

Pola Citra Suhu Permukaan pada Sapi Perah yang Diukur Menggunakan Kamera Termal Inframerah

(Surface Temperature Image Patterns on Dairy Cattle Measured Using Infrared Thermal Camera)

Santoso K¹, Yusuf FM², Setiyono A³, Ulum MF³, Seminar KB⁴, Arif R⁵, Suprayogi A¹

¹*Divisi Fisiologi, Fakultas Kedokteran Hewan, Institut Pertanian Bogor*

²*Program Sarjana Fakultas Kedokteran Hewan, Institut Pertanian Bogor*

³*Divisi Patologi, Fakultas Kedokteran Hewan, Institut Pertanian Bogor*

⁴*Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor*

⁵*Divisi Parasitologi dan Entomologi Kesehatan, Fakultas Kedokteran Hewan, Institut Pertanian Bogor*
fkipb@ipb.ac.id

ABSTRACT

The infrared thermal camera is a device that was used to check for surface temperatures in a contactless and non-invasive way. This study aimed to determine the normal values of surface temperature in various regions on 15 dairy cows in Ciomas, Bogor using thermal imaging at temperature-humidity index of 71 and to determine the region to estimate rectal temperature. Body surface temperatures were taken by a thermal camera FLIR One Pro LT, whilst, the core temperature was measured using a thermometer through the rectum. Data analysis used ANOVA. Surface temperatures were measured on the nasal, cheek, eyes, thorax, abdomen, left front quarter, right front quarter, left hind quarter and right hind quarter, and vulva regions with averages of 34.81°C, 32.64°C, 37.59°C, 32.46°C, 32.81°C, 37.41°C, 37.16°C, 36.33°C, 36.04°C, and 37.30°C respectively, including a rectal temperature of 37.88°C. With statistical analysis, surface temperatures of the eye, left front quarter, right front quarter, and vulva regions, showed no significant differences ($P>0.05$) with rectal temperature. Surface temperatures were affected by core temperature, environmental temperature, and blood vessel regulation. Increased surface temperature indicated the presence of inflammation. The best region for estimating rectal temperature was the eye region.

Key words: Core temperature, Friesian Holstein, infrared thermal camera, regions, surface temperature

ABSTRAK

Kamera termal inframerah adalah perangkat yang digunakan untuk memeriksa suhu permukaan dengan cara non-kontak dan non-invasif. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai normal suhu permukaan di berbagai wilayah pada 15 ekor sapi perah betina di Ciomas, Bogor menggunakan pencitraan termal pada indeks suhu-kelembapan 71 dan menentukan wilayah yang akan diduga suhu rektal. Suhu

permukaan tubuh diambil dengan kamera termal FLIR One Pro LT, sedangkan suhu inti diukur menggunakan termometer melalui rektum. Uji statistik dengan metode ANOVA. Temperatur permukaan diukur pada bagian hidung, pipi, mata, dada, perut, bagian kiri depan, bagian kanan depan, bagian kiri belakang dan bagian belakang kanan, dan daerah vulva dengan rata-rata 34,81°C; 32,64°C; 37,59°C; 32,46°C; 32,81°C; 37,41°C; 37,16°C; 36,33°C; 36,04°C; dan 37,30°C, termasuk suhu rektal 37,88°C. Dengan analisis statistik, suhu permukaan mata, kuartir kiri depan, kuartir kanan depan, dan area vulva, tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan ($P>0,05$) dengan suhu rektal. Suhu permukaan dipengaruhi oleh suhu inti, suhu lingkungan, dan regulasi pembuluh darah. Peningkatan suhu permukaan menunjukkan adanya peradangan. Daerah terbaik untuk memperkirakan suhu rektal adalah daerah mata.

Kata kunci: Friesian Holstein, kamera termal inframerah, suhu permukaan, suhu tubuh, wilayah

PENDAHULUAN

Suhu tubuh, denyut jantung, pulsus nadi, dan laju pernapasan merupakan empat tanda vital yang sangat penting untuk diketahui saat melakukan physical examination (PE) karena dapat menggambarkan kondisi pasien secara umum. Menurut Sellier et al. (2014) suhu tubuh merupakan tanda vital pada tubuh yang erat hubungannya dengan fungsi fisiologis hewan, diantaranya adalah reproduksi, aktivitas, respons stres, dan juga kesehatan hewan. Kenaikan suhu tubuh dapat menjadi indikator terjadinya infeksi penyakit (Johnson et al. 2011) dan juga bisa disebabkan oleh paparan suhu yang tinggi sehingga hewan mengalami cekaman panas (Peng et al. 2019). Menurut Maia et al. (2005), saat suhu lingkungan mencapai lebih dari 30°C, maka panas yang dikeluarkan oleh tubuh melalui kulit mencapai 85% dari total panas yang dikeluarkan.

Pengukuran suhu pada tubuh seekor hewan dapat dilakukan dengan mengukur suhu inti dan suhu permukaan. Suhu inti merupakan panas yang diproduksi oleh aktivitas organ seperti otak, jantung, hati, ginjal, sistem pencernaan, dan organ *viscera* lainnya (Sellier et al. 2014). Pengukuran suhu rektum merupakan salah satu metode yang sering digunakan untuk mengukur suhu inti. Cara tersebut dapat menghabiskan banyak waktu apabila dilakukan pada hewan dengan jumlah populasi yang besar. Mengukur suhu inti menggunakan metode suhu rektum juga dapat mengganggu hewan sehingga hewan mengalami cekaman akibat adanya interaksi antara manusia dan hewan (Hoffmann et al. 2013). Metode lain yang dikembangkan untuk mengukur suhu inti adalah dengan menggunakan *bolus* untuk mengukur suhu ternak ruminansia pada daerah ristikulo-rumen, namun alat ini tidak dapat mengukur secara akurat karena ada pengaruh dari fermentasi rumen dan juga ingesti pakan serta minum sehingga hasilnya kurang akurat (Timsit et al. 2011).

Pengukuran suhu permukaan dapat dilakukan dengan berbagai metode seperti kontak langsung dengan tubuh hewan dengan *thermocouples* serta metode non-kontak seperti kamera termal inframerah dan *pyrometer*. Kamera termal inframerah dapat digunakan untuk mengukur suhu permukaan secara non-kontak, non-invasif, aman, dan cepat (Švejdová et al. 2013). Termografi merupakan metode untuk mengukur suhu permukaan suatu benda menggunakan kamera termal inframerah dan hasil dari termografi disebut dengan termogram (Head et al. 2001). Menurut Usamentiaga et al. (2014), keunggulan kamera termal inframerah untuk mengukur suhu permukaan yaitu tidak diperlukan adanya kontak antara alat dengan tubuh hewan karena alat ini merupakan teknologi non-kontak sehingga dapat meminimalisir cekaman pada hewan. Selain itu, perbandingan suhu pada setiap area tubuh lebih mudah dilakukan karena termogram berupa gambaran dua dimensi sehingga mudah untuk melihat daerah yang terdapat kelainan dengan adanya perbedaan warna pada termogram.

Penggunaan kamera termal inframerah dalam kedokteran hewan dapat dilakukan untuk mengukur suhu permukaan pada hewan ternak, satwa liar, dan hewan lainnya yang tidak mungkin dilakukannya pengukuran suhu rektum (Lavers et al. 2005). Selain itu kegunaan kamera termal inframerah diantaranya adalah sebagai screening test untuk melihat adanya infeksi oleh mikroorganisme yang menginduksi pireksia dan peradangan lokal seperti bovine viral diarrhea virus, penyakit mulut dan kuku, bluetongue, rabies, tuberkulosis, dan mastitis. Selain itu, kamera termal inframerah juga dapat digunakan untuk melihat adanya perfusi jaringan, efisiensi pakan, kebuntingan, deteksi estrus, kesejahteraan hewan, dan kualitas daging (Berry et al. 2003; Rekant et al. 2016).

Bansi (2018) menyatakan bahwa penggunaan dan penelitian tentang kamera termal inframerah dalam bidang kedokteran hewan di Indonesia masih sangat jarang dilakukan. Padahal, isu kesejahteraan hewan, efisiensi pakan yang rendah, serta penyakit seperti mastitis, antraks, *brucellosis*, dan jembrana masih menjadi masalah di peternakan sapi Indonesia yang keberadaannya bisa dideteksi secara dini menggunakan kamera termal inframerah karena akan terjadi perubahan suhu pada hewan.

Penelitian ini bertujuan mengetahui nilai suhu permukaan normal berbagai regio tubuh sapi perah menggunakan citra termal pada indeks suhu-kelembapan sebesar 70,82 RH dan mengetahui regio terbaik untuk memperkirakan suhu rektum. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi tentang pola termogram permukaan sapi perah agar dapat digunakan sebagai informasi medis untuk membantu menentukan diagnosis pada sapi perah Friesian Holstein.

MATERI DAN METODE

Waktu dan tempat penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 8 hingga 18 Maret 2020. Pengambilan data dilakukan pada pukul 05.00-08.00 WIB bertempat di salah satu peternakan rakyat di Kabupaten Bogor.

Bahan dan alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah 15 ekor sapi betina Friesian Holstein. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah kamera termal FLIR One Pro LT, perangkat lunak FLIR One, dan *smartphone* untuk mengukur suhu permukaan serta termometer digital untuk mengukur suhu rektal.

Prosedur penelitian

Pengambilan gambar menggunakan kamera termal FLIR One Pro LT dilakukan pada pagi hari. Sapi dibersihkan terlebih dahulu kemudian ditunggu ± 15 menit sebelum dilakukan pengambilan gambar. Pengambilan gambar dilakukan sebelum dilakukan pemerahan. Pengambilan gambar termogram dilakukan pada sepuluh regio, yaitu hidung, pipi, mata, toraks, abdomen, keempat kuartir, dan vulva pada 15 individu sapi betina dengan masing-masing regio diambil empat kali pengulangan serta suhu rektum diambil sebagai kontrol.

Kamera termal FLIR One Pro LT dihubungkan dengan *Smartphone*, kemudian aplikasi FLIR One dibuka. Pengambilan gambar dilakukan dengan jarak sekitar 1 meter dari permukaan tubuh sapi. Bidikan kursor dapat diatur dalam layar *smartphone* untuk menampilkan daerah yang diambil. Nilai rentang suhu yang dideteksi kamera termal FLIR One Pro LT tercantum di dalam aplikasi, selain itu suhu pada regio tersebut juga tercantum pada kursor bidikan kamera. Mode foto dapat dipilih dengan cara mengetuk *thumbnail* pada bagian kanan bawah. Perpaduan warna pada hasil foto dapat diatur pada opsi *palettes*. Tombol putih diketuk pada bagian bawah layar untuk menyimpan foto ke galeri. Foto terbaru dapat dilihat dengan mengetuk *thumbnail* pada bagian kiri bawah. Foto hasil termal kamera FLIR One Pro LT di galeri dapat dilihat kembali tanpa terhubung dengan kamera termal FLIR One Pro LT.



Gambar 1. Pengambilan gambar menggunakan kamera termal inframerah

Analisis data

Analisis data dilakukan dengan bantuan *software Statistical Product and Service Solutions* (SPSS). Pengujian perbedaan rerata nilai tiap regio dilakukan menggunakan uji statistik dengan metode *one way analyze of variant* (ANOVA) dan dilanjutkan dengan uji Duncan pada tingkat kepercayaan 95%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari pengukuran suhu permukaan pada sapi perah Friesian Holstein (FH) dengan aplikasi kamera termal inframerah. Menurut Yani et al. (2007) sapi FH memiliki sifat yang sensitif terhadap kenaikan suhu lingkungan. Kenaikan suhu lingkungan dapat membuat sapi FH mengalami cekaman panas, sehingga perlu dilakukan pengambilan data pada pagi hari saat sapi FH tidak mengalami cekaman panas yang mampu membuat data menjadi bias. Pengambilan gambar dilakukan pada pagi hari dengan nilai indeks suhu-kelembapan (THI) sebesar 70,82, suhu lingkungan sebesar $\pm 23^{\circ}\text{C}$, dan kelembapan relatif sebesar 70%.

Termogram yang dihasilkan dari pengambilan gambar menggunakan kamera termal inframerah digambarkan dengan beberapa gradasi warna yang disebut *palettes*. Setiap warna yang berbeda pada gambar menunjukkan besaran suhu dari benda yang diambil gambarnya. Beberapa *palettes* yang sering digunakan dalam bidang medis, yaitu *iron palettes* dan *rainbow palettes* karena dinilai lebih mudah dalam melakukan interpretasi termogram (Cruz-Albarran et al. 2019).

Hasil pengambilan gambar termogram menggunakan kamera termal inframerah dapat dilihat pada Gambar 2. Pada gambar tersebut dapat dilihat

bahwa kursor berada pada regio kuartir kanan depan dengan nilai suhu permukaan sebesar 37,9°C. Warna oranye terang menunjukkan daerah yang memiliki suhu lebih tinggi dibandingkan dengan daerah berwarna oranye gelap dan warna keunguan. Hubungan suhu dan warna pada termogram dapat dilihat pada skala yang berada disebelah kiri gambar.



Gambar 2. Termogram permukaan regio kuartir kanan depan sapi menggunakan *iron palletes*

Data hasil pengamatan suhu permukaan sapi FH yang diukur menggunakan kamera termal inframerah terdapat pada Tabel 1. Suhu pada regio hidung, mata, keempat kuartir, dan vulva menunjukkan hasil yang cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan suhu pada regio pipi, toraks, dan abdomen. Nilai rata-rata suhu pada berbagai regio anatomis tersebut sesuai dengan pernyataan Sellier et al. (2014) yang menyebutkan bahwa mata, hidung, ambing, dan vulva merupakan bagian dari *thermal windows*, sehingga suhu permukaan pada daerah tersebut merupakan jendela terhadap suhu inti tubuh yang memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan dengan suhu permukaan pada bagian *non-thermal windows*.

Nilai rata-rata suhu permukaan pada regio pipi, toraks, dan abdomen memiliki hasil yang berbeda nyata ($P < 0,05$) dengan rektum. Regio tersebut cenderung memiliki lapisan kulit dan lemak yang tebal, sehingga panas yang dikeluarkan cenderung lebih sedikit. Menurut Soerensen & Pedersen (2015), bagian tubuh permukaan hewan yang memiliki lapisan lemak yang tebal akan masuk dalam bagian *non-thermal windows*, sehingga akan menunjukkan nilai suhu permukaan yang lebih rendah daripada suhu inti tubuh. Hal tersebut juga didukung juga oleh pernyataan Hall (2011), kulit dan jaringan subkutan terutama lemak merupakan sistem isolator yang ada pada tubuh. Lemak merupakan sistem isolator tubuh yang sangat baik karena hanya menghantarkan panas sebanyak 1/3 kali dibandingkan organ lain. Hal tersebut menyebabkan panas yang ditangkap

oleh kamera termal inframerah pada regio dengan kulit dan jaringan subkutan yang tebal akan menunjukkan nilai yang lebih rendah.

Tabel 1. Data suhu permukaan pada sapi FH berdasarkan regio anatomis pada tingkat kepercayaan 95%

Regio	Rata-rata suhu (°C)
Hidung	34,81 ^b ±1,21
Pipi	32,64 ^a ±1,34
Mata	37,59 ^e ±0,33
Toraks	32,46 ^a ±1,48
Abdomen	32,81 ^a ±1,86
K1	37,41 ^e ±0,76
K2	37,16 ^{de} ±1,23
K3	36,33 ^{cd} ±1,45
K4	36,04 ^c ±1,43
Vulva	37,30 ^e ±0,54
Rektum	37,88 ^e ±0,18

Data disajikan dalam bentuk rerata dengan standar deviasi ($\bar{x} \pm SD$); ^{a, b, c, d, e} Superskrip yang berbeda dalam kolom yang sama menunjukkan nilai yang berbeda nyata ($P < 0,05$); K1: kuartir kiri depan, K2: kuartir kanan depan, K3: kuartir kiri belakang, K4: kuartir kanan belakang

Nilai rata-rata suhu permukaan pada regio hidung menunjukkan adanya perbedaan yang nyata ($P < 0,05$) dengan rektum. Hal ini tidak sesuai dengan pendapat Sellier et al. (2014) yang menyatakan bahwa hidung merupakan bagian dari *thermal windows*, sehingga memiliki suhu yang mendekati suhu inti. Menurut Knížková et al. (2012), penurunan suhu permukaan pada termogram dapat disebabkan karena basah dan adanya kotoran pada bagian tubuh tersebut. Air yang menempel pada permukaan tubuh sangat mempengaruhi suhu permukaan karena air mampu menyerap panas yang dikeluarkan oleh tubuh (Adhianto et al. 2015). Penurunan panas akibat adanya air terjadi secara konduksi (Hall 2011).

Regio mata, vulva, serta kuartir bagian depan pada sapi menunjukkan hasil yang tidak berbeda nyata ($P > 0,05$) dengan suhu rektum. Regio mata, vulva, dan ambing merupakan regio yang baik untuk memperkirakan suhu rektum karena termasuk ke dalam bagian *thermal windows* (Hoffmann et al. 2013; Sellier et al. 2014). Hasil tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Švejdová et al. (2013) yang menyatakan bahwa suhu pada mata memiliki nilai terdekat dengan suhu rektum. Hasil ini juga didukung oleh Schaefer et al. (2004) yang menyatakan bahwa kenaikan suhu inti sejalan dengan kenaikan suhu pada regio mata. Suhu

permukaan pada daerah sekitar mata tidak terlalu dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, sehingga mampu menjadi indikator stres yang baik dan juga sebagai regio terbaik untuk memperikarakan suhu inti (Stewart et al. 2008; Gloster et al. 2011).

Hasil pengukuran suhu permukaan pada regio vulva menunjukkan nilai rata-rata sebesar 37,30°C. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Chacur et al. (2016), yang menyatakan bahwa suhu permukaan pada regio vulva berkisar antara 33,00-38,36°C. Pernyataan tersebut diperkuat oleh Hoffmann et al. (2013) yang menyatakan bahwa vulva memiliki suhu permukaan sekitar 37,20°C. Menurut Talukder et al. (2014), perubahan suhu permukaan pada vulva dipengaruhi oleh siklus estrus. Suhu tertinggi pada vulva sapi diperoleh pada saat 72 dan 24 jam sebelum ovulasi. Suhu permukaan pada vulva memiliki nilai yang tinggi pada 72 jam sebelum ovulasi disebabkan karena konsentrasi hormon progesterone dalam darah tinggi. Kenaikan suhu saat 24 jam sebelum ovulasi atau saat sapi sedang dalam fase estrus disebabkan oleh terjadinya kenaikan aktivitas hipotalamus bagian LH *surge* yang menginduksi ovulasi 24 jam setelahnya. Keberadaan hormon estradiol dalam konsentrasi yang tinggi juga diduga sebagai penyebab kenaikan suhu vulva pada sapi estrus.

Nilai rata-rata suhu kuartir kiri depan cenderung lebih besar dibandingkan dengan kuartir kanan depan, begitu juga dengan suhu kuartir kiri belakang memiliki nilai cenderung lebih besar dibandingkan dengan kuartir kanan belakang. Menurut Nakagawa et al. (2016), nilai suhu kuartir bagian kiri cenderung lebih besar dibandingkan dengan kuartir bagian kanan. Hal tersebut diduga karena lokasi anatomi dari organ pencernaan pada ruminansia yang asimetris. Ruminansia memiliki rumen pada daerah sebelah kiri abdomen yang dapat memproduksi panas lebih banyak, sehingga akan mempengaruhi nilai suhu permukaan pada kuartir bagian kiri.

Nilai rata-rata suhu permukaan kuartir kiri depan dan kuartir kanan belakang menunjukkan adanya perbedaan nyata ($P < 0,05$). Menurut Peng et al. (2019), kuartir bagian depan memiliki nilai suhu yang lebih tinggi dibandingkan kuartir bagian belakang. Perbedaan tersebut diduga karena kuartir bagian belakang berada di antara kaki belakang, sehingga panas pada regio tersebut sebagian berpindah menuju kaki belakang. Namun hal tersebut bertolak belakang dengan hasil pengamatan pada kuartir kanan depan dan kuartir kiri belakang yang menunjukkan tidak adanya perbedaan yang nyata ($P > 0,05$). Hal tersebut dapat terjadi karena kuartir kiri belakang mengalami kenaikan suhu yang dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Menurut Yang et al. (2018), kuartir yang memiliki produksi susu lebih tinggi akan mempunyai suhu permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kuartir yang kemampuan produksi susu lebih rendah. Kenaikan nilai suhu permukaan pada ambung juga dapat disebabkan oleh penyakit seperti mastitis subklinis dan mastitis klinis (Sathiyabarathi et al. 2018).

Brzozowski et al. (2017) menyatakan mastitis dapat menyebabkan pembuluh darah disekitar daerah peradangan menjadi vasodilatasi yang menurut Hall (2011) mampu menaikkan nilai suhu permukaan. Penelitian tentang perubahan suhu permukaan pada ambung menunjukkan adanya perbedaan kenaikan suhu pada kasus mastitis subklinis dan mastitis klinis. Menurut Sathiyabarathi et al. (2018), kenaikan suhu pada kasus mastitis subklinis adalah sebesar 0,8°C, sedangkan pada kasus mastitis klinis kenaikan suhu mencapai 1,1°C.

Regio mata merupakan regio terbaik untuk memperkirakan suhu rektum. Hal tersebut dikarenakan regio mata memiliki nilai suhu permukaan tertinggi dibandingkan nilai suhu permukaan pada regio lainnya. Selain itu, pengukuran suhu permukaan pada regio mata cenderung lebih baik karena regio tersebut tidak terhalang oleh bagian tubuh lain dan tidak mudah kotor, sehingga dapat mempersulit dan mempengaruhi pengukuran suhu permukaan menggunakan kamera termal inframerah.

KESIMPULAN

Hasil pengukuran suhu permukaan sapi perah menggunakan kamera termal inframerah pada regio hidung, pipi, mata, toraks, abdomen, kwartir kiri depan, kwartir kanan depan, kwartir kiri belakang, kwartir kanan belakang, dan vulva menunjukkan bahwa regio terbaik untuk memperkirakan nilai suhu rektum adalah regio mata.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Pertanian Bogor atas dukungannya melalui Surat Penugasan Pelaksanaan Penelitian bagi Dosen Institut Pertanian Bogor melalui Penelitian Terapan Unggulan Perguruan Tinggi (PTUPT) Nomor: 2777/IT3.L1/PN/2020.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhianto K, Siswanto, Kesuma CN. 2015. Pengaruh frekuensi penyiraman air menggunakan *sprinkler* terhadap respon fisiologis dan pertumbuhan sapi peranakan Simmental. Buletin Peternakan. 39:109-115.
- Bansi H. 2018. Utilization of infrared thermography in cattle production and its application potency in Indonesia. Wartazoa. 28:99-106.
- Berry RJ, Kenned AD, Scott SL, Kyle BL, Schaefer AL. 2003. Daily variation in the udder surface temperature of dairy cows measured by infrared thermography: potential to mastitis detection. Can J Anim Sci. 83:687-693.
- Brzozowski T, Magierowska K, Magierowski M, Ptak-Belowska A, Padoj R, Kwicien S, Olszanecki R, Korbut R. 2017. Recent advances in the gastric mucosal protection

- against stress-induced gastric lesions. Importance of renin-angiotensin vasoactive metabolites, gaseous mediators and appetite peptides. *Curr Pharm Des.* 23:3910-3922.
- Chacur MGM, Bastos GP, Vivian DS, Silva L, Chiari LNF, Araujo JD, Souza CD, Gabriel Filho LRA. 2016. Use of infrared thermography to evaluate the influence of the of climatic factors in the reproduction and lactation of dairy cattle. *Acta Sci Vet.* 44:1412-1421.
- Cruz-Albarran IA, Benitez-Rangel JP, Osornio-Rios RA, Dominguez-Trejo B, Rodriguez-Medina DA, Morales-Hernandez LA. 2019. A new approach to obtain a colour palette in thermographic images. *Quant InfraRed Thermogr J.* 16:35-54.
- Gloster J, Ebert K, Gubbins S, Bashiruddin J, Paton DJ. 2011. Normal variation in thermal radiated temperature in cattle: implications for foot-and-mouth disease detection. *BMC Vet Res.* 7:73.
- Hall JE. 2011. Guyton and hall textbook of medical physiology. 12th Ed. Philadelphia (USA): Saunders.
- Head MJ, Dyson S, Champney WS, Pelt J, Tober CL. 2001. Talking the temperature of equine thermography. *Vet J.* 162:166-167.
- Hoffmann G, Schmidt M, Ammon C, Rose-Meierhöfer S, Burfeind O, Heuwieser W, Berg W. 2013. Monitoring the body temperature of cows and calves using video recordings from an infrared thermography camera. *Vet Res Commun.* 37:91-99.
- Johnson SR, Rao S, Hussey SB, Morley PS, Traub-Dargatz. 2011. Thermographic eye temperature as an index to body temperature in ponies. *J Equine Vet Sci.* 31:63-66.
- Knížková I, Kunc P, Gürdíl GAK, Pinar Y, Selví KÇ. 2007. Applications of infrared thermography in animal production. *J Fac Agric.* 22:329-336.
- Lavers C, Franks K, Floyd M, Plowman A. 2005. Application of remote thermal imaging and night vision technology to improve endangered wildlife resource management with minimal animal distress and hazard to humans. *J Phys Conf Ser.* 15:207-212.
- Maia ASC, DaSilva RG, Loureiro CMB. 2005. Sensible and latent heat loss from the body surface of Holstein cows in a tropical environment. *Int J Biometeorol.* 50:17-22.
- Nakagawa Y, Nassary NA, Fukuyama K, Kobayashi I. 2016. Measurement of udder surface temperature in cows using infrared thermometer. *Adv Intell Syst.* 387:429-434.
- Peng D, Chen S, Li G, Chen J, Wang J, Gu X. 2019. Infrared thermography measured body surface temperature in dairy cows under different temperature-indexes. *Int J Biometeorol.* 63:327-336.
- Rekant SI, Lyons MA, Pacheco JM, Artz J, Rodriguez LL. 2016. Veterinary applications of infrared thermography. *Am J Vet Res.* 77:98-107.

- Sathiyabarathi M, Jeyakumar S, Manimaran A, Pushpadass HA, Kumaresan A, Lathwal SS, Sivaram M, Das DN, Ramesha KP, Jayaprakash G. 2018. Infrared thermography to monitor body and udder skin surface temperature differences in relation to subclinical and clinical mastitis condition in Karan Fries (*Bos taurus* x *Bos indicus*) crossbred cows. *Indian J Anim Sci.* 88:694-699.
- Schaefer AL, Cook N, Tessaro SV, Deregts D, Desroches G, Dubeski PL, Tong AKW, Godson DL. 2004. Early detection and prediction of infection using infrared thermography. *Can J Anim Sci.* 84:73-80.
- Sellier N, Guettier E, Staub C. 2014. A review of method to measure animal body temperature in precision farming [review]. *CIP.* 2:74-99.
- Soerensen DD, Pedersen LJ. 2015. Infrared skin temperature measurements for monitoring health in pigs [review]. *Acta Vet Scand.* 57:5-15.
- Stewart M, Stafford KJ, Dowling SK, Schaefer AL, Webster JR. 2008. Eye temperature and heart rate variability of calves disbudded with or without local anaesthetic. *Physiol Behav.* 93:789-797.
- Švejsová K, Šoch M, Šimková A, Zábranský L, Novák P, Brouček J, Čermák B, Pálka V, Šimák-Líbalová K. 2013. Measuring the body surface temperature of animals using a thermographic camera. *AUCFT.* 17:99-106.
- Talukder S, Kerrisk KL, Ingenhoff L, Thomson PC, Gacia 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.
- Timsit E, Assié S, Quiniou R, Seegers H, Bareille N. 2011. Early detection of bovine respiratory disease in young bulls using reticulo-rumen temperature boluses. *Vet J.* 190:136-142.
- 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.
- Yang C, Li G, Zhang X, Gu X. 2018. Udder skin surface temperature variation pre- and post- milking in dairy cows as determined by infrared thermography. *J Dairy Res.* 85:201-203.
- Yani A, Suhardiyanto H, Hasbullah R, Purwanto BP. 2007. Analisis dan simulasi distribusi suhu udara pada kandang sapi perah menggunakan *computational fluid dynamics* (CFD). *MP.* 30:218-228.