



Ilustrasi: Deadra Nurriel

# **Analisis Risiko Penularan Zoonosis dari Serangga Konsumsi**

*I Made Adi Prema Nanda*

Universitas Gadjah Mada  
made.adi.prema@mail.ugm.ac.id

### **Abstract**

*The risk of a zoonotic pandemic will increase along with the increasingly consumption of livestock and bush meats as a world source of animal protein. This consumption will grow bigger as the increase of population and standard of living. Besides being able to transmit zoonoses, livestock production can also damage the environment so that cause a trend of entomophagy or consuming edible insects which are considered more environmental friendly.*

*Edible insects have resemble nutritional value with meat, so they are considered potential to be developed. So far there is not much information regarding the spreading possibility of zoonoses from insects to humans which are feared to be the cause of a future pandemic. This research was conducted using a descriptive qualitative method to determine the possibility of entomophagy as zoonotic transmitters to humans. Data collection is carried out through documentation techniques by tracking documents and information related to this topic.*

*Data analysis was carried out through data reduction, data presentation, verification and conclusion. The results of this study, thus far there is no evidence that insects consumption can transmit zoonoses to humans because the kinship between insects and humans is very far taxonomically. The possibility of disease transmission through the surface of the edible insect's body can be overcome by proper processing before consumption.*

*Keywords: Edible Insect, Zoonosis, Entomophagy*

### **Abstrak**

Risiko pandemi zoonosis akan meningkat seiring peningkatan konsumsi masyarakat terhadap hewan ternak dan satwa liar sebagai sumber protein hewani. Konsumsi ini akan terus meningkat seiring peningkatan jumlah penduduk dan taraf hidup.

Produksi hewan ternak selain dapat menularkan zoonosis juga dapat merusak lingkungan sehingga kemudian memunculkan tren entomofagi (*entomophagy*) atau mengonsumsi serangga (*edible insect*) yang dinilai lebih ramah lingkungan. Serangga konsumsi juga memiliki nilai gizi yang mampu bersaing dengan daging sehingga dianggap potensial untuk dikembangkan. Sampai saat ini belum banyak informasi terkait kemungkinan penyebaran zoonosis dari serangga ke manusia yang ditakutkan menjadi penyebab pandemi di masa depan. Penelitian ini dilakukan dengan metode kualitatif deskriptif untuk mengetahui kemungkinan serangga konsumsi sebagai penular zoonosis ke manusia. Pengumpulan data dilakukan melalui teknik dokumentasi dengan melakukan pelacakan dokumen dan informasi terkait dengan topik yang dikaji. Analisis data dilakukan melalui tahapan reduksi data, penyajian data, verifikasi dan penarikan kesimpulan. Hasil penelitian ini adalah sampai saat ini belum ada bukti bahwa serangga konsumsi dapat menularkan zoonosis pada manusia karena hubungan kekerabatan antara serangga dan manusia sangat jauh. Kemungkinan penularan penyakit melalui permukaan tubuh serangga dapat diatasi dengan pengolahan yang tepat sebelum dikonsumsi.

*Kata Kunci: Edible Insect, Zoonosis, Entomophagy*

## Pendahuluan

COVID-19 merupakan penyakit infeksi yang disebabkan oleh virus corona (*coronavirus*) yang baru ditemukan dengan awal kemunculan di Wuhan, China dan kini telah menyebar ke seluruh dunia. Pertama kalinya manusia terjangkit virus ini dan menunjukkan gejala penyakit yaitu pada 31 Desember 2019 dengan gejala serupa penyakit pneumonia. Pada 11 Februari 2020, Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) secara resmi menamai virus tersebut sebagai COVID-19. Pemilihan nama ini dilakukan untuk menghindari penamaan berdasarkan nama geografis, hewan, maupun golongan orang. Per 5 Juli 2020, ada sekitar sebelas juta kasus yang lima ratus ribu di antaranya meninggal dunia<sup>1</sup>. Jumlah ini pun akan terus meningkat secara global karena kemampuan adaptasi antarnegara yang berbeda-beda dan hingga kini vaksin belum ditemukan.

COVID-19 termasuk kategori virus zoonosis yang berarti dapat menular dari hewan ke manusia. Penularan ini dapat terjadi dalam proses perusakan ekosistem dan perdagangan satwa liar.<sup>2</sup> Berdasarkan analisis metagenomik ditemukan bahwa virus ini ditularkan oleh trenggiling (*Manis javanica*).<sup>3</sup> COVID-19 bukanlah satu-satunya virus yang mengakibatkan wabah zoonosis. Dari semua penyakit infeksi

yang telah ditemukan pada manusia, 60% di antaranya adalah zoonosis. Selain itu, virus baru yang akan bermunculan (*emerging virus*), kemungkinan 75% di antaranya adalah zoonosis.<sup>4</sup>

Selain melalui kontak dengan satwa liar, hewan ternak produksi juga dapat mendatangkan zoonosis. Patogennya dapat berupa virus, bakteri, maupun cacing yang hidup pada karkas ataupun saluran pencernaan hewan ternak. Masuknya patogen pada hewan ternak ini bisa melalui pakan, air, dan kotoran ternak. Keberadaan residu antibiotik pada produk hewan ternak dapat menimbulkan patogen zoonosis yang resisten terhadap antibiotik sehingga mempersulit penanggulangan. Penggunaan kotoran ternak sebagai pupuk pada ladang pertanian juga dapat membuat produk-produk pertanian menjadi pembawa patogen zoonosis.<sup>5</sup>

Walaupun risiko zoonosis yang tinggi terdapat pada sektor peternakan, permintaan pada produk ternak justru terus meningkat. Permintaan masyarakat dunia terhadap produk peternakan diperkirakan akan meningkat dua kali lipat pada 2020 akibat peningkatan standar kehidupan.<sup>6</sup> Peningkatan standar kehidupan ini justru lebih diperparah dengan peningkatan jumlah penduduk yang mengakibatkan lebih banyak lagi

1. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019> diakses 5 Juli 2020

2. Inger Andersen dan Johan Rockstrom, "COVID-19 Is a Symptom of a Bigger Problem: Our Planet's Ailing Health," *Time.com*, diakses 12 Juli 2020, <https://time.com/5848681/covid-19-world-environment-day/>

3. Lam, T. T. dkk, "Identification of 2019-nCoV related coronavirus in Malayan pangolin in southern China," *BioRxiv* (2020). <https://doi.org/10.1101/2020.02.13.945485>

4. L.H Taylor, S.M. Latham dan M.E. Woolhouse, "Risk Factors for Human Disease Emergence," *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* (2001) <https://doi.org/10.1098/rstb.2001.0888>

5. Denies O. Krause dan Stephen Hendrick, *Zoonotic Pathogens in The Food Chain*, (Oxfordshire : CAB Internasional, 2011).

6. M. Melissa Rojas-Downing, A. Pouyan Nejadhashemi, Timothy Harrigan dan Sean A.Woznicki, "Climate Change and Livestock : Impacts, Adaptation, and Mitigation," *Climate Risk Management* 16 (2017):145–163, <http://dx.doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001>

produk ternak yang dibutuhkan. PBB memperkirakan populasi manusia pada tahun 2050 adalah 9 miliar jiwa yang harus dipenuhi kebutuhan pangannya.<sup>7</sup>

Sektor peternakan selain berisiko menularkan zoonosis juga dapat memperburuk perubahan iklim. Sektor peternakan meningkatkan alih fungsi lahan hutan (deforestasi) dan menghasilkan emisi gas rumah kaca (GRK), baik dari proses pencernaan dalam tubuh ternak, produksi pakan, penggunaan kotoran sebagai pupuk, dan proses pengolahan hasil ternak.<sup>8</sup> Secara global, sektor peternakan menyumbang 44% CH<sub>4</sub>, 29% N<sub>2</sub>O dan 5% CO<sub>2</sub> dari total gas antropogenik pada ketiga jenis gas tersebut. Deforestasi, alih fungsi lahan, dan degradasi tanah akibat sektor peternakan merupakan sumber emisi gas CO<sub>2</sub>. Dari total emisi gas rumah kaca sektor peternakan, 9,2% berasal dari alih fungsi lahan yang mana 6% melalui perluasan lahan merumput dan 3,2% melalui penambahan lahan tanam untuk pakan ternak.<sup>9</sup>

Di tengah dilema antara pengembangan sektor peternakan untuk memenuhi kebutuhan pangan dan dampak sektor peternakan yang memperparah perubahan iklim, muncullah serangga konsumsi (*edible insect*) sebagai sumber protein alternatif yang dinilai lebih ramah lingkungan.

Serangga konsumsi sebagai pangan maupun pakan merupakan isu yang relevan pada abad ke-21 sebagai akibat dari peningkatan kebutuhan protein hewani di kalangan menengah, ketidaktahanan pangan dan pakan, kerusakan lingkungan, dan pertumbuhan populasi. Konsumsi serangga atau entomofagi dapat memberikan dampak positif pada kesehatan, lingkungan, dan perekonomian.<sup>10</sup>

Entomofagi sebagai tren konsumsi alternatif tidak akan lepas dari isu keamanan pangan seperti keamanan mikrobiologis, toksisitas (kandungan toksin), palatabilitas (kecernaan), dan keberadaan komponen anorganik. Dari semua isu tersebut, serangga hanya terbukti mengakibatkan alergi pada orang yang juga alergi terhadap arthropoda.<sup>11</sup>

Melihat keunggulan entomofagi tersebut, mengonsumsi serangga menjadi hal yang menjanjikan di masa depan. Peternakan serangga atau istilahnya *mini livestock* kini mulai dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan protein hewani sebagai pengganti produk ternak yang dalam produksinya cenderung merusak lingkungan. Namun, kemungkinan penularan zoonosis belum muncul dari tren konsumsi serangga ini padahal salah satu kelemahan dari sektor peternakan adalah rawannya kemunculan zoonosis. Hal ini mengakibatkan belum adanya

7. United Nations Department of Economic and Social Affairs (UN DESA) Population Division. World Population Prospects – The 2012 Revision - Highlight and Advance Tables (Working Paper No. ESA/P/WP.228.) (New York : United Nation, 2013).

8. M. Melissa Rojas-Downing, A. Pouyan Nejadhashemi, Timothy Harrigan dan Sean A.Woznicki, "Climate Change and Livestock: Impacts, Adaptation, and Mitigation." *Climate Risk Management* 16 (2017): 145–163, <http://dx.doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001>

9. P.J. Gerber, dkk, Tackling Climate Change Through Livestock: A Global Assessment of Emissions and Mitigation Opportunities, (Roma : FAO, 2013).

10. Arnold Van Huis, Joost Van Itterbeeck, Harmke Klunder, Esther Mertens, Afton Halloran, Giulia Muir, dan Paul Van-tomme. *Edible insects : future prospects for food and feed security*, (Roma: FAO, 2013).

11. Arnold Van Huis, dkk, *Edible insects : future prospects for food and feed security*, (Roma: FAO, 2013).

kepastian perubahan pola konsumsi menjadi berbasis serangga akan menjauhkan umat manusia dari wabah zoonosis selanjutnya atau justru semakin memperparah dengan munculnya virus jenis baru akibat eksplorasi pada biodiversitas serangga.

### Zoonosis

Zoonosis adalah penyakit menular yang ditularkan dari hewan vertebrata ke manusia dan sebaliknya. Penyakit ini bisa disebabkan oleh semua jenis patogen, termasuk bakteri, parasit, jamur, virus dan prion.<sup>12</sup> Namun tidak semua penyakit infeksi pada hewan dan manusia adalah zoonosis karena mereka dapat tertular patogen dari sumber yang sama seperti tanah, air, tanaman, dan invertebrata. Sebuah penyakit dikategorikan zoonosis apabila disebabkan oleh agen infeksius yang dapat menular dengan menyerang lebih dari satu spesies hewan, termasuk manusia, dan menyebabkan infeksi klinis atau subklinis.<sup>13</sup>

Kemunculan zoonosis secara global telah menjadi perhatian utama dalam dua dekade terakhir. Penyakit ini telah menghasilkan angka morbiditas dan mortalitas yang signifikan pada sebagian besar populasi manusia dengan lebih dari satu miliar penderita yang mengakibatkan jutaan kematian setiap tahunnya. Wabah zoonosis telah berdampak buruk pada kondisi ekonomi sebagai akibat dari besarnya beban keuangan pada masyarakat terdampak yang secara tidak langsung mempengaruhi perdagangan. Perdagangan internasional pun turut

terpengaruhi akibat ketakutan konsumen di suatu negara jika wabah zoonosis sampai menyebar di negara mereka.<sup>14</sup>

Beberapa cara hewan dapat menularkan zoonosis ke manusia antara lain melalui kontak langsung dengan hewan atau karkas, kontak tidak langsung melalui produk hewani seperti susu atau telur, transmisi perantara melalui vektor (misalnya kutu, tungau, kutu, dan nyamuk), dan kontak jarak jauh dari paparan air, tanah, dan udara yang terkontaminasi. Kontak langsung dengan hewan atau karkas dapat mengakibatkan penularan penyakit dengan beberapa cara. Kejadian yang paling sering melalui konsumsi oral seperti pada zoonosis yang ditularkan melalui makanan (*foodborne zoonoses*) atau secara tidak sengaja menangani hewan peliharaan tanpa sanitasi yang benar. Penularan penyakit oleh gigitan hewan, cakaran, atau paparan lendir relatif jarang terjadi kecuali pada rabies dan infeksi luka terkait hewan. Paparan patogen hewan dapat melalui inhalasi terhadap tetesan sekresi yang terinfeksi, seperti yang terjadi pada wabah influenza unggas di Cina yang timbul dari paparan unggas terinfeksi di pasar terbuka. Pada kondisi yang sangat jarang, menghirup spora mikroba pada kulit hewan yang luka atau terkelupas dapat menyebabkan infeksi seperti pada penyakit antraks.<sup>15</sup>

Eksposur terhadap ekskresi hewan adalah penyebab patogen zoonosis muncul secara sporadis tanpa terdeteksi asalnya. Hanya pada wabah penyakit lokal sumber infeksi dapat dideteksi oleh penyelidikan

12. Wang LF dan Cramer G. Emerging zoonotic viral diseases. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz* 33, no. 2 (2014) : 569-581.

13. Mark Woolhouse dan Eleanor Gaunt, "Ecological origins of novel human pathogens," *Crit Rev Microbiol* 33 (2007): 231-242. <https://doi.org/10.1080/10408410701647560>

14. Mark Woolhouse dan Eleanor Gaunt, "Ecological origins of novel human pathogens," *Crit Rev Microbiol* 33 (2007): 231-242, <https://doi.org/10.1080/10408410701647560>

15. I.W Fong. *Emerging Infectious Diseases of the 21st Century*, (Gewerbestrasse : Springer International Publishing, 2017).

epidemiologis. Contohnya pada konsumsi sayuran yang terkontaminasi oleh kotoran terinfeksi pada lahan pertanian, seperti pada infeksi listeria setelah memakan selada yang terkontaminasi. Penyakit akibat menghirup ekskreta aerosol dari hewan terinfeksi contohnya pada “penyakit gua” ketika penjelajah mengeksplorasi gua yang dipenuhi kelelawar terkontaminasi spora *Histoplasma capsulatum* dan penyakit sporadis paru *hantavirus* akibat menghirup aerosol tikus melalui debu. Ekskresi hewan yang terinfeksi juga dapat menularkan penyakit melalui kontaminasi air yang digunakan untuk minum atau mandi atau dari paparan kulit yang tidak disengaja ke genangan air yang mengandung urine tikus seperti penyakit leptospirosis.<sup>16</sup>

Penularan perantara (*intermediary transmission*) oleh vektor merupakan bentuk utama penularan patogen hewan ke manusia. Dalam kebanyakan kasus, manusia adalah inang insidental untuk mempertahankan siklus hidup parasit atau patogen. Zoonosis yang ditularkan melalui vektor telah menjadi momok bagi umat manusia sejak zaman dahulu dan terus mengancam populasi manusia saat ini dan untuk masa yang akan datang. Contohnya adalah penyakit chagas, demam berdarah, hingga penyakit virus *West Nile*<sup>17</sup>

Kemunculan zoonosis ini dipengaruhi faktor manusia melalui industrialisasi dan perluasan komunitas untuk mengakomodasi ledakan populasi global. Kemajuan pembangunan dengan

pembukaan hutan untuk jalan raya, tempat tinggal, kota, dan lahan pertanian dapat mempengaruhi kondisi ekologi satwa liar. Selain itu, intrusi manusia pada ekosistem hewan dapat dipengaruhi oleh globalisasi perdagangan, perubahan praktik pertanian dan rantai makanan, peningkatan perburuan dan kepemilikan hewan peliharaan, ekowisata, dan perluasan praktik kuliner.<sup>18</sup> Paparan manusia terhadap hewan dan satwa liar dapat dipengaruhi oleh perubahan rezim politik, konflik dan perang, kelaparan, migrasi massal dan melonggarnya kontrol perbatasan, serta gangguan infrastruktur kesehatan masyarakat. Selain itu, kelaparan dan kekurangan gizi pada sebagian populasi dunia membuatnya sangat rentan terhadap berbagai penyakit, termasuk infeksi yang ditularkan secara langsung atau tidak langsung dari hewan.<sup>19</sup>

Faktor-faktor terkait patogen dipengaruhi oleh perubahan ekosistem dan keanekaragaman hayati sehingga memengaruhi komposisi dan kuantitas fauna lokal yang dapat menghasilkan lebih banyak vektor dan reservoir/inang penyakit, tekanan seleksi untuk pengembangan resistensi dan virulensi mikroba yang lebih besar, dan variabilitas genetik.<sup>20</sup> Faktor iklim dan lingkungan semakin menjadi perhatian dalam beberapa tahun terakhir karena perubahan iklim global dapat memengaruhi siklus hidup vektor dan inang, mengakibatkan perubahan fauna serta perubahan ekologi hewan dan vektor.<sup>21</sup>

16. I.W Fong. *Emerging Infectious Diseases of the 21st Century*, (Gewerbestrasse : Springer International Publishing, 2017).

17. I.W Fong. *Emerging Infectious Diseases of the 21st Century*, (Gewerbestrasse : Springer International Publishing, 2017).

18. Antonio Cascio, Mile Bosilkovski, Alfonso J Rodriguez-Morales, Georgios Pappas, “The socio-ecology of zoonotic infections,” *Clin Microbiol Infect* 17 (2011):336–342.

19. I.W Fong. *Emerging Infectious Diseases of the 21st Century*, (Gewerbestrasse : Springer International Publishing, 2017).

20. Antonio Cascio, Mile Bosilkovski, Alfonso J Rodriguez-Morales, Georgios Pappas, “The socio-ecology of zoonotic infections,” *Clin Microbiol Infect* 17 (2011):336–342.

21. I.W Fong. *Emerging Infectious Diseases of the 21st Century*, (Gewerbestrasse : Springer International Publishing, 2017).

## Entomofagi

Praktik memakan serangga dikenal sebagai entomofagi. Banyak hewan, seperti laba-laba, kadal dan burung dan banyak serangga lainnya juga melakukan entomofagi. Orang-orang di seluruh dunia telah rutin memakan serangga selama ribuan tahun. Meskipun praktik ini seharusnya ditetapkan sebagai entomofagi manusia (*human entomophagy*), namun istilah entomofagi saja cukup digunakan. Memakan serangga masih merupakan hal yang tabu di masyarakat Barat sehingga tidak banyak penelitian dan inovasi yang dilakukan berkaitan dengan pemanfaatan serangga kecuali pada lebah dan ulat sutera. Pemanfaatan serangga sebagai bahan pangan pun sempat luput dari perhatian FAO.<sup>22</sup>

Serangga memiliki keanekaragaman hayati yang sangat tinggi sehingga sangat memungkinkan untuk dieksplorasi lebih lanjut untuk mewujudkan kesejahteraan manusia. Tercatat sekitar satu juta dari 1,4 juta spesies hewan yang di bumi adalah serangga dan jutaan lainnya diyakini masih belum teridentifikasi. Berlawanan dengan anggapan bahwa serangga sebagian besar berbahaya, dari satu juta spesies serangga, hanya lima ribu spesies yang dapat dianggap berbahaya bagi tanaman, ternak atau manusia.<sup>23</sup>

Secara global, serangga yang paling sering dikonsumsi adalah kumbang (*Coleoptera*) (31 persen). Hal ini tidak mengherankan mengingat kelompok ini merupakan 40 persen dari seluruh

spesies serangga yang telah teridentifikasi. Konsumsi ulat (*Lepidoptera*) terutama yang populer di Afrika sub-Sahara, diperkirakan mencapai 18 persen. Lebah, tawon, dan semut (*Hymenoptera*) berada di urutan ketiga dengan 14 persen dengan dominasi konsumsi dari masyarakat Amerika Latin. Selanjutnya ada belalang dan jangkrik (*Orthoptera*) (13 persen); *leafhoppers*, *planthoppers*, kutu daun perisai dan kepik (*Hemiptera*) (10 persen); rayap (*Isoptera*) (3 persen); capung (*Odonata*) (3 persen); lalat (*Diptera*) (2 persen); dan serangga lainnya (5 persen).<sup>24</sup>

Serangga dikonsumsi pada tahap hidup yang beragam. Lepidoptera dikonsumsi hampir seluruhnya dalam bentuk ulat dan *Hymenoptera* dikonsumsi sebagian besar dalam bentuk larva atau kepompong. Serangga dewasa dan larva dari ordo *Coleoptera* dikonsumsi semuanya, sedangkan pada ordo *Orthoptera*, *Homoptera*, *Isoptera* dan *Hemiptera* sebagian besar dimakan pada tahap berbentuk serangga dewasa.<sup>25</sup>

Konsumsi serangga lebih tinggi di daerah tropis daripada daerah sub tropis. Hal ini disebabkan oleh lebih besarnya ukuran serangga di daerah tropis. Selain ukurannya lebih besar, serangga di daerah tropis juga lebih cenderung berkoloni sehingga lebih mudah ditangkap. Ketiadaan musim dingin pada daerah tropis mengakibatkan serangga tidak melakukan hibernasi sehingga serangga tersedia sepanjang tahun. Selain itu, serangga di daerah tropis dapat diprediksi

22. Arnold Van Huis, dkk, *Edible insects : future prospects for food and feed security*, (Roma: FAO, 2013).

23. J.C Van Lenteren, "Ecosystem services to biological control of pests: why are they ignored?" *Proc. Neth. Entomol. Soc. Meet.* 17 (2006) : 103–111.

24. Yde Jongema, *List of edible insect species of the world*. Wageningen, Laboratory of Entomology, Wageningen University, 2012, Tersedia di [www.ent.wur.nl/UK/Edible+insects/Worldwide+species+list/](http://www.ent.wur.nl/UK/Edible+insects/Worldwide+species+list/)

25. R Cerritos, "Insects as food: an ecological, social and economical approach," *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 4, no. 27 (2009) : 1–10.



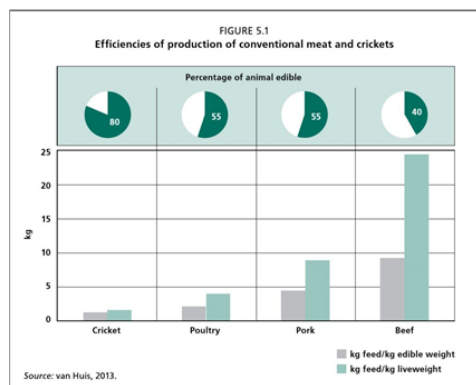
kan dan di mana lokasi kemunculannya sehingga lebih mudah ditangkap.<sup>26</sup>

Serangga yang populer dikonsumsi di wilayah tropis justru dianggap makanan yang menjijikkan bagi masyarakat barat yang hidup di wilayah subtropis. Persepsi negatif seputar serangga telah tertanam sepenuhnya dalam masyarakat Barat. Dalam masyarakat Barat, sumber protein utamanya berasal dari hewan ternak, serangga identik dengan gangguan. Nyamuk dan lalat sering masuk ke rumah dan membawa penyakit, rayap menghancurkan furnitur berbahan kayu dan beberapa serangga yang masuk ke makanan dapat memicu rasa jijik.<sup>27</sup>

### Entomofagi bagi Lingkungan

Kini masyarakat Barat mulai melakukan perubahan dengan menerima serangga konsumsi sebagai bahan pangan. Hal ini didukung oleh kesadaran mereka yang tinggi terhadap dampak negatif dari pola makan mereka yang sangat mengandalkan produk peternakan. Sektor agrikultur terutama peternakan adalah penyebab utama dari perubahan iklim yang disebabkan oleh gas antropogenik. Kini dunia membutuhkan teknologi pertanian baru dan pola konsumsi makanan berdasarkan diet yang lebih sehat dan lebih berkelanjutan. Pemenuhan kebutuhan makan populasi masa depan akan membutuhkan pengembangan sumber protein alternatif, seperti daging yang dikultur jaringan, rumput laut, kacang-kacangan, jamur dan serangga.<sup>28</sup>

Entomofagi memberikan pengaruh baik terhadap lingkungan karena memiliki tingkat konversi pakan yang lebih baik dibanding hewan ternak. Contohnya adalah jangkrik yang mana dua kali lebih efisien dalam mengubah pakan menjadi daging daripada ayam, kurang lebih empat kali lebih efisien daripada babi, dan 12 kali lebih efisien daripada sapi. Hal ini kemungkinan karena serangga berdarah dingin dan tidak memerlukan banyak energi untuk menjaga suhu tubuh.<sup>29</sup>



Tabel 1. Arnold Van Huis. "Potential of insects as food and feed in assuring food security." *Annual Review of Entomology* 58, no.1 (2013): 563–583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>

Selain konversi energi yang lebih baik, serangga juga menghasilkan lebih sedikit emisi gas rumah kaca dibanding peternakan konvensional. Sektor peternakan bertanggung jawab atas 18 persen emisi gas rumah kaca lebih tinggi daripada sektor transportasi.<sup>30</sup> Metana (CH<sub>4</sub>) dan dinitrogen oksida

26. Arnold Van Huis, dkk, *Edible insects: future prospects for food and feed security*, (Roma: FAO, 2013).

27. Stephen R. Kellert, "Values and perceptions of invertebrates," *Conservation Biology* 7, no. 4 (1993): 845–855. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1993.740845.x>

28. J. Sachs, "Rethinking macroeconomics: knitting together global society," *The Broker* 10 (2010): 1–3.

29. Arnold Van Huis, "Potential of insects as food and feed in assuring food security," *Annual Review of Entomology* 58, no.1 (2013): 563–583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>

30. Henning Steinfeld, Pierre Gerber, Tom Wassenaar, Vincent Castel, Mauricio Rosales dan Cees de Haan, *Livestock's long shadow: environmental issues and options*, (Rome: FAO, 2006).

(N<sub>2</sub>O) memiliki potensi pemanasan global (GWP) lebih besar daripada CO<sub>2</sub>. Jika CO<sub>2</sub>

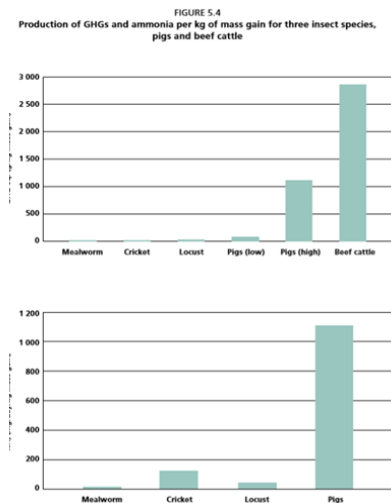
memiliki nilai 1 GWP, CH<sub>4</sub> memiliki nilai 23 GWP dan N<sub>2</sub>O memiliki nilai 289 GWP.<sup>31</sup>

The animal sector's contribution to GHG emissions			
	Carbon dioxide (CO <sub>2</sub> )	Methane (CH <sub>4</sub> )	Nitrous oxide (N <sub>2</sub> O)
Percentage of global emissions	9	35–40	65
Caused by	Fertilizer production for feed crops, on-farm energy expenditures, feed transport, animal product processing, animal transport and land use changes	From enteric fermentation in ruminants and from farm animal manure.	From farm manure and urine

Note: This table shows how much the animal sector contributes to these emissions and why. According to Fiala (2008), 1 kg of beef causes emissions equivalent to 14.8 kg of CO<sub>2</sub>, while emissions are lower for pigs and chickens: 3.8 kg and 1.1 kg, respectively.

Tabel 2. Henning Steinfeld, dkk. *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. Rome : FAO, 2006.

Beberapa serangga yang dianggap layak untuk dikonsumsi masyarakat Barat termasuk spesies seperti larva ulat hongkong, jangkrik dan belalang ternyata lebih baik dibandingkan dengan babi dan sapi dalam emisi GRK (serangga lebih rendah dengan faktor sekitar 100). Larva ulat hongkong, jangkrik dan belalang juga sepuluh kali lipat lebih baik dibandingkan dengan babi dalam emisi amonia.<sup>32</sup>



Tabel 3. Henning Steinfeld, dkk. *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. Rome : FAO, 2006.)

Air adalah penentu utama produktivitas lahan sehingga kelangkaan air dapat menurunkan hasil pertanian di berbagai belahan dunia. Diperkirakan pada 2025, 1,8 miliar orang akan tinggal di negara atau wilayah dengan kelangkaan air absolut dan dua pertiga dari populasi dunia kemungkinan akan mengalami dampak buruknya.<sup>33</sup> Meningkatnya permintaan akan pasokan air global mengancam keanekaragaman hayati, produksi makanan, dan kebutuhan vital manusia lainnya. Sektor pertanian mengonsumsi sekitar 70 persen air tawar di seluruh dunia.<sup>34</sup>

Konsep penggunaan air digambarkan sebagai air virtual. Produksi 1 kg ayam membutuhkan 2.300 liter air virtual, 1 kg

31. IPCC. Summary for policymakers. Dalam : S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor dan H.L. Miller, eds. *Climate change 2007 : The physical science basis*, (Cambridge : Cambridge University Press, 2007).

32. Dennis G. A. B Ooninx, Joost van Itterbeeck, Marcel J. W. Heetkamp, Henry van den Brand, Joop J. A. van Loon, dan Arnold van Huis, "An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption," *Plos One* 5, no.12 (2010): e14445.

33. FAO, *State of the world fisheries*, (Rome : FAO, 2012).

34. David Pimentel, dkk, "Water resources: agricultural and environmental issues," *BioScience* 54 (2004): 909–918. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0909:WRAAEI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0909:WRAAEI]2.0.CO;2)

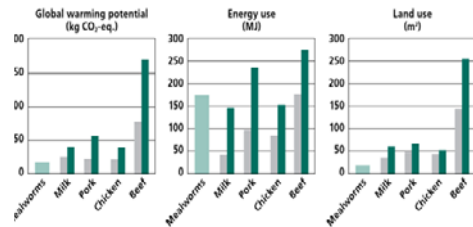
daging babi membutuhkan 3.500 liter dan 1 kg daging sapi membutuhkan 22.000 liter.<sup>35</sup> Menurut Van Huis dkk Perkiraan volume air yang dibutuhkan untuk setiap 1 kg serangga belum diteliti tetapi bisa jauh lebih rendah misalnya fakta bahwa larva ulat hongkong lebih tahan terhadap kekeringan daripada sapi.<sup>36</sup>

Perbandingan dampak terhadap lingkungan dari serangga dan ternak konvensional juga dapat dilakukan melalui penilaian siklus hidup (*life cycle assessment*). Penilaian siklus hidup adalah teknik untuk menilai dampak lingkungan yang terkait dengan semua tahap kehidupan produk, tetapi dari serangga hanya ulat hongkong yang telah dinilai dengan cara ini. Penilaian dilakukan dengan mengukur produksi GRK, penggunaan energi dan area penggunaan lahan di seluruh rantai produksi ulat hongkong dan menemukan bahwa penggunaan energi untuk produksi 1 kg protein ulat hongkong lebih rendah daripada daging sapi, sebanding dengan daging babi, dan sedikit lebih tinggi daripada untuk ayam dan susu.

Emisi GRK produksi ulat hongkong jauh lebih rendah daripada hewan produksi yang lebih umum. Untuk setiap 1 ha lahan yang dibutuhkan untuk menghasilkan protein ulat hongkong, dibutuhkan 2,5 ha untuk menghasilkan jumlah protein susu yang sama, 2–3,5 ha untuk menghasilkan jumlah protein daging babi dan ayam yang sama, dan 10 ha untuk protein daging sapi. Oleh karena itu, berdasarkan penelitian ini, ulat

hongkong adalah sumber protein hewani yang lebih ramah lingkungan daripada susu, ayam, babi, dan sapi.<sup>37</sup>

Greenhouse gas production (global warming potential), energy use and land use due to the production of 1 kg of protein from mealworms, milk, pork, chicken and beef



Note: The grey bars are minimal values and the dark green bars are maximum values found in the literature.

Tabel 4. Dennis G.A.B. Oonincx dan Imke J.M. de Boer. "Environmental impact of the production of hong kong's as a protein source for humans: a life cycle assessment." *PLoS ONE* 7, no.12 (2012): e51145. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051145>

## Nilai Gizi Entomofagi

Nilai gizi serangga sangat bervariasi karena beragamnya spesies. Bahkan dalam kelompok spesies serangga yang sama, nilai gizi dapat berbeda bergantung pada tahap metamorfosis serangga khususnya untuk spesies dengan metamorfosis sempurna (spesies *holometabolous* seperti semut, lebah, dan kumbang), habitat hidupnya, serta pakan yang dikonsumsinya. Seperti bahan pangan lainnya, metode persiapan dan pemrosesan serangga seperti pengeringan, perebusan atau penggorengan yang dilakukan sebelum dikonsumsi juga akan memengaruhi komposisi nutrisi.<sup>38</sup>

Peneliti telah menyusun komposisi nutrisi untuk 236 jenis serangga yang

35. A.K. Chapagain dan A.Y Hoekstra, "Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products." Value of Water Research Report Series No. 13. Paris, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (2003).

36. Arnold Van Huis, dkk, *Edible insects : future prospects for food and feed security*, (Roma: FAO, 2013).

37. Dennis G.A.B. Oonincx dan Imke J.M. de Boer, "Environmental impact of the production of hong kong's as a protein source for humans: a life cycle assessment," *PLoS ONE* 7, no.12 (2012): e51145. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051145>

38. Arnold Van Huis, dkk, *Edible insects : future prospects for food and feed security*, (Roma: FAO, 2013).

dapat dikonsumsi (berdasarkan bahan kering). Meskipun variasi signifikan ditemukan dalam data, banyak jenis serangga memberikan jumlah energi dan protein yang memuaskan, memenuhi persyaratan asam amino untuk manusia, tinggi asam lemak tak jenuh tunggal dan/atau tak jenuh ganda, dan kaya akan zat gizi mikro seperti tembaga, zat besi, magnesium, mangan, fosfor, selenium dan seng, serta riboflavin, asam pantotenat, biotin dan dalam beberapa kasus terdapat asam folat.<sup>39</sup>

Sebuah penelitian dilakukan untuk meneliti kandungan nutrisi dari beberapa spesies serangga, termasuk larva ulat hongkong (*Tenebrio molitor*). Larva kumbang ini merupakan jenis serangga yang menjanjikan untuk pemeliharaan massal di negara-negara Barat karena spesies ini endemis di daerah beriklim sedang dan mudah untuk dibudidayakan dalam skala besar. Serangga ini memiliki siklus hidup yang pendek dan sudah diketahui cara mengembangbiakkannya, khususnya bagi industri pakan hewan peliharaan. Serangga ini sebelumnya dibiarkan berpuasa selama 24 jam untuk menghentikan pencernaan di saluran ususnya dan kemudian dianalisis kandungan gizinya dengan hasil sebagai berikut.

- **Komposisi makronutrien**

Kandungan lemak daging sapi lebih tinggi dari pada ulat hongkong. Daging

sapi memiliki kadar air sedikit lebih rendah dan sedikit lebih tinggi protein serta energi yang dapat dimetabolisme.

- **Asam amino**

Daging sapi lebih tinggi pada kandungan asam glutamat, lisin dan metionin dan lebih rendah dalam kandungan isoleusin, leusin, valin, tirosin dan alanin, dibandingkan dengan ulat hongkong.

- **Asam lemak**

Daging sapi mengandung lebih banyak asam palmitoleat, palmitat, dan stearat dibandingkan ulat hongkong, tetapi ulat hongkong memiliki kandungan asam linoleat yang jauh lebih tinggi.

- **Mineral**

Ulat hongkong mengandung kandungan sulfur, natrium, kalium, zat besi, seng, dan selenium yang sebanding dengan daging sapi.

- **Vitamin**

Ulat hongkong umumnya memiliki kandungan vitamin yang lebih tinggi daripada daging sapi, dengan pengecualian vitamin B12.<sup>40</sup>

Peneliti lain menganalisis komposisi asam lemak fosfolipid dari *T. molitor* dewasa dan ditemukan bahwa lebih dari 80 persen asam lemak ini terdiri dari asam palmitat, stearat, oleat, dan linoleat. Asam lemak tak jenuh ganda banyak ditemukan sebagai fosfolipid.<sup>41</sup> Jenis asam lemak yang sama dalam jumlah tinggi pada juga ditemukan pada larva *T. molitor*.<sup>42</sup>

39. Birgit A. Rumpold dan Oliver K. Schlüter, "Nutritional composition and safety aspects of edible insects," *Molecular Nutrition and Food Research* 57, no. 3 (2013) <https://doi.org/10.1002/mnfr.201200735>

40 Mark D. Finke, "Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores," *Zoo Biology* 21(3) (2002): 269–285. <https://doi.org/10.1002/zoo.10031>

41. Ralph W. Howard dan David W. Stanley-Samuels, "Phospholipid fatty acid composition and arachidonic acid metabolism in selected tissues of adult *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae)." *Annals of the Entomological Society of America* 83, no. 5 (1990): 975–981. <https://doi.org/10.1093/aesa/83.5.975>

42. Mark D. Finke, "Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores," *Zoo Biology* 21(3) (2002): 269–285. <https://doi.org/10.1002/zoo.10031>

### Average approximate analysis of selected *Tenebrio molitor* and beef as a percentage of dry matter except for moisture content

	<i>T. molitor</i> <sup>1</sup>	Beef
Moisture (% of fresh weight)	61.9	52.3
Protein	49.1	55.0
Fat	35.2	41.0
Metabolizable energy (kcal/kg)	2 056	2 820

Notes: <sup>1</sup> Mean body mass 0.13 g. Data presented based on a single analysis.

Tabel 5. Diadaptasi dari Finke (2002) dan USDA (2012) oleh Ooninx

### Average amino acid content of *Tenebrio molitor* and beef (amounts in g/kg dry matter unless stated otherwise)

Amino acid	<i>T. molitor</i> g/kg dry matter	Beef g/kg dry matter
<b>Essential</b>		
Isoleucine	24.7	16
Leucine	52.2	42
Lysine	26.8	45
Methionine	6.3	16
Phenylalanine	17.3	24
Threonine	20.2	25
Tryptophan	3.9	–
Valine	28.9	20
<b>Semi-essential</b>		
Arginine	25.5	33
Histidine	15.5	20
Methionine + cysteine	10.5	22
Tyrosine	36.0	22
<b>Non-essential</b>		
Alanine	40.4	30
Aspartic acid	40.0	52
Cysteine	4.2	5.9
Glycine	27.3	24
Glutamic acid	55.4	90
Proline	34.1	28
Serine	25.2	27
Taurine (mg/kg)	210	–

Tabel 6. Diadaptasi dari Finke (2002) dan USDA (2012) oleh Ooninx

### Fatty acid content of *Tenebrio molitor* and beef on a dry matter basis

Fatty acid	Saturation	<i>T. molitor</i> <sup>1</sup>	Beef
<b>Essential</b>			
Linoleic	Omega-6 polyunsaturated	91.3	10.2
Linolenic	Omega-3 polyunsaturated	3.7	3.9
Arachidonic	Omega-6 polyunsaturated	–	0.63
<b>Non-essential</b>			
Capric	Saturated	–	1.05
Lauric	Saturated	< 0.5	1.05
Myristic	Saturated	7.6	13
Pentadecanoic	Saturated	< 0.5	–
Palmitic	Saturated	60.1	99
Palmitoleic	Omega-7 monounsaturated	9.2	17
Heptadecanoic	Saturated	< 0.5	–
Heptadecenoic	Omega-7 monounsaturated	0.8	–
Stearic	Saturated	10.2	48
Oleic	Omega-9 monounsaturated	141.5	159
Arachidic	Saturated	0.8	–
Eiconoic	Omega-9 monounsaturated	–	0.63
Others		0.5	–

Notes: Hyphens indicate values that are not available. Values with inequalities indicate the detection limit of the assay, contents were lower than this limit. <sup>1</sup> Data based on a single analysis.

Tabel 7. Diadaptasi dari Finke (2002) dan USDA (2012) oleh Ooninx

## Isu Keamanan Pangan pada Entomofagi

Sejauh ini tidak ada masalah kesehatan yang signifikan akibat memakan serangga konsumsi.<sup>43</sup> Namun keamanan pangan masih menjadi perhatian bagi konsumen. Dalam hal ini, keberadaan pestisida pada serangga konsumsi masih menjadi perhatian penting terutama dalam kaitannya dengan kesehatan dan perdagangan di pasar global. Telah diketahui bahwa spesies yang ditangkap di ladang lebih cenderung mengandung pestisida atau logam berat daripada yang ditangkap dari hutan. *Chapulines* (*Sphenarium purpurascens*), spesies belalang merah yang biasanya ditangkap di Oaxaca, Meksiko telah ditemukan mengandung timbal dengan konsentrasi tinggi akibat lokasi penangkapannya berdekatan dengan lokasi tambang.<sup>44</sup> Sayangnya, banyak negara di Afrika tidak memiliki kebijakan yang mengatur penggunaan bahan kimia di ladang sekitar lokasi penangkapan serangga konsumsi dan masyarakat pun kecenderungan tidak paham akan konsekuensi akibat mengonsumsi serangga konsumsi yang terpapar zat kimia.<sup>45</sup>

Beberapa masalah terkait keamanan pangan pada serangga antara lain keamanan terkait mikroba, toksisitas,

impalabilitas, keberadaan senyawa anorganik, dan penggunaan limbah sebagai pakan serangga. Pakan serangga yang diperoleh dari kotoran ternak atau aliran limbah organik meningkatkan perhatian terhadap kondisi bakteriologi, mikologi, dan toksikologi. Masih menjadi pertanyaan apakah serangga mampu dan sejauh mana serangga dapat menangkap organisme patogen dan zat beracun dari kotoran ternak dan produk limbah organik.<sup>46</sup>

Serangga mungkin mengandung mikroba yang dapat mempengaruhi keamanannya sebagai makanan. Serangga yang dikumpulkan di alam maupun serangga yang diternakkan sama-sama dapat terinfeksi mikroorganisme patogen, termasuk bakteri, virus, jamur, protozoa dan lainnya.<sup>47</sup> Infeksi semacam itu bisa sering terjadi. Secara umum, patogen serangga secara taksonomi terpisah dari patogen vertebrata dan dapat dianggap tidak berbahaya bagi manusia. Bahkan dalam genus *Bacillus*, spesies patogen serangga *B. thuringiensis* dan patogen vertebrata *B. anthracis* memiliki siklus hidup yang berbeda dan tidak tumpang tindih.<sup>48</sup> Selain itu, serangga memiliki keanekaragaman mikroba yang tinggi dalam flora ususnya. Spora dari berbagai mikroba mungkin ada pada kutikula serangga, termasuk mikroba yang tumbuh

43. A.D, O. A. Lawal Banjo dan E.A. Songonuga, "The nutritional value of fourteen species of edible insects in southwestern Nigeria," *African Journal of Biotechnology* 5, no. 3 (2006) : 298–301.

44. Margaret A. Handley, Celeste Hall, Eric Sanford, Evie Diaz, Enrique Gonzalez-Mendez, Kaitie Drace, Robert Wilson, Mario Villalobos dan Mary Croughan, "Globalization, binational communities, and imported food risks: results of an outbreak investigation of lead poisoning in Monterey County, California," *American Journal of Public Health* 97, no. 5 (2007): 900–906. doi: 10.2105/AJPH.2005.074138

45. Monica Ayieko, John Kinyuru, Milicent Ndong'a dan Glaston M Kenji, "Nutritional value and consumption of black ants (*Carebara vidua* Smith) from the Lake Victoria region in Kenya," *Advance Journal of Food Science and Technology* 4, no. 1 (2012): 39–45.

46. Arnold Van Huis, dkk, *Edible insects : future prospects for food and feed security*, (Roma: FAO, 2013).

47. Vega, Fernando dan Harry Kaya, *Insect Pathology 2<sup>nd</sup> Edition*, (London : Academic Press, 2012).

48. R. L. Jensen, L., L.D. Newsom, D.C. Herzog, J.W. Thomas, B.R. Farthing dan F.A. Martin, "A method of estimating insect defoliation of soybean," *Journal of Economic Entomology* 70, no. 2 (1977): 240–242. <https://doi.org/10.1093/jee/70.2.240>

secara saprotrofik pada produk serangga konsumsi. Hubungan antara mikroba dan serangga konsumsi harus dilihat melalui perspektif konsumsi makanan yang mana mikroba diperlakukan sebagai kontaminan pada bahan pangan.<sup>49</sup>

Pentingnya penanganan yang higienis dan penyimpanan yang benar diungkapkan melalui penelitian laboratorium yang melihat kandungan mikrobiologis dari larva ulat kumbang kuning (*Tenebrio molitor*) dan jangkrik rumah (*Acheta domesticus*). Merebus serangga dalam air selama beberapa menit menghilangkan bakteri *Enterobacteriaceae*, tetapi spora ditemukan dapat bertahan dalam proses ini. Spora akan tumbuh kembali menjadi bakteri ketika kondisi lebih menguntungkan seperti suhu sekitar 30°C dan lingkungan yang lembab sehingga dapat berakibat pada pembusukan makanan. Bakteri penghasil spora yang ditemukan di saluran pencernaan dan kulit serangga kemungkinan besar berasal dari tanah. Teknik pengawetan yang dapat dilakukan antara lain pendinginan, pengeringan dan pengasaman.<sup>50</sup>

Serangga konsumsi terkadang memiliki bagian tubuh yang berbahaya. Misalnya konsumsi ulat dengan rambut yang mengandung zat beracun bisa sangat berbahaya sehingga

harus dibakar sebelum dikonsumsi.<sup>51</sup> Sebuah pengamatan di Republik Demokratik Kongo terhadap konsumsi belalang tanpa menghilangkan kaki menyebabkan sembelit karena duri pada tibia belalang akan tersangkut dalam usus. Satu-satunya cara mengobatinya adalah operasi untuk mengangkat kaki belalang dari usus.<sup>52</sup> Demikian pula di Jawa Timur, Indonesia, pasien yang ditemukan telah memakan sejumlah besar ampal panggang (*Lepidiota spp.*) yang sisa-sisa zat kitinnya tidak dapat dicerna mengakibatkan penumpukan di beberapa tempat di dalam usus. Hal ini menyebabkan konstipasi total sehingga harus menjalani operasi.<sup>53</sup> Otopsi monyet mati setelah invasi belalang mengungkapkan bahwa konsumsi belalang terbukti berakibat fatal karena alasan yang sama.<sup>54</sup>

Logam berbahaya dari lingkungan telah ditemukan pada bagian tubuh serangga seperti lemak, integumen (ekoskeleton), organ reproduksi dan saluran pencernaan di mana mereka terakumulasi secara biologis. Sebuah studi tentang larva hongkong kuning menunjukkan bahwa serangga menumpuk kadmium dan timbal dalam tubuh mereka ketika mereka memakan bahan organik dalam tanah yang mengandung logam ini.<sup>55</sup> Namun,

49. Arnold Van Huis, dkk, *Edible insects : future prospects for food and feed security*, (Roma: FAO, 2013).

50. H.C. Klunder, J.C.M. Wolkers-Rooijackers, Jaakko M. Korpela dan M.J. Robert Nout. "Microbiological aspects of processing and storage of edible insects." *Food Control* 26 (2012): 628–631. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.02.013>

51. T. Muyay, *Les insectes comme aliments de l'homme: Serie II, Vol. 69*, (Democratic Republic of the Congo: Ceeba Publications, 1981).

52. G. Bouvier, "Quelques questions d'entomologie vétérinaire et lutte contre certains arthropodes en Afrique tropicale," *Acta Trop* 2 (1945) : 42–59.

53. P. Kuyten, "Darmafsluiting veroorzaakt door het eten van kevers," *Entomologische berichten* 20, no. 8 (1960) : 143.

54. Arnold Van Huis, dkk, *Edible insects : future prospects for food and feed security*, (Roma: FAO, 2013).

55. Martina Vijver, Tjalling Jager, Leo Posthuma dan Willie Peijnenburg, "Metal uptake from soils and soil-sediment mixtures by larvae of *Tenebrio molitor* (L.) (Coleoptera)," *Ecotoxicology and Environmental Safety* 54, no. 3 (2003): 277–289. [https://doi.org/10.1016/S0147-6513\(02\)00027-1](https://doi.org/10.1016/S0147-6513(02)00027-1)

sebuah penelitian menunjukkan bahwa setelah mabung, larva kehilangan beberapa kadmium dan logam hilang dalam jumlah besar setelah metamorfosis.<sup>56</sup>

Maka dari itu, diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai konsekuensi yang mungkin terjadi untuk konsumsi manusia. Masalah lain yang menjadi perhatian adalah penggunaan pestisida oleh serangga konsumsi seperti belalang yang dapat menyebabkan masalah ketika dikonsumsi dalam jumlah besar. Risiko-risiko ini menjadi perhatian utama dalam praktik tradisional menangkap dan mengonsumsi serangga di alam liar, di mana pengendalian aplikasi kimia sulit dilakukan. Ini adalah manfaat potensial lain dari peternakan serangga di mana bahaya kimia dapat dikendalikan ke tingkat yang lebih besar.<sup>57</sup>

Seperti kebanyakan makanan yang mengandung protein, artropoda dapat menginduksi reaksi alergi pada manusia yang sensitif (Immunoglobulin E (IgE) yang dimediasi). Alergen ini dapat menyebabkan eksim, dermatitis, rinitis, konjungtivitis, kongesti, angioedema dan asma bronkial. Sementara beberapa orang memiliki riwayat atopi (alergi hipersensitif), juga dimungkinkan untuk menunjukkan sensitivitas alergi melalui

paparan jangka panjang. Sebagian besar kasus bersifat inhalansia atau kontanen.<sup>58,59</sup>

Reaktivitas silang juga dapat terjadi antara spesies serangga, yang berarti bahwa antibodi untuk alergen spesifik pada satu spesies serangga mampu mengidentifikasi alergen pada spesies lain dan dengan demikian dapat memicu reaksi alergi terhadap serangga itu juga. Reaksi silang tidak mutlak, namun beberapa orang mengalami reaksi alergi terhadap serangga spesifik dengan sedikit reaktivitas silang terhadap serangga lain karena paparan alergen dalam jumlah lama dari serangga tertentu. Dalam lingkungan rumah di mana beberapa serangga dan artropoda lain hidup bersama, sulit untuk menilai apakah seseorang pengidap alergi memiliki banyak kepekaan yang disebabkan oleh semua artropoda atau sensitivitas alergi umum terhadap invertebrata (reaktivitas silang).<sup>60</sup> Tropomiosin (protein pengikat aktin yang mengatur kontraksi otot) dari kecoak, tungau dan udang telah dilaporkan bersifat alergenik. Beberapa pasien yang alergi terhadap tungau debu (*dust mite*) yang jika semakin terpapar antigen tungau menjadi peka terhadap tropomiosin makanan laut.<sup>61</sup> Temuan ini menunjukkan bahwa orang dengan alergi makanan laut dapat mengalami reaksi

56. Lars Lindqvist dan Mats Block, "Excretion of cadmium during moulting and metamorphosis in *Tenebrio molitor* (Coleoptera; Tenebrionidae)," *Comparative Biochemistry and Physiology* 111, no. 2 (1995): 325–328. [https://doi.org/10.1016/0742-8413\(95\)00057-U](https://doi.org/10.1016/0742-8413(95)00057-U)

57. Arnold Van Huis, dkk, *Edible insects : future prospects for food and feed security*, (Roma: FAO, 2013).

58. B. Barletta dan C Pini, "Does occupational exposure to insects lead to species-specific sensitization?" *Allergy* 58 (2003): 868–870.

59. J.K. Phillips dan W.E. Burkholder, "Allergies related to food insect production and consumption," *The Food Insects Newsletter* 8, no. 2 (1995): 1, 2–4.

60. B. Barletta dan C Pini, "Does occupational exposure to insects lead to species-specific sensitization?" *Allergy* 58 (2003): 868–870.

61. G. Reese, R. Ayuso dan S.B. Lehrer, "Tropomyosin: An invertebrate pan-allergen," *International Archives of Allergy and Immunology* 119, no. 4 (1999): 247–258. <https://doi.org/10.1159/000024201>



alergi ketika mengonsumsi serangga konsumsi.<sup>62</sup>

Ada sejumlah bukti bahwa alergi yang disebabkan oleh konsumsi serangga. Karena larva lebah madu mengandung serbuk sari, orang yang alergi terhadap serbuk sari disarankan untuk tidak memakannya.<sup>63</sup> Gejala asma tercatat terjadi pada konsumsi orthoptera.<sup>64</sup> Hal ini menimbulkan pertanyaan tentang potensi pengembangan sensitivitas ketika memakan serangga konsumsi maupun ketika penanganan saat memasak dan makan. Sangat diragukan apakah langkah-langkah pemrosesan seperti merebus akan menghancurkan komponen alergenik.<sup>65</sup> Namun, bagi sebagian besar orang, memakan dan/atau terpapar serangga tidak menimbulkan risiko signifikan yang menyebabkan reaksi alergi, terutama jika individu tersebut tidak memiliki riwayat alergi artropoda atau serangga yang diperoleh melalui paparan jangka panjang terhadap alergen.<sup>66</sup>

### Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif dengan melakukan studi pustaka. Kasus dibatasi pada kemungkinan serangga konsumsi (*edible insect*) sebagai pembawa zoonosis. Pengumpulan data dilakukan dengan teknik dokumentasi dengan melakukan pelacakan terhadap laporan penelitian,

artikel jurnal ilmiah, dan informasi yang ada di media daring terkait dengan topik yang dikaji. Analisis data dilakukan melalui tahapan yang terdiri atas reduksi data, penyajian data, serta verifikasi dan penarikan kesimpulan.

### Risiko Zoonosis pada Serangga Konsumsi

Produksi hewan yang intensif dengan kepadatan tinggi adalah sumber berbagai jenis penyakit yang mengakibatkan matinya hewan dalam jumlah besar, baik mati karena penyakit atau karena pemusnahan untuk memutus rantai penyebaran. Beberapa dari penyakit ini adalah zoonosis seperti H5N1, avian influenza, penyakit kaki dan mulut (FMD), sapi gila (BSE) dan demam Q (*Q fever*).<sup>67</sup>

Zoonosis adalah infeksi yang saling menular antara manusia dan hewan liar atau domestik. Akhir-akhir ini terjadi peningkatan zoonosis karena intensifikasi produksi ternak dan perubahan iklim. Dalam beberapa tahun terakhir, munculnya virus corona SARS dan virus influenza A (H5N1 dan H7N7) telah menyebabkan kekhawatiran global tentang potensi pandemi berikutnya. Pada zaman dahulu, zoonosis terisolasi dalam populasi terbatas di lokasi tertentu. Namun di era globalisasi ini, kemungkinan pandemi semakin meningkat karena tingginya mobilitas

62. Arnold Van Huis, dkk, *Edible insects : future prospects for food and feed security*, (Roma: FAO, 2013).

63. P.P. Chen, S. Wongsiri, T. Jamyanya, T.E. Rinderer, S. Vongsamanode, M. Matsuka, H.A. Sylvester dan B.P. Oldroyd, "Honey bees and other edible insects used as human food in Thailand," *American Entomologist*, 44, no. 1 (1998): 24–28. <https://doi.org/10.1093/ae/44.1.24>

64. Lutz Auerswald dan Andreas L Lopata, "Insects: diversity and allergy," *Current Allergy & Clinical Immunology* 18 (2005): 58–60.

65. J.K. Phillips dan W.E. Burkholder, "Allergies related to food insect production and consumption," *The Food Insects Newsletter* 8, no. 2 (1995): 1, 2–4.

66. Arnold Van Huis, dkk, *Edible insects : future prospects for food and feed security*, (Roma: FAO, 2013).

67. Arnold Van Huis, dkk, *Edible insects : future prospects for food and feed security*, (Roma: FAO, 2013).

masyarakat antar daerah. Beberapa contohnya antara lain leishmaniasis di Manaus, Brasil; ebola, *monkeypox*, dan demam *Rift Valley* di Afrika dan Semenanjung Arab; *Crimea Congo hemorrhagic fever* di Timur Tengah; *bovine spongiform encephalopathy* (BSE) di Eropa dan di tempat lain; Demam *West Nile* di Kanada dan Amerika Serikat; dan *paramyxovirus* di Australasia. Ini menunjukkan bahwa berbagai spesies hewan, baik peliharaan maupun liar, bertindak sebagai reservoir untuk patogen, yang dapat berbentuk virus, bakteri atau parasit.<sup>68</sup>

Di sektor peternakan, patogen yang membawa penyakit menular menjadi perhatian pada lingkungan produksi, pemrosesan, dan ritel. Beberapa perubahan dilakukan pada kontak antar inang, ukuran populasi dan/ atau arus lalu lintas mikroba dalam rantai makanan. Sayangnya serangga konsumsi untuk makanan dan pakan belum banyak diuji untuk menunjukkan risiko bahwa serangga akan menularkan penyakit kepada manusia. Fasilitas pemeliharaan serangga intensif juga akan menjadi perhatian sama halnya dengan produksi hewan ternak. Perhatian khusus harus diberikan pada patogen yang awalnya memiliki hewan sebagai inang tetapi dapat beralih ke manusia sebagai inang baru. Beberapa penyakit terkenal misalnya HIV ditularkan oleh hewan dengan cara ini. Penularan patogen terjadi pertama kali oleh adaptasi patogen ke populasi inang baru kemudian menyebar di dalam populasi inang. Adaptasi patogen dengan inang

baru tergantung pada perbedaan genetik antara kedua spesies dan sifat patogen itu sendiri.<sup>69</sup>

Secara kekerabatan taksonomi, serangga berkerabat lebih jauh dengan manusia daripada antara manusia dengan hewan ternak sehingga risiko infeksi zoonosis diperkirakan rendah. Namun, serangga adalah vektor potensial patogen yang relevan secara medis, termasuk telur cacing gastrointestinal yang ditemukan dalam kotoran manusia. Risiko infeksi zoonosis (penularan penyakit dari manusia ke hewan dan sebaliknya) dapat meningkat dengan penggunaan limbah untuk pakan serangga secara tidak tepat, penanganan serangga yang tidak higienis, dan kontak langsung antara serangga yang diternakkan dengan serangga di luar peternakan.<sup>70</sup>

Dalam kaitannya dengan pandemi zoonosis yang berasal dari virus, serangga tidak memiliki reseptor yang dapat mengikat SARS-CoV-2 sehingga mencegah virus bereplikasi pada serangga, tidak seperti pada beberapa spesies ternak vertebrata. Meskipun telah melakukan pemantauan ekstensif, coronavirus tidak pernah tercatat ada dalam mikroba pada serangga. Kontaminasi serangga konsumsi untuk makanan atau pakan dapat terjadi selama proses produksi akibat dari media pemeliharaan. Namun, media pemeliharaan (*rearing substrates*) yang diizinkan saat ini tidak termasuk produk hewani yang kemungkinan membawa patogen zoonosis. Selain itu, proses peternakan serangga konsumsi sudah sangat otomatis sehingga membatasi

68. F.X. Meslin dan P. Formenty, A review of emerging zoonoses and the public health implications, Report of the WHO/FAO/OIE joint consultation on emerging zoonotic diseases, 3–5 May 2004, Geneva.

69. J.I. Slingenbergh, J.I., Marius Gilbert, Katinka de Balogh dan William Wint, "Ecological sources of zoonotic diseases," *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz.* 23, no. 2 (2004): 467–484. <https://doi.org/10.20506/rst.23.2.1492>

70. Arnold Van Huis, dkk, *Edible insects : future prospects for food and feed security*, (Roma: FAO, 2013).

interaksi antara peternak dan serangga yang diternakkan. Jika kontaminasi masih terjadi, serangga bukanlah inang dari SARS-CoV-2 sehingga menghalangi replikasi virus. Pemrosesan lebih lanjut dari serangga (seperti pemanasan dan pengeringan) akan menghancurkan kontaminasi tersebut. Dapat disimpulkan bahwa kemungkinan bahaya serangga konsumsi menjadi vektor transmisi SARS-CoV-2 sangatlah rendah.<sup>71</sup>

Sebagian besar virus yang menginfeksi serangga hanya terjadi pada inang yang spesifik dan tidak bersifat patogen terhadap manusia atau vertebrata lain seperti ternak. Meskipun beberapa virus patogen serangga secara filogenetik terkait dengan virus pada hewan vertebrata, virus pada hewan vertebrata umumnya tidak bereplikasi pada serangga. Beberapa virus patogen manusia masih dapat ditularkan secara pasif oleh serangga konsumsi, meskipun tanpa replikasi dalam tubuh serangga ini. Berbeda dengan ternak vertebrata yang dapat secara langsung menjadi inang atau *host* beberapa virus ini. Bahaya penularan pasif dapat dikurangi melalui langkah-langkah pemrosesan bahan dan penerapan teknologi yang mencegah kontak serangga yang diternakkan dengan manusia maupun dengan serangga liar secara tidak

terkendali di fasilitas produksi. Ketika Otoritas Keamanan Pangan Eropa (EFSA) mengevaluasi bahaya serangga yang dapat dimakan sebagai sumber potensial virus patogen bagi manusia atau hewan ternak, SARS CoV-2 belum muncul tetapi coronavirus lain seperti SARS-CoV dan MERS-CoV telah diketahui.<sup>72</sup>

Serangga memang menjadi sasaran berbagai penyakit, baik dari virus, bakteri, dan jamur. Virus patogen serangga secara khusus menginfeksi serangga tertentu secara spesifik.<sup>73</sup> Karena itu, virus patogen serangga diperkirakan tidak akan menjadi ancaman bagi manusia. Hal yang sama berlaku untuk jamur dan bakteri patogen pada serangga.<sup>74</sup> Virus yang memengaruhi manusia umumnya tidak memengaruhi serangga dan sebaliknya dengan pengecualian kelas spesifik virus yang ditularkan artropoda (*arbovirus*) yang di-vektor oleh serangga penghisap darah seperti beberapa jenis nyamuk. Contohnya adalah virus dengue, virus West Nile dan virus demam kuning.<sup>75</sup> Namun, transfer virus dari serangga non-darah ke manusia hanya akan bersifat pasif dan merupakan jalan buntu bagi virus sehingga tidak berarti besar bagi kesehatan manusia.<sup>76</sup>

Serangga yang secara filogenetik sangat jauh terpisah dari vertebrata membuat peluang adaptasi virus untuk berinteraksi awal dengan reseptor seluler

71. M, J. Dicke, M, J. Eilenberg, J. Falcao Salles, A.B. Jensen, A. Lecocq, G.P. Pijlman, J.J.A. van Loon dan M.M. van Oers, "Edible insects unlikely to contribute to transmission of coronavirus SARS-CoV-2," *Journal of Insects as Food and Feed* (2020): 1-8 <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0039>

72. European Food Safety Authority (EFSA), "Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed," *EFSA Journal* 13 (2015) : 4257. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4257>

73. Maciel-Vergara, Gabriela and Vera I.D. Ros, "Viruses of insects reared for food and feed," *Journal of Invertebrate Pathology* 147 (2017) : 60-75. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2017.01.013>

74. Jorgen Eilenberg dan Annette Bruun Jensen, "Prevention and management of diseases in terrestrial invertebrates," Dalam : Hajek, Ann E. dan D.I. Shapiro-Ilan. *Ecology of invertebrate diseases*, 495-526. (Hoboken: John Wiley & Sons, 2018) <https://doi.org/10.1002/9781119256106.ch14>

75. Scott C. Weaver dan William K. Reisen, "Present and future arboviral threats," *Antiviral Research* 85 (2010): 328-345. <https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2009.10.008>

76. M, J. Dicke, dkk, "Edible insects unlikely to contribute to transmission of coronavirus SARS-CoV-2," *Journal of Insects*

sangat tidak mungkin sehingga peluang keberhasilan replikasi pada serangga sangat kecil. Sama halnya dengan seluruh jenis virus, virus corona hanya dapat bermutasi selama replikasi. Dengan demikian, virus corona harus terlebih dahulu mendapatkan kemampuan awal untuk menginfeksi dan mereplikasi pada serangga inang sebelum dapat bermutasi menjadi virus yang menyebar di antara serangga. Ketiadaan virus corona pada serangga didukung pula oleh survei metagenomik pada ribuan sampel dari spesies serangga yang sangat beragam, menyatakan bahwa Sejumlah besar virus yang belum diketahui telah terdeteksi, tetapi tidak satupun merupakan coronavirus.<sup>77</sup>

Pemindahan patogen melalui permukaan tubuh serangga yang terkontaminasi adalah rute lain transmisi virus dari serangga ke manusia. Coronavirus dapat tetap bertahan untuk jangka waktu tertentu di berbagai permukaan benda.<sup>78</sup> Oleh karena itu, spesies serangga yang berkembang di lingkungan dalam ruangan seperti lalat rumah (*M. domestica*) dan kecoak (*Blatella spp.*) mungkin dapat memindahkan partikel virus melalui kontak dengan permukaan yang terkontaminasi atau dengan kotoran serta bangkai yang terkontaminasi.<sup>79</sup> Namun, inaktivasi

virus lebih besar pada suhu tinggi dan kelembaban tinggi yang merupakan kondisi umum di fasilitas yang digunakan untuk produksi ternak serangga konsumsi.<sup>80,81</sup> Jadi, tidak ada bukti bahwa virus corona terdapat pada serangga secara umum maupun serangga konsumsi dan hampir tidak mungkin menjadi inang bagi SARS-CoV-2.<sup>82</sup>

## Simpulan

Serangga konsumsi (*edible insect*) tidak berpotensi membawa dan menularkan zoonosis kepada manusia. Hal ini disebabkan oleh perbedaan filogenetik antara serangga dan manusia sehingga patogen hanya bisa menyerang secara spesifik pada serangga atau pada manusia, tapi tidak bisa menyerang keduanya. Kemungkinan penularan zoonosis melalui permukaan tubuh serangga dapat diatasi dengan penggunaan sistem peternakan dan metode pengolahan yang tepat pada serangga konsumsi. Penularan patogen (terutama virus) termutasi antara serangga dan manusia tidaklah memungkinkan karena virus harus menginfeksi dan bereplikasi terlebih dahulu sebelum bermutasi. Akibatnya, patogen termutasi yang menyerang serangga tidak akan menular kepada manusia, begitu pula sebaliknya.

---

as *Food and Feed* (2020): 1-8 <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0039>

77. Mang Shi, dkk, "Redefining the invertebrate RNA virosphere," *Nature* 540 (2016): 539-543. <https://doi.org/10.1038/nature20167>

78. Lisa M. Casanova, dkk, "Effects of air temperature and relative humidity on coronavirus survival on surfaces," *Applied and Environmental Microbiology* 76 (2010): 2712-2717. <https://doi.org/10.1128/aem.02291-09>

79. Rouhullah Dehghani dan Hamid Kassiri, "A brief review on the possible role of houseflies and cockroaches in the mechanical transmission of coronavirus disease 2019 (COVID-19)," *Archives of Clinical Infectious Diseases* 15 (2020): e102863. <https://doi.org/10.5812/archid.102863>

80. K.H. Chan, dkk, "The effects of temperature and relative humidity on the viability of the SARS coronavirus," *Advances in Virology* (2011): 734690-734690. <https://doi.org/10.1155/2011/734690>

81. Lisa M. Casanova, dkk, "Effects of air temperature and relative humidity on coronavirus survival on surfaces," *Applied and Environmental Microbiology* 76 (2010): 2712-2717. <https://doi.org/10.1128/aem.02291-09>

82. M, J. Dicke, dkk, "Edible insects unlikely to contribute to transmission of coronavirus SARS-CoV-2," *Journal of Insects as Food and Feed* (2020): 1-8 <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0039> *Food and Feed* (2020): 1-8 <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0039>

## Daftar Pustaka

- Andersen, Inger dan Johan Rockstrom. "COVID-19 Is a Symptom of a Bigger Problem: Our Planet's Ailing Health". *Time.com*, diakses 12 Juli 2020, <https://time.com/5848681/covid-19-world-environment-day/>
- Auerswald, Lutz dan Andreas L Lopata. "Insects: diversity and allergy." *Current Allergy & Clinical Immunology* 18 (2005) : 58–60.
- Ayieko, Monica, John Kinyuru, Milicent Ndong'a dan Glaston M Kenji. "Nutritional value and consumption of black ants (*Carebara vidua* Smith) from the Lake Victoria region in Kenya." *Advance Journal of Food Science and Technology* 4, no. 1 (2012): 39–45.
- Banjo, A.D, O. A. Lawal dan E.A. Songonuga. "The nutritional value of fourteen species of edible insects in southwestern Nigeria." *African Journal of Biotechnology* 5, no. 3 (2006) : 298–301.
- Barletta, B. dan C Pini. "Does occupational exposure to insects lead to speciesspecific sensitization?" *Allergy* 58 (2003): 868–870.
- Bouvier, G. "Quelques questions d'entomologie vétérinaire et lutte contre certains arthropodes en Afrique tropicale." *Acta Trop* 2 (1945) : 42–59.
- Casanova, Lisa M, Soyoung Jeon, William A. Rutala, David J. Weber, Mark D. Sobsey. "Effects of air temperature and relative humidity on coronavirus survival on surfaces." *Applied and Environmental Microbiology* 76 (2010) : 2712-2717. <https://doi.org/10.1128/aem.02291-09>
- Cascio, Antonio, Mile Bosilkovski, Alfonso J Rodriguez-Morales, Georgios Pappas. "The socio-ecology of zoonotic infections." *Clin Microbiol Infect* 17 (2011):336–342.
- Cerritos, R. "Insects as food: an ecological, social and economical approach." *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 4, no. 27 (2009) : 1–10.
- Chan, K.H., J.S.M Peiris, S.Y. Lam, L.L.M. Poon, K.Y. Yuen dan W.H. Seto. "The effects of temperature and relative humidity on the viability of the SARS coronavirus." *Advances in Virology* (2011): 734690-734690. <https://doi.org/10.1155/2011/734690>
- Chapagain, A.K. & Hoekstra, A.Y. "Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products." Value of Water Research Report Series No. 13. Paris, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (2003).
- Chen, P.P., S. Wongsiri, T. Jamyanya, T.E. Rinderer, S. Vongsamanode, M. Matsuka, H.A. Sylvester dan B.P. Oldroyd. "Honey bees and other edible insects used as human food in Thailand." *American Entomologist*, 44, no. 1 (1998): 24–28. <https://doi.org/10.1093/ae/44.1.24>
- Dehghani, Rouhullah dan Hamid Kassiri. "A brief review on the possible role of houseflies and cockroaches in the mechanical transmission of coronavirus disease 2019 (COVID-19)." *Archives of Clinical Infectious Diseases* 15 (2020): e102863. <https://doi.org/10.5812/archcid.102863>

- Dicke, M, J. Eilenberg, J. Falcao Salles , A.B. Jensen, A. Lecocq, G.P. Pijlman, J.J.A. van Loon dan M.M. van Oers. "Edible insects unlikely to contribute to transmission of coronavirus SARS-CoV-2." *Journal of Insects as Food and Feed* (2020): 1-8 <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0039>
- Eilenberg, Jorgen dan Annette Bruun Jensen. "Prevention and management of diseases in terrestrial invertebrates." Dalam : Hajek, Ann E. dan D.I. Shapiro-Ilan. *Ecology of invertebrate diseases*, 495-526. Hoboken : John Wiley & Sons, 2018 <https://doi.org/10.1002/9781119256106.ch14>
- European Food Safety Authority (EFSA). "Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed." *EFSA Journal* 13 (2015) : 4257. <https://doi.org/10.2903/j.efs.2015.4257>
- FAO. *State of the world fisheries*. Rome : FAO, 2012.
- Finke, Mark D. "Complete nutrient composition of commercially raised invertebrates used as food for insectivores." *Zoo Biology* 21(3) (2002): 269–285. <https://doi.org/10.1002/zoo.10031>
- Fong, I.W. *Emerging Infectious Diseases of the 21st Century*. Gewerbestrasse : Springer International Publishing, 2017.
- Gerber, P.J., H. Steinfeld, B. Henderson, A. Mottet, C. Opio, J. Dijkman, A. Falcucci dan G. Tempio. *Tackling Climate Change Through Livestock: A Global Assessment of Emissions and Mitigation Opportunities*. Roma : FAO, 2013.
- Handley, Margaret A., Celeste Hall, Eric Sanford, Evie Diaz, Enrique Gonzalez-Mendez, Kaitie Drace, Robert Wilson, Mario Villalobos dan Mary Croughan. "Globalization, binational communities, and imported food risks: results of an outbreak investigation of lead poisoning in Monterey County, California." *American Journal of Public Health* 97, no. 5 (2007): 900–906. doi: 10.2105/AJPH.2005.074138
- Howard, Ralph W. dan David W. Stanley-Samuelson. "Phospholipid fatty acid composition and arachidonic acid metabolism in selected tissues of adult *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae)." *Annals of the Entomological Society of America* 83, no. 5 (1990): 975–981. <https://doi.org/10.1093/aesa/83.5.975>
- <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019> diakses 5 Juli 2020
- IPCC. Summary for policymakers. Dalam : S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor dan H.L. Miller, eds. *Climate change 2007 : The physical science basis*. Cambridge : Cambridge University Press, 2007.
- Jensen, R. L., L.D. Newsom, D.C. Herzog, J.W. Thomas, B.R. Farthing dan F.A. Martin. "A method of estimating insect

- defoliation of soybean." *Journal of Economic Entomology* 70, no. 2 (1977): 240–242. <https://doi.org/10.1093/jee/70.2.240>
- Jongema, Yde. List of edible insect species of the world. Wageningen, Laboratory of Entomology, Wageningen University, 2012. Tersedia di [www.ent.wur.nl/UK/Edible+insects/Worldwide+species+list/](http://www.ent.wur.nl/UK/Edible+insects/Worldwide+species+list/)
- Kellert, Stephen R. "Values and perceptions of invertebrates." *Conservation Biology* 7, no. 4 (1993): 845–855. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1993.740845.x>
- Klunder, H.C., J.C.M. Wolkers-Rooijackers, Jaakko M. Korpela dan M.J. Robert Nout. "Microbiological aspects of processing and storage of edible insects." *Food Control* 26 (2012): 628–631. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.02.013>
- Krause, Denies O. dan Stephen Hendrick. *Zoonotic Pathogens in The Food Chain*. Oxfordshire : CAB Internasional, 2011.
- Kuyten, P. "Darmafluiting veroorzaakt door het eten van kevers." *Entomologische berichten* 20, no. 8 (1960) : 143.
- Lam, Tommy Tsan-Yuk, Marcus Ho-Hin Shum, Hua-Chen Zhu, Yi-Gang Tong, Xue-Bing Ni, Yun-Shi Liao, Wei Wei, William Yiu-Man Cheung, Wen-Juan Li, Lian-Feng Li, Gabriel M Leung, Edward C. Holmes, Yan-Ling Hu dan Yi Guan. "Identification of 2019-nCoV related coronavirus in Malayan pangolin in southern China." *BioRxiv* (2020). <https://doi.org/10.1101/2020.02.13.945485>
- Lindqvist, Lars dan Mats Block. "Excretion of cadmium during moulting and metamorphosis in *Tenebrio molitor* (Coleoptera; Tenebrionidae)." *Comparative Biochemistry and Physiology* 111, no. 2 (1995): 325–328. [https://doi.org/10.1016/0742-8413\(95\)00057-U](https://doi.org/10.1016/0742-8413(95)00057-U)
- Maciel-Vergara, Gabriela. and Vera I.D. Ros. "Viruses of insects reared for food and feed." *Journal of Invertebrate Pathology* 147 (2017) : 60-75. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2017.01.013>
- Meslin, F.X. dan P. Formenty. A review of emerging zoonoses and the public health implications. Report of the WHO/FAO/OIE joint consultation on emerging zoonotic diseases, 3–5 May 2004, Geneva.
- Muyay, T. *Les insectes comme aliments de l'homme: Serie II, Vol. 69*. Democratic Republic of the Congo : Ceeba Publications, 1981
- Oonincx, Dennis G. A. B., Joost van Itterbeeck, Marcel J. W. Heetkamp, Henry van den Brand, Joop J. A. van Loon, Arnold van Huis. "An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption." *Plos One* 5, no.12 (2010): e14445.
- Oonincx, Dennis G.A.B. & Imke J.M. de Boer. "Environmental

- impact of the production of hongkongs as a protein source for humans: a life cycle assessment." *PLoS ONE* 7, no.12 (2012): e51145. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051145>
- Phillips, J.K. dan W.E. Burkholder. "Allergies related to food insect production and consumption." *The Food Insects Newsletter* 8, no. 2 (1995): 1, 2–4.
- Pimentel, David, Bonnie Berger, David Filiberto, Michelle Newton, Benjamin Wolfe, Elizabeth Karabinakis, Steven Clark, Elaine Poon, Elizabeth Abbett dan Sudha Nandagopal. "Water resources: agricultural and environmental issues." *BioScience* 54 (2004): 909–918. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0909:WRAAEI\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0909:WRAAEI]2.0.CO;2)
- Reese, G., R. Ayuso dan S.B. Lehrer. "Tropomyosin: An invertebrate pan-allergen." *International Archives of Allergy and Immunology* 119, no. 4 (1999): 247–258. <https://doi.org/10.1159/000024201>
- Rojas-Downing, M. Melissa, A. Pouyan Nejadhashemi, Timothy Harrigan dan Sean A.Woznicki. "Climate Change and Livestock : Impacts, Adaptation, and Mitigation." *Climate Risk Management* 16 (2017):145–163. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crm.2017.02.001>
- Rumpold, Birgit A. dan Oliver K. Schlüter. "Nutritional composition and safety aspects of edible insects." *Molecular Nutrition and Food Research* 57, no. 3 (2013) <https://doi.org/10.1002/mnfr.201200735>
- Sachs, J. "Rethinking macroeconomics: knitting together global society." *The Broker* 10 (2010): 1–3.
- Shi, Mang, Xian-Dan Lin, Jun-Hua Tian, Liang-Jun Chen, Xiao Chen, Ci-Xiu Li, Xin-Cheng Qin, Jun Li, Jian-Ping Cao, John-Sebastian Eden, Jan Buchmann, Wen Wang, Jianguo Xu, Edward C. Holmes dan Yong-Zhen Zhang. "Redefining the invertebrate RNA virosphere." *Nature* 540 (2016): 539-543. <https://doi.org/10.1038/nature20167>
- Slingenbergh, J.I., Marius Gilbert, Katinka de Balogh dan William Wint. "Ecological sources of zoonotic diseases." *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz.* 23, no. 2 (2004): 467–484. <https://doi.org/10.20506/rst.23.2.1492>
- Steinfeld, Henning, Pierre Gerber, Tom Wassenaar, Vincent Castel, Mauricio Rosales dan Cees de Haan. *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. Rome : FAO, 2006.
- Taylor L.H., S.M. Latham dan M.E. Woolhouse. "Risk Factors for Human Disease Emergence." *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* (2001) <https://doi.org/10.1098/rstb.2001.0888>
- U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service.



- USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 25. Nutrient Data Laboratory Home Page, 2012. <http://www.ars.usda.gov/ba/bhnrc/ndl>
- United Nations Department of Economic and Social Affairs (UN DESA) Population Division. World Population Prospects – The 2012 Revision - Highlight and Advance Tables (Working Paper No. ESA/P/WP.228.) New York : United Nation, 2013.
- Van Huis, Arnold, Joost Van Itterbeeck, Harmke Klunder, Esther Mertens, Afton Halloran, Giulia Muir dan Paul Vantomme. Edible insects : future prospects for food and feed security. Roma : Food and Agriculture Organization of The United Nations, 2013
- Van Huis, Arnold. "Potential of insects as food and feed in assuring food security." *Annual Review of Entomology* 58, no.1 (2013): 563–583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>
- Van Lenteren, J.C. "Ecosystem services to biological control of pests: why are they ignored?" *Proc. Neth. Entomol. Soc. Meet.* 17 (2006) : 103–111.
- Vega, Fernando dan Harry Kaya. *Insect Pathology* 2<sup>nd</sup> Edition. London : Academic Press, 2012.
- Vijver, Martina, Tjalling Jager, Leo Posthuma dan Willie Peijnenburg. "Metal uptake from soils and soil-sediment mixtures by larvae of *Tenebrio molitor* (L.) (Coleoptera)." *Ecotoxicology and Environmental Safety* 54, no. 3 (2003): 277–289. [https://doi.org/10.1016/S0147-6513\(02\)00027-1](https://doi.org/10.1016/S0147-6513(02)00027-1)
- Wang LF dan Crameri G. Emerging zoonotic viral diseases. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz* 33, no. 2 (2014) : 569-581.
- Weaver, Scott C. dan William K. Reisen. "Present and future arboviral threats." *Antiviral Research* 85 (2010): 328-345. <https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2009.10.008>
- Woolhouse, Mark, Eleanor Gaunt. "Ecological origins of novel human pathogens." *Crit Rev Microbiol* 33 (2007): 231–242. <https://doi.org/10.1080/10408410701647560>

**Daftar Tabel**

## Tabel 1

Arnold Van Huis. "Potential of insects as food and feed in assuring food security." *Annual Review of Entomology* 58, no.1 (2013): 563–583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>

## Tabel 2

Henning Steinfeld, dkk. *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. Rome : FAO, 2006.

## Tabel 3

Henning Steinfeld, dkk. *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. Rome : FAO, 2006.

## Tabel 4

Dennis G.A.B. Oonincx dan Imke J.M. de Boer. "Environmental impact of the production of hong kong's as a protein source for humans: a life cycle assessment." *PLoS ONE* 7, no.12 (2012): e51145. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051145>

## Tabel 5

Diadaptasi dari Finke (2002) dan USDA (2012) oleh Oonincx

## Tabel 6

Diadaptasi dari Finke (2002) dan USDA (2012) oleh Oonincx

## Tabel 7

Diadaptasi dari Finke (2002) dan USDA (2012) oleh Oonincx