

Sistem Pemeliharaan Ternak Ruminansia yang Adaptif terhadap Perubahan Iklim

Y. Widiawati, M.I. Shiddieqy, E.S. Rohaeni, Y.N. Anggraeny, Setiasih, Wardi, Firsoni, Antonius, W.T. Sasongko, M.C. Hadiatry, S. Widodo, H. Bansi, A. Herliatika, S. Asmaicen, S. Puspito, W. Widaringsih, N. Miraya E.M.W. Andreas, & S. Riyanti.

A. Peternakan sebagai Pilar Penyediaan Pangan Berkelanjutan

Ternak berperan sebagai penyedia pangan untuk mengamankan ketersediaan gizi dan sekaligus sebagai mata pencaharian bagi petani di negara berkembang. Sebagai penyedia pangan untuk ketersediaan gizi, peternakan merupakan salah satu penopang pemenuhan protein (Swanepoel dkk., 2010). Produksi ternak perlu ditingkatkan dua kali lipat untuk dapat menopang kebutuhan pangan di dunia sesuai peningkatan populasi penduduk dunia (Bernabucci, 2019). Selain itu, subsektor peternakan memegang peranan penting dalam perekonomian Indonesia, terutama di daerah perdesaan.

Y. Widiawati*, M.I. Shiddieqy, E.S. Rohaeni, Y.N. Anggraeny, Setiasih, Wardi, Firsoni, Antonius, W.T. Sasongko, M.C. Hadiatry, S. Widodo, H. Bansi, A. Herliatika, S. Asmaicen, S. Puspito, W. Widaringsih, N. Miraya E.M.W. Andreas, & S. Riyanti. Badan Riset dan Inovasi Nasional, *e-mail: yeni_widiawati14@yahoo.com

© 2023 Editor & Penulis

Widiawati, Y., Shiddieqy, M. I., Rohaeni, E. S., Anggraeny, Y. N., Firsoni, Sasongko, W. T., Setiasih, Antonius, Hadiatry, M. C., Wardi, Herliatika, A., Widodo, S., Asmaicen, S., Bansi, H., Puspito, S., Riyanti, S., Andreas, E.M.W., Widiaringsih, W., & Miraya, N. (2023). Sistem pemeliharaan ternak ruminansia yang adaptif terhadap perubahan iklim. Dalam Elza Surmaini, Lilik Slamet Supriatin, & Yeli Sarvina (Ed.), *Teknologi dan kearifan lokal untuk adaptasi perubahan iklim* (203–231). Penerbit BRIN.

DOI: 10.55981/brin.901.c723 E-ISBN: 978-623-8372-46-1

Pada tahun 2019–2020, subsektor peternakan menyumbang pendapatan ke-3 terbesar di antara sektor lainnya di bidang pertanian dan berkontribusi sebesar 1,57% terhadap produk domestik bruto nasional 2017, menyerap 12,22% dari 31,86% tenaga kerja yang terlibat dalam pertanian (Badan Pusat Statistik, 2020). Tahun 2020, konsumsi protein yang berasal dari daging sapi, unggas, susu, dan telur di Indonesia relatif rendah, yaitu rata-rata 21,9 kg per kapita per tahun (Badan Ketahanan Pangan, 2021). Angka ini masih perlu ditingkatkan karena masih jauh dari rata-rata konsumsi per kapita per tahun di kawasan Asia Tenggara. Oleh karena itu, banyak program nasional yang bertujuan untuk mendukung peningkatan populasi dan produksi ternak.

Salah satu program pemerintah dalam pemenuhan kebutuhan protein hewani adalah dengan meningkatkan produksi daging merah yang berasal dari ternak ruminansia, yaitu sapi potong, sapi perah, kerbau, domba, dan kambing. Pada periode 2016–2020, peningkatan populasi ternak ruminansia sebesar 13,06%, di mana pemerintah menargetkan pada periode 2020–2030 peningkatan populasi ternak ruminansia dapat mencapai 22,72% (Badan Pusat Statistik, 2020).

Pemeliharaan ternak dapat lebih menjamin keberlanjutan penyediaan pangan dunia di tengah-tengah terjadinya perubahan iklim dikarenakan ternak dapat lebih beradaptasi terhadap perubahan lingkungan hidupnya. Namun, perubahan iklim yang lebih ekstrem, seperti suhu bumi yang terus meningkat, dapat memengaruhi produktivitas ternak yang pada akhirnya dapat menjadi hambatan dalam upaya pemenuhan kebutuhan protein hewani asal ternak.

Bab ini bertujuan untuk membahas berbagai upaya yang perlu dilakukan agar ternak dapat beradaptasi terhadap perubahan iklim yang tidak dapat dihindari. Kekuatan sumber daya lokal yang dimiliki oleh Indonesia dapat dipergunakan untuk membantu memperkuat kemampuan ternak ruminansia untuk dapat beradaptasi terhadap perubahan iklim dengan tetap meningkatkan produktivitasnya.

B. Kontribusi Peternakan Ruminansia terhadap Perubahan Iklim dan Upaya Mitigasi

Sektor pertanian menyumbang 5,82% dari total gas rumah kaca (GRK) di Indonesia (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2021), didominasi oleh gas metana (CH_4) (67%) yang berasal dari tanaman padi (69%) dan peternakan (28%) (Setyanto dkk., 2011). Total emisi dari sektor peternakan diperkirakan sebesar 7,1 gigaton $\text{CO}_2\text{-e}$ per tahun atau 14,5% dari total emisi antropogenik (Gerber dkk., 2013). Laporan Global Livestock Environmental Assessment Model (GLEAM) FAO menunjukkan bahwa emisi dari rantai pasokan ternak terdiri atas 50% CH_4 , 24% nitrogen oksida (N_2O), dan 26% karbon dioksida (CO_2) (Gerber dkk., 2013). Ternak ruminansia merupakan penghasil terbesar (79,1%) emisi GRK yang berasal dari spesies sapi (62,2%), kerbau (9,5%), dan kambing serta domba (7,4%), sedangkan kontribusi ternak nonruminansia (unggas dan babi) hanya 20,9% (Cheng dkk., 2022).

Emisi GRK dari peternakan berasal dari dua sumber, yaitu emisi langsung dari ternak dan emisi yang berasal dari kegiatan yang berhubungan dengan usaha ternak. Emisi CH_4 dan N_2O di dunia yang terkait dengan peternakan pada tahun 2010 sekitar 9% dari total emisi GRK (Caro dkk., 2014). Kontribusi dari ternak ruminansia secara langsung berasal dari fermentasi enterik dan pengelolaan kotoran ternak (Grossi dkk., 2019). Emisi enterik terjadi selama sistem pencernaan pakan oleh mikroba rumen ternak ruminansia, yang diekresikan melalui napas, sendawa, dan cara lain (Beauchemin dkk., 2009).

Populasi ternak ruminansia di Indonesia pada tahun 2021 adalah 18.053.710 ekor, terdiri atas sapi potong 578.579 ekor, sapi perah 19.229.067 ekor, kambing 17.902.991 ekor domba, dan kerbau 1.189.260 ekor (Badan Pusat Statistik, 2022). Total emisi gas CH_4 dan N_2O yang dihasilkan ternak ruminansia di Indonesia adalah CH_4 enterik = 23,955 Gg $\text{CO}_2\text{-e}$ /tahun; CH_4 dari feses = 1,041 Gg $\text{CO}_2\text{-e}$ /tahun; dan N_2O dari feses = 3,137 Gg $\text{CO}_2\text{-e}$ /tahun, di mana produksi

GRK tertinggi dihasilkan sapi potong, yaitu 19,729 GgCO₂-e/tahun (Widiawati, 2013).

Faktor yang memengaruhi kuantitas emisi CH₄ enterik adalah karakteristik pakan, penggunaan pakan aditif, dan kondisi kesehatan hewan. Faktor kualitas dan asupan pakan paling berpengaruh terhadap produksi CH₄ enterik. Kualitas pakan yang baik akan menyebabkan tingkat pencernaan pakan yang lebih tinggi dan menghasilkan emisi CH₄ enterik yang lebih rendah sehingga menghasilkan produksi ternak lebih tinggi. Peningkatan asupan pakan yang berkualitas rendah menyebabkan CH₄ lebih banyak diproduksi.

Kotoran ternak juga berkontribusi terhadap emisi dalam bentuk emisi CH₄ dan N₂O. Dekomposisi anaerob bahan organik melepaskan CH₄ dan N₂O dilepaskan terutama dari dekomposisi amonia. Bahan organik dan kandungan nitrogen dalam kotoran ternak adalah dua komponen kimia yang dapat menyebabkan emisi N₂O selama penyimpanan dan proses pengomposan (Gerber dkk., 2013). Faktor-faktor yang memengaruhi emisi dari kotoran ternak adalah cara penyimpanan dan pengolahan, suhu udara, kelembapan, durasi pengelolaan limbah, dan kualitas pakan ternak. Emisi CH₄ lebih tinggi ketika kotoran diperlakukan dan disimpan dalam sistem cair, seperti kolam. Jika kotoran ditangani melalui sistem padat (misalnya disimpan di padang rumput) maka emisi N₂O akan lebih tinggi daripada CH₄ karena pembentukan N₂O membutuhkan kondisi aerobik dan anaerobik. Emisi N₂O terjadi apabila kotoran ternak pertama-tama diperlakukan secara aerobik untuk terjadinya proses nitrifikasi, selanjutnya proses dinitrifikasi secara anaerobik (Tadesse, 2015).

Kontribusi peternakan secara tidak langsung terhadap emisi GRK terkait dengan produksi pakan dan penggunaan lahan (Grossi dkk., 2019). Emisi yang terkait dengan produksi, pemrosesan, dan transportasi pakan menyumbang sekitar 45% dari emisi tidak langsung. Emisi dari proses produksi pakan terdiri atas CO₂, N₂O, dan CH₄. Emisi CO₂ muncul dari produksi pupuk dan pestisida untuk tanaman pakan, transportasi dan pemrosesan pakan, bahan bakar

yang digunakan dalam produksi, dan perubahan penggunaan lahan terkait. Emisi N_2O terutama berasal dari penggunaan pupuk dan aplikasi pupuk kandang, dengan sebagian kecil berasal dari budi daya tanaman pakan dari jenis leguminosa. Jumlah emisi CH_4 terkait proses produksi pakan jauh lebih kecil daripada emisi CO_2 dan N_2O . Beberapa hal berikut ini dapat dilakukan untuk memitigasi kenaikan emisi GRK di bidang peternakan di Indonesia, yaitu

- 1) Menggunakan *feed additive*, seperti antibiotik ionoforik, enzim, dan probiotik, dapat menurunkan emisi CH_4 (Herrero dkk., 2016).
- 2) Memanfaatkan bahan aktif beberapa jenis hijauan, seperti tanin dan polifenol, dapat menekan produksi gas CH_4 (Jayanegara dkk., 2009).
- 3) Memanfaatkan rumput laut (*Asparagopsis taxiformis*) dapat menurunkan produksi gas CH_4 68,9% dengan pemberian sebanyak 0,25% *A. taxiformis* dan lebih dari 80% pada pemberian 0,50% *A. taxiformis* dari total ransum (Roque dkk., 2021).
- 4) Meningkatkan pencernaan pakan melalui penyediaan hijauan berkualitas baik dan menambahkan pakan sumber energi (misalnya biji-bijian atau konsentrat) di dalam ransum (Herrero dkk., 2016).
- 5) Pengelolaan kotoran ternak dengan menyimpan pupuk kandang secara benar, memadatkan, dan menutupi kotoran di lahan (Herrero dkk., 2016). Pemanfaatan feses menjadi biogas dapat mengurangi gas CH_4 sampai 80% dari kotoran ternak (Setyanto dkk., 2011).
- 6) Meningkatkan penyerapan karbon tanah di lahan padang rumput dengan pengelolaan padang rumput yang baik berpotensi membalikkan kehilangan karbon tanah secara historis dan menyerap karbon dalam jumlah yang sangat besar di lahan padang penggembalaan (Setyanto dkk., 2011). Sebagian besar dari potensi penyerapan ini layak secara ekonomi karena dapat direalisasikan dengan menerapkan kegiatan yang meningkatkan produksi hijauan pakan ternak (Herrero dkk., 2016).

C. Dampak Perubahan Iklim terhadap Ternak Ruminansia

Perubahan iklim memiliki pengaruh yang signifikan terhadap ternak. Peningkatan suhu, pola curah hujan yang tidak teratur, meningkatnya intensitas dan frekuensi kekeringan dan banjir, dan perubahan lainnya memengaruhi kondisi lingkungan tempat hidup dan berkembang biaknya ternak. Pengaruh tersebut dapat berdampak terhadap ternak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Dampak langsung termasuk stres panas, penyebaran penyakit, dan ketersediaan pakan yang buruk. Sementara itu, dampak tidak langsung meliputi perubahan kualitas pakan, penyebaran penyakit vektor, gangguan ketersediaan air, serta perubahan dalam produktivitas dan kualitas pangan yang dapat mengancam keberlanjutan peternakan.

1. Dampak Langsung

Pada sapi perah, efisiensi produksi sangat tergantung kepada suhu, kelembapan, dan manajemen ternak. Induk sapi perah yang dipelihara pada kondisi dengan *temperature humidity index* (THI) yang lebih tinggi dapat menyebabkan angka keberhasilan kebuntingan (*service per conceptio*, S/C) yang lebih tinggi dan panjangnya waktu kosong induk. Pengaruh perubahan iklim, khususnya suhu dan kelembapan, memiliki pengaruh terhadap produksi dan kualitas susu sapi dalam hal lemak, protein, *solid non-fat*, dan *total solid* (Promket dkk., 2020). Sapi yang dipelihara di daerah dengan THI tinggi dapat mengakibatkan berkurangnya produksi dan menurunnya kualitas susu.

Pada sapi potong, kondisi iklim mikro memberikan perbedaan respons fisiologi sapi bali yang dipelihara secara penggemukkan pada ketinggian tempat berbeda, yaitu di daerah dataran rendah, sedang, dan tinggi (Nuriyasa dkk., 2015). Kondisi iklim mikro kandang dan respons fisiologi sapi yang dipelihara di daerah dataran rendah mempunyai perbedaan pertumbuhan dibandingkan dengan sapi penggemukkan di daerah dataran sedang dan tinggi (Nuriyasa dkk., 2015). Suhu yang lebih dingin membutuhkan energi tambahan untuk termoregulasi, yang berpotensi mengurangi energi yang tersedia untuk

pertumbuhan. Ketersediaan dan kualitas pakan juga dapat bervariasi antara daerah dataran rendah dan dataran tinggi, yang memengaruhi asupan nutrisi dan laju pertumbuhan ternak.

Dalam hal kesehatan hewan, peningkatan suhu memudahkan perkembangan mikroorganisme patogen dan parasit sehingga ternak lebih rentan terhadap serangan penyakit bahkan menyebabkan kematian. Menurut Stephen dan Soos (2021), perubahan iklim memengaruhi kesehatan ternak secara langsung dan tidak langsung. Dampak langsungnya adalah timbulnya penyakit yang ditularkan melalui vektor terkait tanah, air, hewan pengerat, suhu, dan kelembapan udara. Perubahan iklim memengaruhi munculnya dan proliferasi inang penyakit atau vektor/patogen serta perkembangan dan penularan penyakitnya. Peningkatan suhu dan curah hujan juga berdampak terhadap keamanan produk peternakan. Contohnya, peningkatan suhu akan menyebabkan cekaman panas pada sapi menyusui sehingga meningkatkan kerentanan terhadap infeksi mikroba pada pasokan susu (Feliciano dkk., 2020).

Dampak langsung perubahan iklim pada ternak dapat dikurangi dengan mengimplementasikan strategi adaptasi dan mitigasi yang tepat, seperti pengelolaan pakan yang berkelanjutan untuk memastikan ketersediaan pakan yang memadai dan berkualitas bagi hewan. Selain itu, perbaikan infrastruktur, seperti penyediaan akses air yang memadai dan perlindungan terhadap ekstrem suhu, juga menjadi bagian penting dalam mengurangi dampak tersebut. Penggunaan teknologi yang ramah lingkungan, seperti penggunaan energi terbarukan dan pengelolaan limbah yang efektif, juga dapat membantu mengurangi jejak karbon. Implementasi strategi adaptasi dan mitigasi ini harus didukung oleh kebijakan yang berpihak pada keberlanjutan sektor peternakan.

2. Dampak Tidak Langsung

Perubahan dan keragaman iklim secara tidak langsung memengaruhi pasokan pakan, seperti hijauan dan hasil samping pertanian, serta pada akhirnya akan berdampak terhadap aspek ekonomi. Produksi

pakan dipengaruhi oleh suhu, curah hujan, dan iklim. Iklim ekstrem akan menyebabkan penurunan produksi pakan hijauan. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang pengaruh perubahan iklim terhadap pasokan pakan ternak, kita dapat mengidentifikasi tantangan dan peluang dalam produksi ternak pada masa depan.

a, Ketersediaan dan Kualitas Pakan

Peningkatan suhu dan perubahan pola hujan mengganggu produktivitas lahan yang digunakan untuk produksi pakan. Suhu yang lebih tinggi dan curah hujan yang tidak teratur dapat mengurangi pertumbuhan tanaman pakan, seperti rumput, legum, dan gulma. Naqvi dkk. (2015) dan Harrison dkk. (2015) menjelaskan bahwa perubahan iklim memengaruhi keragaman vegetasi yang ada pada lahan pastura yang menyebabkan penurunan kualitas dan kuantitas pakan yang dihasilkan. Berdasarkan observasi sejak tahun 2000 hingga 2014, sebanyak 14 spesies tidak lagi ditemui pada lahan pastura di California. Tanaman yang hilang ialah jenis tanaman lokal yang biasa berkecambah pada musim dingin dan diperkirakan sangat sensitif terhadap kelembapan tanah.

Ketersediaan dan kualitas nutrisi yang terkandung dalam pakan sangat penting untuk peningkatan bobot badan, produksi susu, serta reproduksi (Cheng dkk., 2022). Peningkatan suhu udara, terjadinya kekeringan, dan penurunan kualitas pakan dapat mengakibatkan terjadinya penurunan konsumsi pakan, yang selanjutnya akan menyebabkan kurangnya asupan nutrisi, terutama asupan karbohidrat dan nitrogen yang larut dalam air (Hopkins & Del Prado, 2007). Lee dkk. (2017) menambahkan bahwa penurunan kualitas pakan berkorelasi positif dengan peningkatan kandungan lignin dalam tanaman pakan sehingga menurunkan nilai pencernaan dan meningkatkan emisi gas metana. Dampak jangka panjang dari penurunan kuantitas dan kualitas pakan adalah penurunan kinerja reproduksi dan meningkatnya ancaman serangan penyakit.

b. Ketersediaan Air

Air merupakan kebutuhan pokok bagi seluruh makhluk hidup. Pertanian, termasuk di dalamnya peternakan, memanfaatkan sekitar 69% dari total penggunaan air tawar (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016). Peternakan menggunakan air untuk minum, budi daya tanaman pakan, dan pengolahan produk (Thornton dkk., 2009). Peningkatan jumlah penduduk, pendapatan, permintaan produk peternakan, dan kelangkaan air menjadi kendala penting dalam sistem produksi. Sektor peternakan menyumbang sekitar 22% dari total penguapan dan transpirasi dari lahan pertanian global, serta 41% dari total penggunaan air yang dikonsumsi (Heinke dkk., 2020). Perubahan iklim akan memengaruhi ketersediaan dan penggunaan air untuk produksi ternak. Peningkatan suhu meningkatkan kebutuhan air per ekor ternak dan penggunaan air irigasi per luas lahan (Tully dkk., 2019). Oleh karena itu, diperlukan sistem produksi yang lebih efisien untuk mengatasi masalah kelangkaan air (Reynolds dkk., 2010).

c. Fluktuasi Suhu

Perubahan iklim yang ekstrem, seperti gelombang panas, mengakibatkan stres panas pada ternak. Suhu lingkungan melebihi batas normal (5–25°C) dan penurunan kelembapan relatif (RH) akan memengaruhi kemampuan ternak dalam mengatur suhu tubuhnya. Kondisi lingkungan yang paling ideal bagi sapi perah adalah suhu lingkungan antara 13–18°C dan kelembapan relatif antara 60%–70% (McDowell, 1972). Berdasarkan hubungan antara suhu lingkungan dan RH dikembangkan indeks suhu-kelembapan (THI).

Stres panas pada ternak perah (Gambar 8.1) dibagi menjadi tiga kategori utama, yaitu stres ringan (THI 72–79), sedang (THI 79–89), dan berat (THI > 89). Ternak yang mengalami stres ringan hingga sedang akan mengalami penurunan konsumsi pakan sebesar 3%–5% per derajat kenaikan suhu sehingga mengurangi produktivitas (Oldham, 2017). Ternak yang mengalami stress panas kategori berat dalam jangka lama akan mengalami peningkatan pernapasan,

	Kelembaban relatif (%)																				
°C	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
23,39														72	72	73	73	74	74	75	75
26,67							72	72	73	73	74	74	75	76	76	77	78	78	79	79	80
29,44			72	72	73	74	75	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	84	84	85
32,22	72	73	74	75	76	77	78	79	79	80	81	82	83	84	85	86	86	87	88	89	90
35,00	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
37,78	77	78	79	80	82	83	84	85	86	87	88	90	91	92	93	94	95	97	98	99	
40,56	79	80	82	83	84	86	87	88	89	91	92	93	95	96	97						
43,33	81	83	84	86	87	89	90	91	93	94	96	97					Stres Ringan				
46,11	84	85	87	88	90	91	93	95	96	97							Stres Sedang				
48,89	88	88	89	91	93	94	96	98									Stres Berat				

Sumber: Wiersma dkk. (1984)

Gambar 8.1 Indeks Suhu dan Kelembaban Relatif untuk Sapi Perah

penurunan kesuburan, perubahan perilaku, serta penurunan sistem kekebalan dan endokrin sehingga hewan lebih rentan terhadap beberapa penyakit. Perubahan ini dapat memengaruhi kinerja ekonomi sistem produksi susu dan daging sapi serta bisa berujung pada kematian (Oldham, 2017).

c. Respons Fisiologis terhadap Perubahan Iklim

Respons fisiologis ternak ruminansia terhadap perubahan iklim merujuk pada perubahan yang terjadi dalam tubuhnya sebagai respons untuk dapat beradaptasi terhadap perubahan kondisi iklim sekitarnya. Beberapa contoh respons fisiologis tersebut meliputi perubahan suhu tubuh, perubahan dalam konsumsi pakan, perubahan dalam pencernaan, perubahan dalam produksi susu atau pertumbuhan, dan perubahan dalam sistem kekebalan tubuh.

1. Perubahan Suhu Tubuh

Ternak ruminansia dapat mengalami perubahan suhu tubuh sebagai respons terhadap suhu lingkungan yang berfluktuasi. Ternak ruminansia dapat mengatur suhu tubuhnya dengan mengubah laju

metabolisme melalui mekanisme termoregulasi, seperti berkeringat atau menggembungkan bulu. Perubahan respons termoregulasi ternak ruminansia perlu diketahui lebih lanjut agar dapat dicegah dan ditanggulangi sehingga tidak memengaruhi perubahan status fisiologis, kesehatan, serta produktivitas dari ternak (Rinca dkk., 2022).

Salah satu upaya untuk beradaptasi dengan kenaikan suhu tubuh ternak yang dilakukan peternak adalah dengan cara memandikan ternak dan desain kandang yang dibuat mempunyai sirkulasi udara yang baik. Pembuatan kandang dengan atap dari genteng tanah dan daun rumbia kering dapat mengurangi cekaman panas sehingga dapat mengurangi stres fisiologis ternak. Memodifikasi lingkungan kandang dilakukan untuk menciptakan kondisi iklim mikro kandang yang sesuai dengan zona nyaman untuk ternak (Mariana dkk., 2021). Selain itu, masyarakat mempunyai kebiasaan dalam pemilihan ternak yang akan dipelihara, seperti lebih suka dengan ternak lokal yang dapat beradaptasi dengan kondisi lingkungan di Indonesia. Kebiasaan yang berlaku di masyarakat ini disebut dengan *titen*.

2. Perubahan dalam Konsumsi Pakan

Ternak ruminansia cenderung mengubah pola makan sebagai respons kenaikan suhu tubuh ternak. Kenaikan suhu lingkungan menyebabkan peningkatan suhu tubuh dan frekuensi pernapasan ternak yang menyebabkan asupan dan produksi pakan berkurang (Astuti dkk., 2015). Perubahan suhu tubuh ruminansia dan frekuensi napas meningkat; konsumsi pakan dan bobot badan menurun; pelepasan energi dan keseimbangan tingkah laku terganggu; serta kadar glukosa darah berubah (Anton dkk., 2016).

3. Perubahan dalam Pencernaan

Suhu yang tinggi menyebabkan penurunan efisiensi pencernaan dan penyerapan nutrisi pada ternak ruminansia. Panas yang diperoleh ternak bisa berasal dari hasil metabolisme pakan dan suhu lingkungan. Suhu lingkungan yang tinggi akan memengaruhi beban panas yang

diterima terhadap perilaku makan berupa penurunan pakan yang tercerna. Suhu, kelembapan, dan kombinasi keduanya berdampak terhadap laju metabolisme dalam tubuh ruminansia. Makin tinggi suhu maka makin tinggi pula derajat korelasinya dengan metabolit antara dalam katabolisme glikogen untuk membentuk glukosa (Suwarno & Mushawwir, 2019).

4. Perubahan dalam Produksi Susu atau Pertumbuhan

Perubahan iklim dapat memengaruhi produksi susu dan pertumbuhan pada anak ternak ruminansia. Suhu yang ekstrem atau ketidaknyamanan termal dapat mengurangi produksi susu atau memperlambat pertumbuhan. Ternak ruminansia akan menghadapi keterbatasan dalam sumber daya penting untuk produksi, sebagai akibat dari perubahan iklim (Weindl dkk., 2015).

5. Perubahan dalam Sistem Kekebalan Tubuh

Peningkatan suhu dapat memengaruhi sistem imun ruminansia sehingga mungkin lebih rentan terhadap infeksi penyakit atau mengalami penurunan imunitas sebagai respons terhadap stres termal. Hal ini disebabkan oleh mekanisme adaptasi ternak yang tertekan secara langsung yang menyebabkan perubahan dalam penyebaran dan prevalensi penyakit hewan (Bett dkk., 2017). Perubahan suhu juga memicu sekresi hormon stres (termasuk kortisol) yang menekan respons imunologis, termasuk fungsi sel darah putih, yang menggeser interaksi inang-patogen yang berpotensi mempermudah penyebaran patogen penyakit (Dittmar dkk., 2014).

D. Penerapan Teknologi Adaptasi Perubahan Iklim pada Ternak Ruminansia

Perubahan iklim akan berpengaruh terhadap kompetisi sumber daya alam, kualitas pakan dan kuantitas, penyakit ternak, tekanan panas, dan hilangnya keanekaragaman hayati yang berdampak negatif pada produktivitas ternak. Dilaporkan tingkat kematian ternak akibat kekeringan yang terjadi di Somalia selalu meningkat dari tahun ke

tahun. Penurunan produktivitas dan kematian ternak merupakan kerugian ekonomi yang dirasakan peternak (Bogale & Erena, 2022; Cheng dkk., 2022). Penelitian lain di Tiongkok menunjukkan bahwa kenaikan suhu dalam jangka panjang memberikan dampak negatif pada pendapatan bersih peternak (Feng dkk., 2021). Dampak perubahan iklim terhadap produksi ternak berbeda antara skala kecil dan besar. Peternakan skala besar lebih rentan terhadap peningkatan suhu tahunan daripada skala kecil, yang tentunya dampak terhadap ekonomi akan lebih besar. Menurut Hempel dkk. (2019), cekaman panas menyebabkan penurunan produksi susu sapi sekitar 2,8 % di Eropa, dengan kerugian finansial di musim panas sebesar 5,4 % dari pendapatan bulanan.

Upaya yang dapat dilakukan dalam menghadapi perubahan iklim adalah dengan penerapan teknologi nutrisi dan manajemen pemeliharaan yang dapat membantu ternak dalam menghadapi perubahan iklim. Keberhasilan adopsi teknologi ini memerlukan kesadaran dan keterlibatan semua pihak untuk mendukung pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan. Selain itu, perlu adanya regulasi dan sosialisasi untuk meningkatkan pemahaman dan kesadaran semua pihak akan perubahan iklim. Sosialisasi dapat dilakukan pada berbagai kelompok umur, pendidikan, mulai dari organisasi terkecil, yaitu keluarga. Hal ini dilakukan agar perubahan iklim dapat diantisipasi serta aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi dapat berkelanjutan (Malihah, 2022). Berikut ini empat macam teknologi untuk mendukung adaptasi ternak terhadap perubahan iklim.

1. Genetik/*Breeding*

Pemanasan global memberikan dampak negatif terhadap sistem pencernaan, metabolisme, imunitas, hormonal, reproduksi, pertumbuhan ternak, serta kualitas daging dan susu yang dihasilkan. Tingkat toleransi ternak terhadap cekaman panas dan dampak negatif tersebut berbeda antara satu jenis ternak dan jenis ternak yang lain. Domba dan kambing (ruminansia kecil) memiliki kemampuan adaptasi yang lebih tinggi terhadap cekaman panas, kekurangan air, dan kelangkaan

pakan dibandingkan ternak ruminansia besar, seperti sapi perah, sapi potong, dan kerbau (Joy dkk., 2020). Hal ini terkait dengan ukuran tubuh yang relatif kecil, kebutuhan air, dan pakan yang rendah, serta tingkat konversi pakan yang tinggi pada kambing dan domba (Silanikove & Koluman, 2015).

Selain jenis ternak, bangsa ternak juga menentukan tingkat adaptasi terhadap cekaman panas akibat perubahan iklim. Variasi genetik dalam respons cekaman panas menunjukkan bahwa *breed* ternak yang berukuran tubuh lebih kecil dan berwarna lebih terang biasanya lebih toleran terhadap cekaman panas (Hoffmann, 2013). Bangsa ternak yang dipelihara pada daerah tropis dan bangsa lokal lebih toleran terhadap cekaman panas dibandingkan dengan ternak yang dipelihara di daerah subtropis (Joy dkk., 2020). Archana dkk., (2018) melaporkan bahwa kambing lokal memiliki kemampuan adaptasi yang lebih baik terhadap *heat stress* dan pada suhu yang berbeda (THI 73,5–86,5 dan THI 69,9–74,9), kambing memperlihatkan pertumbuhan dan kualitas daging yang relatif sama.

Pemilihan komoditas ternak dan bangsa yang toleran terhadap cekaman panas merupakan salah satu pendekatan strategis yang dapat dilakukan dalam upaya adaptasi perubahan iklim. Program pemuliaan harus mulai berorientasi kepada pembentukan ternak dengan tingkat produksi yang tinggi dan toleran terhadap cekaman panas. Ternak dengan produksi yang tinggi akan memproduksi panas metabolik yang tinggi dan lebih rentan terhadap cekaman panas. Indonesia memiliki berbagai macam bangsa sapi, kambing, dan domba lokal yang berpotensi sebagai bangsa ternak harapan yang memiliki tingkat adaptasi tinggi terhadap cekaman panas. Pelestarian plasma nutfah ternak Indonesia, program seleksi, dan peningkatan populasi perlu terus dikembangkan untuk menyediakan bibit ternak dalam rangka pemenuhan pangan hewani nasional dalam kondisi pemanasan global yang intensitasnya meningkat dari hari ke hari.

2. Lingkungan Tempat Pemeliharaan

Pengondisian lingkungan pemeliharaan ternak merupakan langkah awal yang bisa dilakukan dalam upaya membantu ternak beradaptasi dengan suhu lingkungan yang makin panas. Penyediaan naungan dan air minum yang cukup pada ternak yang digembalakan akan sangat membantu ternak beradaptasi terhadap cekaman panas. Penanaman pohon yang rindang dan penyediaan *sprinkle* air pada lahan penggembalaan sangat direkomendasikan untuk membantu ternak menurunkan suhu tubuhnya.

Kondisi kandang harus mempertimbangkan aliran udara, kestabilan suhu, dan kelembapan. Penanaman pohon di sekitar kandang dapat mempertahankan suhu kandang tetap nyaman. Ventilasi kandang diperlukan agar udara tersedia dalam jumlah yang cukup. Bahan bangunan menggunakan bahan yang sejuk dan tidak menyerap panas. Penyediaan kipas angin, AC, atau *cooling pad* dapat menjamin kenyamanan ternak. Kombinasi AC dan *cooling pad* diketahui memiliki performa terbaik dalam hal menurunkan tekanan panas (Schauberger dkk., 2019). Kandang modern dapat secara otomatis mengondisikan suhu dan kelembapan yang ideal untuk pertumbuhan dan produksi ternak. Kandang yang terintegrasi dengan sumber pakan hidroponik yang proses budi daya sampai pemberiannya kepada ternak dilakukan secara digital. Model kandang dan budi daya hijauan hidroponik ini sudah mulai dilakukan di beberapa negara maju.

3. Kesehatan dan Penyakit

Salah satu efek langsung perubahan iklim pada ternak adalah termoregulasi ternak, metabolisme, fungsi sistem imun, dan produksi. Peningkatan suhu dapat meningkatkan paparan dan kerentanan ternak terhadap parasit dan penyakit, terutama penyakit yang ditularkan melalui vektor. Pemahaman terhadap interaksi kompleks antara patogen, vektor, inang, dan iklim sulit dilakukan karena bersifat multivariat terhadap perubahan iklim dan ambang batas nonlinear dalam proses penyakit dan iklim (Henry dkk., 2012). Hal tersebut menyebabkan prediksi dampak perubahan iklim terhadap

penyakit sulit dicapai. Inovasi teknologi veteriner utama, yaitu teknologi diagnosis cepat, vaksin, obat, dan strategi penanggulangan penyakit hewan akibat perubahan iklim sangat diperlukan. Upayaantisipasi wabah penyakit hewan, *emerging* dan *re-emerging diseases*, *vector-borne diseases*, dan *transboundary diseases* akibat perubahan iklim perlu dilakukan. Yang dimaksud dengan *emerging diseases* adalah munculnya wabah penyakit baru yang sebelumnya belum ada, sedangkan *re-emerging diseases* adalah wabah penyakit yang muncul kembali setelah terjadinya penurunan karena adanya tindakan. Selanjutnya, yang dimaksud dengan *vector-borne diseases* adalah penyakit yang disebabkan oleh bakteri, virus, dan parasit yang disebarkan lewat *vector* atau inang. Kemudian, yang dimaksud dengan *transboundary diseases* adalah penyakit yang ditemukan di satu atau beberapa negara dan dengan mudah dapat berpindah ke negara lainnya. Pengendalian atau pencegahan paling baik menurut Dharmayanti (2020) adalah melalui pendekatan kesehatan masyarakat terpadu, kedokteran hewan, *animal management*, dan ekologi dengan melakukan hal-hal sebagai berikut.

- 1) Pencegahan dan penanggulangan penyakit zoonosis memerlukan upaya multidisiplin dengan kolaborasi antara Kementerian Kesehatan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, dan Kementerian Pertanian.
- 2) Perlu pemahaman hubungan antara perubahan lingkungan, dinamika satwa liar, hewan domestik, dan populasi manusia. Selanjutnya, dinamika mikroba dapat digunakan untuk meramalkan risiko infeksi pada manusia akibat zoonosis pada masa mendatang.
- 3) Mengetahui dinamika patogen zoonosis pada reservoir satwa liar dapat membantu menciptakan sistem peringatan dini untuk memperingatkan pihak berwenang tentang risiko wabah yang mungkin terjadi pada ternak atau manusia.
- 4) Melakukan surveilans penyakit hewan secara rutin.

4. Integrasi Tanaman dan Ternak

Integrasi tanaman dengan ternak adalah salah satu cara adaptasi pada perubahan iklim dengan konsep *zero waste*, yaitu pemanfaatan dan penyediaan pakan yang berasal dari *by-product* tanaman dan pemanfaatan dan penyediaan pupuk kompos dari kotoran ternak. Sistem integrasi ini memberikan manfaat pada peningkatan kesuburan tanah, peningkatan produksi tanaman akibat pemberian sumber nutrisi organik yang optimal, peningkatan produksi ternak akibat pemenuhan kebutuhan pakan, peningkatan penyerapan karbon dalam siklus sistem, dan penurunan gas rumah kaca dalam sistem tersebut (Homann-Kee Tui dkk., 2020).

Integrasi tanaman dengan ternak dapat dikelompokkan dalam dua model, yakni integrasi tanaman pangan dengan ternak dan integrasi tanaman agroindustri dengan ternak. Integrasi tanaman pangan dengan ternak dapat dilakukan melalui penyediaan pakan dari limbah tanaman pangan (jerami padi, jerami ubi jalar, batang jagung), maupun dengan *intercropping system*, yaitu dengan menggembalakan ternak di kebun tanaman pangan yang terintegrasi dengan legum pohon perdu (*Gliricidia*/gamal, *Indigofera*, *Leucaena*/lamotor, *Caliandra*/kaliandra). Sementara itu, integrasi tanaman agroindustri dengan ternak, dikenal dengan silvopastur, dapat dilakukan dengan menggembalakan ternak di lahan perkebunan, seperti kelapa sawit dan karet. Dalam sistem integrasi silvopastur ini, ternak yang digembalakan dapat memanfaatkan tegakan pohon sebagai tempat bernaung pada suhu dan lingkungan yang panas. Keberadaan tegakan pohon dapat menurunkan suhu di sekitar ternak sehingga ternak dapat terhindar dari stres akibat peningkatan suhu bumi.

E. Upaya Peningkatan Kepedulian Peternak terhadap Perubahan Iklim

Sektor peternakan merupakan salah satu sektor yang berkontribusi pada perubahan iklim melalui emisi GRK dalam bentuk CH₄, N₂O, dan CO₂ (Syarifah & Widiawati, 2017). Upaya untuk memitigasi dampak perubahan iklim membutuhkan dukungan dari berbagai

pihak, mulai dari pemerintah sampai dengan masyarakat luas (Khatibi dkk., 2021). Keterlibatan peternak untuk berperan aktif dalam upaya mitigasi dampak perubahan iklim merupakan salah satu faktor penentu keberhasilan upaya mitigasi tersebut.

Beberapa studi tentang persepsi peternak terhadap perubahan iklim melaporkan bahwa peternak menyadari bahwa perubahan iklim saat ini sedang terjadi (Petersen-Rockney, 2022). Persepsi tentang perubahan iklim ini sebagian besar dipengaruhi oleh seberapa besar dampak perubahan iklim yang dialami oleh peternak (Rondhi dkk., 2019). Studi tentang persepsi peternak terhadap perubahan iklim oleh Abbas dkk. (2019) mendapati bahwa bagi peternak sapi perah, salah satu dampak perubahan iklim yang sangat memengaruhi produksi susu adalah terjadinya kekeringan. Hal ini terkait dengan ketersediaan hijauan pakan ternak dan air. Hal yang sama dilaporkan oleh Montcho dkk. (2022), makin panjangnya periode musim kering dan makin meningkatnya suhu sangat memengaruhi produksi susu. Studi Kimaro dkk. (2018) pada sistem pemeliharaan sapi potong secara ekstensif menunjukkan bahwa dampak dari perubahan iklim yang memengaruhi produktivitas sapi potong bagi peternak adalah curah hujan yang tidak menentu dengan frekuensi yang makin berkurang serta kenaikan suhu dan periode kekeringan yang berkepanjangan.

Umumnya, peternak telah mengetahui dampak negatif dari perubahan iklim terhadap usaha ternaknya. Selanjutnya, tinggal bagaimana mengedukasi dan mengajak peternak agar memiliki kepedulian terhadap perubahan iklim. Kepedulian ini dapat dilakukan melalui usaha-usaha untuk mengatasi dampak perubahan iklim sekaligus melakukan aktivitas yang dapat mengurangi emisi GRK yang dapat menyebabkan terjadinya perubahan iklim.

Adaptasi terhadap perubahan iklim tidak hanya difokuskan kepada ternak saja, tetapi perlu dilakukan pula oleh peternak. Kepedulian peternak dapat diwujudkan melalui upaya untuk mengurangi dampak negatif dari perubahan iklim dan upaya untuk menangani dampak dari terjadinya perubahan iklim. Beberapa upaya yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut.

- 1) Edukasi dan pelatihan, yaitu mengadakan pelatihan dan penyuluhan kepada peternak untuk meningkatkan pengetahuan mengenai dampak limbah peternakan yang tidak terolah terhadap lingkungan, jenis-jenis limbah peternakan, alternatif produk yang dapat dihasilkan dari pengelolaan limbah, dan teknologi pengolahan limbah peternakan (Mayasari dkk., 2020).
- 2) Program pengabdian masyarakat, yaitu program pendampingan yang dilaksanakan oleh lembaga pemerintahan/swasta yang bertujuan untuk penyebarluasan teknologi ramah lingkungan, di antaranya (a) pengolahan limbah pertanian menjadi bahan pakan berkualitas; (b) pengelolaan limbah kotoran ternak menjadi pupuk dasar untuk penanaman pohon; dan (c) pengelolaan lahan kering melalui penanaman berbagai hijauan pakan ternak adaptif lahan kering. Program ini dapat diperluas untuk mewujudkan desa yang hijau, masyarakat yang ramah lingkungan, dan memberikan contoh yang baik untuk desa lainnya (Kholidi dkk., 2023).
- 3) Teknologi hijau, yaitu penggunaan teknologi dan ilmu pengetahuan untuk menciptakan produk dan layanan yang ramah lingkungan. Misalnya, pengelolaan limbah peternakan dengan pembuatan pupuk organik cair dari limbah urine dan pupuk kompos padat dari feses ternak. Hal ini dapat memberikan nilai tambah kepada peternak dan mendukung pertanian ramah lingkungan berkelanjutan (Mariyam dkk., 2016).
- 4) Penerapan praktik berkelanjutan, yaitu mendorong peternak untuk menerapkan praktik peternakan berkelanjutan. Dalam hal ini, limbah/hasil samping dari usaha yang satu digunakan sebagai input pada usaha lainnya. Misalnya, kotoran ternak yang diolah menjadi pupuk organik selanjutnya digunakan untuk penanaman hijauan pakan ternak unggul (Malalantang dkk., 2018).
- 5) Penerapan energi bersih, yaitu pengolahan limbah ternak menjadi energi bersih melalui penggunaan biogas. Selain dapat menciptakan kemandirian masyarakat pedesaan dalam memenuhi

kebutuhan energi, hasil samping dari biogas berupa *sludge biogas* atau *bio-slurry* dapat digunakan untuk meningkatkan pendapatan peternak. Beberapa produk *sludge biogas* yang bernilai ekonomi tinggi, antara lain media jamur tiram, media cacing (*vermicompost*), pupuk kompos, dan *biochar*. Konsep ini mendukung kemandirian energi dan pangan dari skema peternakan terintegrasi dengan *zero waste* atau *circular economy*.

- 6) Penelitian dan inovasi, yaitu mendorong penelitian dan inovasi dalam pengembangan solusi berkelanjutan untuk sektor peternakan, melalui penyediaan pakan berkualitas dan pemanfaatan limbah ternak sebagai energi terbarukan. Penyediaan pakan berkualitas dapat dilakukan dengan teknologi nutrisi untuk mengurangi produksi metana, yaitu dengan manipulasi ransum, penggunaan pakan aditif atau pakan suplemen, dan intervensi bioteknologi. Peningkatan proporsi konsentrat dan penurunan proporsi serat dalam diet dapat mengurangi produksi metana. Beberapa bahan pakan tambahan yang dapat digunakan adalah lipid, antibiotik, dan ekstrak tumbuhan. Penggunaan daun dari tumbuhan yang mengandung tanin dan saponin juga menjadi pilihan yang menjanjikan. Beberapa intervensi bioteknologi, antara lain melalui penambahan probiotik, defaunasi, introduksi asetogenesis reduktif ke dalam rumen (Jayanegara, 2008), produksi biogas (Astuti dkk., 2013), dan biogas sebagai pengganti LPG (Naimah dkk., 2022).

G. Kebijakan Pemerintah dalam Mengatasi Dampak Perubahan Iklim

Pemerintah memberikan perhatian besar dalam aksi penanganan dampak perubahan iklim terhadap kehidupan manusia yang dirasakan secara langsung maupun tidak langsung. Aksi nyata pemerintah dalam hal ini adalah dengan mengeluarkan beberapa kebijakan (Empat kebijakan pemerintah, 2021), di antaranya sebagai berikut.

- 1) Pemerintah mengajak pihak swasta pada semua sektor termasuk pelaku usaha peternakan untuk bergotong-royong menyediakan

pendanaan yang diperlukan untuk mencegah terjadinya peningkatan emisi GRK dan mengatasi dampak perubahan iklim. Kebijakan ini dituangkan dalam bentuk *Climate Change Fiscal Framework* (CCFF).

- 2) Pemberlakuan pembayaran biaya atas dampak pencemaran yang ditimbulkan oleh para pelaku usaha peternakan dan usaha lainnya guna mendukung penyediaan pangan dunia yang berkelanjutan. Hal ini dituangkan dalam kebijakan *carbon pricing* atau nilai ekonomi karbon (NEK).
- 3) Pemerintah mendorong upaya penggunaan energi terbarukan untuk substitusi penggunaan bahan bakar batu bara melalui kebijakan *Energy Transition Mechanism* (ETM). Pemanfaatan kotoran ternak untuk produksi biogas sebagai pengganti gas elpiji dan energi listrik merupakan wujud nyata sektor peternakan dalam pelaksanaan kebijakan ini.
- 4) Aksi nyata antisipasi dampak perubahan iklim dari pemerintah adalah kebijakan *pooling fund* bencana, di mana setiap daerah diminta menghitung biaya yang diperlukan untuk mengantisipasi timbulnya bencana agar kehidupan manusia dan produksi pangan tidak terganggu. Pemenuhan kebutuhan dana tersebut dilakukan melalui kerjasama antara pemerintah pusat dan daerah.
- 5) Pemberian insentif kepada peternak yang menggunakan teknologi yang mampu menurunkan emisi gas rumah kaca. Bentuk insentif berupa pembangunan instalasi biogas, penanaman hijauan pakan ternak, pemotongan ternak sesuai berat potong, serta percepatan umur ternak pertama kali dikawinkan (Henry dkk., 2012)

H. Penutup

Dampak perubahan iklim mulai dirasakan oleh ternak dan pelaku usaha peternakan di mana telah terjadi penurunan produktivitas ternak sebagai dampak langsung maupun tidak langsung dari

perubahan iklim. Hal yang dapat dilakukan oleh ternak dan pelaku usaha peternakan adalah beradaptasi dengan perubahan lingkungan sekitarnya. Kesadaran dan peran aktif dari pelaku usaha peternakan sangat diperlukan untuk dapat mengondisikan ternaknya agar dapat beradaptasi dengan lingkungan baru dan berproduksi dengan baik. Penerapan sistem peternakan yang ramah lingkungan dapat membantu upaya mengurangi sumbangan gas rumah kaca dari sektor peternakan yang menyebabkan terjadinya pemanasan global dan di lain pihak dapat membantu ternak dalam beradaptasi terhadap perubahan iklim. Dukungan dari pemerintah daerah maupun pusat sangat diperlukan baik dalam bentuk kebijakan maupun program-program yang mendukung usaha peternak untuk mewujudkan system peternakan yang adaptif dan ramah lingkungan.

Referensi

- Abbas, Q., Han, J., Adeel, A., & Ullah, R. (2019). Dairy production under climatic risks: Perception, perceived impacts and adaptations in Punjab, Pakistan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(20), 4036. <https://doi.org/10.3390/ijerph16204036>
- Kholidi, A. K., Iqbal, L. M., Faizun, A., & Masdani. (2023). Program pendidikan pemanfaatan limbah pertanian dan peternakan dalam mewujudkan green village di Montong Sapah, Kabupaten Lombok Tengah, NTB. *Jurnal Abdi Masyarakat Indonesia (JAMSI)*, 3(1), 349–354.
- Anton, A., Kasip, L. M., Pribadi, L. W., Depamede, S. N., & Asih, A. R. S. (2016). Perubahan status fisiologis dan bobot badan sapi bali bibit yang diantarpulaukan dari Pulau Lombok ke Kalimantan Barat. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Peternakan Indonesia*, 2(1), 86–95.
- Archana, P. R., Sejian, V., Ruban, W., Bagath, M., Krishnan, G., Aleena, J., Manjunathareddy, G. B., Beena, V., & Bhatta, R. (2018). Comparative assessment of heat stress induced changes in carcass traits, plasma leptin profile and skeletal muscle myostatin and HSP70 gene expression patterns between indigenous Osmanabadi and Salem Black goat breeds. *Meat Science*, 141, 66–80. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.03.015>

- Astuti, A., Erwanto, & Santosa, P. E. (2015). Pengaruh cara pemberian konsentrat-hijauan terhadap respon fisiologis dan performa sapi peranakan Simmental. *Jurnal Ilmiah Peternakan Terpadu*, 3(4), 201–207.
- Astuti, N., Soeprbowati, T. R., & Budiyo. (2013). Produksi Biogas dari enceng gondok (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms) dan limbah ternak sapi di Rawa Pening. Dalam *Prosiding seminar nasional X Pendidikan Biologi FKIP UNS*.
- Badan Ketahanan Pangan. (2021). Direktori perkembangan konsumsi pangan. <https://ditjenpkh.pertanian.go.id/uploads/download/3e8f561f9e61f478b634605ccf1effb4.pdf>
- Beauchemin, K. A., McAllister, T. A., & McGinn, S. M. (2009). Dietary mitigation of enteric methane from cattle. *CABI reviews*. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20094035>
- Bernabucci, U. (2019). Climate change: Impact on livestock and how can we adapt. *Animal Frontiers*, 9(1), 3–5. <https://doi.org/10.1093/af/vfy039>
- Bett, B., Kiunga, P., Gachohi, J., Sindato, C., Mbotha, D., Robinson, T., Lindahl, J., & Grace, D. (2017). Effects of climate change on the occurrence and distribution of livestock diseases. *Preventive Veterinary Medicine*, 137, 119–129.
- Bogale, G. A., & Erena, Z. B. (2022). Drought vulnerability and impacts of climate change on livestock production and productivity in different agro-ecological zones of Ethiopia. *Journal of Applied Animal Research*, 50(1), 471–489, <https://doi.org/10.1080/09712119.2022.2103563>
- Badan Pusat Statistik. (2020). *Peternakan dalam angka 2020*. <https://www.bps.go.id/publication/2020/06/10/93c6d3265760176e2a87c8cf/peternakan-dalam-angka-2020.html>
- Badan Pusat Statistik. (2022). *Peternakan dalam angka 2022*. <https://www.bps.go.id/publication/2022/06/30/4c014349ef2008bea02f4349/peternakan-dalam-angka-2022.html>
- Caro, D., Davis, S. J., Bastianoni, S., & Caldeira, K. (2014). *Climatic Change*, 126, 203–216. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1197-x>
- Cheng, M., McCarl, B., & Fei, C. (2022). Climate change and livestock production: A literature review. *Atmosphere*, 13(1), 140. <https://doi.org/10.3390/atmos13010140>

- Dharmayanti, N. L. P. I. (2020). Mewaspadai dan merespons zoonosis emerging and re-emerging infectious disease. Dalam *Prosiding seminar nasional teknologi peternakan dan veteriner* (8–13). <http://dx.doi.org/10.14334/Pros.Semnas.TPV-2020-p.8-13>
- Dittmar, J., Janssen, H., Kuske, A., Kurtz, J., & Scharsack, J. P. (2014). Heat and immunity: an experimental heat wave alters immune functions in three-spined sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*). *Journal of Animal Ecology*, 83, 744–757. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12175>
- Empat kebijakan pemerintah untuk perubahan iklim*. (2021). Merdeka.com. <https://www.merdeka.com/uang/empat-kebijakan-pemerintah-untuk-perubahan-iklim.html>
- Promket, D., Kenchaiwong, W., & Ruangwittayanusorn, K. (2020). Effects of climate change on milk yield and milk composition in Thai crossbred holstein cows. *International Journal of Geomate*, 18(67), 108–113. <https://doi.org/10.21660/2020.67.5807>
- Feliciano, R. J., Boué, G., & Membré, J.-M. (2020). Overview of the potential impacts of climate change on the microbial safety of the dairy industry. *Foods*, 9(12), 1794. <https://doi.org/10.3390/foods9121794>
- Feng, X., Qiu, H., Pan, J., & Tang, J. (2022). The impact of climate change on livestock production in pastoral areas of Tiongkok. *Science of The Total Environment*, 770, Article 144838. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144838>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). *AQUASTAT - FAO's global information system on water and agriculture*.
- Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A., & Tempio, G. (2013). *Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- Grossi, G., Goglio, P., Vitali, A., & Williams, A. G. (2019). Livestock and climate change: Impact of livestock on climate and mitigation strategies. *Animal Frontiers*, 9(1), 69–76.
- Harrison, S. P., Gornish, E. S., & Copeland, S. (2015). Climate-driven diversity loss in a grassland community. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(28), 8672–8677.
- Heinke, J., Lannerstad, M., Gerten, D., Havlík, P., Herrero, M., Notenbaert, A. M. O., Hoff, H., & Müller, C. (2020). Water use in global livestock production—Opportunities and constraints for increasing water productivity. *Water Resources Research*, 56(12).

- Hempel, S., Menz, C., Pinto, S., Galán, E., Janke, D., Estellés, F., Müschner-Siemens, T., Wang, X., Heinicke, J., Zhang, G., Amon, B., del Prado, A., & Amon, T. (2019). Heat stress risk in European dairy cattle husbandry under different climate change scenarios – uncertainties and potential impacts. *Earth System Dynamics*, 10(4), 859–884. <https://doi.org/10.5194/esd-10-859-2019>
- Henry, B., Charmley, E., Eckard, R., Gaughan, J. B., & Hegarty, R. (2012). Livestock production in a changing climate: adaptation and mitigation research in Australia. *Crop & Pasture Science*, 63, 191–202. <https://doi.org/10.1071/CP11169>
- Herrero, M., Henderson, B., Havlík, P., Thornton, P. K., Conant, R. T., Smith, P., Wiersenius, S., Hristov, A. N., Gerber, P., Gill, M., Butterbach-Bahl, K., Valin, H., Garnett, T., & Stehfest, E. (2016). Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. *Nature Climate Change*, 6, 452–461. <https://doi.org/10.1038/nclimate2925>
- Hoffmann, I. (2013). Adaptation to climate change–exploring the potential of locally adapted breeds. *Animal*, 7, 346–362.
- Homann-Kee Tui, S., Valdivia, R. O., Descheemaeker, K., Senda, T., Masikati, P., Makumbe, M. T., & van Rooyen, A. F. (2020). Crop-livestock integration to enhance ecosystem services in sustainable food systems. Dalam L. Rusinamhodzi (Ed.), *The role of ecosystem services in sustainable food systems* (141–169). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816436-5.00008-1>
- Hopkins, A., & Del Prado, A. (2007). Implications of climate change for grassland in Europe: impacts, adaptations and mitigation options: a review. *Grass and Forage Science*, 62(2), 118–126.
- Jayanegara, A. (2008). Reducing methane emissions from livestock: nutritional approaches. Dalam *Proceedings of Indonesian Students Scientific Meeting (ISSM), Institute for Science and Technology Studies (ISTECS) European Chapter* (18–21).
- Jayanegara, A., Makkar, H. P. S., & Becker, K. (2009). Emisi metana dan fermentasi rumen in vitro ransum hay yang mengandung tanin murni pada konsentrasi rendah. *Media Peternakan*, 32(3), 184–194.
- Joy, A., Dunshea, F. R., Leury, B. J., Clarke, I. J., DiGiacomo, K., & Chauhan, S. S. (2020). Resilience of small ruminants to climate change and increased environmental temperature: A review. *Animals*, 10(5), 867.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2021). *Laporan inventarisasi gas rumah kaca dan monitoring, pelaporan verifikasi*.

- Khatibi, F. S., Dedekorkut-Howes, A., Howes, M., & Torabi, E. (2021). Can public awareness, knowledge and engagement improve climate change adaptation policies? *Discover Sustainability*, 2, Article 18. <https://doi.org/10.1007/s43621-021-00024-z>
- Kimaro, E. G., Mor, S. M., & Toribio, J.-A. L. M. L. (2018). Climate change perception and impacts on cattle production in pastoral communities of northern Tanzania. *Pastoralism: Research, Policy and Practice*, 8, Article 19 (2018). <https://doi.org/10.1186/s13570-018-0125-5>
- Naimah, K., Zen, M. R., Arirohman, I. D., Fahmi, A. G., Handayani, K. Y., Khanafi, M., Hadi, F. S., Julio, A., Simanjuntak, H., & Muslimah, S. (2022). Produksi dan manajemen energi biogas dari kotoran sapi sebagai pengganti LPG di Kampung Totokaton, Lampung Tengah. *Jurnal Abdi Masyarakat Indonesia (JAMSI)*, 2(6), 1923–1932.
- Lee, M. A., Davis, A. P., Chagunda, M. G. G., & Manning, P. (2017). Forage quality declines with rising temperatures, with implications for livestock production and methane emissions. *Biogeosciences*, 14, 1403–1417.
- Malalantang, S. S., Tamod, Z. E., Rumambi, A., Waani, M. R., & Pontoh, C. J., (2018). Pengolahan limbah pertanian tanaman jagung pada kelompok tani Kobatunan dan Sukamaju Desa Mundung. *Pastura*, 8(1), 26–28.
- Malihah, L. (2022). Tantangan dalam upaya mengatasi dampak perubahan iklim dan mendukung pembangunan ekonomi berkelanjutan: sebuah tinjauan. *Jurnal Kebijakan Pembangunan*, 17(2), 219–232.
- Mariana, E., Allaily, A., & Latif, H. (2021). Modifikasi lingkungan dan manajemen pakan untuk mengatasi cekaman panas pada kambing perah di Gampong Lamlumpu Kecamatan Peukan Bada, Kabupaten Aceh Besar (Environmental modifications and feed management to cope heat stress of dairy goat in Lamlumpu Village, Peukan Bada Sub-District, Aceh Besar District). *Buletin Pengabdian*, 1(3).
- Mariyam, Muliani, S., Kadir, M., & Nurlaila. (2016). Reduksi pencemaran limbah ternak sapi dengan pengolahan menjadi pupuk organik untuk mendukung Go-Organik di Desa Gona Kecamatan Kajuara Kabupaten Bone Sulawesi Selatan. *Jurnal Dinamika Pengabdian*, 2(1), 54–63.
- McDowell, R. E. (1972). *Improvement of livestock production in warm climates*. W. H. Freeman and Company.

- Montcho, M., Padonou, E. A., Montcho, M., Mutua, M. N., & Sinsin, B. (2022). Perception and adaptation strategies of dairy farmers towards climate variability and change in West Africa. *Climatic Change*, 170, Article 38 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10584-022-03311-4>
- Naqvi, S. M. K., Kumar, D., De, K., & Sejian, V. (2015). Climate change and water availability for livestock: Impact on both quality and quantity. Dalam V. Sejian, J. Gaughan, L. Baumgard, & C. Prasad (Ed.), *Climate change impact on livestock: Adaptation and mitigation* (81–96). Springer.
- Mayasari, M., Firmansyah, I., & Ismiraj, M. R. (2020). Penyuluhan Teknik Pengolahan Limbah Peternakan Sapi Potong di Kelompok Peternak Putra Nusa, Desa Kondangdjaja, Kecamatan Cijulang, Kabupaten Pangandaran. *Dharmakarya: Jurnal Aplikasi Ipteks untuk Masyarakat*, 9(3), 194–198.
- Nuriyasa, I. M., Dewi, G. A. M. K., & Budiari, N. L. G. (2015). Indeks kelembaban suhu dan respon fisiologi sapi bali yang dipelihara secara feed lot pada ketinggian berbeda. *Majalah Ilmiah Peternakan*, 18(1), 5–10.
- Oldham, J. D. (2017). The ruminant nutrition system: An applied model for predicting nutrient requirements and feed utilization in ruminants. *The Journal of Agricultural Science*, 155(7), 1188–1189.
- Petersen-Rockney, M. (2022). Farmers adapt to climate change irrespective of stated belief in climate change: a California case study. *Climatic Change*, 173, 23. <https://doi.org/10.1007/s10584-022-03417-9>
- Reynolds, C., Crompton, L., & Mills, J. (2010). Livestock and climate change impacts in the developing world. *Outlook on Agriculture*, 39(4), 245–248.
- Rinca, K. F., Mubdi, R., Kristanto, D., Putra, I. P. C., Luju, M. T., Bollyn, Y. M. F., & Gultom, R. (2022). Faktor resiko yang mempengaruhi respon termoregulasi ternak ruminansia. *Jurnal Peternakan Indonesia (Indonesian Journal of Animal Science)*, 24(3), 304–314.
- Rondhi, M., Khasan, A. F., Mori, Y., & Kondo, T. (2019). Assessing the role of the perceived impact of climate change on national adaptation policy: The case of rice farming in Indonesia. *Land*, 8(5), 81. <https://doi.org/10.3390/land8050081>

- Roque, B. M., Venegas, M., Kinley, R. D., de Nys, R., Duarte, T. L., Yang, X., & Kebreab, E. (2021). Red seaweed (*Asparagopsis taxiformis*) supplementation reduces enteric methane by over 80 percent in beef steers. *PLoS One*, 16, Article e0247820. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247820>
- Schauberger, G., Mikovits, C., Zollitsch, W., Hörtenhuber, S. J., Baumgartner, J., Niebuhr, K., Piringer, M., Knauder, W., Anders, I., Andre, K., Hennig-Pauka, I., & Schönhart, M. (2019). Global warming impact in confined livestock buildings: Efficacy of adaptation measures to reduce heat stress for growing-fattening pigs. *Climatic Change*, 156, 567–587. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02525-3>
- Setyanto, P., Susanti, E., Las, I., Amien, I., Makarim, A. K., Nusyamsi, D., Rubiyo, Anwar, K., Widarto, H. T., Rejekiingrum, P., Surmaini, E., Estiningtyas, W., Suciantini, Pujilestari, N., Sutarya, R., Harmanto, Miranti, Hamdani, A., Sukarman, ..., Thalib, A. (2011). *Pedoman umum inventarisasi gas rumah kaca dan mitigasi perubahan iklim sektor pertanian*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Silanikove, N., & Koluman, N. (2015). Impact of climate change on the dairy industry in temperate zones: Predictions on the overall negative impact and on the positive role of dairy goats in adaptation to earth warming. *Small Ruminant Research*, 123, 1, 27–34. doi.org/10.1016/j.smallrumres.2014.11.005
- Stephen, C., & Soos, C. (2021). The implications of climate change for Veterinary Services. *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz.*, 40(2), 1–17. <https://doi.org/10.20506/rst.40.2.3234>.
- Suwarno, N., & Mushawwir, A. (2019). Model prediksi metabolit melalui jalur glikogenolisis berdasarkan fluktuasi iklim mikro lingkungan kandang sapi perah. *Jurnal Ilmu dan Industri Peternakan*, 5(2), 97–107.
- Swanepoel, F., Stroebel, A., & Moyo, S. (2010). *The role of livestock in developing communities: Enhancing multifunctionality*. University of the Free State and CTA. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/3003>
- Syarifah, I., & Widiawati, Y. (2017). Profil emisi gas rumah kaca dari sapi potong di 34 provinsi menggunakan metode Tier-2. Dalam *Prosiding seminar nasional teknologi peternakan dan veteriner 2017* (280–291). IAARD Press.

- Tadesse, M. (2015). *GHG emission assessment guideline: Volume III: Guideline on data collection and estimation of GHG emission from livestock and manure management*. Ministry of Agriculture, Federal Democratic Republic of Ethiopia.
- Thornton, P. K., van de Steeg, J., Notenbaert, A., & Herrero, M. (2009). The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. *Agricultural Systems*, 101, 113–127.
- Tully, K., Gedan, K., Epanchin-Niell, R., Strong, A., Bernhardt, E. S., Bendor, T., Mitchell, M., Kominoski, J., Jordan, T. E., Neubauer, S. C., & Weston, N. B. (2019). The invisible flood: The chemistry, ecology, and social implications of coastal saltwater intrusion. *BioScience*, 69(5), 368–378.
- Weindl, I., Lotze-Campen, H., Popp, A., Müller, C., Havlik, P., Herrero, M., & Rolinski, S. (2015). Livestock in a changing climate: production system transitions as an adaptation strategy for agriculture. *Environmental Research Letters*, 10(9), Article 094021.
- Widiawati, Y. (2013). Estimation of methane emission from enteric fermentation and manure management of domestic livestock in Indonesia. Dalam *Proceedings of the 5th greenhouse gasses and animal agriculture conference*. Cambridge University Press. https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/8CE9B35EE62DB2092EAD3FC6B41B9CDE/S2040470013000101a.pdf/poster_presentations_monday.pdf
- Wiersma, F., Armstrong, D. V., Welchert, W. T., & Lough, D. G. (1984). Housing system for dairy production under warm weather condition. *World Animal Review*, 50, 16–23.