

Dampak Perubahan Iklim Terhadap Kualitas Udara Pada Peternakan Unggas: Systematic Literature Review

The Impact of Climate Change on Air Quality in Poultry: Systematic Literature Review

A F Nurhidayah^{1*}, Syamsuddin¹, Hasrin¹, dan Hasman¹

¹ Program Studi Teknologi Produksi Ternak Fakultas Vokasi Universitas Hasanuddin

*E-mail : asmaulfitriana@unhas.ac.id

Abstract : The Impact of climate change in poultry farming through increased ambient temperatures. Poor air quality also has serious consequences related to the spread of dust particles and toxic chemicals from poultry waste. The aims this study, based on the description above is to see the relationship between increased ambient temperature and air quality in poultry farms. This study used a systematic literature review method with the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) approach. The results obtained from 12 articles related to climate change on air quality in poultry farms. Literature results show that air quality monitoring involves parameters such as NH₃, CO₂, SO₂, NO_x, CH₄, PM_{2.5}, and PM₁₀ with various measurement methods. The temperature and humidity of the poultry environment are critical to achieving optimal conditions for livestock welfare and growth.

Keywords: Air Quality, Climate Change, Poultry, Temperature

Diterima: 17 Januari 2024, disetujui 26 Februari 2024

PENDAHULUAN

Perubahan iklim yang sedang terjadi saat ini telah menjadi perhatian dunia. Dampak dari perubahan iklim telah merambah berbagai sektor, terutama pada sektor peternakan. Perubahan iklim mengakibatkan perubahan pola cuaca, suhu, dan lingkungan, yang pada gilirannya memengaruhi produktivitas ternak, kesejahteraan ternak dan manusia (Lacetera, 2019). Peningkatan suhu lingkungan akibat perubahan iklim dapat menyebabkan stres panas yang dapat mempengaruhi produksi ternak dan menciptakan keterkaitan dengan kualitas udara di sekitar peternakan unggas (El-Deep *et al.*, 2019).

Dampak perubahan iklim pada lingkungan peternakan terutama ternak unggas tidak hanya berdampak pada sumber pangan hewani, tetapi juga terkait erat dengan kualitas udara di dalam kandang. Peningkatan suhu dapat menghasilkan gas, mikroorganisme, dan debu yang berasal dari limbah ternak unggas yang sulit terurai dalam kondisi iklim yang berubah (Liu dan Liu, 2018). Gas seperti ammonia dan metana sulit dihilangkan, sementara mikroorganisme seperti bakteri, virus, dan jamur dapat mencemari udara di sekitar peternakan (Pereira *et al.*, 2018). Partikel debu dan zat kimia beracun yang dilepaskan oleh limbah unggas dapat terbawa angin, meningkatkan risiko gangguan pernapasan, alergi, dan penyakit lain pada lingkungan di sekitar (Van Harn *et al.*, 2010).

Unggas yang terpapar udara yang buruk juga dapat mengalami stres, penyakit pernapasan, dan penurunan produksi (Sousa *et al.*, 2018). Oleh karena itu, pemahaman dampak kualitas udara yang buruk pada kesehatan manusia dan hewan menjadi kunci untuk mengembangkan kebijakan yang berkelanjutan dan melindungi kesejahteraan bersama. Fenomena perubahan iklim ini tidak hanya memberikan dampak



Lisensi :

Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License

signifikan pada sektor pertanian secara umum, tetapi juga memperluas dampaknya pada industri peternakan unggas, terutama dalam hal kualitas udara. Perubahan pola iklim seperti peningkatan suhu dan kejadian cuaca ekstrem dapat secara langsung maupun tidak langsung mempengaruhi kualitas udara di peternakan unggas (Wasti *et al.*, 2020). Tujuan dari penelitian ini berdasarkan uraian diatas yaitu melihat keterkaitan antara peningkatan suhu lingkungan terhadap kualitas udara di peternakan unggas.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan penelitian sistematik literature review. Metodologi yang digunakan yaitu *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and meta-Analyses (PRISMA)*. Pencarian literatur yang digunakan yang sudah di publish di database Scopus, Google scholar, Springer dan Willey. Kata kunci yang digunakan meliputi “Perubahan Iklim”, “Unggas”, “Suhu Tinggi”, “Peternakan unggas”, “Emisi Gas” “Kualitas Udara”. Pencarian artikel dibatasi 10 tahun terakhir dari tahun 2013 sampai 2023. Artikel yang dipilih berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi. Kriteria inklusi pada artikel yang dipilih yaitu 1) paper peer-review; 2) penelitiannya fokus pada dampak perubahan iklim terhadap kualitas udara di peternakan unggas; 3) artikel full text atau full paper; 4) artikel diterbitkan 10 tahun terakhir. Artikel yang di peroleh setelah proses inklusi dan eksklusi sebanyak 12 artikel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pencarian literature melalui database oleh penulis di sajikan kedalam bentuk Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan bahwa penelitian yang paling banyak membahas terkait kualitas udara yaitu ternak layer, broiler, dan kalkun. Pada peternakan ayam layer rentang suhu dan kelembaban yang ada di dalam peternakan berkisar antara 17.2°C hingga 30.3°C dengan kelembaban yang bervariasi. Pengukuran kualitas udara yang dipantau meliputi NH₃, CO₂, SO₂, NO_x, CH₄, PM_{2.5}, dan PM₁₀ dengan metode pengukuran dengan berbagai alat digunakan, seperti analisis gas, fotoakustik, dan pemantauan pintar (Zhao *et al.*, 2015; Pokharel *et al.*, 2017; Shen *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2020; Zheng *et al.*, 2020; Ni *et al.*, 2023). Pada ayam broiler suhu dan kelembaban yang ada di dalam kandang berkisar antara 15°C hingga 25°C dengan kelembaban mencapai 99%. Pemantauan kualitas udara meliputi NH₃, N₂O, CH₄, CO₂, dan H₂S dengan metode pengukuran menggunakan metode photoacoustic field gas monitor dan analisis gas portable (Chi *et al.*, 2018; Eugene *et al.*, 2015; Pereira *et al.*, 2018). Pada ayam kalkun, suhu lingkungan berkisar 28 sampai 35°C, pemantauan kualitas udara yaitu karbondioksida, dan metode pengukuran menggunakan portable air monitoring units (Cândido *et al.*, 2018). Pada ternak unggas pada umumnya, rentang suhu lingkungan berkisar antara 28-35°C, pemantauan kualitas udara yaitu NH₃, CO₂, CH₄, NO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, H₂S, dan SO₂ dengan metode pengukuran yaitu menggunakan ammonia gas detector, dan KanoMax dan iTX multigas Analysers (Abustan *et al.*, 2019; Ogunleye *et al.*, 2022).

Lingkungan merupakan salah satu aspek penting dalam industri peternakan modern unggas. Data hasil penelitian memberikan gambaran upaya yang dilakukan untuk memahami, memantau, dan mengelola kualitas udara di lingkungan ternak unggas. Terlihat bahwa suhu dan kelembaban yang signifikan di lingkungan pemeliharaan unggas, mempengaruhi kesehatan dan performa unggas (Al-Nasseri *et al.*, 2021). Data menunjukkan bahwa suhu di lingkungan ternak unggas bervariasi berkisar antara 15 °C hingga 35 °C sedangkan kelembaban berkisar antara 32,6% hingga 99%. Suhu dan kelembaban merupakan faktor kritis dalam mencapai kondisi optimal untuk pertumbuhan, dan kesejahteraan ternak unggas. Setiap jenis unggas memiliki kebutuhan lingkungan yang berbeda. Pada pemeliharaan ayam layer, suhu dan kelembaban relative lebih stabil dibandingkan dengan pemeliharaan pada ayam broiler. Suhu ideal untuk ternak unggas pada ayam layer 20-24°C dan ayam broiler 21-24°C (Scanes dan Christensen, 2020)

Tabel 1. Hasil penelitian terkait dampak perubahan iklim terhadap kualitas udara pada peternakan unggas

Penulis	Judul	Tahun	Jenis Unggas	Suhu	Kelembapan	Alat pengukuran	Kualitas udara	Jumlah kualitas udara
Shen <i>et al.</i>	Distribution of particulate matter and ammonia and physicochemical properties of fine particulate matter in a layer house	2018	Layer	20.4-26.1 °C	51.9-63.1 %	NH ₃ (JK40-IV Portable Gas Detector), PM ₁₀ dan PM _{2.5} (BTM- HS1), TSP (DustTrak II model 8532)	NH ₃ , TSP, PM ₁₀ , PM _{2.5}	NH ₃ : 0.39 - 1.84 µg/ m ³ TSP : 129.54 to 481.33 µg/ m ³ PM ₁₀ : 76.49 - 227.38 µg/ m ³ PM _{2.5} : 32.87 - 98.76 µg/ m ³
Pokharel <i>et al.</i>	Laying hens behave differently in artificially and naturally sourced ammoniated environments	2017	Layer	Tidak disebutkan	Tidak disebutkan	Chemiluminescent NH ₃ analyzer	NH ₃ ,	25 ppm dan 45 ppm
Zheng <i>et al.</i>	Air temperature, carbon dioxide, and ammonia assessment inside a commercial cage layer barn with manure-drying tunnels	2020	Layer	17.2-30.3 °C	Tidak disebutkan	Intelligent Portable Monitoring Units	NH ₃ , CO ₂	NH ₃ : 0-42.3 CO ₂ : 400-4981
Zhao <i>et al.</i>	Environmental assessment of three egg production systems– Part I: Monitoring system and indoor air quality	2015	Layer	Tidak disebutkan	Tidak disebutkan	Photoacoustic multi-gas analyzer	NH ₃ , CO ₂ , CH ₄ , PM ₁₀ , PM _{2.5}	NH ₃ : 2.8-6.7 ppm CO ₂ : 2083-2475 ppm CH ₄ : 11.5ppm PM ₁₀ : 0.44-3.95 mg/m ³ PM _{2.5} : 0.035-0.41 mg/m ³
Wang <i>et al.</i>	New insights into concentrations, sources and transformations of NH ₃ , NO _x , SO ₂ and PM at a commercial manure-belt layer house	2020	Layer	25-29 °C	50-73.5%	NH ₃ (NH ₃ eNOeNO ₂ analyzer (Model 17i, Thermo Fisher Scientific), NO _x (photoacoustic multi-gas analyzer (Innova 1412i, LumaSense Technologies, Ballerup), SO ₂ (H ₂ SeSO ₂ analyzer (Model 450i, Thermo Fisher Scientific), PM _{2.5} dan PM ₁₀ (four medium-volume air samplers)	NH ₃ , NO _x , SO ₂ , PM _{2.5} , PM ₁₀	NH ₃ : 5.312 ppm-7.179 ppm NO _x : 17-58 ug/ m ³ SO ₂ : 0-11 ug/ m ³ PM _{2.5} : 100-144 ug/ m ³ PM ₁₀ : 354-828ug/ m ³

Tabel 1. Hasil penelitian terkait dampak perubahan iklim terhadap kualitas udara pada peternakan unggas (Lanjutan)

Penulis	Judul	Tahun	Jenis Unggas	Suhu	Kelembapan	Alat pengukuran	Kualitas udara	Jumlah kualitas udara
Ni <i>et al.</i>	Effectiveness and characteristics of a new technology to reduce ammonia, carbon dioxide, and particulate matter pollution in poultry production with artificial turf floor	2023	Layer	22-22.7 °C	32.6-36.1	NH ₃ dan CO ₂ (Innova 1412 multi-gas monitor), PM (Dylos DC1700 Air Quality Monitor)	NH ₃ , CO ₂ , PM	NH ₃ : 7.5 - 15.2ppm CO ₂ : 794-917 ppm PM : 17.9-79.3 n/cm ⁻³
Abustan <i>et al.</i>	Reducing ammonia gas from chicken manure with lime and soybean plants	2019	Ayam	30-35 °c	Tidak disebutkan	Ammonia gas detector type AR 8500	NH ₃	0.78 - 1.67 ppm
Ogunleye <i>et al.</i>	Assessment of air quality, health status and lung function of workers from selected poultry management systems in Ogun State, Nigeria	2022	Unggas	28-35 °C	Tidak disebutkan	KanoMax and iTX multigas Analysers	NH ₃ , CO ₂ , CH ₄ , NO ₂ , PM ₁₀ , PM _{2.5} , H ₂ S, SO ₂	NH ₃ : 2.22 ppm CO ₂ : 1476.04 ppm CH ₄ :0.2 ppm NO ₂ : 0.03 ppm PM _{2.5} :337.28 µg/m ³ H ₂ S:0.1 ppm SO ₂ : 0.1 ppm
Cândido <i>et al.</i>	Effects of carbon dioxide on turkey poult performance and behavior	2018	Kalkun	28-35 °c	Tidak disebutkan	Portable air monitoring units (Model GMP222, Vaisala Inc.)	CO ₂	2000 ppm, 4000 ppm, 6000 ppm
Eugene <i>et al.</i>	Effect of alum additions to poultry litter on in-house ammonia and greenhouse gas concentrations and emissions	2015	Broiler	Tidak disebutkan	Tidak disebutkan	Insulated fluorinated ethylene propylene tubing	NH ₃ , N ₂ O,CH ₄ , CO ₂	NH ₃ : 10,82-18-23 ppm N ₂ O :0,41-1,03 ppm CH ₄ : 3.26 -18.29 ppm CO ₂ : 1132-2509 ppm
Pereira <i>et al.</i>	Ammonia, nitrous oxide, carbon dioxide and methane emissions from commercial broiler houses in mediterranean portugal	2018	Broiler	15-25 °C	64-99 %	Photoacoustic field gas monitor	NH ₃ , N ₂ O,CH ₄ , CO ₂ , H ₂ S	NH ₃ : 0.0022-0.0087 ppm N ₂ O: 0.0007-0.0009 ppm CH ₄ : 0-0,0009 ppm CO ₂ : 1,370-3,085 ppm H ₂ S : 30 ppm
Chi <i>et al.</i>	The effects of atmospheric hydrogen sulfide on peripheral blood lymphocytes of chickens: perspectives on inflammation, oxidative stress and energy metabolism	2018	Broiler	Tidak disebutkan	Tidak disebutkan	Tidak disebutkan	H ₂ S	30 ppm

Pemantauan kualitas udara yang diamati pada penelitian tersebut meliputi amonia (NH_3), karbon dioksida (CO_2), sulfur dioksida (SO_2), hidrogen sulfida (H_2S), nitrit (NO_2), metana (CH_4), dan partikulat matter (PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$). Amonia sering menjadi parameter utama yang dipantau pada pemeliharaan ternak unggas. Ammonia adalah gas yang sangat berbau dan dapat menyebabkan iritasi mata, hidung, dan tenggorokan. Ammonia juga dapat berbahaya bagi kesehatan manusia, terutama bagi mereka yang memiliki penyakit pernapasan (Kalus *et al.*, 2020). Selain suhu, keberadaan NH_3 juga dipengaruhi oleh kelembapan. Kelembapan tinggi berkisar 78-80 % dapat meningkatkan pertumbuhan bakteri yang mempercepat proses penguraian feses menjadi amonia di dalam kandang (Nurhidayah *et al.*, 2022). Peningkatan konsentrasi ammonia di dalam kandang dipengaruhi oleh seiring dengan pertumbuhan ternak (Tomic *et al.*, 2021). Tingginya konsentrasi amonia dapat berdampak negatif pada kesehatan unggas dan kesehatan manusia di sekitarnya. Penelitian menunjukkan konsentrasi amonia pada penelitian tersebut pada ayam layer 7.179 ppm. Konsentrasi amonia yang tinggi dapat menyebabkan iritasi pada saluran pernapasan, berpengaruh pada produksi telur dan kesehatan bulu pada unggas layer. Batas ambang normal kadar ammonia dalam kandang berkisar antara 5 sampai 25 ppm. Batas ambang ini bervariasi tergantung jenis unggas, fase produksi, dan pedoman lokal atau industri.

Polutan lainnya seperti nitrogen dioksida dan karbon dioksida, juga dapat menyebabkan iritasi dan bahaya bagi kesehatan manusia. Karbondioksida dihasilkan dari respirasi ternak dan kotoran. Karbondioksida merupakan gas tidak berwarna dan tidak berbau (Karaman dan Gokalp, 2017). Kualitas udara di peternakan unggas dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti jenis unggas, suhu, dan kelembapan (Nurhidayah *et al.*, 2022). Pengukuran kualitas udara menggunakan berbagai alat, seperti gas detector, air monitoring, analisis gas, dan pemantauan pintar, mencerminkan upaya untuk memahami kondisi udara dengan teknologi canggih. Beberapa penelitian bahkan mencoba teknologi baru, seperti pemantauan bergerak dan teknologi reduksi amonia dengan artificial turf floor, untuk memperoleh data yang lebih akurat dan real-time (Pokharel *et al.*, 2017).

Perhatian terhadap kondisi lingkungan di peternakan unggas sangat diperlukan untuk meningkatkan kesehatan dan produktivitas ternak unggas. Pemantauan kualitas udara secara terus-menerus dengan menggunakan teknologi yang tepat menjadi kunci dalam mencapai tujuan ini. Penelitian inovasi teknologi, seperti penggunaan *artificial turf floor*, menunjukkan perlunya eksplorasi solusi baru untuk mengatasi masalah lingkungan dalam pemeliharaan unggas.

KESIMPULAN

Pemantauan dan pengelolaan kualitas udara di lingkungan pemeliharaan unggas adalah tantangan yang signifikan. Berbagai penelitian yang terus dilakukan, diharapkan dapat ditemukan solusi-solusi inovatif dan praktis untuk menjaga kesehatan dan kesejahteraan unggas serta manusia yang terlibat dalam industri pemeliharaan unggas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abustan, Pudjirahaju, A., dan Arsyad, M. 2019. Reducing ammonia gas from chicken manure with lime and soybean plants. *Environmental Quality Management*. 28(4): 49—56. <https://doi.org/10.1002/tqem.21635>
- Al-Nasseri, A. N. I., Taha, A. T., dan Khalaf Hasan, A. T. 2021. Effects of different broiler flooring systems on surface temperature, air quality and carcass characters of broilers. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 735(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/735/1/012011>
- Cândido, M. G. L., Xiong, Y., Gates, R. S., Tinôco, I. F. F., dan Koelkebeck, K. W. 2018. Effects of carbon dioxide on turkey poult performance and behavior. *Poultry Science*, 97(8): 2768—2774. <https://doi.org/10.3382/ps/pey128>

- Chi, Q., Chi, X., Hu, X., Wang, S., Zhang, H., dan Li, S. 2018. The effects of atmospheric hydrogen sulfide on peripheral blood lymphocytes of chickens: Perspectives on inflammation, oxidative stress and energy metabolism. *Environmental Research*, 167: 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.06.051>
- El-Deep, M. H., Dawood, M. A. O., Assar, M. H., Ijiri, D., dan Ohtsuka, A. 2019. Dietary *Moringa oleifera* improves growth performance, oxidative status, and immune related gene expression in broilers under normal and high temperature conditions. *Journal of Thermal Biology*, 82: 157—163. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.04.016>
- Eugene, B., Moore, P. A., Li, H., Miles, D., Trabue, S., Burns, R., dan Buser, M. 2015. Effect of alum additions to poultry litter on in-house ammonia and greenhouse gas concentrations and emissions. *Journal of Environmental Quality*, 44(5): 1530—1540. <https://doi.org/10.2134/jeq2014.09.0404>
- Karaman S, Gokalp Z. 2017. Indoor air quality in animal housing systems (gas, odor and dust). *Current Trends in Natural Sciences* 6 (12): 67—271.
- Kalus, K., Konkol, D., Korczyński, M., Koziel, J. A., dan Opaliński, S. 2020. Effect of biochar diet supplementation on chicken broilers performance, NH₃ and odor emissions and meat consumer acceptance. *Animals* 10 (9): 1–13. <https://doi.org/10.3390/ani10091539>
- Lacetera, N. 2019. Impact of climate change on animal health and welfare. *Animal Frontiers* 9(1): 26–31. <https://doi.org/10.1093/af/vfy030>
- Liu, Z., dan Liu, Y. 2018. Mitigation of greenhouse gas emissions from animal production. In *Greenhouse Gases: Science and Technology* 8 (4): 627–638. <https://doi.org/10.1002/ghg.1785>
- Ni, J. Q., Erasmus, M., Jones, D. R., dan Campbell, D. L. M. 2023. Effectiveness and characteristics of a new technology to reduce ammonia, carbon dioxide, and particulate matter pollution in poultry production with artificial turf floor. *Environmental Technology and Innovation*, 29. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102976>.
- Nurhidayah, A.F., Niken, U., dan Salundik. (2022). Peningkatan hidrogen sulfida, partikel debu 10 µm dan diferensiasi leukosit pada pemeliharaan ayam broiler dengan suhu ruang berbeda. *Jurnal Peternakan Sriwijaya* 12 (1) : 41—49.
- Ogunleye, T. J., Taiwo, A. M., Akinhanmi, T. F., Oyediran, L. O., dan Arowolo, T. A. 2022. Assessment of air quality, health status and lung function of workers from selected poultry management systems in Ogun State, Nigeria. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2022.101159>
- Pereira, J. L. S., Ferreira, S., Pinheiro, V., dan Trindade, H. 2018. Ammonia, Nitrous oxide, carbon dioxide and methane emissions from commercial broiler houses in Mediterranean Portugal. *Water, Air, and Soil Pollution*, 229(12). <https://doi.org/10.1007/s11270-018-4026-4>
- Pokharel, B. B., Dos Santos, V. M., Wood, D., Van Heyst, B., dan Harlander-Matauschek, A. 2017. Laying hens behave differently in artificially and naturally sourced ammoniated environments. *Poultry Science*, 96(12): 4151–4157. <https://doi.org/10.3382/ps/pex273>
- Scanes, C. G., dan Christensen, K. D. 2020. Scanes, C. G., Christensen, K. D. 2020. *Poultry Houses and Equipment*. Poultry Science, Fifth Edition. Waveland Press, Inc. USA, pp. 273-280.
- Shen, D., Wu, S., Dai, P. Y., Li, Y. S., dan Li, C. M. 2018. Distribution of particulate matter and ammonia and physicochemical properties of fine particulate matter in a layer house. *Poultry Science*, 97(12): 4137–4159. <https://doi.org/10.3382/ps/pey285>
- Sousa, F. C., Tinôco, I. F. F., Barbari, M., Baptista, F., Souza, C. F., Saraz, A. O., Coelho, D. J. R., dan Silva, A. L. 2018. Diagnosis of air quality in broilers production facilities in hot climates. *Agronomy Research*, 16(2): 582–592. <https://doi.org/10.15159/AR.18.070>

- Van Harn, J., Aarnink, A. J. A., Mosquera, J., dan Ogink, N. W. M. 2010. Effect of bedding material on dust and ammonia emission from broiler houses. *ASABE - International Symposium on Air Quality and Waste Management for Agriculture 2010*, 325–330. <https://doi.org/10.13031/2013.41249>
- Wang, Y., Xia, L., Guo, T., Heng, C., Jiang, L., Wang, D., Wang, J., Li, K., dan Zhan, X. 2020. Research Note: Metabolic changes and physiological responses of broilers in the final stage of growth exposed to different environmental temperatures. *Poultry Science*, 99(4): 2017–2025. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.11.048>
- Wasti, S., Sah, N., dan Mishra, B. 2020. Impact of heat stress on poultry health and performances, and potential mitigation strategies. *Animals*, 10(8): 1–19. <https://doi.org/10.3390/ani10081266>
- Zhao, Y., Shepherd, T. A., Li, H., dan Xin, H. 2015. Environmental assessment of three egg production systems- Part I: Monitoring system and indoor air quality. *Poultry Science* 94(3): 518–533. <https://doi.org/10.3382/ps/peu076>
- Zheng, W., Xiong, Y., Gates, R. S., Wang, Y., dan Koelkebeck, K. W. 2020. Air temperature, carbon dioxide, and ammonia assessment inside a commercial cage layer barn with manure-drying tunnels. *Poultry Science*, 99(8): 3885–3896. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.05.009>