoro & Sukmanta 2013), industri (Widodo 2009), gedung (Syahputra 2010), dan kedokteran (Heriana & Rahman 2011; Poerbaningtyas 2018). Kaitan penerapannya di bidang peternakan masih terbatas pada desain kepadatan ayam broiler pada kandang sistem tertutup (Yani et al. 2014), sedangkan pada ternak ruminansia belum dilaporkan.

Penerapan termografi inframerah di luar negeri telah banyak digunakan dalam bidang kedokteran hewan terutama untuk tujuan diagnostik, bahkan di bidang peternakan baik termoregulasi, proses pemerahan, kesejahteraan hewan, serta fisiologi dan reproduksi ternak seperti yang diulas dalam tulisan ini. Termografi inframerah direkomendasikan untuk digunakan dalam bidang peternakan di Indonesia sebagai metode yang dapat menghasilkan informasi penting untuk menggantikan teknik diagnostik konvensional yang selama ini dilakukan.

### KESIMPULAN

Termografi inframerah merupakan solusi alternatif menggantikan metode invasif yang selama ini digunakan dalam penilaian parameter fisiologi reproduksi ruminansia terutama yang disebabkan oleh stres panas yang terjadi pada ternak ruminansia. Termografi inframerah merupakan salah satu metode non-invasif, non-destruktif, dan aman digunakan untuk memperoleh gambaran profil termal dari suhu permukaan kulit

ternak secara visual. Beberapa penelitian menunjukkan adanya korelasi antara hasil penginderaan termografi inframerah pada bagian beberapa bagian tubuh ternak dengan parameter invasif, sehingga metode ini dapat diaplikasikan dan dijadikan acuan dalam *monitoring* status fisiologi reproduksi ternak ruminansia.

### DAFTAR PUSTAKA

- Adedeji TA. 2012. Effect of some qualitative traits and nongenetic factors on heat tolerance attributes of extensively reared West African Dwarf (WAD) goats. *Inter J Appl Agric Apicul Res.* 8:68-81.
- Alam MM, Hashem MA, Rahman MM, Hossain MM, Haque MR, Sobhan Z. 2011. Effect of heat stress on behavior, physiological and blood parameters of goat. *Prog Agric.* 22:37-45.
- Alsaad M, Syring C, Dietrich J, Doherr MG, Gujan T, Steiner AA. 2014. A field trial of infrared thermography as a non-invasive diagnostic tool for early detection of digital dermatitis in dairy cows. *Vet J.* 199:281-285.
- Bagavathiappan S, Lahiri BB, Saravanan T, Philip J, Jayakumar T. 2013. Infrared thermography for condition monitoring – A review. *Infrared Physics Technol.* 60:35-55.
- Barreira E, Freitas VPD. 2007. Evaluation of building materials using infrared thermography. *Construct Build Mat.* 21:218-224.
- Bernabucci U, Lacetera N, Baumgard LH, Rhoads RP, Ronchi B, Nardone A. 2009. Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Int Symp Ruminant Physiol.* 4:1167-1183.
- Blokhuis H, Miele M, Veissier I, Jones B. 2013. Improving farm animal welfare: Science and society working together: The Welfare Quality approach. Wageningen (Belanda): Wageningen Academic Publishers The Netherlands. p. 71-89.
- Brito LFC, Silva AEDF, Barbosa RT, Kastelic JP. 2004. Testicular thermoregulation in *Bos indicus*, crossbred and *Bos taurus* bulls: relationship with scrotal, testicular vascular cone and testicular morphology, and effects on semen quality and sperm production. *Theriogenology.* 61:511-528.
- Castro Bulle FCP, Paulino PV, Sanches AC, Sainz RD. 2007. Growth, carcass quality, and protein and energy metabolism in beef cattle with different growth potentials and residual feed intakes. *J Anim Sci.* 85:928-936.
- Caulfield MP, Cambridge H, Foster SF, Mc Greevy PD. 2014. Review: Heat stress: a major contributor to poor animal welfare associated with long-haul live export voyages. *Vet J.* 199:223-228.

- Cruz Junior CA, Lucci CM, Peripolli V, Silva AF, Menezes AM, Morais SRL, Araujo MS, Ribeiro LMCS, Mattos RC, McManus C. 2015. Effects of testicle insulation on seminal traits in rams: preliminary study. *Small Rumin Res.* 130:157-165.
- Daltro DS, Fischer V, Alfonso EPM, Dalcin VC, Stumpf MT, Kolling GJ, da Silva MVGB, McManus C. 2017. Infrared thermography as a method for evaluating the heat tolerance in dairy cows. *R Bras Zootec.* 46:374-383.
- Ferreira VMOS, Francisco NS, Belloni M, Aguirre GMZ, Caldara FR, Naas IA, Garcia RG, Almeida Paz ICL, Polycarp GV. 2011. Infrared thermography applied to the evaluation of metabolic heat loss of chicks fed with different energy densities. *Braz J Poult Sci.* 13:113-118.
- Gupta M, Kumar S, Dangi SS, Jangir BL. 2013. Physiological, biochemical and molecular responses to thermal stress in goats. *Int J Livest Res.* 3:27-38.
- Hamzaoui S, Salama AAK, Albanell E, Such X, Caja G. 2013. Physiological responses and lactational performances of late-lactation dairy goats under heat stress conditions. *J Dairy Sci.* 96:6355-6365.
- Hegarty RS, Goopy JP, Herd RM, McCorkell B. 2007. Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. *J Anim Sci.* 85:1479-1487.
- Helal A, Hashem ALS, Abdel - Fattah MS, El - Shaer HM. 2010. Effects of heat stress on coat characteristics and physiological responses of Balady and Damascus goats in Sinai, Egypt. *Am Euras J Agric Environ Sci.* 7:60-69.
- Heriana O, Rahman AN. 2011. Segmentasi berbasis warna pada citra termografi kanker payudara menggunakan ruang warna  $L^*a^*b^*$ . *J Elektronika.* 1:66-71.
- Hoffmann G, Schmidt M. 2015. Monitoring the body temperature of cows and calves with a video-based infrared thermography camera. In: Halachmi I, editor. *Precision livestock farming applications*. Wageningen (Belanda): Wageningen Academic Publishers The Netherlands. p 231-238.
- Hoffmann G, Schmidt M, Ammon C. 2016. First investigations to refine video-based IR thermography as a non-invasive tool to monitor the body temperature of calves. *Animal.* 10:1542-1546.
- Jadin MS, Taib S. 2012. Recent progress in diagnosing the reliability of electrical equipment by using infrared thermography. *Infrared Phys Technol.* 55:236-245.
- Kastberger G, Stachl R. 2003. Infrared imaging technology and biological applications. *Behav Res Methods Instr Comp.* 35:429-439.
- Knizkova I, Kunc P, Gurdíl GAK, Pinar Y, Selví KC. 2007. Applications of infrared thermography in animal production. *J Fac Agric.* 22:329-336.
- Kusmantoro A, Sukanta S. 2013. Pemeriksaan kondisi peralatan mekanikal dan elektrikal gedung menggunakan metode infrared thermography. *J Teknik Elektro.* 5:6-11.
- Lees AM, Lees JC, Sejian V, Wallage AL, Gaughan JB. 2017. Short communication: using infrared thermography as an in situ measure of core body temperature in lot-fed Angus steers. *Int J Biometeorol.* 62:3-8.
- Luzi F, Mitchell M, Nanni Costa L, Redaelli V. 2013. Thermography: Current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine. Brescia (Italia): Brescia Foundation.
- Menegassi SRO, Barcellos JOJ, Dias EA, Koetz C, Pereira GR, Peripolli V, Mcmanus C, Canozzi MEA, Lopes FG. 2015. Scrotal infrared digital thermography as a predictor of seasonal effects on sperm traits in Braford bulls. *Int J Biometeorol.* 59:357-364.
- Montanholi YR, Nicholas EO, Kendall CS, Schenkel FS, McBride BW, Miller SP. 2008. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). *J Therm Biol.* 33:468-475.
- Montanholi YR, Swanson KC, Schenkel FS, McBride BW, Caldwell TR, Miller SP. 2009. On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. *Livest Sci.* 125:22-30.
- Nardone A, Ronchi B, Lacetera N, Ranieri MS, Bernabucci U. 2010. Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livest Sci.* 130:57-69.
- Okoruwa MI, Adewumi MK, Igene FU. 2013. Thermophysiological responses of West African dwarf (WAD) bucks fed *Pennisetum purpureum* and unripe plantain peels. *Nigeria J Anim Sci.* 15:168-178.
- Okoruwa MI. 2014. Effect of heat stress on thermoregulatory, live body weight and physiological responses of dwarf goats in Southern Nigeria. *Eur Sci J.* 10:255-264.
- Osakew RAO, Akpan VA, Babalola MT. 2017. Comparative study of the symptoms of impending human heart, kidney and liver failures based on blood samples. *Int J Chinese Medic.* 1:32-44.

- Paim TP, Borges BO, Lima PMT. 2012. Relation between thermographic temperatures of lambs and thermal comfort indices. *Int J Appl Anim Sci.* 1:108-115.
- Phulia SK, Upadhyay RC, Jindal SK, Misra RP. 2010. Alteration in surface body temperature and physiological responses in Sirohi goats during day time in summer season. *Indian J Anim Sci.* 80:340-342.
- Poerbaningtyas E. 2018. Penerapan tranformasi ruang warna yuv dan wavelet dalam meningkatkan intensitas pixel pada analisa citra panas payudara. *J Informatika Merdeka Pasuruan.* 3:80-87.
- Pragna P, Archana PR, Aleena J, Sejian V, Krishnan G, Bagath M, Manimaran A, Beena V, Kurien EK, Varma G, Bhatta R. 2017. Heat stress and dairy cow: Impact on both milk yield and composition. *Int J Dairy Sci.* 12:1-11.
- Ramires NC, Rodello L, Bicudo SD. 2011. Scrotal thermography in prepubertal ovines submitted to heat stress. *Veterinária e Zootecnia.* 18:1017-1019.
- Sarangi S. 2018. Adaptability of goats to heat stress: A review. *The Pharma Innovation J.* 7:1114-1126.
- Sharma AK, Kataria N. 2011. Effect of extreme hot climate on liver and serum enzymes in Marwari goats. *Indian J Anim Sci.* 81:293-295.
- Sharma S, Ramesh K, Hyder I, Uniyal S, Yadav VP, Panda RP. 2013. Effect of melatonin administration on thyroid hormones, cortisol and expression profile of heat shock proteins in goats (*Capra hircus*) exposed to heat stress. *Small Rumin Res.* 112:216-223.
- Shilja S, Sejian V, Bagath M, Mech A, David CG, Kurien EK. 2015. Adaptive capability as indicated by behavioral and physiological responses, plasma HSP70 level, and PBMC HSP70 mRNA expression in Osmanabadi goats subjected to combined (heat and nutritional) stressors. *Int. J Biometeorol.* 60:1311-1323.
- Silanikove N. 2000a. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest Prod Sci.* 67:1-18.
- Silanikove N. 2000b. The physiological basis of adaptation in goats to harsh environments. *Small Rumin Res.* 35:181-193.
- Silanikove N, Koluman N. 2015. Impact of climate change on the dairy industry in temperate zones: predications on the overall negative impact and on the positive role of dairy goats in adaptation to earth warming. *Small Rumin Res.* 123:27-34.
- Singh K. 2013. Evaluation and interpretation of biomarkers of liver diseases. *Int J Res Health Sci.* 1:213-223.
- Soerensen DD, Clausen S, Mercer JB, Pedersen LJ. 2014. Determining the emissivity of pig skin for accurate infrared thermography. *Comput Electron Agric.* 109:52-58.
- Soerensen DD, Pedersen LJ. 2015. Infrared skin temperature measurements for monitoring health in pigs: a review. *Acta Vet Scand.* 57:1-11.
- Srikandakumar A, Johnson EH, Mahgoub O. 2003. Effect of heat stress on respiratory rate, rectal temperature and blood chemistry in Omani and Australian Merino Sheep. *Small Rumin Res.* 49:193-198.
- Stewart M, Webster JR, Verkerk GA, Schaefer AL, Colyn JJ, Stafford KJ. 2007. Non-invasive measurement of stress in dairy cows using infrared thermography. *Physiol Behav.* 92:520-525.
- Stewart M, Stafford KJ, Dowling SK. 2008. Eye temperature and heart rate variability of calves disbudded with or without local anaesthetic. *Physiol Behav.* 93:789-797.
- Sulma S, Pasaribu JM, Haryani NS. 2014. Deteksi daerah tercemar lumpur asam menggunakan data landsat 7 ETM berdasarkan suhu permukaan tanah. *J Penginderaan Jauh.* 11:76-87.
- Syahputra R. 2010. Aplikasi deteksi tepi citra termografi untuk pendeteksian keretakan permukaan material. *Forum Teknik.* 33:18-26.
- Talukder S, Kerrisk KL, Ingenhoff L, Thomson PC, Garcia SC, Celi P. 2014. Infrared technology for estrus detection and as a predictor of time of ovulation in dairy cows in a pasture-based system. *Theriogenology.* 81:925-935.
- Tattersall GJ. 2016. Infrared thermography: A non-invasive window into 2 thermal physiology. *Comp Biochemist Physiol Part A: Molec Integr Physiology.* 202:78-98.
- Titman DJ. 2001. Applications of thermography in non-destructive testing of structures. *NDT & E Int.* 34:149-154.
- Usamentiaga R, Venegas P, Guerediaga J, Vega L, Molleda J, Bulnes FG. 2014. Infrared thermography for temperature measurement and non-destructive testing. *Sensors.* 14:12305-12348.
- Weschenfelder AV, Saucier L, Maldague X, Rocha LM, Schaefer AL, Faucitano L. 2013. Use of infrared ocular thermography to assess physiological conditions of pigs prior to slaughter and predict pork quality variation. *Meat Sci.* 95:616-620.
- Weschenfelder AV, Maldague X, Rocha LM, Schaefer AL, Saucier L, Faucitano L. 2014. The use of infra-red thermography for pork quality prediction. *Meat Sci.* 96:120-125.

- West JW. 1999. Nutritional strategies for managing the heat stressed dairy cow. *J Anim Sci.* 77:21-35.
- West JW. 2003. Effects of Heat-Stress on Production in Dairy Cattle. *J Dairy Sci.* 86:2131-2144.
- Widodo A. 2009. Pencarian informasi citra digital termografi dengan metode pengenalan pola untuk pemantauan kondisi mesin. *Rotasi.* 11:17-20.
- Yani A, Suhardiyanto H, Erizal, Purwanto BP. 2014. Design of stocking density of broilers for closed house in wet tropical climates. *Media Peternakan.* 37:17-23.