

ISSN 0216-6461

e-ISSN 2354-6832

Terakreditasi Kemenristekdikti
Keputusan Menteri Ristek/BRIN
No. 85/M/KPT/2020

WARTAZOA

Buletin Ilmu Peternakan dan Kesehatan Hewan Indonesia
Indonesian Bulletin of Animal and Veterinary Sciences

Volume 31
Nomor 4
Desember 2021



PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PETERNAKAN
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PERTANIAN
KEMENTERIAN PERTANIAN

WARTAZOA

Buletin Ilmu Peternakan dan Kesehatan Hewan Indonesia

Volume 31 Nomor 4 Tahun 2021

ISSN 0216-6461

e-ISSN 2354-6832

Terakreditasi Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi

SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan No. 21/E/KPT/2018

Diterbitkan oleh:

Pusat Penelitian dan Pengembangan Peternakan
Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian
bekerjasama dengan
Ikatan Sarjana Peternakan Indonesia

Penanggung Jawab:

Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Peternakan

Dewan Penyunting:

Ketua:

Dr. Elizabeth Wina, MSc. (Peneliti Ahli Utama – Balai Penelitian Ternak – Pakan dan Nutrisi Ternak)

Wakil Ketua:

Drh. Rini Damayanti, MSc. (Peneliti Ahli Utama – Balai Besar Penelitian Veteriner – Patologi dan Toksikologi)

Anggota:

Dr. Ir. Atien Priyanti SP, MSc. (Peneliti Ahli Utama – Puslitbangnak – Ekonomi Pertanian)

Drh. Indrawati Sendow, MSc. (Peneliti Ahli Utama – Balai Besar Penelitian Veteriner – Virologi)

Dr. Ir. Bess Tiesnamurti, MSc. (Peneliti Ahli Utama – Puslitbangnak – Pemuliaan dan Genetika Ternak)

Dr. Drh. Eny Martindah, MSc. (Peneliti Ahli Utama – Balai Besar Penelitian Veteriner – Parasitologi dan Epidemiologi)

Ir. Mariyono, MSi. (Peneliti Ahli Madya – Loka Penelitian Sapi Potong – Pakan dan Nutrisi Ternak)

Dr. Drh. Susan Maphiliandawati Noor, MVSc. (Peneliti Ahli Madya – Balai Besar Penelitian Veteriner – Bakteriologi)

Ir. Juniar Sirait, MSi. (Peneliti Ahli Madya – Loka Penelitian Kambing Potong – Pakan dan Nutrisi Ternak)

Dr. Wisri Puastuti, SPT., MSi. (Peneliti Ahli Madya – Balai Penelitian Ternak – Pakan dan Nutrisi Ternak)

Mitra Bestari:

Prof. (Riset) Dr. Ir. Tjeppy D Soedjana, MSc. (Puslitbangnak – Ekonomi Pertanian)

Prof. Dr. Edy Rianto, MSc. (Universitas Diponegoro – Ilmu Ternak Potong dan Kerja)

Prof. Dr. Gono Semiadi (LIPI – Pengelolaan Satwa Liar)

Dr. Agr. Asep Anang, MPhil. (Universitas Padjadjaran – Pemuliaan Ternak)

Dr. Ir. VM Ani Nurgartiniingsih, MSc. (Universitas Brawijaya – Pemuliaan dan Genetika Ternak)

Penyunting Pelaksana:

Nandi Hendriana, ST, MKom.

Ivoni Christyani Sembiring, SSos.

Pringgo Pandu Kusumo, AMd.

Muhamad Indra Fauzy, AMd.

Alamat:

Pusat Penelitian dan Pengembangan Peternakan

Jalan Raya Pajajaran Kav. E-59, Bogor 16128 – Indonesia

Telepon (0251) 8322185; Faksimile (0251) 8380588

E-mail: wartazoa@litbang.pertanian.go.id; wartazoa@yahoo.co.id

Website: <http://medpub.litbang.pertanian.go.id/index.php/wartazoa>

Wartazoa diterbitkan empat kali dalam setahun pada bulan Maret, Juni, September dan Desember

KATA PENGANTAR

Wartazoa no 4 merupakan terbitan penutup di tahun 2021. Ada 5 makalah yang diterbitkan dengan beragam disiplin ilmu, dimulai dari teknologi baru untuk bidang reproduksi ternak ruminansia, pemuliaan tanaman pakan, manajemen pemeliharaan ayam dan nutrisi bahan pakan sumber protein alternatif dan terakhir adalah usulan regulasi untuk *genetically modified* ternak

Peningkatan mutu genetik akan memakan waktu yang sangat lama bila dilakukan secara konvensional. Sel punca merupakan sel unipotent yang berkembang menjadi spermatozoa di dalam testis mamalia. Sel punca spermatogonia dapat ditransplantasikan ke testis pejantan resipien untuk meningkatkan mutu genetik ternak dan mempercepat perkembangbiakannya. Transplantasi sel punca spermatogonia merupakan bioteknologi yang menjanjikan untuk meningkatkan produksi ternak di masa yang akan datang.

Pembentukan varietas baru tanaman pakan ternak, terutama rumput pakan masih jarang dilakukan di Indonesia. Pemuliaan melalui induksi mutasi dapat dijadikan sebagai salah satu metode untuk menghasilkan varietas tanaman pakan (rumput dan legum) baru dengan menghilangkan kendala yang terdapat pada tanaman pakan, karena pemuliaan dengan induksi mutasi dapat menghasilkan keragaman secara cepat. Perakitan varietas baru tanaman pakan melalui induksi mutasi diharapkan dapat memenuhi kebutuhan pakan hijauan secara kuantitas maupun kualitas

Sistem *free-range* merupakan model pemeliharaan terkini dari produksi ternak ayam yang sesuai dengan Konsep Kesejahteraan Hewan (*Animal Welfare*). Ada beberapa syarat yang harus dipenuhi untuk pelaksanaan sistem *free-range* sehingga diperoleh performa dan kualitas produk ayam yang baik serta strategi pengembangan *free-range* sebagai alternatif sistem produksi ternak ayam. Introduksi lahan pengembalaan dengan hijauan unggul seperti *Indigofera zollingeriana* serta memilih ayam kampung atau ayam lokal menjadi strategi pengembangan peternakan ayam sistem *free-range*.

Situasi pakan ternak saat ini sangat menyulitkan bagi peternak karena meningkatnya harga bahan pakan sumber energi dan sumber protein. Tepung serangga dapat menjadi alternatif bahan pakan pengganti tepung ikan atau bungkil kedelai karena mengandung protein dan lemak yang tinggi. Ada berbagai jenis serangga dan beberapa tahap kehidupan serangga yang mempengaruhi kualitas nutrisi tepung serangga ini. Biaya produksi bahan pakan asal serangga sangat terjangkau karena memanfaatkan limbah sebagai media tumbuh. Pemanfaatan tersebut memberikan kontribusi terhadap lingkungan melalui pengurangan jumlah limbah yang tidak dikelola.

Pada tahun 2050 diperkirakan populasi manusia di planet akan bertambah dari 7 milyar menjadi 9 milyar orang, di pihak lain, ketersediaan lahan tidak akan bertambah. Para peneliti mencoba mengatasi hal ini melalui penciptaan teknologi yang akan meningkatkan produktivitas ternak, diantaranya melalui proses modifikasi genetik (GM). Usulan regulasi untuk GM ternak yang kemungkinan akan memasuki wilayah Indonesia maupun GM ternak hasil penelitian dalam negeri dikemukakan dalam tulisan ini, walaupun saat ini, pemerintah Indonesia telah mempunyai Komisi Keamanan Hayati Produk Rekayasa Genetik.

Semoga informasi yang disajikan pada terbitan Wartazoa nomor 4 ini dapat bermanfaat bagi pembaca

Bogor, Desember 2021

Ketua Dewan Penyunting

WARTAZOA

Buletin Ilmu Peternakan dan Kesehatan Hewan Indonesia

Volume 31 Nomor 4 (Desember 2021)

ISSN 0216-6461

e-ISSN 2354-6832

DAFTAR ISI	Halaman
Abstrak Wartazoa (Current Content) Vol. 31	i-v
Peningkatan Mutu Genetik Ternak Besar melalui Teknologi Transplantasi Sel Punca Spermatogonia (Livestock Genetic Improvements through Spermatogonial Stem Cell Transplantation Technology) Suyatno	155-162
Peran Teknologi Induksi Mutasi dalam Pemuliaan Tanaman Pakan Ternak (The Role of Mutation Induction Technology in Forage Breeding) Achmad Fanindi dan Harmini	163-174
Pengembangan Peternakan Ayam Sistem <i>Free-Range</i> (Development of Chicken Production on Free-Range System) Deni Fitra, N Ulupi, II Arief, R Mutia, L Abdullah, dan E Erwan	175-184
Pemanfaatan Jangkrik (<i>Gryllus bimaculatus</i>), Black Soldier Fly (<i>Hermetia illucens</i>), Ulat Hongkong (<i>Tenebrio molitor</i>), dan Ulat Sutera (<i>Samia ricini</i> dan <i>Bombyx mori</i>) sebagai Sumber Protein Pakan Alternatif (Utilization of Cricket (<i>Gryllus bimaculatus</i>), Black Soldier Fly (<i>Hermetia illucens</i>), Mealworm (<i>Tenebrio molitor</i>), and Silkworm (<i>Samia ricini</i> dan <i>Bombyx mori</i>) as Alternative Feed Protein Sources) Agustin Herliatika, D Permatahati, Y Pujiawati, GE Tresia dan E Wina	185-198
Regulation on Genetically Modified Animals: Proposed and Its Possible Application in Indonesia (Regulasi Tentang Ternak Termodifikasi Genetik: Usulan dan Kemungkinan Penerapannya di Indonesia) B Tiesnamurti, S Muharsini dan MI Shiddieqy	199-207
Indeks Subjek	209
Subject Index	210
Indeks Penulis (Author Index)	211
Ucapan Terima Kasih	212

<p style="text-align: center;">WARTAZOA</p> <p>ISSN 0216-6461 Date of issue 2021-12-31</p> <p style="text-align: center;">The descriptors given are key words. These abstract sheets may be reproduced without permission or charge</p>	
<p>UDC 636.085.8 Herliatika A (IRIAP, Bogor) Widiawati Y (IRIAP, Bogor) Mitigation of Enteric Methane Emission through Feed Modification and Rumen Manipulation (Orig. Ind.) <i>Wartazoa</i> March 2021, Vol. 31 No. 1, p. 1-12</p> <p>The major of gas emission in the livestock sector are in the form of methane produced by microbial activity in the rumen. The emission of methane cause global warming and is predicted to keep increasing. Feed modification and rumen manipulation are important ways that can be used to mitigate methane emission. Based on this condition, this paper aims to describe several ways to mitigate methane emission using feed and rumen modification for smallholder farmers. Feed modification can be done using high Non-Fiber Carbohydrate (NFC) content in feed and also using balance nutrient feed. Meanwhile, rumen modification can be done through inclusion of feed additive, microbial products, and oils. Providing feed contains high NFC as much as 21.8-53%DM would decrease methane emission by 3.03-28.33%. While providing feed contains balance nutrients would potentially decrease 21.87% of methane emission. Feed additive addition as much as 0.0011-12%DM decreased 0.59-78% of methane emission. Bacterial inclusion as much as 0.7×10^8–3.6×10^{11} CFU decreased 0-18.57% of methane emission. Oil or fat inclusion as much as 6%DM decreased 6.02-24.53% of methane emission. A combination of methods can be used to optimize methane mitigation and it can be applicable for farmers to raise their livestock in friendly environment.</p> <p style="text-align: right;">(Author)</p> <p>Key words: Enteric methane, rumen modification, feed modification</p>	<p>UDC 636.084 Tresia GE (ICARD, Bogor) Puastuti W (IRIAP, Bogor) Inounu I (ICARD, Bogor) Carrying Capacity for Ruminant Based on Plantation Byproducts and Potency of Enteric Methane Emission (Orig. Ind.) <i>Wartazoa</i> March 2021, Vol. 31 No. 1, p. 23-36</p> <p>Feed is one of the main factors that need to be considered in optimizing production parameters, in order to develop an efficient livestock business. Two aspects that need to be considered in order to make agricultural byproducts as a source of feed; those are the availability of raw materials for animal rations with high economic value and function to reduce environmental pollution. Methane emissions are not only related to environmental problems, but also reflect the loss of some energy from livestock so that it cannot be used for the production process. The purpose of this paper is to estimate the carrying capacity for ruminant based on plantation by-products based feed and potential enteric methane emissions. Feed availability from agricultural byproducts in Indonesia is estimated at 69.6 million tonnes of dry matter (DM), 34.8 million of total digestible nutrient (TDN), and 5 million tonnes of crude protein (CP)/year so it is estimated that it can accommodate 62.4 million livestock unit (LU) based on the DM availability or 39.1 million LU based on TDN availability or 51.6 million LU based on CP availability. From these calculations, it was found that the carrying capacity for ruminant in Indonesia could still be increased much greater than current livestock population, namely $21.7 \square 45$ million livestock units if all byproducts are used entirely as components in rations. There are two groups of feed originating from plantation byproducts based on the potential for methane emissions produced, namely low (65-73 g CH₄ / kg of material) and high (83-103 g CH₄ /kg of material). Utilization of plantation byproducts as ruminant feed is expected to overcome the shortage of forage, especially during dry season. Utilization of these byproducts which in line with efforts to reduce methane emissions would enhance the development of livestock populations in friendly environment.</p> <p style="text-align: right;">(Author)</p> <p>Key words: Carrying capacity, plantation byproducts, livestock population, methane emission</p>
<p>UDC 636 Aprilliza MN (IBCRS, Pasuruan) Anggraeni YN (IBCRS, Pasuruan) Wina E (IRIAP, Bogor) The Role of Catechin Compound and Its Derivates to Mitigate Methane Production in the Rumen Fermentation (Orig. Ind.) <i>Wartazoa</i> March 2021, Vol. 31 No. 1, p. 13-22</p> <p>Enteric fermentation and its corresponding to methane emissions take place in many wild and domestic ruminant species, such as deer, buffalo, cattle, goats, sheep. Ruminant animals are different from other animals in that they have a rumen, a large fore-stomach with a complex microbial environment. One of the results of this rumen fermentation process is methane (CH₄), which has a global warming potential (25 times that of carbon dioxide (CO₂)). Because the digestion process is not 100% efficient, some of the energy intake is lost in the form of methane. Recently, natural plant products, such as tea leaves which are often inexpensive and environmentally safe have been introduced in methane mitigation strategies. Tea leaves have potential to be used as an additive in ruminant diets. The addition of catechin 10-40 g/Kg DM were able to decline methane emission 7.4–13.5%. Catechin decreased CH₄ production both in vitro and in vivo. Catechin causes direct inhibition of methanogens as well as may act as hydrogen sinks during degradation by rumen microbes via cleavage of ring structures and reductive dehydroxylation reactions. The objective of this paper is to review existing knowledge related to catechins that can act as methane-lowering agent on rumen fermentation.</p> <p style="text-align: right;">(Author)</p> <p>Key words: Enteric fermentation, natural feed additives, catechin, methane reduction</p>	<p>UDC 636.2.033 Prihandini PW (IBCRS, Pasuruan) Hariyono DNH (Khairun University, Ternate) Tribudi YA (Tanjungpura University, Pontianak) Myostatin Gene as a Genetic Marker for Growth and Carcass Traits in Beef Cattle (Orig. Ind.) <i>Wartazoa</i> March 2021, Vol. 31 No. 1, p. 37-42</p> <p>Growth and carcass traits are of economic importances in livestock breeding, because they affect the profitability of animal production. The phenotypic expression of these traits is controlled by multiple genes (polygenes), such as myostatin (MSTN) gene. This paper aims to discuss the expression, polymorphism and potential application of MSTN gene as a marker-assisted selection (MAS) for growth and carcass traits in beef cattle based on data from published studies. MSTN gene or known as growth and differentiation factor 8 (GDF8) is a member of the transforming growth factor-β (TGF-β) superfamily, and it acts as a negative regulator of skeletal muscle mass deposition. Several published studies showed that mutations in the MSTN gene can inhibit the activation of myostatin, which leads to an increased muscle mass (hypertrophy). Several MSTN gene polymorphisms were reported to be associated with growth and carcass traits in local cattle in several countries, including Indonesia, namely Bali cattle. Based on several assumptions: 1) there is MTSN gene polymorphisms in a population, 2) there is a significant association between MSTN gene polymorphisms and growth and carcass traits, as reported</p>

<p>in several beef cattle populations and 3) those cattle with superior genotype have better growth performances. We expect that there will be improvement in growth performances in the future if those cattle are selected. Understanding MSTN gene polymorphisms would be useful to make strategies for the genetic improvement for growth and carcass traits of local cattle.</p> <p style="text-align: right;">(Author)</p> <p>Key words: Myostatin gene, growth traits, carcass traits, selection</p>	<p>diet digestibility, intake, rumen fermentation and gain. It is concluded that numerous processing technologies are available to upgrade the nutritional quality of LCB, but there are obstacles to use some of these techniques for wide application in ruminant production system.</p> <p style="text-align: right;">(Author)</p> <p>Key words: Lignocellulosic biomass, processing technology, feed, ruminants</p>
<p>UDC 636.3 Trisiana FA (GRS, Galang) Destomo A (GRS, Galang) Mahmilia F (GRS, Galang) Animal Transportation: Process, Challenge and its Effect on Small Ruminant (Orig. Ind.) Wartazoa March 2021, Vol. 31 No. 1, p. 43-53</p> <p>Livestock transportation is carried out to fulfill the need for consumption as well as for raising the livestock in other areas. The regulation of livestock transportation has not been well implemented yet, and far from the ideal way of livestock transportation, such as the aspects of animal welfare. This paper aims to describe the transportation process, challenge and its effects on small ruminants. The process of transporting livestock is carried out by preparing the animals that are going to be transported, and the means of transportation used. Travel distance and road infrastructure conditions provide an affordable connection for the transportation of livestock. Long distances and poor infrastructure conditions can cause stress problems to livestock transportation. Livestock becomes stress and cortisol levels increased in the blood and physiological responses were affected due to transportation. The Goat Research Institute designed a cage in a truck to transport goats and logistical needs during the trip by land and sea routes. This type of cage has been used in the distribution of goats to several areas and the journey took 1 to 16 days with average goat mortality rate was about 0.3%. Severe impacts during the trip can be overcome by transporting goats with attention to the transportation system and to ensure the welfare of animals during the trip.</p> <p style="text-align: right;">(Author)</p> <p>Key words: Livestock transportation, distance, physiological response, mortality, animal welfare</p>	<p>UDC 636.082.4 Setiasih (East Java AIAT, Malang) Abdurrahman AM (East Java AIAT, Malang) Soetanto H (Brawijaya University, Malang) The Potential of Bioactive Compound Moringa Leaf to Improve Rabbit Reproductive Performance (Orig. Ind.) Wartazoa June 2021, Vol. 31 No. 2, p. 67-74</p> <p>Moringa leaf is a potential animal feed material because it has a complete nutrient content as well as many bioactive compounds. Among its bioactive compounds are phytosterols and isoflavones. This paper aims to describe the importance of moringa leaf as feed supplementation to improve rabbit reproductive performance. The bioactive compounds in moringa leaf have an important role to trigger reproductive hormones. Phytosterols have a chemical structure similar to that of cholesterol that can be used as precursors of steroid hormones (testosterone, estradiol and progesterone). Isoflavones are one of the flavonoid compounds, also have estrogenic activity and are able to bind with estrogen receptors i.e. ER-α and ER-β. Because of these bioactive compounds, moringa leaves are potential to be utilized as feed supplements as aphrodisiac for bucks, stimulating estrous, and increasing litter size and milk production of does, reduce mortality and increase weaning weight and average daily gain of bunnies.</p> <p style="text-align: right;">(Author)</p> <p>Key words: <i>Moringa oleifera</i>, phytosterols, isoflavones, reproduction, rabbit</p>
<p>UDC 636.084.52 Ginting SP (GRS, Galang) Processing Technologies of Lignocellulosic Biomass: Potentials and Constraints for Ruminant Feed Production (Orig. Eng.) Wartazoa June 2021, Vol. 31 No. 2, p. 55-66</p> <p>Lignocellulosic biomass (LCB) such as crop residues and agro-industrial wastes are renewable resources and available abundantly. It could play central role in sustainable feeding system of ruminant production. These materials are potential source of fiber to support optimum rumen function and energy supply. However, the LCB has important nutritional constraints that limit its utilization as feed for ruminants. This review is intended to discuss nutritional constraints of LCB as ruminant feed and the potentials and challenges of processes in upgrading the nutritional quality of LCB. The main polymer compounds in LCB are cellulose (30 to 60%), hemicellulose (20 to 40%) and lignin (15-25%) and its inter linkages make the energy contained in the LCB is less extractable by the ruminant digestive system. Physical, chemical and biological processing technologies have been well known as alternative means to upgrade the nutritive values of LCB. Recently, novel processing technologies of LCB such as ionic liquid, organosolv, sonication, and new screened rot white fungi (<i>Ceriporiopsis subvermispura</i>) and some older technologies using alkaline and acids have been studied and developed particularly for the purpose of biofuel production in the bio refinery industry. Processing technologies have different properties in degrading the lignin, degrading and solubilizing the cellulose and hemicellulose that all relate to the nutritive quality of LCB. Advantages of processed LCB in ruminant animals were indicated by increase in</p>	<p>UDC 633.258 Hidayat C (IRIAP, Bogor) Wina E (IRIAP, Bogor) Sopiyana S (IRIAP, Bogor) Beneficial of Bioactive Compound of Rice Bran for Chicken's Functional Feed (Orig. Ind.) Wartazoa June 2021, Vol. 31 No. 2, p. 75-84</p> <p>Rice bran is a feed ingredient as a result of the rice milling process and widely used as an energy source in the feed formulation in the chicken diet. Rice bran contains various nutrients such as oil, protein, carbohydrates (especially starch), beta-glucans, and pectins. Rice bran contains bioactive compounds that have positive effects on the chicken performance and health. Recently, rice bran's bioactive compounds have been developed as a source of making functional feed. The objective of this study was to review the bioactive compounds in rice bran and their benefits in order to produce chicken's functional feed. The results of the study showed that rice bran contains oryzanol as an important bioactive compound that has high antioxidant activity. Furthermore, other bioactive compound, lysolecithin, has an ability to reduce cholesterol content in blood, meat and eggs of chicken. Besides, rice bran extract is reported to exert antibacterial activity and has immunomodulator function. It was concluded that the bioactive compounds of rice bran is potential to be used as a substance for making functional feed for chickens.</p> <p style="text-align: right;">(Author)</p> <p>Key words: Rice bran, bioactive compounds, chicken, oryzanol, lysolecithin</p>

<p>UDC 619 Sendow I (IRCVS, Bogor) Assadah NS (IRCVS, Bogor) Ratnawati A (IRCVS, Bogor) Dharmayanti NLPI (IRCVS, Bogor) Saepulloh M (IRCVS, Bogor) Lumpy Skin Disease: Emerging Diseases Threats for National Animal Health Status (Orig. Ind.) <i>Wartazoa</i> June 2021, Vol. 31 No. 2, p. 85-96</p> <p>Lumpy skin disease (LSD) causes economic losses for cattle farmers, caused by the LSD virus, genus of Capripoxvirus, family of Poxviridae. This disease is characterized by the presence of nodules on the skin. This virus only infects cattle and swamp buffalo with a low mortality rate, but has a high morbidity rate. This virus, however, does not infect goats and sheep. Until now, LSD has not been reported in Indonesia, therefore the knowledge about LSD is needed to be introduced especially for field veterinarians and paramedics so the disease can be well informed. This paper discusses about transmission, epidemiology, diagnosis, risk factors and control measures of LSD, hence, the entry of LSD infection into Indonesia can be detected, reported and response as early as possible by relevant stakeholders.</p> <p style="text-align: right;">(Author)</p> <p>Key words: LSD, anticipation, cattle, Indonesia, risk factors</p>	<p>UDC 636.597 Susanti T (IRIAP, Bogor) Breeding Strategy of Local Muscovy to Support the Development of Meat Type Duck Industry (Orig. Ind.) <i>Wartazoa</i> September 2021 Vol. 31 No. 3, p. 109-118</p> <p>Muscovy duck is one of the genetic resources of waterfowl that spread almost all over Indonesia. Muscovy duck is classified as meat-producer waterfowl, because of its relatively large body weight and better meat quality compared to other waterfowls. Therefore, cross breeding between Muscovy and ducks are often conducted by farmers to produce offspring with large body weight in order to anticipate the higher demand for duck meat. If this crossing pattern has been widely adopted by breeders, it will require a larger number of Muscovy duck. Whereas, currently the population of Muscovy is relatively low and no breeding system exists both at the community farm level or industrial level. Therefore, a development program of local Muscovy duck, especially its breeding program needs to be done immediately. As an information material to facilitate the preparation of the program, this paper describes factors that affect the breeding program including production performance and reproduction, as well as the breeding strategy of Muscovy duck as candidates of male line to form special meat type ducks through 3 groups of livestock breeds in the shape of a conical triangle at the top. The top position was the pure stock (nucleus), the middle was the parent stock (multiplier) and the bottom was the commercial stock. The genetic quality of livestock flows from the top position to the bottom and cannot be the other way around, because the breeding system is closed in the pure stock (nucleus).</p> <p style="text-align: right;">(Author)</p> <p>Key words: Meat type duck, local white muscovy, breeding strategy</p>
<p>UDC 616.993 Rizal S (Research Center for Biology-IIS, Bogor) Rahmawati RA (Airlangga University, Surabaya) Pathogenic Organisms in Varanidae and Their Potential as Zoonotic Diseases (Orig. Ind.) <i>Wartazoa</i> June 2021, Vol. 31 No. 2, p. 97-107</p> <p>Monitor lizards have various body sizes, belong to the Varanidae and it is reported that there were various kinds of pathogenic organisms in their bodies. This review aims to describe various information on pathogenic organisms and their potential as zoonotic diseases and can be used as a reference in the prevention of zoonotic diseases originating from Varanidae. The results of this review discuss two types of viruses, three types of bacteria, five types of protozoa, two types of arthropods, and seven types of endoparasites that are pathogenic in Varanidae. Based on this information it is known that potentially zoonotic pathogens include bacteria group is <i>Salmonella</i> spp. and <i>Anaplasma phagocytophilum</i>; groups of protozoa was <i>Giardia</i> spp. and <i>Cryptosporidium</i> sp.; Arthropod group namely <i>Amblyomma</i> sp. which carries the bacteria <i>Rickettsia</i> sp., <i>Borrelia</i> spp. and <i>Anaplasma</i> spp. and the endoparasite group consisting of <i>Ascaris</i> sp., <i>Strongyloides</i> sp., Pentastomida, and <i>Angiostrongylus cantonensis</i>, while for the virus group, there were no pathogenic organisms with zoonotic potential. The extensive use of Varanidae by humans as exotic pets, as well as for consumption and medicine has great potential in the transmission of zoonotic diseases. Those are possible because the varanids non-aseptically environment. The proper handling and maintenance of monitor lizards are necessary to prevent the spread of zoonotic diseases. Unhygienic and less aseptic way of handling food products of animal origin can lead to the potential for transmission of pathogenic organisms (foodborne disease). Efforts to prevent the transmission of foodborne diseases can apply Good Hygienic Practices (GHP) with the process of cooking reptile meat for consumption. Besides, disease transmission can be prevented by implementing the One Health concept.</p> <p style="text-align: right;">(Author)</p> <p>Key words: Varanidae, zoonotic, organism, pathogen, One Health</p>	<p>UDC 636.58.033 Nursiam I (IPB University, Bogor) Ridla M (IPB University, Bogor) Nahrowi (IPB University, Bogor) Hermana W (IPB University, Bogor) Fiber in Broiler Feed: Its Effect on Performance, Gastro-Intestinal Tract, and Microbial Profile (Orig. Ind.) <i>Wartazoa</i> September 2021 Vol. 31 No. 3, p. 119-128</p> <p>In AGP ban era, addition of a fiber source in broiler feed improves the performance and development of the gastrointestinal tract. This paper aims to describe the differences in fiber analysis methods and the effect of fiber source addition on growth, development of the gastrointestinal tract, and microbiota profile in the digestive tract of broilers. Oat hulls, sugar beet pulp, rice hulls, pea hulls, sunflower hulls, wheat bran, and wood have been tested as fiber source in broiler feed. The effectiveness of fiber in increasing growth performance and stimulating the development of the gastrointestinal tract were influenced by the physico-chemical properties, level of addition, particle size, and fraction composition of the fiber source. Exploration of local fiber sources from Indonesia, which can have ability to increase growth performance and gastrointestinal tract development of broilers is needed to support food security in the future.</p> <p style="text-align: right;">(Author)</p> <p>Key words: Broiler, fiber, performance, gastrointestinal tract</p>

<p>UDC 633.2 Widyajaya AAGF (Udayana University, Badung) Jayawardhita AAG (Udayana University, Badung) Antibacterial Effect and Potency of Jamaican Cherry Leaves (<i>Muntingia calabura</i> L.) as Feed Additive for Alternative Antibiotic Growth Promoter in Animals (Orig. Ind.) <i>Wartazoa</i> September 2021, Vol. 31 No. 3, p. 129-136</p> <p>Antimicrobial resistance is one of the greatest health challenges in the world. The unwise use of Antibiotic Growth Promoter (AGP) in livestock is one of the factors that trigger the increase incidence of antimicrobial resistance. In an effort to anticipate the negative impact of using antibiotics, alternative materials are needed to replace AGP. From those various problems, this paper aims to provide information on the use of phytochemical feed additives as natural antibacterials that have the potency as an alternative AGP. Based on the results of various studies, Jamaican cherry leaf extract has the ability to inhibit the growth of various bacterial species <i>in vitro</i>. Various phytochemical test results showed that Jamaican cherry leaves contain several types of phenolics, flavonoids, tannins, and saponins that have antibacterial effect. The addition of Jamaican cherry leaves to feed was able to increase the value of digestibility, carcass weight, egg production, and protein content of meat. Therefore, Jamaican cherry leaf (<i>Muntingia carabula</i> L.) has the potency to be used as feed additive to replace AGP.</p> <p>(Author)</p> <p>Key words: Antibiotic growth promoter, antimicrobial resistance, Jamaican cherry leaves</p>	<p>UDC 636.1 Prastyowati A (Research Center for Biotechnology-IIS, Bogor) Sumbawa Wild Horse Milk: Benefits and Potential as a Probiotic (Orig. Ind.) <i>Wartazoa</i> September 2021, Vol. 31 No. 3, p. 147-154</p> <p>Wild horse milk of Sumbawa is a national commodity derived from the wild horse in West Nusa Tenggara, Indonesia. This product is well known to have health benefits for people. There have been studies related to milk's characterization, chemical composition, microbial biodiversity, and probiotics effects by Indonesian academists since it is a local product produced only in Indonesia. This report objects to collect scientific documentation in Indonesia of wild horse milk of Sumbawa usage, its production, chemical compounds, microbial community, and potency as probiotics. Milk production of Sumbawa horse milk was 1-2 liters/horse/day. The usage of this commodity covered the health, medicine, food, and cosmetics industries. The main chemistry compound of wild horse milk was lactose 6.48%, protein 1.81%, and fat 1.67%, which will affect its microbial community. Lactic acid bacteria, especially <i>Lactobacillus</i>, were the dominant bacteria that have potency as probiotics. Thus, this article provides a reference for academists or researchers who are interested to explore this commodity.</p> <p>(Author)</p> <p>Key words: Wild horse milk, benefits, microbial, probiotic</p>
<p>UDC 636.085.51 Sirait J (GRS, Galang) Simanihuruk K (GRS, Galang) Utilization of <i>Tithonia diversifolia</i> as Ruminant Feed (Orig. Ind.) <i>Wartazoa</i> September 2021, Vol. 31 No. 3, p. 137-146</p> <p>Forage is an important component in raising ruminants. Limited land specifically for forage cultivation is a big challenge in providing forage. <i>Tithonia diversifolia</i> is a promising species used as feed for ruminants because it is easy to grow in various places without being cultivated, such as on roadsides or as fences. This paper aims to give information about <i>Tithonia diversifolia</i> and its cultivation, production, nutritional value and its utilization as forage for ruminant. This plant can be propagated vegetatively and generatively. The spread of seeds can be carried by vectors such as humans, livestock, water currents and wind. <i>T. diversifolia</i> plants have several advantages: fast growing, high production, high crude protein content, resistance to high cutting frequencies and tolerance to acidic soils. Apart from these advantages, this plant also has some limiting factors because it contains several secondary compounds which may affect rumen fermentation. This weakness can be overcome by addition of feed additive, charcoal or by processing it into silage. <i>T. diversifolia</i> has been used as feed for small and large ruminants either as single or mixed feed with concentrates and other forages with relatively high digestibility. The dry matter consumption of <i>T. diversifolia</i> reaches nearly 600 g/h/d when given as single feed to goats. However, recommended feeding level is 30% of total ration.</p> <p>(Author)</p> <p>Key words: Forage, <i>Tithonia diversifolia</i>, excellence, ruminant</p>	<p>UDC 619 Suyatno (Bangka Belitung AIAT, Pangkalpinang) Livestock Genetic Improvements through Spermatogonial Stem Cell Transplantation Technology (Orig. Ind.) <i>Wartazoa</i> December 2021, Vol. 31 No. 4, p. 155-162</p> <p>Stem cells are unique cells that have the ability to differentiate into cells with specific functions and renew themselves to produce new stem cells. One type of stem cells that are actively studied is Spermatogonial Stem Cells (SSC). SSC is a unipotent cell that develops into spermatozoa in the mammalian testis. SSC can be transplanted into male testis recipients to improve the genetic quality of livestock and propagate valuable livestock. SSC transplantation procedure is started from the isolation of SSC from testis of the donor animal, in vitro culture of SSC for propagation or genetic modification, preparations of recipient males, and transplant SSC into recipient males to produce normal sperm that can fertilize the egg. SSC transplantation technology has been successfully applied to large animals such as cattle, goats, sheep, buffalo, pigs, other mammals such as monkeys. SSC transplantation is promising biotechnology to improve livestock production in the near future. This review will describe the origins of the SSC, identification, and characterization of SSC, in vitro culture of SSC, and the application of SSC transplantation for genetic quality of livestock improvement.</p> <p>(Author)</p> <p>Key words: Spermatogonial stem cell, livestock genetic improvement, transplantation</p>

<p>UDC 636.085.51 Fanindi A (IRIAP, Bogor) Harmini (IRIAP, Bogor) The Role of Mutation Induction Technology in Forage Breeding (Orig. Ind.) Wartazoa December 2021, Vol. 31 No. 4, p. 163-174</p> <p>Mutation induction in breeding is one of many ways to improve the character of a plant, including forage crops. Formation of new variety of forage plants, especially grass is still very rare in Indonesia due to several obstacles, including the flower structure, ploid and reproductive systems of forage plants. Mutation induction in breeding as a method of producing new varieties of forage plants (grass and legume) can be utilized by eliminating the constraints in forage plants, because it can create new variety without being restricted by floral structure and reproductive system of plant. The paper aims to describe about mutation breeding and its methods on forage plants and its prospect to obtain new varieties of superior forage plants to meet the needs of forage in Indonesia. A number of factors, including mutation technique, type, seed and other factors, are determining the success of mutational breeding. The creation of new types of forage plants by mutation-induction is aiming to increase productivity, improve forage performances and resist abiotic and biotic stress. Mutation breeding is expected to produce new varieties of superior forage plants in a relatively shorter time, because forage plants can be propagated in a vegetative or generative manner. It is expected that the assembly of new varieties of forage plants can meet the needs of forage in quantity and quality.</p> <p style="text-align: right;">(Author)</p> <p>Key words: Forage, breeding, mutation, superior variety</p>	<p>UDC 636.087.6 Herliatika A (IRIAP, Bogor) Permatahati D (IPB University, Bogor) Pujiawati Y (Bali AIAT, Denpasar) Tresia GE (ICARD, Bogor) Wina E (IRIAP, Bogor) Utilization of Cricket (<i>Gryllus bimaculatus</i>), Black Soldier Fly (<i>Hermetia illucens</i>), Mealworm (<i>Tenebrio molitor</i>), and Silkworm (<i>Samia ricini</i> dan <i>Bombyx mori</i>) as Alternative Feed Protein Sources (Orig. Ind.) Wartazoa December 2021, Vol. 31 No. 4, p. 185-198</p> <p>The insect which contains high protein is potential to be used as an unconventional protein source (UPS) in feed. Production cost of this feedstuff is affordable through utilization of waste as growing media. Moreover, this production helps the environment by reducing the unprocessed waste. This study aims to review the potential use of cricket, black soldier fly (BSF), mealworm, and silkworm as UPS in replacing fish meal (FM) and soybean meal (SM) in the feed. The insect meal contains relative similar crude protein but higher ether-extract compared to conventional protein sources. The insect meal contains higher tyrosine but lower arginine, histidine, lysine, and tryptophan compared to FM and SM. The chitin content in UPS decreases the digestibility, causing restriction its utilization in the diet. However, it can be used as antibacterial and antifungal in feed, and in ruminant, it can be used to mitigate enteric methane emission. UPS in layer and broiler diet can replace SM, meanwhile, in quail diet, it can replace FM. From different sources, it can be summarised that the potential addition of BSF, cricket, mealworm, and silkworm in the broiler's diet is 8%DM replacing 100% SM, 5-15%DM replacing 40-100% FM, 5-29.5%DM replacing 3-100% SM, and 7.8%DM replacing 100% SM, respectively. The potential addition of BSF and mealworm in the layer's diet is 10-15%DM replacing 66-100% SM and 2-5%DM replacing 21% SM, respectively. The potential addition of cricket, mealworm, and silkworm in the quail's diet is 2-8%DM replacing 25-100% FM, 2.25%DM replacing 25% FM, and 2.08-6.25%DM replacing 26-76% FM, respectively.</p> <p style="text-align: right;">(Author)</p> <p>Key words: Cricket, Black Soldier Fly, mealworm, silkworm, insect, feed</p>
<p>UDC 631.22 Fitra D (IPB University, Bogor) Ulupi N (IPB University, Bogor) Arief II (IPB University, Bogor) Mutia R (IPB University, Bogor) Abdullah L (IPB University, Bogor) Erwan E (UIN Sultan Syarif Kasim, Riau) Development of Chicken Production on Free-Range System (Orig. Ind.) Wartazoa December 2021, Vol. 31 No. 4, p. 175-184</p> <p>The free-range system is a current model of chicken production according to the concept of Animal Welfare. This article aims to discuss how the free-range system was implemented and its effect on health, performance and quality product as well as free-range development strategies as an alternative to chicken production systems. The free-range system must have access to outdoor to express their natural behavior. Based on regulation, the density of chickens in outdoor is a maximum of 10,000 birds/ha. Chickens reared using the free-range system show better welfare indicators, as evidenced by the Heterophil/Lymphocyte (H/L) value and the frequency of their natural behavior. Chicken eggs from the free-range system contain higher levels of protein and carotenoid. It also contains omega-3 & 6, DHA, vitamins A and E and have lower cholesterol level. Chicken meat from the free-range system contains higher protein and lower fat contents. However, the performance of chicken production using the free-range system was still not consistent and was greatly influenced by the type of forage in the pasture. The introduction of grazing land with superior forage such as Indigofera zollingeriana and choosing kampung or local chickens may become development strategies of chicken production in the free range system.</p> <p style="text-align: right;">(Author)</p> <p>Key words: Free-range, chicken, animal welfare, performance</p>	<p>UDC 636 Tiesnamurti B (ICARD, Bogor) Muharsini S (IRCVS, Bogor) Shiddieqy MI (ICARD, Bogor) Regulation on Genetically Modified Animals: Proposed and Its Possible Application in Indonesia (Orig. Eng.) Wartazoa December 2021, Vol. 31 No. 4, p. 199-207</p> <p>The government is responsible for fulfil the needs of safe, healthy and halal food for all its people in a sustainable manner. The world population will increase from 7 to 9 billion people in 2050. While the availability of land may not increase in the future, it may even not be used for agriculture. Scientists are trying to overcome this problem by creating technologies that can increase livestock productivity, one of which is through a genetically modified process. Genetically modified animals are animals that have been genetically modified for many purposes including yields and disease resistance. Although genetically modified animals are at the last stage of research and the possibility to entering Indonesia remains small, but government should prepare a regulation related to it. European countries and USA have regulations to control genetically modified animals. Malaysia also has applied a similar regulation since 2007. Currently, Indonesia has formed an authority that oversees the genetically modified product, namely Biosafety Commission (<i>Komisi Keamanan Hayati</i>) on genetically modified products. However, this commission only supervises genetically modified organism in food and feed. This paper is aimed to propose the regulation for genetically modified animal that may be entering Indonesia and or be researched by Indonesian scientists.</p> <p style="text-align: right;">(Author)</p> <p>Key words: Regulation, genetically modified organism, animal</p>

Peningkatan Mutu Genetik Ternak Besar melalui Teknologi Transplantasi Sel Punca Spermatogonia

(Livestock Genetic Improvements through Spermatogonial Stem Cell Transplantation Technology)

Suyatno

Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Kepulauan Bangka Belitung, Jalan Mentok Km. 4 Pangkalpinang, Indonesia
Kontributor utama: suyatno19@yahoo.com

(Diterima 27 Juli 2021 – Direvisi 25 Oktober 2021 – Disetujui 7 Desember 2021)

ABSTRACT

Stem cells are unique cells that have the ability to differentiate into cells with specific functions and renew themselves to produce new stem cells. One type of stem cells that are actively studied is Spermatogonial Stem Cells (SSC). SSC is a unipotent cell that develops into spermatozoa in the mammalian testis. SSC can be transplanted into male testis recipients to improve the genetic quality of livestock and propagate valuable livestock. SSC transplantation procedure is started from the isolation of SSC from testis of the donor animal, in vitro culture of SSC for propagation or genetic modification, preparations of recipient males, and transplant SSC into recipient males to produce normal sperm that can fertilize the egg. SSC transplantation technology has been successfully applied to large animals such as cattle, goats, sheep, buffalo, pigs, other mammals such as monkeys. SSC transplantation is promising biotechnology to improve livestock production in the near future. This review will describe the origins of the SSC, identification, and characterization of SSC, in vitro culture of SSC, and the application of SSC transplantation for genetic quality of livestock improvement.

Key words: Spermatogonial stem cell, livestock genetic improvement, transplantation

ABSTRAK

Stem cell atau sel punca merupakan sel yang memiliki kemampuan untuk berdiferensiasi menjadi sel dengan fungsi tertentu dan dapat memperbaharui diri untuk menghasilkan sel punca yang baru. Salah satu jenis sel punca yang aktif diteliti yaitu sel punca spermatogonia. Sel punca ini merupakan sel unipotent yang berkembang menjadi spermatozoa di dalam testis mamalia. Sel punca spermatogonia dapat ditransplantasikan ke testis pejantan resipien untuk meningkatkan mutu genetik ternak dan mempercepat perkembangbiakannya. Teknik transplantasi sel punca spermatogonia dimulai proses isolasi dari testis hewan donor, kultur secara *in vitro*, persiapan pejantan resipien, dan transplantasi sel punca spermatogonia ke pejantan resipien sehingga menghasilkan spermatozoa dewasa yang dapat membuahi sel telur. Berdasarkan hasil penelitian, teknologi transplantasi sel punca spermatogonia sudah berhasil diterapkan pada hewan besar seperti sapi, kambing, domba, babi, dan hewan mamalia yang lain seperti monyet. Transplantasi sel punca spermatogonia merupakan bioteknologi yang menjanjikan untuk meningkatkan produksi ternak dimasa yang akan datang. Review ini akan menguraikan asal-usul sel punca spermatogonia, identifikasi dan karakterisasi sel punca spermatogonia, kultur sel punca spermatogonia secara *in vitro* serta aplikasi transplantasi sel punca spermatogonia dalam upaya untuk meningkatkan mutu genetik ternak.

Kata kunci: Sel punca spermatogonia, mutu genetik ternak, transplantasi

PENDAHULUAN

Istilah *stem cells* atau sel punca saat ini semakin populer diberitakan oleh media cetak maupun elektronik dan menjadi topik utama penelitian bidang ilmu biologi. Sel punca dalam dunia kedokteran dianggap sebagai harapan baru bagi penyembuhan penyakit-penyakit degeneratif atau penurunan fungsi sel tubuh (Jin 2017). Sel punca itu sendiri memiliki arti sel yang belum berdiferensiasi sehingga dapat berkembang menjadi berbagai jenis sel lain dalam

tubuh (Melton 2014). Sel punca memiliki dua kemampuan yaitu dapat berdiferensiasi menjadi sel lain yang memiliki fungsi tertentu (*potency*) dan dapat memperbaharui diri menghasilkan sel punca yang baru (Chatzeli & Simons 2020).

Berdasarkan potensi, sel punca digolongkan menjadi beberapa jenis, yaitu; 1) sel punca *totipotent* yang dapat berdiferensiasi menjadi semua jenis sel meliputi sel ekstraembrionik dan embrio, contohnya zigot; 2) sel punca *pluripotent* yang dapat berkembang menjadi hampir seluruh sel spesifik dalam tubuh,

namun tidak dapat berkembang menjadi individu baru, contohnya sel punca embrionik; 3) sel punca *multipotent* yang dapat berkembang menjadi beberapa jenis sel dewasa yang masih satu tipe, contohnya sel punca neural; 4) sel punca *unipotent* yang memiliki kemampuan berdiferensiasi terbatas, sehingga hanya dapat berkembang menjadi satu jenis sel saja, contohnya sel punca spermatogonia.

Sejalan dengan pesatnya perkembangan penelitian di bidang sel punca, satu-persatu fungsi dan karakteristik sel punca mulai terdefiniskan. Salah satu jenis sel punca yang belakangan ini aktif diteliti yaitu sel punca spermatogonia. Pertama kali diteliti, sel punca ini dilaporkan hanya merupakan sel punca dewasa yang hanya dapat menghasilkan spermatogonia yang berkembang menjadi sperma dewasa. Namun, selama dekade terakhir dilaporkan bahwa sel punca spermatogonia dapat berkembang menjadi sel *multipotent* (Im et al. 2012) atau bahkan *pluripotent* (Kanatsu-Shinohara & Shinohara 2013) ketika dikultur secara *in vitro* pada kondisi yang memadai. Oleh karena itu, sel punca spermatogonia memiliki potensi yang cukup besar untuk digunakan sebagai alternatif sumber sel *pluripotent* atau *multipotent* (Aponte 2015). Sel punca spermatogonia menjadi teknologi masa depan yang dapat digunakan untuk pengobatan penyakit degeneratif (Chen et al. 2020), meningkatkan kualitas mutu genetik ternak (Zheng et al. 2014), dan juga penyelamatan spesies-spesies yang hampir punah. Tulisan ini akan menguraikan pemanfaatan transplantasi sel punca spermatogonia guna meningkatkan mutu genetik ternak khususnya ruminansia dimulai dari proses identifikasi dan karakterisasi sel punca spermatogonia hingga prosedur transplantasi ke dalam pejantan resipien.

IDENTIFIKASI DAN KARAKTERISASI SEL PUNCA SPERMATOGONIA PADA TERNAK

Spermatozoa merupakan produk akhir dari proses spermatogenesis. Sebelum proses spermatogenesis dimulai mekanisme pembentukan sel germinal jantan pada mamalia sudah dimulai sejak sebelum lahir. Pada fase embrionik, sel germinal yang disebut PGCs (*Primordial Germ Cells*) terbentuk. Pada mamalia jantan PGCs berkembang menjadi gonosit (Sahare et al. 2018). Gonosit akan bermigrasi ke arah kompartemen bagian bawah dari *tubulus seminiferous* segera setelah hewan mamalia lahir dan berkembang menjadi sel punca spermatogonia (Cheon et al. 2020). Sel punca spermatogonia akan terus ada di dalam testis sepanjang hidup mamalia jantan dan akan berdiferensiasi secara terus-menerus menjadi spermatogonia serta memperbaharui diri untuk menghasilkan sel punca baru.

Karakteristik, aktivitas memperbaharui diri, dan diferensiasi pada sel punca spermatogonia bervariasi antar spesies. Sebelum dapat diperbanyak secara *in vitro*, sel punca spermatogonia harus dapat diidentifikasi dan dikarakterisasi terlebih dahulu. Identifikasi sel punca spermatogonia dilakukan dengan dua cara, pertama berdasarkan morfologinya dan yang kedua berdasarkan ekspresi penanda biomolekulernya. Berdasarkan morfologinya, sel spermatogonia pada hewan model seperti tikus dibedakan menjadi spermatogonia tipe A yang belum terdiferensiasi dan spermatogonia tipe B yang sudah terdiferensiasi. Spermatogonia tipe A terdiri dari spermatogonia *A_{single}*, *A_{pair}*, dan *A_{aligned}* (La et al. 2018). Menurut Kubota & Brinster (2018), yang termasuk kategori sel punca spermatogonia adalah spermatogonia tipe *A_{single}*. Sedangkan spermatogonia *A_{pair}* dan *A_{aligned}* merupakan sel *progenitor* dari sel punca spermatogonia. Berdasarkan penelitian terbaru sel *progenitor* tersebut beberapa diantaranya juga memiliki sifat seperti sel punca (Takase & Nusse 2016).

Pada hewan ternak, morfologi sel punca spermatogonia belum diketahui secara lebih rinci seperti pada tikus, sehingga karakterisasi sel punca spermatogonia pada hewan ternak lebih sulit. Sel punca spermatogonia pada hewan ternak dapat dikenali dengan menggunakan menggunakan penanda molekuler dan pemeriksaan histologis pada testis untuk mengetahui letaknya. Sel punca spermatogonia terletak di kompartemen basal dari *tubulus seminiferous* (Kubota & Brinster 2018). Berdasarkan penanda molekuler, ada berbagai macam gen yang sudah dikarakterisasi sebagai penanda sel punca spermatogonia, beberapa diantaranya yaitu *Dolichos biflorus agglutinin* (DBA) yang merupakan gen penanda sel punca spermatogonia pada sapi (Fujihara et al. 2011), babi (Almunia et al. 2018), dan kerbau (Feng et al. 2016); *Ubiquitin carboxyl-terminal hydrolase isozyme L1* (UCHL-1) yang merupakan gen penanda sel punca spermatogonia pada sapi (Fujihara et al. 2011), kerbau (Yu et al. 2014) dan kambing (Heidari et al. 2012); *GDNF family receptor alpha-1* (GFR α -1) yang merupakan gen penanda sel punca spermatogonia pada babi (Lee et al. 2013), sapi (Giasseti et al. 2016) dan kuda (Costa et al. 2012); *THYmocyte differentiation antigen 1* (Thy-1) yang merupakan gen penanda sel punca spermatogonia pada kambing (Wu et al. 2013) dan sapi (Lei et al. 2017).

ISOLASI SEL PUNCA SPERMATOGONIA PADA TERNAK

Populasi sel punca spermatogonia di dalam testis hewan jantan sangat terbatas dan tercampur diantara sel-sel spermatogonia yang sedang mengalami proses diferensiasi dan yang sudah berdiferensiasi. Pada testis

tikus dewasa terdapat sekitar 35.000 sel spermatogonia A_{single} yang biasa dikategorikan sebagai sel punca spermatogonia (La et al. 2018), sedangkan pada hewan besar termasuk ternak belum diketahui secara pasti berapa jumlah sel punca spermatogonia di dalam testis.

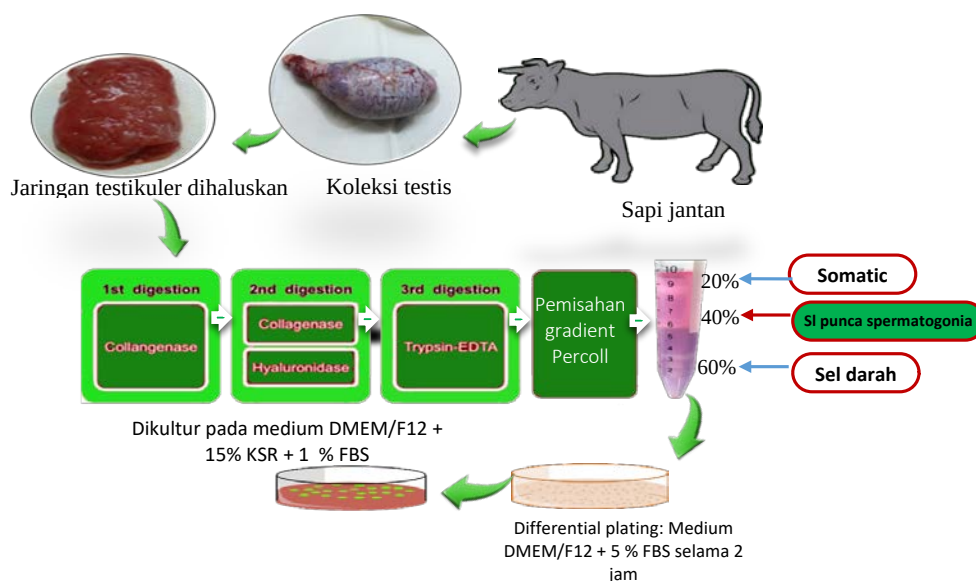
Sel punca spermatogonia harus dapat diisolasi dan dipisahkan dari sel-sel turunannya agar dapat dipelajari dan dimanfaatkan lebih lanjut. Proses isolasi sel punca spermatogonia ini dilakukan dengan menggunakan bantuan enzim yang mampu menguraikan sel-sel yang berada di sekitar sel punca spermatogonia di dalam testis. Sedangkan proses pemisahan sel punca spermatogonia dari sel somatik dan sel-sel turunannya dapat dilakukan dengan dua cara, yang pertama dengan cara mekanis berdasarkan morfologinya meliputi pemisahan *gradient Percoll* (Suyatno et al. 2018) dan *differential plating* (Fujiyama et al. 2011), yang kedua menggunakan penanda genetik dengan memanfaatkan alat pemisahan sel (Sutermaster & Darling 2019).

Pemisahan dengan *gradient Percoll* dilakukan dengan menggunakan larutan Percoll dengan konsentrasi yang berbeda yaitu 20%, 40%, dan 60% (Suyatno et al. 2018). Setelah melalui proses sentrifugasi, sel punca spermatogonia akan berada pada konsentrasi 20%, sementara sel-sel lain seperti sel somatik dan sel-sel spermatogonia yang sudah berdiferensiasi akan berada di lapisan Percoll dengan konsentrasi lebih tinggi (Gambar 1). Hal ini karena sel-sel punca spermatogonia memiliki ukuran lebih kecil sehingga akan berada pada larutan Percoll dengan konsentrasi yang lebih rendah ketika disentrifugasi.

Pemisahan sel punca spermatogonia menggunakan *differential plating* memanfaatkan sifat fisik dari sel punca spermatogonia dan sel-sel somatik penyusun

testis. Pada kultur sel biasanya dilakukan pelapisan terlebih dahulu pada cawan petri menggunakan gelatin atau senyawa yang merupakan bagian dari matriks ekstraseluler sel yang dikultur. Sel somatik penyusun testis jika dikultur biasanya akan segera melekat pada cawan petri yang sudah dilapisi gelatin, sedangkan sel punca spermatogonia membutuhkan waktu lebih lama untuk melekat dibandingkan sel somatik. Berdasarkan mekanisme tersebut, maka untuk memisahkan sel punca spermatogonia dari sel somatik dilakukanlah *differential plating*, dengan cara melakukan kultur selama beberapa jam sel-sel testis yang sudah diisolasi, kemudian sel somatik akan melekat pada cawan petri dan sel punca spermatogonia tetap berada dalam medium.

Cara pemisahan sel punca spermatogonia yang selanjutnya yaitu menggunakan alat pemisah sel dengan memanfaatkan penanda genetik yang sudah diketahui. Teknik pemisahan yang dimaksud diantaranya dengan menggunakan metode *Magnetic Activated Cell Sorting* (MACS) (Goissis et al., 2018) dan *Fluorescence Activated Cell Sorting* (FACS) (Valli et al. 2014). Metode pemisahan sel punca spermatogonia tersebut lebih akurat karena dapat memperoleh sel punca spermatogonia yang lebih seragam. Metode ini sangat sulit diterapkan pada ternak untuk memisahkan sel punca spermatogonia karena disamping memerlukan peralatan yang mahal juga belum banyak penanda genetik sel punca spermatogonia pada ternak yang sudah diketahui. Proses pemisahan sel punca spermatogonia dengan alat *sorting* sel ini lebih banyak digunakan pada hewan model seperti tikus.



Gambar 1. Proses isolasi sel punca spermatogonia pada sapi

Sumber: Suyatno (2018)

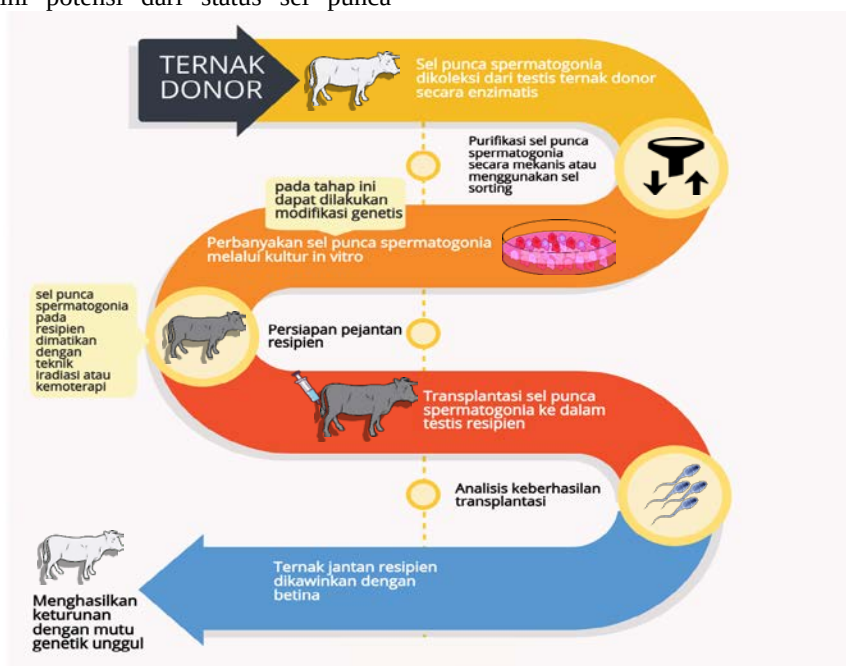
KULTUR *IN VITRO* DAN TRANSPLANTASI SEL PUNCA SPERMATOGONIA PADA TERNAK BESAR

Keterbatasan jumlah sel punca spermatogonia di dalam testis mendorong peneliti untuk memperbanyak jumlah sel punca spermatogonia secara *in vitro* agar dapat dimanfaatkan dan dipelajari secara lebih mendalam. Selama dasawarsa terakhir, sudah ada beberapa laporan mengenai keberhasilan kultur sel punca spermatogonia pada berbagai hewan ternak seperti pada sapi (Sahare et al. 2015), kambing (Heidari et al. 2012), kerbau (Sharma et al. 2019) babi (Zhang et al. 2017) namun sebagian besar sel punca spermatogonia ini terkontaminasi dengan sel spermatogonia yang sudah berdiferensiasi. Selain itu, sel spermatogonia yang dapat dikultur hanya yang berasal dari ternak usia muda (*pre-pubertal*). Suyatno et al. (2018) melaporkan terdapat perbedaan karakteristik dari sel punca spermatogonia dari sapi dewasa dan muda ketika dikultur secara *in vitro*. Umumnya, ternak muda memiliki populasi sel spermatogonia yang lebih seragam dibanding ternak dewasa, sehingga sel punca spermatogonia lebih mudah diisolasi dan dikultur. Pada ternak dewasa populasi spermatogonia di testis sangat beragam, sehingga perlu mengkombinasikan beberapa teknik ketika ingin mengisolasi sel punca spermatogonia (Suyatno et al. 2018).

Sel punca spermatogonia ternyata memiliki potensi yang besar untuk diubah menjadi bentuk sel punca lain melebihi potensi dari status sel punca

spermatogonia sebagai sel kelamin. Sel punca spermatogonia pada tikus dapat menjadi bersifat *pluripotent* mirip seperti sel punca embrio (Kanatsu-Shinohara & Shinohara 2013). Analisis epigenetik menunjukkan bahwa sel punca spermatogonia memiliki sifat plastisitas, artinya dalam kondisi yang sesuai dapat berubah menjadi sel *pluripotent* atau *multipotent* (Chen et al. 2015); (Liu et al. 2016). Karena sifat plastisitas ini maka sel *pluripotent* juga dapat dikonversi menjadi sel punca spermatogonia dan menghasilkan sperma normal yang dapat membuahi (Ishikura et al. 2016). Sel punca spermatogonia pada sapi umur 3 bulan setelah dikultur juga dapat menyatu dengan *Inner Cell Mass* (ICM) pada embrio (Suyatno et al. 2018). Hal ini menunjukkan bahwa sel punca spermatogonia sapi juga memiliki potensi untuk dikonversi menjadi sel *pluripotent*.

Transplantasi sel punca spermatogonia pertama kali dilakukan pada tikus untuk mengetahui proses perkembangan sel germinal pada mamalia jantan hingga berlangsungnya proses spermatogenesis (Brinster & Zimmermann 1994); (Kanatsu-Shinohara et al. 2016) atau untuk memproduksi hewan transgenik (Li et al. 2016, Hamra et al. 2017). Setelah beberapa tahun transplantasi sel punca spermatogonia pada tikus berkembang, mulai dilakukan transplantasi sel punca spermatogonia pada mamalia besar seperti domba (Herrid et al. 2009), sapi (Hill & Dobrinski 2005), babi (Zeng et al. 2013), anjing (Harkey et al. 2013), kera (Hermann et al. 2012), dan kambing (Ciccarelli et al. 2020).



Gambar 2. Alur proses transplantasi sel punca spermatogonia pada ternak.

Ada dua teknik transplantasi sel punca spermatogonia pada hewan ternak yaitu dengan transplantasi langsung ke dalam testis resipien dan dengan teknik *xenografting*. Ketika ditransplantasikan langsung ke dalam testis hewan resipien, hanya transplantasi alogenis (spesies yang sama) yang dapat menghasilkan spermatozoa normal sampai menghasilkan keturunan normal pada kambing (Honaramooz et al. 2003), domba (Herrid et al. 2009), dan kerbau (Sharma et al. 2020).

Teknik *xenografting* adalah teknik transplantasi sel atau jaringan dari satu spesies ke spesies lain. Teknik *xenografting* sel punca spermatogonia pada ternak pertama kali dikembangkan oleh Honaramooz et al. (2002) yang mentransplantasikan jaringan testis babi yang baru lahir ke tikus yang sudah dihilangkan sistem kekebalannya (tikus imunodefisiensi) dan dapat menghasilkan sperma normal. Selanjutnya keberhasilan teknik *xenografting* dapat diaplikasikan ke ternak-ternak lain seperti pada sapi, kambing, dan babi (Aponte 2015).

Teknik transplantasi sel punca spermatogonia dimulai dari proses isolasi dari testis hewan donor dengan menggunakan bantuan enzim. Kemudian sel punca spermatogonia diseleksi dan dikultur secara *in vitro* untuk memperbanyak jumlah atau melakukan modifikasi secara genetik jika diperlukan. Sementara itu, ternak jantan resipien disiapkan dengan terlebih dahulu mematikan sel punca spermatogonia pada testis yang ada ditestisnya dengan menggunakan teknik iradiasi atau terapi kimia. Selanjutnya sel punca spermatogonia ditransplantasikan ke hewan jantan resipien sehingga menghasilkan spermatozoa dewasa yang dapat membuahi sel telur (Gambar 2).

PROSPEK PEMANFAATAN SEL PUNCA SPERMATOGONIA

Perkembangan penelitian sel punca memberikan kemajuan pesat dalam bidang kedokteran, biologi perkembangan, dan bioteknologi reproduksi. Transplantasi sel punca spermatogonia dapat dijadikan metode alternatif dalam menyebarkan ternak unggul selain teknologi Inseminasi Buatan (Giassetti et al. 2019). Sel punca spermatogonia dari pejantan unggul dapat dikultur dan diperbanyak dalam jumlah besar sebelum ditransplantasikan ke pejantan resipien. Teknologi ini dapat memberikan peluang untuk menghemat penggunaan pejantan unggul. Selain mempercepat penyebaran proses penyebaran ternak-ternak unggul, sel punca juga memberikan peluang untuk menciptakan ternak unggul baru dengan metode manipulasi genetik untuk menghasilkan hewan transgenik. Salah satu teknik manipulasi genetik yang paling mudah dan populer dewasa ini adalah metode CRISPR/Cas9. Metode ini memungkinkan peneliti

untuk menyisipkan atau menghapus DNA tertentu secara lebih mudah dan tepat (Zhang et al. 2014), contohnya hasil penelitian genom tupai yang berhasil diedit menggunakan metode CRISPR/Cas9 dengan memanfaatkan kultur dan transplantasi sel punca spermatogonia (Li et al. 2016). Meskipun sebagian besar penelitian pengeditan gen dilakukan pada hewan model, tidak menutup kemungkinan di masa yang akan datang akan diterapkan kepada hewan besar.

Teknologi isolasi dan kultur sel punca spermatogonia secara *in vitro* juga dapat dimanfaatkan untuk konservasi sumber daya genetik. Spesies hewan yang hampir punah dan ternak unggul yang jumlahnya terbatas dapat diisolasi sel puncanya untuk selanjutnya dikultur secara *in vitro* agar dapat diperbanyak. Baik sel punca spermatogonia yang baru diisolasi maupun yang sudah dikultur dapat disimpan secara beku dalam waktu yang cukup lama tanpa mengalami kerusakan yang berarti (Oatley 2017). Hal ini memungkinkan pemanfaatan sel punca spermatogonia di masa yang akan datang untuk mencegah kepunahan spesies.

PROSPEK PEMANFAATAN SEL PUNCA SPERMATOGONIA UNTUK MENINGKATKAN MUTU GENETIK TERNAK DI INDONESIA

Berdasarkan perspektif bioteknologi pertanian modern, sel punca spermatogonia dapat menjadi bioteknologi reproduksi dan pemuliaan ternak generasi berikutnya yang penting dalam meningkatkan mutu genetik ternak. Transplantasi sel punca spermatogonia pada hewan besar saat ini belum efisien dan banyak detail teknis yang masih memerlukan penelitian lebih lanjut. Namun demikian untuk menunjang akselerasi peningkatan produksi ternak di Indonesia dimana salah satunya dengan meningkatkan mutu genetik ternak lokal, maka lompatan penerapan bioteknologi reproduksi diperlukan.

Aplikasi sel punca spermatogonia dapat dengan cepat menyebarkan material genetik ternak-ternak unggul. Sebagai contoh, pemerintah melalui Kementerian Pertanian berupaya untuk meningkatkan mutu genetik ternak lokal dengan mendatangkan sapi Belgian Blue yang memiliki karakteristik perototan ganda (Agung et al. 2016). Upaya penyebarluasan sapi Belgian Blue dilakukan melalui metode Inseminasi Buatan (IB) dan Transfer Embrio (TE). Kedua teknologi reproduksi ini memang secara nyata sudah berkontribusi terhadap peningkatan populasi ternak di Indonesia. Namun demikian, dalam hal sapi Belgian Blue terdapat beberapa kendala, seperti jika disebarluaskan menggunakan IB, spermatozoa mengalami cekaman panas yang dapat menurunkan fertilitas (Residiwati et al. 2020). Sedangkan jika menggunakan TE, proses kelahiran pedet harus menggunakan operasi Caesar yang memerlukan biaya besar. Oleh karena itu,

transplantasi sel punca spermatogonia pada jantan sapi-sapi yang sudah beradaptasi di Indonesia dapat menjadi upaya alternatif untuk menyebarkan sapi Belgian Blue secara masif.

Selain sebagai upaya peningkatan mutu genetik ternak, penggunaan sel punca spermatogonia juga dapat untuk menyelamatkan spesies-spesies yang hampir punah. Sel punca spermatogonia dapat ditransplantasikan antar hewan ataupun disimpan dalam waktu yang cukup lama dengan teknologi kriopreservasi. Teknologi sel punca dan kultur sel pada era pertanian 4.0 menjadi salah satu teknologi yang menjanjikan untuk meningkatkan produksi daging asal ternak tanpa kehilangan plasma nutfah.

KESIMPULAN

Sel punca spermatogonia dapat dimanfaatkan dalam dunia peternakan melalui teknologi transplantasi. Pemanfaatan sel punca spermatogonia dari pejantan unggul melalui proses isolasi, identifikasi, kultur secara *in vitro* dan ditransplantasikan ke pejantan resipien secara masal hingga pejantan dapat menghasilkan sperma normal yang mampu membuahi sel telur. Transplantasi sel punca spermatogonia sudah diterapkan pada ternak seperti sapi, kambing, domba, dan babi. Teknologi ini memberikan alternatif lain dalam upaya meningkatkan mutu genetik ternak dan dan penyebarluasan genetik ternak-ternak unggul dengan jumlah pejantan yang terbatas. Transplantasi sel punca spermatogonia di masa yang akan datang dapat menjadi teknologi unggulan alternatif dalam industri perbibitan ternak khususnya dengan adanya era pertanian 4.0 yang memanfaatkan sumber daya yang terbatas.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Prof. (Riset). Dr. Ir. Elna Karmawati, MS dan Dr. Ir. Bachtar Bakrie, M.Sc. atas bimbingan dan kontribusinya dalam penyempurnaan tulisan ini. Review ini dibiayai dari pinjaman *International Bank for Reconstruction and Development (IBRD)* untuk membiayai *Sustainable Management of Agricultural Research and Technology Dissemination (SMARTD) Project*.

DAFTAR PUSTAKA

Agung PP, Said S, Sudiro A. 2016. Myostatin gene analysis in the first generation of the Belgian Blue cattle in Indonesia. *J Indones Trop Anim Agric*. 41:13–20. doi: 10.14710/jitaa.41.1.13-20.

Almunia J, Nakamura K, Murakami M, Takashima S, Takasu M. 2018. Characterization of domestic pig

spermatogenesis using spermatogonial stem cell markers in the early months of life. *Theriogenology*, 107:154–161. doi: 10.1016/j.theriogenology.2017.10.041.

- Aponte PM. 2015. Spermatogonial stem cells: Current biotechnological advances in reproduction and regenerative medicine. *World J Stem Cells*. 7:669. doi: 10.4252/wjsc.v7.i4.669.
- Brinster RL, Zimmermann JW. 1994. Spermatogenesis following male germ-cell transplantation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 91:11298–11302.
- Chatzeli L, Simons BD. 2020. Tracing the dynamics of stem cell fate. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*. 12:a036202. doi: 10.1101/cshperspect.a036202.
- Chen Z, Hong F, Wang Z, Hao D, Yang H. 2020. Spermatogonial stem cells are a promising and pluripotent cell source for regenerative medicine. *Am J Transl Res*. 12:7048–7059.
- Chen Z, Li Z, He Z. 2015. Plasticity of male germline stem cells and their applications in reproductive and regenerative medicine. *Asian J Androl*. 17:367–372. doi: 10.4103/1008-682X.143739.
- Cheon YP, Choi D, Lee SH, Kim CG. 2020. YY1 and CP2c in unidirectional spermatogenesis and stemness. *Develop Reprod*. 24:249–262. doi: 10.12717/DR.2020.24.4.249.
- Ciccarelli M, Giassetti MI, Miao D, Oatley MJ, Robbins C, Lopez-Biladeau B, Waqas MS, Tibary A, Whitelaw B, Lillico S, Park CH, Park KE, Telugu B, Fan Z, Liu Y, Regouski M, Polejaeva IA, Oatley JM. 2020. Donor-derived spermatogenesis following stem cell transplantation in sterile NANOS2 knockout males. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 117:24195–24204. doi: 10.1073/pnas.2010102117.
- Costa GMJ, Avelar GF, Rezende-Neto JV, Campos-Junior P HA, Lacerda SMSN, Andrade BSC, Thomé RG, Hofmann MC, Franca LR. 2012. Spermatogonial stem cell markers and niche in equids. *PLOS ONE*. 7:e44091. doi: 10.1371/journal.pone.0044091
- Feng W, Chen S, Do D, Liu Q, Deng Y, Lei X, Luo C, Huang B, Shi D. 2016. Isolation and identification of prepubertal buffalo (*Bubalus bubalis*) spermatogonial stem cells. *Asian-Australas J Anim Sci*. 29:1407–1415. doi: 10.5713/ajas.15.0592.
- Fujihara M, Kim SM, Minami N, Yamada M, Imai H. 2011. Characterization and *in vitro* culture of male germ cells from developing bovine testis. *J Reprod Develop*. 57:355–364.
- Giassetti MI, Ciccarelli M, Oatley JM. 2019. Spermatogonial stem cell transplantation: Insights and outlook for domestic animals. *Ann Rev Anim Biosci*. 7:385–401. doi: 10.1146/annurev-animal-020518-115239.
- Giassetti MI, Goissis MD, Moreira PV, de Barros FRO, Assumpção MEOD, Visintin JA. 2016. Effect of age

- on expression of spermatogonial markers in bovine testis and isolated cells. *Anim Reprod Sci.* 170:68–74. doi: 10.1016/j.anireprosci.2016.04.004.
- Goissis MD, Giassetti MI, Worst RA, Mendes CM, Moreira PV, Assumpção MEOA, Visintin JA. 2018. Spermatogonial stem cell potential of CXCR4-positive cells from prepubertal bull testes. *Anim Reprod Sci.* 196:219–229. doi: 10.1016/j.anireprosci.2018.08.014.
- Hamra FK, Richie CT, Harvey BK. 2017. Long Evans rat spermatogonial lines are effective germline vectors for transgenic rat production. *Transgenic Res.* 26:477–489. doi: 10.1007/s11248-017-0025-2.
- Harkey MA, Asano A, Zoulas ME, Torok-Storb B, Nagashima J, Travis A. 2013. Isolation, genetic manipulation, and transplantation of canine spermatogonial stem cells: Progress toward transgenesis through the male germ line. *Reproduction.* 146:10.1530/REP-13-0086. doi: 10.1530/REP-13-0086.
- Heidari B, Rahmati-Ahmadabadi M, Akhondi MM, Zarnani, AH, Jeddi-Tehrani M, Shirazi A, Naderi MM, Behzadi B. 2012. Isolation, identification, and culture of goat spermatogonial stem cells using c-kit and PGP9.5 markers. *J Assist Reprod Genet.* 29:1029–1038. doi: 10.1007/s10815-012-9828-5.
- Hermann BP, Sukhwani M, Winkler F, Pascarella JN, Peters KA, Sheng Y, Valli H, Rodriguez M, Ezzelarab M, Dargo G, Peterson K, Masterson K, Ramsey C, Ward T, Lienesch M, Volk A, Cooper DK, Thomson AW, Kiss JE, Orwig KE. 2012. Spermatogonial stem cell transplantation into Rhesus testes regenerates spermatogenesis producing functional sperm. *Cell Stem Cell.* 11:715–726. doi: 10.1016/j.stem.2012.07.017.
- Herrid M, Olejnik J, Jackson M, Suchowerska N, Stockwell S, Davey R, Hutton K, Hope S, Hill JR. 2009. Irradiation enhances the efficiency of testicular germ cell transplantation in sheep. *Biol Reprod.* 81:898–905. doi: 10.1095/biolreprod.109.078279.
- Hill JR, Dobrinski I. 2005. Male germ cell transplantation in livestock. *Reprod Fertil Develop.* 18:13–18. doi: 10.1071/RD05123.
- Honaramooz A, Behboodi E, Blash S, Megee SO, Dobrinski I. 2003. Germ cell transplantation in goats. *Mol Reprod Develop.* 64:422–428. doi: 10.1002/mrd.10205.
- Im JE, Song SH, Kim JY, Kim KL, Baek SH, Lee DR, Suh W. 2012. Vascular differentiation of multipotent spermatogonial stem cells derived from neonatal mouse testis. *Experiment Mol Medic.* 44:303–309. doi: 10.3858/emmm.2012.44.4.034.
- Ishikura Y, Yabuta Y, Ohta H, Hayashi K, Nakamura T, Okamoto I, Yamamoto T, Kurimoto K, Shirane K, Sasaki H, Saitou M. 2016. In vitro derivation and propagation of spermatogonial stem cell activity from mouse pluripotent stem cells. *Cell Reports.* 17:2789–2804. doi: 10.1016/j.celrep.2016.11.026.
- Jin J. 2017. Stem cell treatments. *JAMA.* 317:330. doi: 10.1001/jama.2016.17822.
- Kanatsu-Shinohara M, Naoki H, Shinohara T. 2016. Nonrandom germline transmission of mouse spermatogonial stem cells. *Develop Cell.* 38:248–261. doi: 10.1016/j.devcel.2016.07.011.
- Kanatsu-Shinohara M, Shinohara T. 2013. Spermatogonial stem cell self-renewal and development. *Ann Rev Cell Develop Biol.* 29:163–187. doi: 10.1146/annurev-cellbio-101512-122353.
- Kubota H, Brinster RL. 2018. Spermatogonial stem cells. *Biol Reprod.* 99:52–74. doi: 10.1093/biolre/iox077.
- La HM, Mäkelä JA, Chan AL, Rossello FJ, Nefzger CM, Legrand JMD, De Seram M, Polo JM, Hobbs RM. 2018. Identification of dynamic undifferentiated cell states within the male germline. *Nat Commun.* 9:2819. doi: 10.1038/s41467-018-04827-z.
- Lee KH, Lee WY, Kim JH, Yoon MJ, Kim NH, Kim JH, Uhm SJ, Kim DH, Chung HJ, Song H. 2013. Characterization of GFR α -1-positive and GFR α -1-negative spermatogonia in neonatal pig testis. *Reprod Domest Anim Zuchthygiene.* 48:954–960. doi: 10.1111/rda.12193.
- Lei Q, Pan Q, Ma J, Zhou Z, Li G, Chen S, Hua J. 2017. Establishment and characterization of immortalized bovine male germline stem cell line. *J Integrative Agric.* 16:2547–2557. doi: 10.1016/S2095-3119(16)61625-8.
- Li CH, Yan LZ, Ban WZ, Tu Q, Wu Y, Wang L, Bi R, Ji S, Ma YH, Nie WH, Lv LB, Yao YG, Zhao XD, Zheng P. 2016. Long-term propagation of tree shrew spermatogonial stem cells in culture and successful generation of transgenic offspring. *Cell Res.* 27:241–252. doi: 10.1038/cr.2016.156.
- Liu Y, Giannopoulou EG, Wen D, Falciatori I, Elemento O, Allis CD, Rafii S, Seandel M. 2016. Epigenetic profiles signify cell fate plasticity in unipotent spermatogonial stem and progenitor cells. *Nat Commun.* 7:11275. doi: 10.1038/ncomms11275.
- Melton D. 2014. Chapter 2 ‘Stemness’: Definitions, criteria, and standards. In: *Essentials of stem cell biology*. 3rd ed. Academic Press. p. 7–17. doi: 10.1016/B978-0-12-409503-8.00002-0.
- Oatley J. 2017. Cryopreserving and thawing spermatogonial stem cells. *Cold Spring Harbor Protoc* 2017. doi: 10.1101/pdb.prot094219.
- Residiwati G, Tuska HSA, Budiono, Kawai GKV, Seifi-Jamadi A, Santoro D, Leemans B, Boccart C, Pascottini OB, Opsomer G, Van Soom A. 2020. Practical methods to assess the effects of heat stress on the quality of frozen-thawed Belgian Blue semen in field conditions. *Anim Reprod Sci.* 221:06572. doi: 10.1016/j.anireprosci.2020.106572.

- Sahare M, Otomo A, Komatsu K, Minami N, Yamada M, Imai H. 2015. The role of signaling pathways on proliferation and self-renewal of cultured bovine primitive germ cells. *Reprod Med Biol.* 14:17–25. doi: 10.1007/s12522-014-0189-x.
- Sahare MG, Suyatno, Imai H. 2018. Recent advances of in vitro culture systems for spermatogonial stem cells in mammals. *Reprod Med Biol.* 17:134-142. doi: 10.1002/rmb2.12087.
- Sharma A, Kumaresan A, Mehta P, Nala N, Singh MK, Palta, P, Singla SK, Manik RS, Chauhan MS. 2020. Successful transplantation of transfected enriched buffalo (*Bubalus bubalis*) spermatogonial stem cells to homologous recipients. *Theriogenology.* 142:441–449. doi: 10.1016/j.theriogenology.2019.10.019.
- Sharma A, Shah SM, Saini N, Mehta P, Kumar BSB, Dua D, Singh MK, Singla SK, Palta P, Manik RS, Chauhan MS. 2019. Optimization of serum-free culture conditions for propagation of putative buffalo (*Bubalus bubalis*) spermatogonial stem cells. *Cell Reprogram.* 21:1–10. doi: 10.1089/cell.2018.0018.
- Sutermaster BA, Darling EM. 2019. Considerations for high-yield, high-throughput cell enrichment: Fluorescence versus magnetic sorting. *Scientific Reports.* 9:227. doi: 10.1038/s41598-018-36698-1.
- Suyatno, Kitamura Y, Ikeda S, Minami N, Yamada M, Imai H. 2018. Long-term culture of undifferentiated spermatogonia isolated from immature and adult bovine testes. *Molec Reprod Develop.* 85:236–249. doi: 10.1002/mrd.22958.
- Takase HM, Nusse R. 2016. Paracrine Wnt/ β -catenin signaling mediates proliferation of undifferentiated spermatogonia in the adult mouse testis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.* 113:E1489-1497. doi: 10.1073/pnas.1601461113.
- Valli H, Sukhwani M, Dovey SL, Peters KA, Donohue J, Castro CA, Chu T, Marshall GR, Orwig KE. 2014. Fluorescence- and magnetic-activated cell sorting strategies to isolate and enrich human spermatogonial stem cells. *Fertil Steril.* 102:566-580. doi: 10.1016/j.fertnstert.2014.04.036.
- Wu J, Song W, Zhu H, Niu Z, Mu H, Lei A, Yang C, Peng S, Li X, Li G, Hua J. 2013. Enrichment and characterization of Thy1-positive male germline stem cells (mGSCs) from dairy goat (*Capra hircus*) testis using magnetic microbeads. *Theriogenology.* 80:1052–1060. doi: 10.1016/j.theriogenology.2013.08.003.
- Yu X, Riaz H, Dong P, Chong Z, Luo X, Liang A, Yang L. 2014. Identification and IVC of spermatogonial stem cells in prepubertal buffaloes. *Theriogenology.* 81:1312–1322. doi: 10.1016/j.theriogenology.2014.03.002.
- Zeng W, Tang L, Bondareva A, Honaramooz A, Tanco V, Doros C, Megee S, Modelski M, Rodriguez-Sosa JR, Paczkowski M, Silva E, Wheeler M, Krisher RL, Dobrinski I. 2013. Viral Transduction of male germline stem cells results in transgene transmission after germ cell transplantation in pigs. *Biol Reprod.* 88:27. doi: 10.1095/biolreprod.112.104422.
- Zhang F, Wen Y, Guo X. 2014. CRISPR/Cas9 for genome editing: Progress, implications and challenges. *Human Molec Gen.* 23:R40–R46. doi: 10.1093/hmg/ddu125.
- Zhang P, Chen X, Zheng Y, Zhu J, Qin Y, Lv Y, Zeng W. 2017. Long-term propagation of porcine undifferentiated spermatogonia. *Stem Cells Develop.* 26:1121–1131. doi: 10.1089/scd.2017.0018.
- Zheng Y, Zhang Y, Qu R, He Y, Tian X, Zeng W. 2014. Spermatogonial stem cells from domestic animals: Progress and prospects. *Reprod.* 147:R65–R74. doi: 10.1530/REP-13-0466.

Peran Teknologi Induksi Mutasi dalam Pemuliaan Tanaman Pakan Ternak (The Role of Mutation Induction Technology in Forage Breeding)

Achmad Fanindi dan Harmini

Balai Penelitian Ternak, Jl. Veteran III, PO. BOX 221 Ciawi Bogor, Indonesia
Kontributor utama: Hmini2011@gmail.com

(Diterima 16 Agustus 2021 – Direvisi 8 November 2021 – Disetujui 17 Desember 2021)

ABSTRACT

Mutation induction in breeding is one of many ways to improve the character of a plant, including forage crops. Formation of new variety of forage plants, especially grass is still very rare in Indonesia due to several obstacles, including the flower structure, ploid and reproductive systems of forage plants. Mutation induction in breeding as a method of producing new varieties of forage plants (grass and legume) can be utilized by eliminating the constraints in forage plants, because it can create new variety without being restricted by floral structure and reproductive system of plant. The paper aims to describe the mutation breeding and its methods on forage plants and its prospect to obtain new varieties of superior forage plants to meet the needs of forage in Indonesia. A number of factors, including mutation technique, mutagenic type, seed and other factors, are determining the success of mutational breeding. The creation of new types of forage plants by mutation-induction is aiming to increase productivity, improve forage performances and resist abiotic and biotic stress. Mutation breeding is expected to produce new varieties of superior forage plants in a relatively shorter time, because forage plants can be propagated in a vegetative or generative manner. It is expected that the assembly of new varieties of forage plants can meet the needs of forage in quantity and quality.

Key words: Forage, breeding, mutation, superior variety

ABSTRAK

Induksi Mutasi dalam pemuliaan merupakan salah satu cara untuk memperbaiki karakter suatu tanaman, termasuk tanaman pakan ternak. Pembentukan varietas baru tanaman pakan ternak, terutama rumput pakan masih jarang dilakukan di Indonesia, karena beberapa kendala diantaranya struktur bunga, ploidy dan sistem reproduksi. Pemuliaan mutasi dapat dijadikan sebagai salah satu metode untuk menghasilkan varietas tanaman pakan (rumput dan legum) baru dengan menghilangkan kendala yang terdapat pada tanaman pakan, karena pemuliaan mutasi dapat menghasilkan keragaman secara cepat, tanpa terkendala adanya struktur bunga maupun sistem reproduksi tanaman pakan. Makalah ini bertujuan menguraikan tentang pemuliaan mutasi dan metodenya pada tanaman pakan ternak dan prospeknya untuk menghasilkan kultivar baru tanaman pakan ternak unggul untuk memenuhi kebutuhan hijauan di Indonesia. Keberhasilan pemuliaan mutasi ditentukan oleh beberapa hal diantaranya teknik mutasi, jenis mutagen, benih dan faktor lainnya. Pembentukan varietas baru tanaman pakan melalui induksi mutasi diarahkan pada peningkatan produktivitas, perbaikan arsitektur tanaman dan ketahanan terhadap cekaman abiotik dan biotik. Pemuliaan mutasi diharapkan dapat menghasilkan varietas baru tanaman pakan yang unggul dalam waktu yang relatif cepat, karena tanaman pakan dapat dikembangkan secara vegetatif maupun generatif. Perakitan varietas baru tanaman pakan diharapkan dapat memenuhi kebutuhan pakan hijauan secara kuantitas maupun kualitas.

Kata kunci: Tanaman pakan ternak, pemuliaan, mutasi, varietas unggul

PENDAHULUAN

Kegiatan induksi mutasi dalam pemuliaan tanaman di dunia telah menghasilkan berbagai varietas, dan lebih dari 3200 varietas mutan telah dirilis sebagai varietas komersial dari 210 spesies tanaman di sekitar 70 negara. Sebagian besar varietas mutan yang dirilis terdiri dari sereal (49,5%), tanaman hias (21,9%) dan kacang-kacangan (15%). Selain itu dihasilkan juga varietas mutan tanaman pakan, walaupun dalam porsi yang masih kecil, yaitu sekitar 1,2%. Negara penghasil

mutan terbesar berada di wilayah Asia disusul Eropa dan Amerika utara (IAEA 2021). Induksi mutasi dalam pemuliaan di Indonesia telah menghasilkan kultivar-kultivar baru pada tanaman utama, seperti padi (Lestari et al. 2015) (Rahayu et al. 2013), termasuk padi lokal (Yunus et al. 2017) (Warman et al. 2015), kedelai (Asadi 2013), gandum (Amin et al. 2014), serta tanaman hias (Handayati 2013), sedangkan pemuliaan mutasi pada tanaman pakan ternak (TPT) belum banyak dilakukan karena kegiatan pemuliaan TPT secara umum belum banyak dilakukan.

Terbatasnya pemuliaan TPT di Indonesia menyebabkan masih jarang varietas TPT unggul baru yang dihasilkan, (PVTTP 2021). Beberapa pemuliaan TPT yang telah dilakukan diantaranya sorgum pakan (Wahyono et al. 2018); penggunaan dosis radiasi sinar gamma pada rumput *Brachiaria* (Respati et al. 2018) dan rumput benggala di lahan masam (Fanindi et al. 2019). Sebagian besar TPT yang ada dan dikembangkan oleh peternak merupakan varietas introduksi yang telah lama berkembang di Indonesia. Selain itu kegiatan eksplorasi untuk mengidentifikasi dan mengkoleksi plasma nutfah sebagai sumber keragaman TPT jarang dilakukan. Sumber keragaman yang rendah menjadi salah satu kendala dalam melakukan seleksi, selain itu pemuliaan TPT sangat kompleks karena jumlah spesies yang banyak, cara reproduksi dan sistem perkawinannya, serta variabel korelasi genetik antara spesies TPT (Resende 2013). Salah satu alternatif untuk menghasilkan keragaman pada tanaman pakan ternak (TPT) adalah melakukan pemuliaan mutasi.

Pemuliaan mutasi pada TPT di Indonesia, ditujukan untuk mendapatkan keragaman dalam waktu yang relatif singkat. Keragaman menjadi modal dalam pelaksanaan kegiatan pemuliaan serta memudahkan pemulia untuk menseleksi karakter-karakter TPT sesuai dengan tujuan yang diinginkan, terutama untuk menghasilkan kultivar baru TPT unggul. Pemuliaan mutasi juga dapat digunakan sebagai alternatif untuk memecahkan masalah yang ada di tanaman pakan ternak seperti adanya *self-incompatibility* dengan menghambat penyerbukan (Manzanares et al. 2016) sehingga sulit untuk melakukan persilangan secara konvensional. Kegiatan pemuliaan mutasi di Indonesia dapat dilakukan karena adanya dukungan fasilitas di Badan Atom Nasional (BATAN). Dalam tulisan ini dilakukan kajian untuk mendukung keberhasilan pemuliaan mutasi dan prospeknya untuk menghasilkan kultivar baru TPT unggul di Indonesia sehingga dapat memenuhi kebutuhan hijauan di Indonesia.

PEMULIAAN MUTASI

Pemuliaan mutasi pertama kali disampaikan oleh (Freisleben & Lein 1944), merujuk pada induksi yang disengaja dalam mengembangkan galur mutan untuk memperbaiki tanaman. Istilah ini juga digunakan dalam arti yang lebih luas termasuk eksploitasi dan mutan spontan, serta dalam setiap pengembangan varietas yang memiliki mutasi dari sumber apapun. Istilah pemuliaan mutasi menjadi populer karena menerangkan bagaimana usaha pemulia dan teknik-teknik khusus yang mereka gunakan dalam menciptakan dan memanfaatkan variasi yang diinginkan untuk mengembangkan galur unggul dan varietas budidaya (Foster & Shu 2011).

Metode pemuliaan mutasi untuk merakit varietas baru, dilakukan dengan cara menghasilkan dan memanfaatkan variabilitas genetik melalui mutagenesis kimia dan fisik. Pemuliaan mutasi merupakan salah satu dari tiga pilar pemuliaan tanaman modern, selain pemuliaan melalui rekombinan dan transgenik. Pemuliaan mutasi lebih mengeksplorasi kemajuan dalam genomik untuk memilih galur yang diinginkan secara genotif dibandingkan fenotif (Shu et al. 2012). Pemuliaan mutasi cukup unik dalam beberapa aspek sehingga sangat penting untuk memahami prinsip dan aplikasi pemuliaan mutasi dalam perbaikan tanaman. Beberapa prinsip pengertian yang perlu diperhatikan dalam pemuliaan mutasi diantaranya adalah mutagenesis, mutasi dan mutan.

Mutagenesis adalah proses dimana informasi genetik suatu organisme diubah secara stabil atau proses dimana mutasi itu dihasilkan. Hal ini terjadi karena adanya kesalahan dalam perbaikan DNA, mutagenesis dapat dilakukan dengan cara fisik, kimia dan biologis. Mutasi awalnya didefinisikan sebagai perubahan tiba-tiba yang diwariskan dalam materi genetik yang tidak disebabkan oleh rekombinasi atau segregasi. Perubahan tiba-tiba digunakan untuk membedakan antara perubahan halus yang dapat dijelaskan oleh proses rekombinasi yang normal. Namun, mutasi pada tingkat sekuens gen (genotipe) dapat menyebabkan perubahan fenotip yang kecil dan halus yang mungkin tidak segera terlihat dan ini sekarang dapat dideteksi menggunakan teknik molekuler (Shu et al. 2012).

Mutasi berkaitan dengan materi genetik, sehingga setiap bagian seluler yang di dalamnya terdapat DNA seperti nukleus, mitokondria dan plastida dapat terjadi mutasi. Mutasi telah diklasifikasikan oleh para peneliti, salah satunya adalah menurut Van Harten (1998) yang membagi klasifikasi menjadi 1) inti dan ekstra-inti mutasi, 2) mutasi spontan dan buatan, 3) makro dan mikro mutasi, 4) mutasi fenotipik. Klasifikasi mutasi yang lebih sederhana dan menarik bagi pemulia saat ini digolongkan menjadi mutasi yang terjadi di DNA pada inti sel (nukleus) dan pada organel sitoplasma. Mutasi pada inti sel terbagi menjadi mutasi di genom, kromosom dan gen (Lundqvista et al. 2011).

Mutasi gen biasanya terjadi pada jumlah dan komposisi gen, sedangkan mutasi kromosom biasanya terjadi pada set kromosom. Perubahan pada set kromosom ini disebut *aneuploid*, termasuk di dalamnya adalah terjadi penambahan atau pengurangan satu atau lebih kromosom atau bagian kromosom. Mutasi genom biasanya disebut juga sebagai mutasi ploidi, biasanya terjadi pengurangan pada jumlah ploidi seperti dari diploid menjadi haploid. Mutasi genom juga bisa terjadi dengan bertambahnya ploidi (*polyploidy*), baik terjadinya duplikasi (*autopolyploid*) atau penambahan genom (*allopolyploid*). Contoh tanaman yang mengalami

poliploidy adalah pada tanaman pisang, semangka dan apel (*triploid*) dan tanaman lainnya.

Individu tanaman yang terjadi mutasi disebut mutan dan dapat diidentifikasi menggunakan cara molekuler atau secara fenotipe. Berbagai jenis mutan dapat dihasilkan menggunakan mutagenesis buatan, atau dikenal dengan induksi mutasi (Shu et al. 2012). Agen mutagenik yang digunakan untuk mutasi induksi disebut mutagen, sehingga faktor apapun yang meningkatkan frekuensi mutasi di atas level spontan disebut sebagai mutagen. Secara umum mutagen yang digunakan terbagi menjadi 2 grup besar, yaitu mutagen fisik dan kimia (Maluszynski et al. 2017).

Mutagen fisik

Penggunaan mutagen fisik selama 80 tahun terakhir, terutama sinar gamma dan radiasi pengion lain seperti partikel alfa, beta dan neutron banyak digunakan untuk menghasilkan keragaman pada tanaman, dan sekitar 70% dari varietas mutan yang dihasilkan dirakit menggunakan mutagen fisik (Mba et al. 2012). Radiasi pengion merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang dan karakteristik yang berbeda. Panjang gelombang sinar gamma 0,001 nm, sinar X 10 nm dan radiasi ultra violet 100-300 nm. Radiasi ini akan mengakibatkan kerusakan pada komponen seluler dan menginduksi perubahan DNA. Efek ini disebut dengan efek langsung, karena terjadi interaksi langsung antara energi langsung dengan DNA. Selain efek langsung, radiasi juga mengakibatkan efek tidak langsung pada abnormalitas DNA, dimana DNA akan berinteraksi dengan molekul yang sangat reaktif seperti ion, radikal bebas, atau molekul tereksitasi, yang dihasilkan oleh energi dari radiasi pengion. Sekitar 65% kerusakan DNA disebabkan oleh radikal hidroksil, sisanya diakibatkan oleh ionisasi langsung. Radiasi pengion ini dapat menyebabkan abnormalitas DNA secara luas yang akan muncul pada fenotipe akibat terjadinya mutasi gen dan penyimpangan kromosom (Maluszynski et al. 2017).

Sinar gamma dan sinar X merupakan mutagen fisik yang sering digunakan secara luas. Sinar gamma biasanya diperoleh dari peluruhan radioisotop Cobalt (Co^{60}), Cesium (Cs^{137}) dan sedikit Plutonium (Pu^{239}). Sumber-sumber sinar gamma yang mengandung salah satu radioisotop itu biasanya dipasang sebagai *irradiator gamma cell* (Mba 2013). Sinar-sinar yang berasal dari sumber radioaktif seperti Co^{60} dan Cs^{137} , menjadi umum digunakan secara luas, karena tersedia di banyak negara-negara berkembang melalui kerjasama dengan IAEA (Pathirana 2011). Sinar gamma memiliki efek langsung akibat deposit energi pengion dan efek tidak langsung dengan menghasilkan spesies oksigen reaktif (ROS) (Fan et al. 2014). Jika

ROS dan molekul abnormal yang dihasilkan oleh ionisasi ini meningkat dan menumpuk di dalam sel, dapat mengakibatkan kerusakan signifikan pada struktur sel dan kematian sel (Nishiguchi et al. 2012). Mutagen fisik selain sinar gamma atau sinar- X, diantaranya adalah neutron dan sinar ultraviolet (UV). Iradiasi neutron mempengaruhi struktur DNA, merusak basa nitrogen, substitusi nukleotida tunggal, serta terjadi penyisipan dan duplikasi gen (Li et al. 2016).

Penggunaan mutagen fisik ini terus berkembang, penggunaan sinar ion (*ion beam*) baik melalui implantasi atau iradiasi menjadi jenis mutagen fisik baru yang efisien dan menghasilkan variasi fenotip yang signifikan pada tanaman (Dong et al. 2016). Ion bermuatan positif dipercepat pada kecepatan tinggi (sekitar 20% - 80% dari kecepatan cahaya) dan membentuk radiasi linear energi transfer (LET). Nilai LET pada *ion beam* lebih tinggi dan memiliki deposit energi lebih tinggi jika dibandingkan sinar gamma (Tanaka et al 2015), sehingga dosis yang rendah pada *ion beam* akan memberikan efek yang besar jika dibandingkan dengan sinar gamma (Miyagi et al 2018). Radiasi LET ini menyebabkan efek biologis yang signifikan, seperti kerusakan kromosom (Liu et al 2013).

Perkembangan selanjutnya dari penggunaan mutagen fisik adalah dengan mempelajari seluk-beluk induksi mutasi di ruang angkasa, dengan mengirim bahan tanaman ke luar angkasa. Percobaan ini mengasumsikan bahwa lingkungan khusus ruang angkasa, seperti radiasi kosmik, gaya berat mikro, medan geomagnetik yang lemah dan faktor lainnya dapat menjadi agen potensial induksi mutasi (Kharkwal 2012). Contoh percobaan mutasi di luar angkasa ini adalah percobaan yang dilakukan oleh Shun-wu (2013) yang menemukan adanya keragaman pada tinggi dan waktu berbunga padi varietas Huhan 3 dan 7 setelah bijinya dibawa ke ruang angkasa. Namun, demikian pengetahuan tentang genetika yang mendasari mutagenesis *aerospace* masih perlu dipelajari lebih banyak.

Dosis yang tepat merupakan faktor penting dalam iradiasi dan dosis ini tergantung pada faktor intensitas radiasi dan durasi paparan. Jenis paparan bisa berbentuk kronis atau akut sehingga kualitas mutasi tidak selalu berkorelasi positif dengan tingkat dosis. Oleh karena itu, hal terpenting dalam mutasi adalah menentukan dosis yang tepat untuk suatu tanaman (Ulukapi & Ozmen 2018). Dosis iradiasi yang sering direkomendasikan adalah dosis yang mengurangi pertumbuhan dan kinerja morfogenik sampai 50% (LD_{50}) dibandingkan dengan kontrol (Suprasanna et al. 2011).

Dosis LD_{50} dipilih karena dapat menyebabkan sejumlah besar mutasi di setiap tanaman. Namun demikian dosis ini bisa mengakibatkan taraf mutasi

yang diinginkan hilang, karena terjadi kematian pada tanaman atau kinerja agronomi yang buruk secara turun-temurun setelah mutagenesis. Oleh karena itu, tingkat mutasi menggunakan taraf LD yang lebih rendah (mis. LD₂₀) dengan tingkat kelangsungan hidup 80% tampaknya lebih tepat untuk pemuliaan mutasi pada spesies tanaman (Oladosu et al. 2015). Dosis mutagenik untuk menambahkan sifat-sifat baru ke latar belakang genetik yang sudah berkualitas tinggi, seperti varietas atau galur pemuliaan elit harus agak rendah (Suprasanna et al. 2011).

Mutagen kimia

Mutagen kimia menjadi populer karena mudah digunakan dan tanpa memerlukan fasilitas yang rumit, serta menghasilkan mutasi lebih banyak dibandingkan dengan modifikasi yang tidak diinginkan (Gnanamurthy et al. 2014). Mutagen kimia cenderung menginduksi mutasi gen, polimorfisme nukleotida tunggal (SNP) daripada mutasi kromosom. Mutagen kimia yang paling banyak digunakan adalah kelompok zat alkilasi, senyawa ini bereaksi dengan DNA dengan cara alkilasi kelompok fosfat serta purin dan pirimidin. Lebih dari 80% varietas tanaman mutan baru yang terdaftar di *International Atomic Energy Database Asosiasi* (IAEA) yang diperoleh melalui mutagenesis kimia diinduksi oleh agen alkilasi. Dari jumlah tersebut, tiga senyawa yang banyak digunakan adalah: etil metana sulfonat (EMS), 1-metil-1-nitrosourea dan 1-etil-1-nitrosourea.

Etil metana-sulfonat (EMS) secara selektif memurnikan purin khususnya guanin yang menyebabkan basa timin di atas residu sitosin yang berlawanan dengan O-6-etil guanin selama replikasi, yang menghasilkan mutasi titik secara acak (Sikora et al. 2011). Penggunaan EMS juga dapat meningkatkan sifat-sifat penting secara agronomis, seperti peningkatan laju fotosintesis pada daun dan pengurangan sel interveinal mesofil (Feldman et al. 2014). Mutan yang dihasilkan melalui induksi EMS telah menghasilkan tanaman toleran kekeringan (Mohapatra et al. 2014) dan efisiensi fotosistem II yang lebih tinggi (Poli et al. 2013), mutagenesis EMS juga digunakan dalam studi genetika terbalik untuk mengidentifikasi fungsi gen (Xu et al. 2017).

Mutagen kimia yang sering digunakan selain EMS adalah N-methyl-N-nitrosourea (MNU) dan sodium azide. Mutagen MNU adalah agen alkilasi monofungsional dan menghasilkan reaktivitas tinggi dengan atom oksigen dalam molekul DNA. Mutasi dimulai dengan penambahan gugus alkil ke basa nitrogen, terutama guanin dan sitosin. Induksi MNU, mendorong transisi G/C ke A/T melalui ketidaksesuaian dengan timin selama replikasi DNA (Viana et al. 2019). Penggunaan MNU pada tanaman

ditujukan untuk meningkatkan hasil (Itoh et al. 2017), peningkatan nilai nutrisi dan metabolisme tanaman (Sakata et al. 2016). Mutagen *sodium azide* adalah senyawa ionik yang melakukan mutasi melalui metabolit organik (analog dengan L-azidoalanine) dari senyawa azida yang dihasilkan oleh enzim O-asetilserin sulfhidrilase (Gruszka et al. 2012). Metabolit ini memasuki inti sel dan berinteraksi dengan DNA, menciptakan mutasi titik dalam genom. *Sodium azide* pada padi menyebabkan transisi dari G/C ke A/T dan sekuens serupa di lokasi mutasi diidentifikasi sebagai 5'-GGR-3 (Tai et al. 2016). Mutagen kimia selain EMS dan MNU adalah *colchicine*, berfungsi untuk menggandakan kromosom atau dikenal dengan meningkatkan ploidi, peningkatan ploidi cenderung meningkatkan hasil, karena terjadinya peningkatan organ tanaman (Viana et al. 2019). Peningkatan ploidi juga cenderung meningkatkan toleransi tanaman padi di lahan salin (Tu et al. 2014).

Faktor yang mempengaruhi efektivitas penggunaan mutagen kimia adalah konsentrasi mutagen, lamanya perendaman dan suhu di mana percobaan dilakukan. Selain itu, penyimpanan yang tepat untuk mutagen kimia menjadi hal penting untuk diperhatikan. Mutagen kimia umumnya bersifat karsinogenik sehingga perlu penanganan yang lebih baik, untuk melindungi kesehatan selama melakukan penelitian.

Penggunaan mutagen fisik dan kimia

Penggunaan mutagen fisik maupun mutagen kimia memiliki kelebihan dan kekurangan. Salah satu keuntungan utama menggunakan mutagenesis fisik dibandingkan dengan mutagenesis kimia adalah tingkat akurasi dan reproduktifitas yang tinggi, terutama untuk sinar gamma, yang memiliki daya tembus yang seragam dalam jaringan (Yamaguchi et al. 2003).

Namun demikian, penggunaan mutagen fisik maupun kimia, mempunyai peranan penting dalam meningkatkan keragaman pada spesies tanaman, karena pada mutasi spontan, frekuensi mutasi yang terjadi sangat rendah (Stearns & Fenster 2016). Mutasi induksi juga memungkinkan keragaman kultivar, yang penting secara ekonomi dengan hanya merubah beberapa gen yang diinginkan dengan tetap mempertahankan gen penting atau *genetic background* tanaman tersebut (Pérez-Jiménez & Pérez-Tornero 2020).

Pemikiran awal mengenai jenis mutagen fisik dan kimia adalah menyebabkan hasil yang beda terhadap proses mutasi yang dihasilkan. Mutagen kimia biasanya ditujukan untuk mutasi yang sifatnya tidak menghasilkan perubahan yang besar atau dikenal dengan mutasi titik, sedangkan mutagen fisik diperuntukan untuk perubahan mutasi yang sifatnya besar, seperti perubahan kromosom. Namun fakta

sekarang, menunjukkan bahwa perubahan mutasi tersebut ditentukan oleh dosis dan paparan, bukan dari jenis mutagen itu sendiri. Sehingga penentuan dosis yang optimal untuk melakukan mutasi induksi menjadi lebih penting ketika akan melakukannya dalam skala yang lebih luas (Mba 2013).

Keberhasilan teknik mutasi menggunakan mutagen fisik dan kimia tidak hanya ditentukan oleh jenis dari mutagennya, namun lebih ditentukan oleh dosis dan paparan mutagen tersebut, selain itu penggunaan jenis mutagen juga lebih ditentukan oleh tujuan dari mutasi yang akan dilakukan.

PEMULIAAN MUTASI PADA TPT

Teknik mutasi dapat dilakukan untuk memperbaiki TPT sesuai dengan tujuan yang diinginkan. Pemuliaan mutasi dilakukan untuk menghasilkan varietas unggul TPT dilihat dari aspek, berikut: peningkatan produksi/hasil panen, toleransi terhadap cekaman biotik maupun abiotik, peforman/bentuk tanaman, reproduksi tanaman dan sifat agronomi lainnya.

Peningkatan produksi/hasil panen

Pemuliaan mutasi digunakan oleh para peneliti untuk meningkatkan produksi tanaman atau hasil panen. Potensi hasil yang tinggi dan stabil dalam kondisi lingkungan tertentu merupakan tujuan yang penting dalam program pemuliaan tanaman. Produksi tanaman/hasil panen merupakan sifat yang kompleks dan sangat dipengaruhi oleh sifat lain, sehingga agak sulit untuk meningkatkan potensi hasil panen yang baik pada tanaman yang sebelumnya merupakan hasil pemuliaan tanaman yang intensif. Namun bagi spesies

baru untuk pertanian atau yang dihasilkan dari pemuliaan yang terbatas seperti tanaman obat, herba atau TPT, dapat ditingkatkan potensi hasilnya dengan membentuk ideotipe tanaman yang baru, misal dengan merubah tinggi tanamannya (Shu et al. 2012).

Peningkatan hasil panen akibat pemuliaan mutasi pada TPT dapat dilihat pada Tabel 1. Tanaman pakan ternak yang dimutasi menunjukkan peningkatan produktivitas hijauan. Peningkatan produktivitas akibat induksi mutasi bervariasi antar spesies TPT. Rumput benggala (*Panicum maximum*) yang diinduksi sinar gamma mengalami peningkatan sekitar 79% jika dibandingkan dengan kontrolnya sedangkan rumput gajah yang diradiasi menggunakan sinar gamma mengalami peningkatan produksi hijauan sebesar 25,11%. Hal ini menunjukkan bahwa mutagenesis adalah alat yang potensial untuk digunakan dalam perbaikan produktivitas tanaman pakan ternak.

Peningkatan ketahanan TPT terhadap cekaman biotik

Pemuliaan mutasi merupakan salah satu metode untuk memperoleh TPT yang tahan terhadap cekaman biotik. Mejri et al. (2018) melaporkan bahwa penggunaan teknik radiasi menggunakan sinar gamma telah menghasilkan genotipe baru kacang Babi (*Vicia faba* L) yang tahan terhadap parasit tanaman *Broomrape* (*Orobancha* spp). Ketahanan ini diakibatkan oleh meningkatnya aktivitas peroksidase, polifenol oksidase dan ammonia-lyase fenilalanin pada kacang babi yang memperoleh induksi sinar gamma pada dosis rendah (150 gy). Penggunaan radiasi juga dapat menurunkan infeksi mikroorganisme pada tanaman *Tall fescue* (Amirikha et al. 2019).

Tabel 1. Peningkatan produksi beberapa spesies tanaman pakan ternak melalui mutasi

Spesies TPT	Produksi		Peningkatan (%)	Mutagen	Benih yang dimutasi	Referensi
	Tanpa mutasi	Mutasi				
<i>Brachiaria brizantha</i> (ton/ha)	0,69	2,55	269	Sinar gamma	biji	Respati et al. 2018
Rumput benggala (<i>Panicum maximum</i>) (g/rumpun)	26,47	47,61	79,86	Sinar gamma	biji	Fanindi et al. 2016
Rumput gajah (segar) (g/rumpun)	438	548	25,11	EMS	setek	Munasik et al. 2012
Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>) (g/pohon)	185,63	211,34	13,85	Sinar gamma	biji	Shen et al. 2020
Bahia grass (<i>Paspalum notatum</i> cv Argentine) (g/rumpun)	0,91	1,64	80,22	Sinar gamma	biji	Rios et al. 2013

Penggunaan mutasi untuk menghasilkan genotipe tahan terhadap cekaman biotik, juga diduga karena radiasi sinar gamma berpengaruh terhadap jalur biosintesis tanaman, sehingga mengakibatkan terakumulasinya metabolit sekunder yang merupakan representatif dari ketahanan tanaman terhadap cekaman biotik maupun abiotik (Vardhan & Shukla 2017).

Stres biotik terutama penyakit disebabkan oleh jamur, bakteri, virus, sementara kerusakan pada tanaman disebabkan oleh hama seperti serangga, hewan, nematoda dan gulma. Metode pemuliaan mutasi telah cukup berhasil dalam meningkatkan ketahanan terhadap penyakit tanaman. Penyakit melibatkan interaksi yang kompleks antara tanaman inang dan patogen. Mutasi diinduksi dapat mengubah interaksi dan menghambat langkah-langkah tertentu dalam mekanisme infeksi. Banyak mutan telah dikembangkan melalui induksi mutasi, Rekayasa genetika memiliki peluang besar untuk memperbaiki sifat tanaman seperti ketahanan terhadap hama dan penyakit tanaman. Teknik rekayasa genetika telah digunakan dalam upaya perbaikan sifat tanaman untuk ketahanan terhadap cekaman biotik (Herman 2010). *Genome editing* merupakan teknologi terbaru untuk merakit tanaman unggul tahan terhadap hama penyakit tanaman (Bahagiawati et al. 2019). Stress biotik dapat diatasi dengan bioteknologi seperti, mutagenesis *in vitro* serta transformasi genetika. (Roy et al. 2016).

Peningkatan toleransi TPT terhadap cekaman abiotik

Cekaman abiotik merupakan kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan bagi tanaman, seperti salinitas tanah, pH ekstrim, kekurangan dan kelebihan air, serta iklim. Respon tanaman terhadap stress abiotik berbeda-beda. Pendekatan yang digunakan dalam program ini terkadang cukup sederhana. Sebagai contoh, tanaman M2 padi ditaburkan di sawah salin tinggi dan kalus M1 ditransplantasikan pada medium dengan konsentrasi garam tinggi (Lee et al. 2003) untuk menghasilkan galur mutan yang toleran salin. Pendekatan yang lebih kompleks perlu dilakukan ketika saat ini terjadi ancaman pemanasan global dan perubahan iklim karena akan memaksa tanaman beradaptasi dengan lingkungan yang baru. Salah satu langkah yang dapat dilakukan adalah eksplorasi sumber daya genetika (SDG) yang dilanjutkan dengan perakitan varietas unggul baru tanaman pakan ternak (TPT) adaptif pada perubahan iklim (Harmini & Fanindi 2020).

Beberapa gen berperan dalam mekanisme toleran cekaman abiotik. Sebagai contoh gen prekursor MicroRNA156 (miR156) pada alfalfa mampu meningkatkan kandungan protein dan produksi biomassa pada kondisi stress kekeringan dan

peningkatan kadar garam (Wang et al. 2021), sementara gen TaSnRK2 pada gandum mampu meningkatkan produksi biji dengan beberapa toleransi stress, sehingga seleksi dengan bantuan penanda harus dilakukan untuk meningkatkan frekuensi alel yang menguntungkan pada perbaikan gandum (MIAO et al. 2021). Pada kondisi stress tekanan osmotik pada bibit jagung Gen ZmATG8 dan ZmATG12 melakukan aktivasi transkripsi sehingga membuka peluang studi lebih lanjut tentang protein ATG (Tejeda et al. 2020).

Pemilihan metode pemuliaan *in vitro* untuk mendapatkan tanaman toleran abiotik tergantung pada variasi somaklonal yang dihasilkan (Maleki et al. 2019). Metode selain *in vitro*, penentuan sensitivitas benih terhadap iradiasi sinar gamma harus akurat untuk menentukan dosis yang sesuai dalam menghasilkan mutan yang diinginkan (Pérez-Jiménez et al. 2020). Sejumlah besar genotipe yang memiliki potensi bermanfaat telah dihasilkan baik dari penelitian pemuliaan mutasi maupun program pemuliaan konvensional dan tersedia dalam koleksi plasma nutfah, seperti toleransi terhadap dingin, panas, panjang hari dan kekeringan.

Kualitas nutrisi

Kualitas TPT biasanya mengacu pada komposisi senyawa organik yang diproduksi dan disimpan oleh tanaman, seperti pati, protein, asam lemak, vitamin, maupun senyawa yang lain. Pemuliaan tanaman berpengaruh terhadap pengembangan varietas yang meningkatkan nutrisi dan akan memperbaiki produktivitas ternak (Kingston-Smith et al. 2013). Disamping hasil, nilai nutrisi dari tanaman pakan ternak (TPT) adalah tujuan utama dari pemuliaan tanaman. Pada legum indikator peningkatan kualitas melalui pemuliaan adalah peningkatan kandungan protein dan pencernaan bahan kering, namun perlu diperhatikan kandungan karbohidrat struktural (NDF dan ADF) dan non struktural (pati) (Vasiljevic et al. 2009). Pemuliaan pada *red clover* (*Trifolium pretense* L.) berkorelasi positif dengan keragaan agronomis dan kualitas tanaman kecuali kandungan NDF dan ADF dalam bahan kering (Tucak et al. 2013). Sorgum mutan (G5 dan G8) hasil iradiasi sinar gamma mempunyai kandungan NDF (52,56 dan 53,25%), ADF (30,53 dan 31,39%) dibanding varietas lokal Pahat NDF dan ADF masing-masing 50,18 dan 27,14% yang berpengaruh terhadap produksi gas optimal dan pencernaan *in vitro* dibanding varietas lokal (Wahyono et al. 2019). Biosintesis lignin di alam dapat meningkatkan kompleksitas karena stress dari faktor biotik maupun abiotik yang berpengaruh pada pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Moura et al. 2010). Ratan sorgum hasil mutan mempunyai kandungan bahan kering yang lebih rendah dibanding tanaman utama

(Vinutha et al. 2017). Untuk meningkatkan kualitas dan hasil TPT, penelitian ke depan perlu melibatkan genomik dan bioinformatik melalui pengeditan gen (Capstaff & Miller 2018). Perbaikan produksi tanaman dan perbaikan pencernaan dinding sel tidak hanya berhubungan dengan pencernaan dinding sel, tetapi juga berhubungan dengan genetik tanaman secara komprehensif (Barrière et al. 2005).

Morfologi tanaman

Morfologi tanaman merupakan aspek yang penting dalam pemuliaan tanaman. Jumlah cabang pada tajuk yang tinggi dengan pertumbuhan yang baik, serta pertumbuhan kembali yang tinggi memiliki persistensi yang tinggi pada tanaman pakan ternak (Van Minnebruggen et al. 2011). Pada awal pembungaan, tanaman membutuhkan suhu lebih rendah dan ketersediaan air, sehingga kekurangan air akan berpengaruh terhadap performa tanaman, *light interception*, biomassa dan kandungan biji (Trethewey 2015). Panjang daun merupakan faktor yang dapat mempengaruhi produksi hijauan. Panjang daun sangat dipengaruhi oleh lingkungan mikro, termasuk interaksinya dengan organ lain, sehingga perlu diestimasi nilai (Barre et al. 2015). Arsitektur akar

yang berbeda berpengaruh terhadap strategi pertumbuhan akar tanaman yang terkait dengan kemampuan tanaman dalam menerima dan menyumbangkan N (Pirhofer-Walzl et al. 2012). Jumlah cabang, pola percabangan dan diameter akar dikendalikan oleh faktor genetik yang kompleks yang akan memodulasi pertumbuhan dan respon perkembangan dalam menanggapi faktor lingkungan (Manikanta et al. 2020). Pada *Medicago sativa* pengaruh lingkungan memiliki dampak yang lebih besar terhadap kualitas tanaman dibanding faktor genetik (Pecetti et al. 2017). Perubahan morfologi akibat mutasi sinar gamma juga terjadi pada rumput gajah cv Taiwan (Gambar 1). Perubahan morfologi terjadi pada tinggi tanaman, ukuran batang dan jumlah anakan yang lebih banyak (Harmini et al. 2020)

Maturity

Panen pada fase *maturity* (dewasa generatif) menyebabkan penurunan pada kualitas hijauan kandungan PK dan TDN (Turk & Albayrak 2019). Waktu panen yang tepat sorgum untuk silase adalah sebelum masak fisiologis karena mempunyai kandungan bahan kering yang tinggi dan produksi CO₂ rendah (Atis et al. 2013). Pada fase awal berbunga dan



Gambar 1. Perubahan morfologi rumput gajah cv Taiwan setelah mendapatkan radiasi sinar gamma (koleksi pribadi Balitnak)

berbunga pada pemotongan pertama, TPT mempunyai pencernaan bahan kering tertinggi (Østrem et al. 2013). Pengembangan varietas yang lebih cepat masak pada kedelai mampu meningkatkan produksi biji dan pakan ternak sebesar 2,2% (Tefera et al. 2009). Jagung hibrida mempunyai kandungan nutrisi dan karakteristik agronomi yang berbeda, pada awal *maturity* berat biji, pencernaan bahan kering, pencernaan NDF nya lebih tinggi pada jagung hibrida dibandingkan dengan jagung biasa, serta dapat meningkatkan performa ternak (Hetta et al. 2012).

Peran induksi mutasi dalam menghasilkan tanaman yang memiliki *maturity* lebih awal/genjah telah banyak dilaporkan. Varietas barley Mari dari Swedia merupakan salah satu varietas hasil mutan yang genjah (Shu et al. 2012). Varietas genjah sangat penting pada daerah-daerah subtropis atau daerah kering, karena memungkinkan tanaman untuk berproduksi lebih awal sebelum terjadi musim dingin/es atau musim kering. Penggunaan induksi mutasi juga dilakukan untuk menghasilkan tanaman-tanaman genjah di Indonesia seperti pada kedelai (Asadi 2013), padi lokal (Warman et al. 2015); (Haris et al. 2017) dan (Sobrizal 2017). Induksi mutasi pada TPT untuk tanaman genjah, ditujukan agar tanaman lebih cepat dalam pertumbuhan dan produksi hijauannya lebih tinggi. Induksi mutasi memungkinkan untuk mendapat varietas TPT yang genjah, karena terbukti bisa menghasilkan varietas tanaman lain yang genjah. Induksi mutasi untuk memperoleh TPT genjah juga dapat diarahkan pada TPT yang menghasilkan benih dalam bentuk biji, sehingga dalam waktu singkat diperoleh benih yang diinginkan, dengan tetap memperhatikan produksi hijauan yang dihasilkan.

Masa depan pemuliaan mutasi TPT di Indonesia

Pemuliaan TPT merupakan kegiatan untuk memperbaiki karakter tanaman yang dapat diturunkan pada generasi selanjutnya. Sampai saat ini, pemuliaan TPT di Indonesia belum berkembang dibanding dengan tanaman utama lainnya seperti tanaman pangan maupun perkebunan. Umumnya, rumput untuk TPT diseleksi melalui pemuliaan konvensional. Dan menunggu perkembangan tanaman secara asexual maupun seksual mempunyai kelemahan dalam hal akurasi dan waktu yang cukup lama (Nuraida 2012). Perlakuan induksi mutasi dengan radiasi sinar gamma di Indonesia baru dilakukan terbatas pada satu atau dua jenis tanaman pakan. Masih terbuka luas pemanfaatan teknologi induksi mutasi untuk mempercepat diperoleh varietas unggul baru. Selain itu, teknologi sekuensing dan seleksi genom (SG) juga diperlukan untuk menunjang program pemuliaan tanaman mutasi, sehingga menjadi efektif dan efisien (Tasma 2016),

karena mempercepat waktu seleksi, kualitas dan keakuratan hasil (Hayes et al. 2013). Keberadaan marka sangat membantu pemuliaan mutasi juga dapat mengatasi kendala yang sering muncul pada pemuliaan konvensional terutama untuk seleksi karakter kualitatif yang dikendalikan oleh gen resesif dan seleksi untuk karakter kuantitatif (Azrai 2016). Penggunaan induksi mutasi untuk menghasilkan TPT toleran lahan dengan cekaman biotik maupun abiotik yang banyak terjadi di Indonesia akan semakin terarah dan cepat, karena dapat dibantu oleh seleksi dengan penanda genetik (molekuler) yang terikat pada sifat – sifat yang diinginkan..

KESIMPULAN

Pemuliaan melalui induksi mutasi untuk menghasilkan varietas baru TPT yang unggul dapat dilakukan. Pemuliaan mutasi dapat menghasilkan keragaman yang tinggi sehingga memungkinkan peneliti untuk melakukan seleksi sesuai tujuan pemuliaan. Varietas baru TPT dapat diarahkan untuk meningkatkan produktivitas, meningkatkan kemampuan toleransi TPT pada kondisi biotik maupun abiotik, serta memperbaiki performa tanaman. Pemuliaan mutasi juga memiliki prospek yang baik dengan dukungan bioteknologi seperti teknologi sekuensing, penanda genetik, dan seleksi genom sehingga akan lebih akurat dan keberhasilan untuk menghasilkan varietas baru TPT lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin N, Human S, Triosoemaningtyas T. 2014. Keragaman genetik gandum populasi mutan M3 di agroekosistem tropis. J Ilmu Aplikasi Isotop Radiasi. 10:35–44.
- Amirikhaha R, Etemadia N, Mohammad R, Sabzalianb M, Nikbakhta A, Eskandari A. 2019. Physiological consequences of gamma ray irradiation in tall fescue with elimination potential of *Epichloë* fungal endophyte. *Ecotoxicol Environ Saf.* 182.
- Asadi. 2013. Pemuliaan mutasi untuk perbaikan terhadap umur dan produktivitas pada kedelai. J AgroBiogen. 9:135–142.
- Atis I, Duru M, Konuskan O, Gozubenli H. 2013. Effects of plant maturity stage on silage quality of some silage sorghum cultivars Effects of plant maturity stage on silage quality of some silage sorghum cultivars. J Food Agric Environ. 11:534–537.
- Azrai M. 2016. Pemanfaatan markah molekuler dalam proses seleksi pemuliaan tanaman. J AgroBiogen. 1:26–37.

- Bahagiawati B, Satyawan D, Santoso TJ. 2019. Tanaman hasil genome editing dan tantangan pengaturan keamanannya di Indonesia. *J AgroBiogen*. 15:93–106.
- Barre P, Turner LB, Escobar-gutiérrez AJ. 2015. Leaf length variation in perennial forage grasses. *Agriculture*. 5:682–696.
- Barrière Y, Alber D, Dolstra O, Lapierre C, Motto M, Ordas A, Van Waes J, Vlasminkel L, Welcker C, Monod JP. 2005. Past and prospects of forage maize breeding in Europe. I. The grass cell wall as a basis of genetic variation and future improvements in feeding value. *Maydica*. 50:259–274.
- Capstaff NM, Miller AJ. 2018. Improving the yield and nutritional quality of forage crops. *Front Plant Sci*. 9:1–18.
- Dong X, Yan X, Li W. 2016. Plant mutation breeding with heavy ion irradiation at IMP. *J Agric Sci*. 8:34–41.
- Fan J, Shi M, Huang J, Xu J, Wang Z, Guo D. 2014. Regulation of photosynthetic performance and antioxidant capacity by ^{60}Co γ -irradiation in *Zizania latifolia* plants. *J Environ Radioact*. 129:33–42.
- Fanindi A, Sutjahjo S, Aisyah S, Purwantari ND. 2016. Characteristic morphology and genetic variability of Benggala grass (*Panicum maximum* cv Purple guinea) through gamma ray irradiated on acid land. *JITV*. 21:205–214.
- Fanindi A, Sutjahjo SH, Aisyah SI, Purwantari ND. 2019. Morphological characteristics and productivity of Guinea Grass (*Panicum maximum* CV Purple Guinea) irradiated with Gamma-Ray. *Trop Anim Sci J*. 42:97–105.
- Feldman A, Murchie E, Leung H, Baraoidan M, Coe R, Yu S. 2014. Increasing leaf vein density by mutagenesis: laying the foundations for C4 rice. *PLoS One*. 9:e94947.
- Foster B, Shu Q. 2011. Plant mutagenesis in crop improvement: Basic terms and application. In: Shu Q, Foster B, Nakagawa N, editors. *Plant mutant breed biotechnol*. Vienna (Austria): Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture International Atomic Energy Agency. p. 9–21.
- Freisleben R, Lein A. 1944. Möglichkeiten und praktische Durchführung de Mutationszüchtung. *Kühn-Archiv*. 60:21–22.
- Gruszka D, Szarejko I, Maluszynski M. 2012. Sodium azide as a mutagen. in: *Plant mutation breeding and biotechnology*. Wallingford (UK): CABI International.
- Handayati W. 2013. Perkembangan pemuliaan mutasi tanaman hias di Indonesia. *J Ilmu Aplikasi Isotop Radiasi*. 9:67–80.
- Haris A, Boceng A, Tjoneng A. 2017. Pemanfaatan dosis letal efektif radiasi sinar gamma untuk mutan pendek dan genjah padi lokal (ase buluh) sulawesi selatan. *Agroplanta*. 7:1–7.
- Harmini H, Fanindi A. 2020. Strategi adaptasi tanaman pakan ternak terhadap perubahan iklim. *Wartazoa*. 30:201–210.
- Harmini H, Sajimin S, Fanindi A, Husni A. 2020. Keragaan agronomi rumput gajah (*Pennisetum purpureum* cv Taiwan) hasil irradiasi sinar gamma. *JINTP*. 18:62–66.
- Hayes BJ, Cogan NOI, Pembleton LW, Goddard ME, Wang J, Spangenberg GC, Forster JW. 2013. Prospects for genomic selection in forage plant species. *Plant Breed*. 132:133–143.
- Herman M. 2010. Aplikasi teknik rekayasa genetik dalam perbaikan sumber daya genetik tanaman untuk ketahanan cekaman biotik. *Bul Plasma Nutfah*. 16:72–84.
- Hetta M, Mussadiq Z, Gustavsson A, Swensson C. 2012. Effects of hybrid and maturity on performance and nutritive characteristics of forage maize at high latitudes, estimated using the gas production technique. *Anim Feed Sci Technol*. 171:20–30. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2011.09.015.
- [IAEA] International Atomic Energy Agency. 2021. Mutant variety database [Internet]. Available from: <https://mvd.iaea.org/>.
- Itoh Y, Crofts N, Abe M, Hosaka Y, Fujita N. 2017. Characterization of the endosperm starch and the pleiotropic effects of biosynthetic enzymes on their properties in novel mutant rice lines with high resistant starch and amylose content. *Plant Sci*. 258.
- Kingston-Smith AH, Marshall AH, Moorby JM. 2013. Breeding for genetic improvement of forage plants in relation to increasing animal production with reduced environmental footprint. *Animal*. 7:79–88. doi: 10.1017/S1751731112000961.
- Lestari E, Dewi I, Yunita R. 2015. Seleksi galur mutan padi Fatmawati tahan terhadap penyakit blas dan evaluasi karakter agronomi di rumah kaca dan di lahan sawah. *Bul Plasma Nutfah*. 21:79–88.

- Lundqvista U, Franckowiak J, Forster B. 2011. Mutation categories. In: Shu Q, Foster B, Nakagawa H, editors. Plant mutant breed biotechnol. Vienna (Austria): Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture International Atomic Energy Agency. p. 47–56.
- Maleki M, Ghorbanpour M, Nikabadi S. 2019. In vitro screening of crop plants for abiotic stress tolerance. In: Wani SH, editor. Recent Approaches Omi Plant Resil to Clim Chang. Switzerland: Springer. p. 75–91.
- Maluszynski M, Szarejko I, Maluszynski J, Szurman-Zubrzycka M. 2017. Mutation techniques. *Encycl Appl Plant Sci*. 2:215–228.
- Manikanta CHLN, Goud B, Sowndarya K. 2020. Root system architecture-a key to drought tolerance. In: *Adv Agric Biotechnol*. AkiNik Publications AkiNik. 24 hlm.
- Manzanares C, Yates S, Ruckle M, Nay M, Studer B. 2016. TILLING in forage grasses for gene discovery and breeding improvement. *N Biotechnol*. 33:594–603.
- Mba C. 2013. Induced mutations unleash the potentials of plant genetic resources for food and agriculture. *Agronomy*. 3:200–223.
- Mejri S, Saidi M, Mabrouk Y, Belhadj O. 2018. Improving faba bean crop for biotic stress resistance through mutation breeding using gamma irradiation technique (IAEA-CN--263). Vienna (Austria): International Atomic Energy Agency (IAEA).
- Miao L Li, Li Y Ying, Zhang H Juan, Zhang H Ji, Liu X Lin, Wang J Yi, Chang X Ping, Mao X Guo, Jing R Lian. 2021. TaSnRK2.4 is a vital regulator in control of thousand-kernel weight and response to abiotic stress in wheat. *J Integr Agric*. 20:46–54. doi: 10.1016/S2095-3119(19)62830-3.
- Mohapatra T, Robin S, Sarla N, Sheshasayee M, Singh A, Singh K. 2014. EMS induced mutants of upland rice variety Nagina22: generation and characterization. In: *Indian Natl Sci Acad*. 80:163.
- Moura JCMS, Bonine CA V, Viana JOF, Dornelas MC, Mazzafera P. 2010. Abiotic and biotic stresses and changes in the lignin content and composition in plants. *J Integr Plant Biol*. 52:360–376.
- Munasik, Sutrisno CI, Anwar S, Prayitno CH. 2012. The growth, yield and quality of elephant grass (*Pennisetum purpureum*) specific tolerant of acid soils by mutagenesis with ethylmethane sulfonate. *J Anim Prod*. 14:87–91.
- Østrem L, Volden B, Larsen A. 2013. Morphology, dry matter yield and phenological characters at different maturity stages of × *Festulolium* compared with other grass species. *Acta Agric Scand Sect B - Soil Plant Sci*. 63:531–542.
- Pathirana R. 2011. Plant mutation breeding in agriculture. *CAB Rev Perspect Agric Vet Sci Nutr Nat Resour*. 6:1–20.
- Pecetti L, Annicchiarico P, Scotti C, Paolini M, Nanni V, Palmonari A. 2017. Effects of plant architecture and drought stress level on lucerne forage quality. *Grass Forage Sci*. 72:714–722.
- Pérez-Jiménez M, Pérez-Tornero O. 2020. Improved salt-tolerance in *Citrus macrophylla* mutant rootstocks. *Sci Hortic*. 259:1–9.
- Pérez-Jiménez M, Tallón CI, Pérez-Tornero O. 2020. Inducing mutations in *Citrus* spp.: Sensitivity of different sources of plant material to gamma radiation. *Appl Radiat Isot*. 157:1–7.
- Pirhofer-Walzl K, Rasmussen J, Høgh-Jensen H, Eriksen J, Sørengaard K, Rasmussen J. 2012. Nitrogen transfer from forage legumes to nine neighbouring plants in a multi-species grassland. *Plant Soil*. 350:71–84.
- [PVTTP] Pusat Perlindungan Varietas Tanaman dan Perizinan Pertanian. 2021. Sistem informasi database varietas tanaman [Internet]. Available from: aplikasi.pertanian.go.id.
- Rahayu S, Dewi A, Yulidar Y, Wirnas D, Aswidinnoor H. 2013. Analisis stabilitas dan adaptabilitas beberapa galur padi dataran tinggi hasil mutasi induksi. *J Ilmu Aplikasi Isotop dan Radiasi*. 9:81–90.
- Resende, RMS, Casler, MD, Vilela de Resende M. 2013. Selection methods in forage breeding: A quantitative appraisal. *Crop Sci*. 53:1925–1936.
- Respati AN, Umami N, Hanim C. 2018. Growth and production of *Brachiaria brizantha* cv. MG5 in three difference regrowth phase treated by gamma radiation dose. *Trop Anim Sci J*. 41:179–184.
- Rios E, Blount A, Erickson J, Quesenberry K, Altpeter F, Cellon C. 2013. Root and shoot characterization of mutant turf-type bahiagrasses. *Int Turfgrass Soc Res J*. 12.
- Roy AK, Malaviya DR, Kaushal P. 2016. Genetic improvement of fodder legumes especially dual purpose pulses. *Indian J Genet Plant Breed*. 76:608–625.

- Sakata M, Seno M, Matsusaka H, Takahashi K, Nakamura Y, Yamagata Y. 2016. Development and evaluation of rice giant embryo mutants for high oil content originated from a high-yielding cultivar "Mizuhochikara." *Breed Sci.* 66:425–433.
- Shen XH, Jiang C, Zheng W, Feng P, Wang Q, Lai YC. 2020. Mutagen effect on the growth, physiology and microstructure of alfalfa (*Medicago sativa* L). *Appl Ecol Environ Res.* 18:3497–3510.
- Shu Q, Forster B, Nakagawa H. 2012. Principles and applications of plant mutation breeding. In: Shu Q, Foster B, Nakagawa H, editors. *Plant mutant breed biotechnol.* Vienna (Austria): Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture International Atomic Energy Agency. p. 301-326.
- Sobrizal S. 2017. Potensi pemuliaan mutasi untuk perbaikan varietas padi lokal Indonesia. *J Ilmu Aplikasi Isotop Radiasi.* 12:23–36.
- Soedjono S. 2003. Aplikasi mutasi induksi dan variasi somaklonal dalam pemuliaan tanaman. *J Penelitian Pengembangan Pertanian.* 22:70–78.
- Stearns F, Fenster C. 2016. The effect of induced mutations on quantitative traits in *Arabidopsis thaliana*: Natural versus artificial conditions. *Ecol Evol.* 6:8366–8374.
- Tai TH, Chun A, Henry IM, Ngo KJ, Burkart-Wako D. 2016. Effectiveness of sodium azide alone compared to sodium azide in combination with methyl nitrosurea for rice mutagenesis. *Plant Breed Biotech.* 4:453–461.
- Tasma IM. 2016. Pemanfaatan teknologi sekuensing genom untuk mempercepat program pemuliaan tanaman. *J Penelitian Pengembangan Pertanian.* 34:159–168.
- Tefera H, Kamara AY, Dashiell KE. 2009. Improvement in grain and fodder yields of early-maturing promiscuous soybean varieties in the guinea savanna of Nigeria. *Crop Sci.* 49:2037–2042.
- Tejeda LHC, Viana VE, Maltzahn LE, Busanello C, Barros LM, da Maia LC, Costa de Oliveira A, Pegoraro C. 2020. Abiotic stress and self-destruction: ZmATG8 and ZmATG12 gene transcription and osmotic stress responses in maize. *Biotechnol Res Innov.* 3:1–9.
- Trethewey JAK. 2015. Crop architecture and light interception in forage rape (*Brassica napus* L.) grown for seed. *Agron New Zeal.* 39:47–57.
- Tu Y, Jiang A, Gan L, Hossain M, Zhang J, Peng B, Xiong Y, Song Z, Cai D, Xu W, Zhang J, He Y. 2014. Genome duplication improves rice root resistance to salt stress. *Rice.* 7:15.
- Tucak M, Popović S, Čupić T, Španić V, Meglič V. 2013. Raudonojo dobilo (*Trifolium pratense* L.) selekciniu populiaciju ir veisliu derlingumas, pašaro kokybes bei morfologiniu požymiu ivairavimas. *Zemdirbyste.* 100:63–70.
- Turk M, Albayrak S. 2019. Effect of harvesting stages on forage yield and quality of different leaf types pea cultivar. *Turkish J F Crop.* 17:111–114.
- Ulukapi K, Ozmen S. 2018. Study of the effect of irradiation (60 Co) on M 1 plants of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars and determined of proper doses for mutation breeding. *J Radiat Res Appl Sci.* 11:157–161.
- Vardhan P, Shukla L. 2017. Gamma irradiation of medicinally important plants and the enhancement of secondary metabolite production. *Int J Radiat Biol.* 93:767–797.
- Vasiljevic S, Milic D, Mikic A. 2009. Chemical attributes and quality improvement of forage legumes. *Biotechnol Anim Husb Biotechnol Stoc.* 25:493–504.
- Van Harten A. 1998. *Mutation breeding: theory and practical applications.* Cambridge (UK): Cambridge University Press.
- Van Minnebruggen A, Van Bockstaele E, Rohde A, Cnops G. 2011. Morphological variation of plant architecture in red clover (*Trifolium pratense*). *Commun Agric Appl Biol Sci.* 76:215–2.
- Viana V, Pegoraro C, Busanello C, de Oliveira A. 2019. Mutagenesis in rice: the basis for breeding a new super plant. *Front Plant Sci.* 10.
- Vinutha KS, Anil Kumar GS, Blümmel M, Srinivasa Rao P. 2017. Evaluation of yield and forage quality in main and ratoon crops of different sorghum lines. *Trop Grasslands-Forrajes Trop.* 5:40–49.
- Wahyono T, Nugrahini S, Hardani W, Ansori D, Handayani T. 2018. Profil pencernaan *in vitro* tanaman sorgum hasil. In: *Pros Semin Nas APISORA 2018.* p. 9–18.
- Wahyono T, Sugoro I, Jayanegara A, Wiryawan KG, Astuti DA. 2019. Nutrient profile and *in vitro* degradability of new promising mutant lines sorghum as forage in Indonesia. *Adv Anim Vet Sci.* 7:810–818.

- Wang K, Liu Y, Teng F, Cen H, Yan J, Lin S, Li D, Zhang W. 2021. Heterogeneous expression of Osa-MIR156bc increases abiotic stress resistance and forage quality of alfalfa. *Crop J.* [in press].
- Warman B, Sobrizal S, Suliansyah I, Swasti E, Syarif A. 2015. Perbaikan genetik kultivar padi beras hitam lokal sumatera barat melalui mutasi induksi. *J Ilmu Aplikasi Isotop Radiasi.* 11:125–136.
- Xu J, Shi S, Wang L, Tang Z, Lv T, Zhu X. 2017. OsHAC4 is critical for arsenate tolerance and regulates arsenic accumulation in rice. *New Phytol.* 2015:1090–1101.
- Yunus A, Hartati S, Brojokusumojo R. 2017. Performance of Mentik Wangi rice generation M1 from the results of gamma ray irradiation. *Agrosains.* 19:6–14.
- Zhang Y, Zhang D. 2007. Asexual and sexual reproductive strategies in clonal plants. *Front Biol China.* 2:256–262.

Pengembangan Peternakan Ayam Sistem *Free-Range* (Development of Chicken Production on Free-Range System)

Deni Fitra^{1,4}, N Ulupi², II Arief², R Mutia³, L Abdullah³ dan E Erwan⁴

¹Program Studi Ilmu Produksi dan Teknologi Peternakan, Sekolah Pascasarjana, IPB University, Bogor, Indonesia

²Departemen Ilmu Produksi dan Teknologi Peternakan, Fakultas Peternakan, IPB University, Bogor, Indonesia

³Departemen Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan, Fakultas Peternakan, IPB University, Bogor, Indonesia

⁴Program Studi Peternakan, Fakultas Pertanian dan Peternakan, UIN Sultan Syarif Kasim Riau, Riau, Indonesia
Kontributor utama: niken.ulupi@gmail.com

(Diterima 24 Juni 2021 – Direvisi 25 Agustus 2021 – Disetujui 16 September 2021)

ABSTRACT

The free-range system is a current-model of chicken production according to the concept of Animal Welfare. This article aims to discuss how the free-range system was implemented and its effect on health, performance and quality product as well as free-range development strategies as an alternative to chicken production systems. The free-range system must have access to outdoor to express their natural behavior. Based on regulation, the density of chickens in outdoor is a maximum of 10,000 birds/ha. Chickens reared using the free-range system show better welfare indicators, as evidenced by the Heterophil/Lymphocyte (H/L) value and the frequency of their natural behavior. Chicken eggs from the free-range system contain higher levels of protein and carotenoid. It also contains omega-3 & 6, DHA, vitamins A and E and have lower cholesterol level. Chicken meat from the free-range system contains higher protein and lower fat levels. However, the performance of chicken production using free-range system was still not consistent and was greatly influenced by the type of forage in the pasture. The introduction of grazing land with superior forage such as *Indigofera zollingeriana* and choosing kampung or local type of chickens may become development strategies of chicken production in the free range system.

Key words: Free-range system, chicken, animal welfare, performance

ABSTRAK

Sistem *free-range* merupakan model pemeliharaan terkini dari produksi ternak ayam yang sesuai dengan Konsep Kesejahteraan Hewan (*Animal Welfare*). Makalah ini bertujuan untuk membahas tentang bagaimana sistem *free-range* dilaksanakan dan pengaruhnya terhadap kesehatan, performa dan kualitas produk serta strategi pengembangan *free-range* sebagai alternatif sistem produksi ternak ayam. Ayam pada sistem *free-range* harus mendapatkan akses ke padang penggembalaan untuk mengekspresikan tingkah laku alaminya. Berdasarkan regulasi, kepadatan ayam di padang penggembalaan maksimal 10.000 ekor/ha. Ayam yang dipelihara dengan sistem *free-range* menunjukkan indikator kesejahteraan yang lebih baik, dibuktikan dengan nilai Heterofil/Limfosit (H/L) dan frekuensi tingkah laku alaminya. Telur dari sistem *free-range* mengandung protein dan karotenoid yang lebih tinggi, mengandung juga vitamin A dan E, omega-3 dan 6, DHA serta memiliki kandungan kolesterol yang rendah. Daging ayam dari sistem *free-range* mengandung protein yang tinggi dan kandungan lemak yang rendah. Akan tetapi, performa produksi ayam dengan sistem *free-range* masih belum konsisten dan sangat dipengaruhi oleh jenis hijauan di padang penggembalaan. Introduksi lahan penggembalaan dengan hijauan unggul seperti *Indigofera zollingeriana* serta memilih jenis ayam kampung atau ayam lokal menjadi strategi pengembangan peternakan ayam sistem *free-range*.

Kata kunci: Sistem *free-range*, ayam, kesejahteraan hewan, performa

PENDAHULUAN

Menurut UU No.18 tahun 2009, kesejahteraan hewan adalah segala urusan yang berhubungan dengan keadaan fisik dan mental hewan menurut ukuran perilaku alami hewan yang perlu diterapkan dan ditegakkan untuk melindungi hewan dari perlakuan setiap orang yang tidak layak terhadap hewan yang dimanfaatkan manusia. Konsep kesejahteraan hewan mengenal adanya lima kebebasan, yaitu: bebas dari

rasa haus dan kelaparan, bebas dari ketidaknyamanan, bebas dari rasa sakit, bebas untuk mengekspresikan perilaku normal, dan bebas dari rasa takut/tertekan.

Eksplotasi yang sering dilakukan oleh manusia adalah peningkatan jumlah produksi untuk mendapatkan keuntungan yang maksimal, hal ini terjadi pada pemeliharaan ternak unggas secara intensif. Pada pemeliharaan ayam ras petelur (*layer*), 2 ekor ayam ditempatkan dalam kandang (*cage*) kecil yang hanya berukuran 30x30x40 cm³. Begitu juga halnya dengan

ayam pedaging (*broiler*), kandang dengan luas 100 m² bisa dihuni ayam hingga 1.000 ekor. Kondisi tersebut bertujuan untuk memacu peningkatan produksi dengan luas kandang terbatas, jumlah ternak maksimal, mengurangi aktivitas ternak sehingga pakan yang dikonsumsi semata-mata untuk memproduksi. Pemeliharaan intensif banyak diterapkan oleh peternak karena diyakini lebih efisien dalam penggunaan lahan (Green et al. 2009), memudahkan dalam pemberian pakan, minum, dan pembersihan feses.

Akibatnya, sistem pemeliharaan intensif menyebabkan stres yang berdampak pada turunnya tingkat kesehatan, performa dan kualitas produk (Yakubu et al. 2007). Peternak di Eropa, Amerika dan Australia saat ini mulai beralih menggunakan sistem lain yang mampu mengakomodir prinsip kesejahteraan hewan. Sistem pemeliharaan tersebut memiliki tempat bertengger, mandi debu, serta komponen lain yang tidak membatasi perilaku alami ternak. Salah satu alternatif sistem pemeliharaan ternak unggas untuk mengurangi keterbatasan sistem pemeliharaan intensif adalah sistem *free-range*.

Penulisan artikel ini bertujuan untuk membahas bagaimana sistem *free-range* dilaksanakan dan pengaruhnya terhadap kondisi kesehatan, performa dan kualitas produk serta strategi pengembangan *free-range* sebagai alternatif sistem produksi ternak ayam.

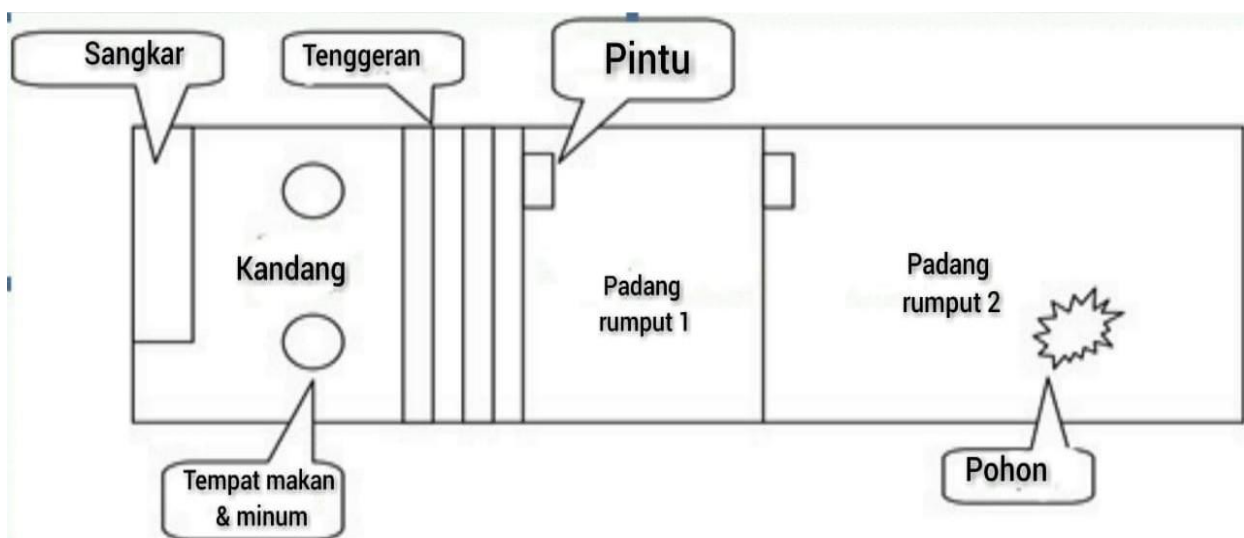
SISTEM *FREE-RANGE*

Free-range adalah salah satu alternatif sistem pemeliharaan ternak yang terdiri dari kandang dan padang penggembalaan (Mahboub 2004). Selain itu,

Miao et al. (2005) mendefinisikan *free-range* sebagai sebuah sistem budidaya dengan mengumbar ayam di padang penggembalaan. Sistem ini menekankan pada lingkungan pemeliharaan yang memberikan ruang gerak yang luas kepada ayam, bebas dari stres, tidak padat, mendapatkan pakan alami dari biji-bijian dan serangga serta mendapatkan banyak udara segar dan sinar matahari (Miao et al. 2005).

Introduksi padang rumput pada sistem budidaya ayam merupakan pola pemeliharaan sistem *free-range* yang banyak digunakan, sehingga dimungkinkan ayam untuk melakukan aktivitas merumput/*grazing* (Glatz et al. 2005). Pola merumput pada padang penggembalaan sistem *free-range* ada dua yaitu *rotational grazing* dan *continuous grazing* (Pištěková et al. 2006). *Rotational grazing* adalah pola merumput dimana ayam dikandangkan dan secara berkala dilakukan rotasi/perpindahan tempat merumput. Biasanya ayam dipelihara maksimal selama 12 minggu sebelum pindah ke pedok berikutnya untuk menghindari gangguan endoparasit termasuk *coccidiosis*. *Continuous grazing* adalah pola merumput yang berkelanjutan yaitu ternak merumput di lahan yang lebih luas (Pištěková et al. 2006). Pada prakteknya *rotational grazing* lebih baik dibandingkan dengan *continuous grazing*. *Rotational grazing* dapat meningkatkan produktivitas dan kapasitas tampung padang penggembalaan (Zhou et al. 2019), membiarkan hijauan untuk istirahat dan meningkatkan komposisi botanis (Teague et al. 2013).

Salah satu contoh *layout* pemeliharaan sistem *free-range* dikemukakan oleh Mahboub (2004) yang disajikan pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Layout sistem *free-range*

Sumber: Mahboub (2004) yang dimodifikasi

Free-range di Uni Eropa sudah lama diterapkan sebagai alternatif sistem pemeliharaan yang humanis, bahkan diatur langsung oleh pemerintah. Aturan terdahulu yang pernah dikeluarkan oleh *Commission of the European Communities* (1985) menyebutkan ada dua aturan terkait pelaksanaan *free-range system*: 1). *Free-range* dengan kepadatan 1.000 ekor/ha, atau per ekor ayam membutuhkan lahan 10 m². Sedangkan 2). *Semi-intensif* dengan kepadatan 4.000 ekor/ha atau per ekor ayam membutuhkan lahan 2,5 m². Berdasarkan aturan terbaru (EU-Regulation 1804/1999/EC) di Uni Eropa, setiap ekor ayam harus mendapat lahan (*outdoor range*) minimal 4 m² atau dengan kepadatan 2.500 ekor/ha. Selain itu, regulasi mengatur terkait tempat pakan dan minum yang harus tersedia. Tempat pakan digantung 20 cm di atas lantai dengan kepadatan 5 cm²/ekor serta 1 dot (*nipple*) tempat minum maksimal untuk 10 ekor. Bangunan kandang harus menyediakan tenggeran (*perch*) dan tempat bertelur (*nest*). Ketinggian tenggeran minimal 50 cm di atas lantai dengan kepadatan 15 cm²/ekor.

Sistem *free-range* di Australia, memiliki aturan yang sedikit berbeda. Pada Maret 2016, sertifikat *free-range* untuk telur dikeluarkan apabila peternakan ayam memenuhi beberapa persyaratan, diantaranya: a) memiliki akses teratur ke padang penggembalaan (*outdoor*) di siang hari, b) mampu menjelajah dan mencari makan di padang rumput, dan c) memiliki kepadatan ayam betina per m² (maks 10.000 ekor/ha) (Mc Cormack 2017). Sebelumnya aturan kepadatan ayam di padang penggembalaan tidak lebih dari 1.500 ekor/ha (*Primary Industries Standing Committee* 2002).

Ayam pada sistem *free-range* memiliki keuntungan, diantaranya: 1). Tersedia sumber pakan alami (hijauan, serangga, dan cacing); 2). Ayam bebas mengekspresikan aktivitasnya sesuai insting dan tingkah laku alami (*natural behavior*) seperti mengais tanah, mandi debu, mendapat sinar matahari langsung. Kandang pada sistem *free-range* disediakan untuk istirahat pada waktu malam hari, agar terhindar dari cuaca dingin dan pemangsa. Kebebasan beraktivitas diharapkan mampu menghasilkan ayam dengan tingkat kesejahteraan yang lebih tinggi, menghasilkan produk yang lebih baik dan berkualitas (Pavlovski et al. 2009). Sistem *free-range* di Indonesia, diatur pada Bagian Kedua Pasal 66 Undang-undang No 18 tahun 2009 tentang Peternakan dan Kesejahteraan Hewan (*Animal Welfare*).

INDIKATOR KESEJAHTERAAN HEWAN (ANIMAL WELFARE)

Salah satu indikator penilaian tingkat kesejahteraan ayam adalah intensitas tingkah laku alami, tingkat kesehatan dan kepadatan dalam kandang

(Miao et al. 2005) dan tingkat stres (Shini 2003). Tingkat stres bisa terlihat dari nilai rasio Heterofil/Limfosit (H/L). Kondisi stress akibat cekaman panas pada ayam terlihat apabila rasio H/L mengalami peningkatan (Türkyilmaz 2008).

Mosca et al. (2019) menyatakan bahwa ayam Milanino (*local Italian chicken*) yang menggunakan sistem *free-range* mampu menghasilkan nilai H/L 0,08-0,33 pada umur ke-90 dan 215 hari. Nilai ini lebih rendah dari Ulupi & Ihwantoro (2014) yang melaporkan bahwa H/L ayam ras petelur di kandang intensif (*cage*) adalah 3,47. Tingginya nilai H/L dapat dijadikan indikator terjadinya stres (Sugito & Delima 2009). Ayam dalam kondisi nyaman (*comfort zone*) akan menghasilkan H/L lebih rendah dengan penurunan heterofil dan kenaikan limfosit (Mahmoud & Yaseen 2005). Selain itu, Shini (2003) juga melaporkan bahwa rasio H/L ayam ras petelur dengan pemeliharaan sistem *free-range* (0,381) lebih rendah dibandingkan pemeliharaan sistem *cage* (0,576).

Kondisi stres pada ayam akan menurunkan jumlah sel darah putih terutama limfosit akibat meningkatnya konsentrasi hormon glukokortikoid dalam darah (Shini 2003). Keberadaan reseptor glukokortikoid pada sel darah putih akan mengontrol jumlah produksi sel darah putih (Möstl & Palme 2002). Apabila konsentrasi glukokortikoid terlalu tinggi akan membuat produksi sel darah putih terhambat (Sugito & Delima 2009). Kondisi tersebut akan menyebabkan perbedaan rasio H/L. Akibatnya produksi sel-sel imun terganggu dan berdampak pada penurunan tingkat kesehatan (Padgett & Glaser 2003).

Selain nilai H/L, kepadatan kandang dapat menentukan tingkat kesejahteraan ayam (Zimmerman et al. 2006). Ayam akan mendapatkan kualitas udara yang baik bila kepadatan kandang rendah (Green et al. 2009). Kondisi tersebut akan membuat ayam merasa bebas sehingga tingkat kesejahteraan akan meningkat (Lay et al. 2011). Pemberian akses *outdoor* pada sistem *free-range* memberikan kesempatan kepada ayam untuk mengekspresikan insting alami yang ditandai dengan aktivitas tingkah laku yang tinggi. Perbedaan aktivitas tingkah laku disajikan pada Tabel 1.

APLIKASI SISTEM *FREE-RANGE* PADA TERNAK AYAM

Sistem *free-range* pada ayam petelur

Sistem *free-range* pada ayam petelur dalam praktiknya masih bervariasi. Bervariasi dalam kepadatan, umur ayam saat pindah ke padang penggembalaan, jenis hijauan serta strain ayam petelur yang digunakan. Yilmaz Dikmen et al. (2017) dalam penelitiannya menggunakan strain *Lohmann Brown*, kepadatan 8 ekor/m² (0,125 m²/ekor) dan jenis hijauan

terdiri dari campuran rumput kebun (*Lolium perenne*), semanggi (*Trifolium repens*), dan alfalfa (*Medicago sativa* L). Sedangkan Galic et al. (2019) menggunakan ayam strain *Hysex Brown* dengan kepadatan padang penggembalaan 1.000 ekor/ha (10 m²/ekor) Selain itu, terkait kepadatan ada juga yang menggunakan 2.500 ekor/ha (4 m²/ekor) (Sokołowicz et al. 2018; Popova et al. 2020); 1.250 ekor/ha (8 m²/ekor) (Golden et al. 2012; Kucukkoyuncu et al. 2017). Produktivitas ayam petelur dengan sistem pemeliharaan berbeda disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 menunjukkan bahwa secara rerata produksi telur pada sistem *cage* lebih tinggi

dibandingkan dari sistem *free-range*. Disisi lain, Yilmaz Dikmen et al. (2017) melaporkan produksi telur sistem *cage* lebih rendah, dan Ahammed et al. (2014) melaporkan produksi telur yang relatif sama. Belum konsistennya produktivitas ayam petelur pada sistem *free-range* diasumsikan karena perbedaan jumlah konsumsi pakan (Golden et al. 2012). Sistem *free-range* memungkinkan ayam mendapatkan pakan lebih banyak. Sumber nutrisi pada sistem *free-range* tidak hanya dari pakan, tetapi mendapatkan tambahan dari hijauan, serangga dan cacing yang tersedia di lahan penggembalaan.

Tabel 1. Aktivitas tingkah laku ayam ras petelur yang dipelihara dengan sistem intensif dan *free-range* (Lay et al. 2011)

Aktivitas tingkah laku	Sistem pemeliharaan	
	<i>Free-range</i>	Intensif
Makan	++++	+++
Minum	++++	+++
Berjalan	++++	+
Berlari	++++	+
Mengais	++++	++
Merumput	++++	+
Mandi debu	++++	+
Bersarang	++++	+
Mengepakkan sayap	++++	+

Keterangan: Jumlah tanda + menunjukkan intensitas tingkah laku

Tabel 2. Produktivitas ayam ras petelur yang dipelihara dengan sistem pemeliharaan berbeda

Studi		Produktivitas			
		Konsumsi ransum (g/e/h)	Produksi telur (%)	Massa telur (g/hari)	Konversi ransum
Golden et al. (2012)	<i>Cage</i>	103,00	81,9	52,5	1,96
	<i>Free-range</i>	101,00	77,7	49,4	2,04
Fitra (2016)	<i>Cage</i>	112,01	85,67	55,53	2,38
	<i>Free-range</i>	104,54	75,78	50,43	2,75
Yilmaz Dikmen et al. (2017)	<i>Cage</i>	117,06	87,10	56,80	2,08
	<i>Free-range</i>	124,58	89,27	59,76	2,17
Abo Ghanima et al. (2020)	<i>Cage</i>	113,95	79,37	40,02	2,65
	<i>Free-range</i>	120,51	75,73	37,65	2,99
Rerata	<i>Cage</i>	111,51	83,51	51,21	2,37
	<i>Free-range</i>	112,66	79,62	49,31	2,49

Perbedaan sistem pemeliharaan dilaporkan ikut memengaruhi kualitas telur. Nilai Haugh Unit (HU) dan warna kuning telur pada *free-range* lebih tinggi dibandingkan dari sistem *cage* (Yenice et al. 2016; Perić et al. 2017; Popova et al. 2020; Abo Ghanima et al. 2020). Ketebalan kerabang telur dari sistem *free-range* juga lebih baik dibandingkan dengan sistem *cage* (Perić et al. 2017; Galic et al. 2019; Popova et al. 2020; Abo Ghanima et al. 2020). Hal ini dikarenakan ayam pada sistem *free-range* memiliki tambahan suplai kalsium dari kemungkinan ayam ikut mengkonsumsi tanah selain hijauan saat merumput, hanya saja di beberapa literatur menyebutkan bahwa telur *free-range* lebih kotor, retak dan kerusakan lebih tinggi (Golden et al. 2012).

Telur dengan fitur kesehatan lengkap akan menjadi nilai tambah (*added value*) tersendiri dari sebutir telur yang saat ini menjadi pertimbangan khusus bagi konsumen. Konsumen bersedia membayar lebih mahal asalkan mendapatkan produk lebih sehat dan dihasilkan dari ayam yang dipelihara lebih alami. Dibandingkan dengan sistem *cage*, alternatif sistem

free-range mampu menghasilkan kandungan protein putih telur lebih tinggi (English 2021); kadar lemak lebih rendah (Radu-Rusu et al. 2014; Popova et al. 2020); karotenoid lebih tinggi (Popova et al. 2020); serta mengandung omega-3, omega-6, DHA, vitamin A dan vitamin E (Karsten et al. 2010).

Sistem *free-range* pada ayam pedaging

Kajian terhadap efektivitas sistem *free-range* sebagai alternatif produksi ayam pedaging/broiler sudah banyak dilakukan. Beberapa penelitian sistem *free-range* pada ayam *broiler* tipe *fast growing* dan produktivitasnya telah disajikan pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 4 menunjukkan bahwa capaian bobot badan ayam pedaging tipe *fast growing* pada sistem *free-range* secara konsisten lebih rendah dibandingkan dengan sistem intensif (*indoor*). Akan tetapi, hal ini tidak sejalan parameter konversi pakan. Haruna et al. (2018) melaporkan konversi pakan sistem *free-range* kurang baik dibandingkan sistem intensif dengan

Tabel 3. Beberapa penelitian sistem *free-range* pada ayam pedaging tipe *fast growing*

Studi	Strain	Outdoor density (ekor/m ²)	Umur panen (hari)	Jenis vegetasi
Lima & Nääs (2005)	<i>Cobb</i>	-	45	Tanpa vegetasi
Połtowicz & Doktor (2011)	<i>Ross 308</i>	1,33	42	Alami
Durali et al. (2013)	<i>Cobb 500</i>	5	42	Tanpa vegetasi
Kaya & Yildirim (2018)	<i>Ross 308</i>	1	42	Campuran
Haruna et al. (2018)	<i>Marshall</i>	1,08	35	Alami

Tabel 4. Produktivitas sistem *free-range* pada ayam pedaging tipe *fast growing*

Studi		Kinerja produksi		
		Bobot badan (kg)	Konversi pakan	Mortalitas (%)
Lima & Nääs (2005)	<i>Indoor</i>	2,58	1,97	5,32
	<i>Free-range</i>	2,10	2,98	1,34
Połtowicz & Doktor (2011)	<i>Indoor</i>	1,71	1,94	0,00
	<i>Free-range</i>	1,65	1,99	4,17
Durali et al. (2013)	<i>Indoor</i>	1,92	1,88	2,89
	<i>Free-range</i>	1,78	1,96	5,28
Haruna et al. (2018)	<i>Indoor</i>	2,24	2,11	0,00
	<i>Free-range</i>	1,75	1,97	4,00
Rerata	<i>Indoor</i>	2,11	1,92	2,38
	<i>Free-range</i>	1,89	2,12	3,70

Tabel 5. Karakteristik dan kualitas karkas ayam pedaging tipe *fast growing* sistem *free-range*

Studi		Karakteristik dan kualitas karkas						
		Karkas %	Dada %	Paha %	pH	Daya ikat air (%)	Susut masak (%)	Keempukan (N)
Połtowicz & Doktor (2011)	<i>Indoor</i>	73,05	19,96	18,15	6,63	14,38	0,85	14,57
	<i>Free-range</i>	73,69	18,55	17,42	6,46	13,13	0,86	15,43
Mikulski et al. (2011)	<i>Indoor</i>	76,14	24,06	24,15	-	-	-	-
	<i>Free-range</i>	76,30	23,71	24,47	-	-	-	-
Durali et al. (2013)	<i>Indoor</i>	67,01	18,51	21,08	-	-	-	-
	<i>Free-range</i>	54,75	15,95	20,70	-	-	-	-
Olaifa et al. (2016)	<i>Indoor</i>	-	-	-	6,65	58,24	-	-
	<i>Free-range</i>	-	-	-	6,67	73,49	-	-
Rata-rata	<i>Indoor</i>	72,07	20,84	21,13	6,64	36,31	0,85	14,57
	<i>Free-range</i>	68,25	19,40	20,86	6,57	43,31	0,86	15,43

Tabel 6. Beberapa penelitian sistem *free-range* pada ayam lokal dan *slow growing*

Studi	Breed	Outdoor density (ekor/m ²)	Umur (hari)	Jenis vegetasi
Cheng et al. (2008)	<i>Taiwan chicken</i>	0,38	112	Alami
Wang et al. (2009)	<i>Gushi chicken (local breed chinese)</i>	1,00	112	Alami
Mikulski et al. (2011)	<i>JA57</i>	1,25	65	Vegetasi campuran
Jiang et al. (2011)	<i>Yellow-feathered chickens</i>	0,53	63	Alami
Chen et al. (2013)	<i>Yellow-feathered chickens</i>	6,25	71	Tanpa vegetasi
Stadig et al. (2016)	<i>Sasso T451</i>	4,00	70	Vegetasi campuran
Jin et al. (2019)	<i>Wannan yellow chickens</i>	1,25	98	Tanpa vegetasi
Davoodi & Ehsani (2020)	<i>Hubbard JA57</i>	-	78	Alami

capaian bobot lebih rendah. Secara umum, angka mortalitas ayam pada sistem *free-range* lebih tinggi dari sistem intensif, bahkan Bestman & Bikker-Ouwejan (2020) melaporkan angka kematian pada sistem *free-range* mencapai 12,2%. Banyak faktor yang menjadi penyebab tinggi angka mortalitas ayam pada sistem *free-range*, perubahan cuaca di padang penggembalaan, serangan predator dan *heat stress*. Karakteristik dan kualitas karkas ayam pedaging sistem *free-range* disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 menunjukkan bahwa sistem pemeliharaan tidak nyata mempengaruhi persentase karkas, dada dan paha (Połtowicz & Doktor 2011; Mikulski et al. 2011). Peneliti sebelumnya ada yang melaporkan persentase karkas dan dada pada *free-range* lebih tinggi (Castellini et al. 2002), akan tetapi ada juga yang melaporkan lebih rendah (Skomorucha et al. 2008). Sehingga, hal ini memerlukan kajian lebih lanjut terkait penyebab

tidak konsistennya performa yang dihasilkan. Perbedaan *strain*, lama pemeliharaan, jumlah hari di pedok pemeliharaan, kepadatan (*density*), jenis vegetasi yang tumbuh di pedok pemeliharaan memungkinkan menjadi penyebabnya. Sedangkan untuk parameter pH, daya ikat air, susut masak dan keempukan sistem *free-range* tidak berpengaruh nyata (Połtowicz & Doktor (2011).

Sistem *free-range* pada ayam lokal (*native/indigenous chicken*)

Usaha peningkatan performa ayam lokal telah banyak dilakukan, termasuk dalam manajemen sistem pemeliharaan. Selain untuk mengoptimalkan performa produksi, juga untuk tujuan konservasi ayam agar tidak

punah. Beberapa penelitian *free-range* pada ayam lokal dan produktivitasnya disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6 menunjukkan bahwa sistem *free-range* telah banyak di uji coba pada berbagai *breed* ayam lokal (*native/indigenous chicken*). Performa yang dihasilkan dari perbedaan sistem pemeliharaan masih beragam dan belum konsisten. Ayam dengan sistem *free-range* menghasilkan bobot yang lebih rendah, konversi lebih tinggi dan angka kematian lebih tinggi (Cheng et al. 2008; Wang et al. 2009; Stadig et al. 2016; Davoodi & Ehsani 2020); akan tetapi, ada juga yang melaporkan bobot badan ayam pada sistem *free-range* lebih tinggi dari sistem *indoor* (Jiang et al. 2011; Mikulski et al. 2011). Variasi capaian bobot badan ayam lokal merupakan konsekuensi kalori yang terbakar akibat aktivitas yang lebih banyak pada sistem *free-range* (Wang et al. 2009).

Jin et al. (2019) melaporkan bahwa ayam Wannan Yellow (lokal China) pada sistem *indoor* menunjukkan hasil lebih baik pada parameter badan badan akhir, konsumsi pakan, pertambahan bobot badan, dan konversi pakan, sedangkan ayam pada sistem *free-range* menunjukkan keunggulan pada parameter persentase dada dan paha, warna daging, keempukan, susut masak dan mampu menurunkan deposit lemak abdominal. Studi pada ayam lokal Taiwan menunjukkan bahwa kandungan protein karkas pada sistem *free-range* lebih tinggi dan kandungan lemak lebih rendah dibandingkan sistem *indoor* (Cheng et al. 2008). Sedangkan pada ayam Chinese Yellow (lokal China), sistem *free-range* menghasilkan karkas dengan kandungan lemak abdominal dan kolesterol lebih rendah, sehingga di China ayam tersebut menjadi salah satu ayam populer karena dianggap lebih sehat (Jiang et al. 2011). Secara kesehatan, ayam dengan sistem *free-range* menghasilkan organ thymus yang lebih tinggi secara nyata dari sistem *indoor*, hal ini menandakan ayam tersebut memiliki imunitas yang lebih baik (Jin et al. 2019).

STRATEGI PENGEMBANGAN PETERNAKAN AYAM DI LAHAN MARGINAL

Data BPS (2018) memperlihatkan selama kurun waktu lima tahun terakhir, luas lahan persawahan terus mengalami penurunan. Setidaknya telah terjadi penurunan luas persawahan sebesar 12,41% selama tahun 2014-2018. Luas lahan persawahan pada tahun 2014 adalah 8,1 juta ha dan pada tahun 2018 berkurang menjadi 7,1 juta ha. Semakin terbatasnya lahan mineral akan memaksa peternak untuk mampu beternak di lahan marginal, termasuk di lahan gambut. Indonesia memiliki areal gambut terluas di zona tropis. Diperkirakan mencapai 21 juta ha atau

mempresentasikan 70% areal gambut di Asia Tenggara dan 50% dari lahan gambut tropis di dunia (Wibowo 2009).

Pemanfaatan lahan gambut sangat penting dan memungkinkan untuk dilakukan. Mengingat lahan gambut Indonesia tersebar di banyak tempat, terutama di Pulau Kalimantan dan Sumatera. Kondisi lahan gambutpun beragam, tetapi dominan tidak termanfaatkan atau belum dimanfaatkan sebagai lahan pertanian. Selain untuk menjaga dari kerusakan ekosistem, penggunaan lahan gambut diperlukan sebagai akibat berkurangnya lahan pertanian. Usaha yang dapat dilakukan oleh peternak salah satunya adalah menjadikan lahan gambut sebagai padang penggembalaan atau pedok *free-range* ternak ayam. Penelitian terdahulu menunjukkan belum konsistennya performa ayam yang dihasilkan dari sistem *free-range*. Oleh sebab itu, penulis merekomendasikan untuk memilih ternak ayam yang lebih adaptif terhadap lingkungan, seperti ayam kampung atau ayam lokal. Hal ini penting dilakukan karena gambut memiliki karakteristik asam dan berair.

Sumber vegetasi pada sistem *free-range* diperoleh dari rumput atau legum yang tumbuh secara liar. Tingkat suksesi dan regenerasi vegetasi di lahan gambut terbatas, tutupan vegetasi hanya sekitar 30-40%. Selain itu lahan gambut didominasi oleh tanaman pakis, yang kandungan serat kasarnya tinggi, sehingga disarankan untuk mengembangkan sistem *free-range* dengan introduksi hijauan unggul. Diantara vegetasi yang tinggi nutrisi adalah *Indigofera zollingeriana*, dimana pucuknya mengandung protein 28,98%, lemak 3,30%, serat 8,49%, Ca 0,52% dan P 0,34% (Palupi et al. 2015). Hasil penelitian Santi (2015; 2017) dan Santi et al. (2015) menyatakan bahwa pemberian tepung pucuk *Indigofera zollingeriana* dapat digunakan hingga 17,74% dalam ransum ayam broiler sebagai substitusi 60% protein bungkil kedelai tanpa mempengaruhi performa. Pemberian pucuk *Indigofera* dapat meningkatkan nilai *income over feed cost (IOFC)* dan menghasilkan daging ayam fungsional tinggi antioksidan, rendah lemak dan kolesterol. Oleh karena itu, introduksi hijauan unggul seperti *Indigofera zollingeriana* serta memilih ayam kampung atau ayam lokal diharapkan menjadi strategi pengembangan peternakan ayam yang memenuhi kesejahteraan hewan.

KESIMPULAN

Peternakan ayam sistem *free range* dapat dilaksanakan dengan memenuhi berbagai persyaratan teknis. Kepadatan ayam di padang penggembalaan yang moderat adalah maksimal 10.000 ekor/ha. Ayam yang dipelihara dengan sistem *free-range* menunjukkan

indikator kesejahteraan yang lebih baik. Telur dari sistem *free-range* mengandung protein dan karotenoid lebih tinggi, mengandung vitamin A dan E, omega-3 dan 6, DHA serta memiliki kandungan kolesterol yang rendah. Daging ayam dari sistem *free-range* mengandung protein yang tinggi dan kandungan lemak yang rendah. Akan tetapi, performa produksi ayam dengan sistem *free-range* masih belum konsisten dan sangat dipengaruhi oleh strain, lama pemeliharaan dan jenis hijauan di padang penggembalaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abo Ghanima MM, Elsadek MF, Taha AE, Abd El-Hack ME, Alagawany M, Ahmed BM, Elshafie MM, El-Sabroun K. 2020. Effect of housing system and rosemary and cinnamon essential oils on layers performance, egg quality, haematological traits, blood chemistry, immunity, and antioxidant. *Animals*. 10:1–16.
- Ahammed M, Chae BJ, Lohakare J, Keohavong B, Lee MH, Lee SJ, Kim DM, Lee JY, Ohh SJ. 2014. Comparison of aviary, barn and conventional cage raising of chickens on laying performance and egg quality. *Asian-Australasian J Anim Sci*. 27:1196–1203.
- Bestman M, Bikker-Ouwejan J. 2020. Predation in organic and free-range egg production. *Animals*. 10:177. doi: 10.3390/ani10020177.
- Castellini C, Mugnai C, Dal Bosco A. 2002. Effect of organic production system on broiler carcass and meat quality. *Meat Sci*. 60:219–225.
- Chen X, Jiang W, Tan HZ, Xu GF, Zhang XB, Wei S, Wang XQ. 2013. Effects of outdoor access on growth performance, carcass composition, and meat characteristics of broiler chickens. *Poult Sci*. 92:435–443.
- Cheng FY, Huang CW, Wan TC, Liu YT, Lin LC, Chyr CY Lou. 2008. Effects of free-range farming on carcass and meat qualities of Black-feathered Taiwan native chicken. *Asian-Australasian J Anim Sci*. 21:1201–1206.
- Davoodi P, Ehsani A. 2020. Characteristics of carcass traits and meat quality of broiler chickens reared under conventional and free-range systems. *J World's Poult Res*. 10:623–630.
- Durali T, Singh M, Groves PJ. 2013. Comparison of free-range and conventional broiler performance and digestibility. 24th Annual Australian Poultry Science Symposium. p. 150–153.
- English MM. 2021. The chemical composition of free-range and conventionally-farmed eggs available to Canadians in rural Nova Scotia. *Peer J*. 9:e11357. doi: 10.7717/peerj.11357.
- Galic A, Filipovic D, Janjecic Z, Bedekovic D, Kovacev I, Copec K, Pliestic S. 2019. Physical and mechanical characteristics of Hisex Brown hen eggs from three different housing systems. *S Afr J Anim Sci*. 49:468–476.
- Glatz PC, Ru YJ, Miao ZH, Wyatt SK, Rodda BJ. 2005. Integrating poultry into a crop and pasture farming system. *Int J Poult Sci*. 4:187–191.
- Golden JB, Arbona DV, Anderson KE. 2012. A comparative examination of rearing parameters and layer production performance for brown egg-type pullets grown for either free-range or cage production. *J Appl Poult Res*. 21:95–102.
- Green AR, Wesley I, Trampel DW, Xin H. 2009. Air quality and bird health status in three types of commercial egg layer houses. *J Appl Poult Res*. 18:605–621.
- Haruna M, Bello KO, Adeyemi AO, Odunsi AA. 2018. Comparison of conventional and semi-conventional management systems on the performance and carcass yield of broiler chickens. *Niger J Anim Sci*. 20:81–87.
- Jiang S, Jiang Z, Lin Y, Zhou G, Chen F, Zheng C. 2011. Effects of different rearing and feeding methods on meat quality and antioxidative properties in Chinese yellow male broilers. *Br Poult Sci*. 52:352–358.
- Jin S, Fan X, Yang L, He T, Xu Y, Chen X, Liu P, Geng Z. 2019. Effects of rearing systems on growth performance, carcass yield, meat quality, lymphoid organ indices, and serum biochemistry of Wannan Yellow chickens. *Anim Sci J*. 90:887–893.
- Karsten HD, Patterson PH, Stout R, Crews G. 2010. Vitamins A, e and fatty acid composition of the eggs of caged hens and pastured hens. *Renew Agric Food Syst*. 25:45–54.
- Kaya S, Yildirim H. 2018. Effects of a semi-intensive raising system on growth performance, carcass traits and meat quality of broiler chicks. *Indian J Anim Res*. 52:309–313.
- Lay DC, Fulton RM, Hester PY, Karcher DM, Kjaer JB, Mench JA, Mullens BA, Newberry RC, Nicol CJ, O'Sullivan NP, Porter RE. 2011. Hen welfare in different housing systems. *Poult Sci*. 90:278–294.
- Lima A, Nääs I. 2005. Evaluating two systems of poultry production: conventional and free-range. *Rev Bras Ciência Avícola*. 7:215–220.
- Mahboub HDH. 2004. Feather pecking, body condition and outdoor use of two genotypes of laying hens housed in different free range systems [Tesis]. [Leipzig (German)]: University of Leipzig.
- Mahmoud KZ, Yaseen AM. 2005. Effect of feed withdrawal and heat acclimatization on stress responses of male broiler and layer-type chickens (*Gallus gallus domesticus*). *Asian-Australasian J Anim Sci*. 18:1445–1450.

- Miao ZH, Glatz PC, Ru YJ. 2005. Free-range poultry production - A review. *Asian-Australasian J Anim Sci.* 18:113–132.
- Mikulski D, Celej J, Jankowski J, Majewska T, Mikulska M. 2011. Growth performance, carcass traits and meat quality of slower-growing and fast-growing chickens raised with and without outdoor access. *Asian-Australasian J Anim Sci.* 24:1407–1416.
- Mosca F, Zaniboni L, Iaffaldano N, Sayed AA, Mangiagalli MG, Pastorelli G, Cerolini S. 2019. Free-range rearing density for male and female Milanino chickens: Growth performance and stress markers. *J Appl Poult Res.* 28:1342–1348.
- Möstl E, Palme R. 2002. Hormones as indicators of stress. *Domest Anim Endocrinol.* 23:67–74.
- Olaifa R, Sogunle OM, Okubanjo AO. 2016. Evaluation of quality, organoleptic attributes and chemical composition of broiler chicken meat reared on intensive and semi-intensive systems. *J Meat Sci Technol.* 4:25–32.
- Padgett DA, Glaser R. 2003. How stress influences the immune response. *Trends Immunol.* 24:444–448.
- Palupi R, Abdullah L, Astuti DA, . S. 2015. Potential and utilization of *Indigofera* sp shoot leaf meal as soybean meal substitution in laying hen diets. *JITV.* 19:210-219. doi: 10.14334/jitv.v19i3.1084.
- Pavlovski Z, Skrbic Z, Lukic M, Petricevic V, Trenkovski S. 2009. The effect of genotype and housing system on production results of fattening chickens. *Biotechnol Anim Husb.* 25:221–229.
- Perić L, Đukić Stojčić M, Bjedov S. 2017. Effect of production systems on quality and chemical composition of table eggs. *Contemp Agric.* 65:27–31.
- Pišťeková V, Hovorka M, Večerek V, Straková E, Suchý P. 2006. The quality comparison of eggs laid by laying hens kept in battery cages and in a deep litter system. *Czech J Anim Sci.* 7:318–325.
- Połowicz K, Doktor J. 2011. Effect of free-range raising on performance, carcass attributes and meat quality of broiler chickens. *Anim Sci Pp Rep.* 29:139–149.
- Popova T, Petkov E, Ayasan T, Ignatova M. 2020. Quality of eggs from layers reared under alternative and conventional system. *Rev Bras Cienc Avic.* 22:1–8.
- Radu-Rusu R, Usturoi M, Leahu A, Amariei S, Radu-Rusu C, Vacaru-Opriş I. 2014. Chemical features, cholesterol and energy content of table hen eggs from conventional and alternative farming systems. *S Afr J Anim Sci.* 44:33.
- Santi MA. 2015. Produksi daging ayam broiler fungsional tinggi antioksidan dan rendah kolesterol melalui pemberian tepung pucuk *Indigofera zollingeriana* [Tesis]. [Bogor (Indonesia)]: IPB University.
- Santi MA. 2017. Penggunaan tepung pucuk *Indigofera zollingeriana* sebagai pengganti bungkil kedelai dalam ransum dan pengaruhnya terhadap kesehatan ayam broiler. *J Peternak.* 1:17–21.
- Santi MA, Sumiati, Abdullah L. 2015. Cholesterol and malondialdehyde contents of broiler-chicken meat supplemented with *Indigofera zollingeriana* top leaf meal. *TASJ.* 38:163–168.
- Shini S. 2003. Physiological responses of laying hens to the alternative housing systems. *Int J Poult Sci.* 2:357–360.
- Skomorucha I, Muchacka R, Sosnówka-Czajka E, Herbut E. 2008. Effects of rearing with or without outdoor access and stocking density on broiler chicken productivity. *Ann Anim Sci.* 8:387–393.
- Sokołowicz Z, Krawczyk J, Dykiel M. 2018. Effect of alternative housing system and hen genotype on egg quality characteristics. *Emirates J Food Agric.* 30:695–703.
- Stadig LM, Bas Rodenburg T, Reubens B, Aerts J, Duquenne B, Tuytens FAM. 2016b. Effects of free-range access on production parameters and meat quality, composition and taste in slow-growing broiler chickens. *Poult Sci.* 95:2971–2978.
- Sugito, Delima M. 2009. Dampak cekaman panas terhadap pertambahan bobot badan, rasio heterofil:limfosit dan suhu tubuh ayam broiler. *J Ked Hewan.* 3:218–226.
- Teague R, Provenza F, Kreuter U, Steffens T, Barnes M. 2013. Multi-paddock grazing on rangelands: Why the perceptual dichotomy between research results and rancher experience?. *J Environ Manage.* 128:699–717.
- Türkyilmaz MK. 2008. The effect of stocking density on stress reaction in broiler chickens during summer. *Turkish J Vet Anim Sci.* 32:31–36.
- Ulupi N, Ihwantoro TT. 2014. Gambaran darah ayam kampung dan ayam petelur komersial pada kandang terbuka di daerah tropis. *J Ilmu Produksi dan Teknol Has Peternak.* 2:219–223.
- Wang KH, Shi SR, Dou TC, Sun HJ. 2009. Effect of a free-range raising system on growth performance, carcass yield, and meat quality of slow-growing chicken. *Poult Sci.* 88:2219–2223.
- Yakubu A, Salako AE, Ige AO. 2007. Effects of genotype and housing system on the laying performance of chickens in different seasons in the semi-humid tropics. *Int J Poult Sci.* 6:434–439.
- Yenice G, Kaynar O, Ileriturk M, Hira F, Hayirli A. 2016. Quality of Eggs in different production systems. *Czech J Food Sci.* 34:370–376.
- Yilmaz Dikmen B, Ipek A, Şahan Ü, Sözcü A, Baycan SC. 2017. Impact of different housing systems and age of layers on egg quality characteristics. *Turkish J Vet Anim Sci.* 41:77–84.

- Zhou Y, Gowda PH, Wagle P, Ma S, Neel JPS, Kakani VG, Steiner JL. 2019. Climate effects on tallgrass prairie responses to continuous and rotational grazing. *Agronomy*. 9:219. doi: 10.3390/agronomy9050219.
- Zimmerman PH, Lindberg AC, Pope SJ, Glen E, Bolhuis JE, Nicol CJ. 2006. The effect of stocking density, flock size and modified management on laying hen behaviour and welfare in a non-cage system. *Appl Anim Behav Sci*. 101:111–124.

Pemanfaatan Jangkrik (*Gryllus bimaculatus*), Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*), Ulat Hongkong (*Tenebrio molitor*), dan Ulat Sutera (*Samia ricini* dan *Bombyx mori*) sebagai Sumber Protein Pakan Alternatif

(Utilization of Cricket (*Gryllus bimaculatus*), Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*), Mealworm (*Tenebrio molitor*), and Silkworm (*Samia ricini* dan *Bombyx mori*) as Alternative Feed Protein Sources)

Agustin Herliatika¹, D Permatahati², Y Pujiawati³, GE Tresia⁴ dan E Wina¹

¹Balai Penelitian Ternak, PO Box 221 Bogor, Jawa Barat 16002, Indonesia

²Alumni Departemen Ilmu Nutrisi dan Pakan Institut Pertanian Bogor, Jl. Agatis Kampus IPB, Babakan, Dramaga, Babakan, Kec. Dramaga, Bogor, Jawa Barat 16680, Indonesia

³Balai Pengkajian Teknologi Pertanian, Jl. Bypass Ngurah Rai Jl. Pesanggaran, Pedungan, Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Bali 80221, Indonesia

⁴Pusat Penelitian dan Pengembangan Peternakan, Jl. Raya Pajajaran Kav. E-59 Bogor, Jawa Barat 16128, Indonesia
Kontributor utama: tikaagustinhoerliatika@gmail.com

(Diterima 3 September 2021 – Direvisi 15 November 2021 – Disetujui 8 Desember 2021)

ABSTRACT

The insect which contains high protein is potential to be used as an unconventional protein source (UPS) in feed. Production cost of this feedstuff is affordable through utilization of waste as growing media. Moreover, this production helps the environment by reducing the unprocessed waste. This study aims to review the potential use of cricket, black soldier fly (BSF), mealworm, and silkworm as UPS in replacing fish meal (FM) and soybean meal (SM) in the feed. The insect meal contains relative similar crude protein but higher ether-extract compared to conventional protein sources. The insect meal contains higher tyrosine but lower arginine, histidine, lysine, and tryptophan compared to FM and SM. The chitin content in UPS decreases the digestibility, causing restriction its utilization in the diet. However, it can be used as antibacterial and antifungal in feed, and in ruminant, it can be used to mitigate enteric methane emission. UPS in layer and broiler diet can replace SM, meanwhile, in quail diet, it can replace FM. From different sources, it can be summarised that the potential addition of BSF, cricket, mealworm, and silkworm in the broiler's diet is 8%DM replacing 100% SM, 5-15%DM replacing 40-100% FM, 5-29,5%DM replacing 3-100% SM, and 7,8%DM replacing 100% SM, respectively. The potential addition of BSF and mealworm in the layer's diet is 10-15%DM replacing 66-100% SM and 2-5%DM replacing 21% SM, respectively. The potential addition of cricket, mealworm, and silkworm in the quail's diet is 2-8%DM replacing 25-100% FM, 2,25%DM replacing 25% FM, and 2,08-6,25%DM replacing 26-76% FM, respectively.

Key words: Cricket, black soldier fly, mealworm, silkworm, insect, feed

ABSTRAK

Serangga memiliki kandungan protein tinggi sehingga berpotensi digunakan sebagai pakan sumber protein alternatif. Biaya produksi bahan pakan asal serangga sangat terjangkau karena memanfaatkan limbah sebagai media tumbuh. Pemanfaatan tersebut memberikan kontribusi terhadap lingkungan melalui pengurangan jumlah limbah yang tidak dikelola. Tulisan ini bertujuan untuk mengulas potensi pemanfaatan jangkrik, *Black Soldier Fly* (BSF), ulat hongkong, dan ulat sutera sebagai sumber-sumber protein alternatif menggantikan tepung ikan dan bungkil kedelai dalam pakan yang dikaji berdasarkan profil nutrisi. Selain PK yang relatif sama, tepung serangga memiliki kandungan LK yang lebih tinggi dibandingkan dengan sumber protein pakan konvensional. Tepung serangga memiliki kandungan tirosin yang lebih tinggi, serta kandungan arginin, histidin, lisin, dan triptofan yang lebih rendah dibandingkan dengan bungkil kedelai (KD) dan tepung ikan (TI). Kandungan kitin pada tepung serangga menyebabkan penurunan kecernaan pakan sehingga dapat membatasi penggunaannya. Namun, tepung serangga berpotensi digunakan sebagai antibakteri, antifungi, dan pada ruminansia, penggunaannya membantu upaya mitigasi gas metana enterik. Sumber protein alternatif dalam pakan ayam petelur maupun ayam pedaging berpotensi menggantikan bungkil kedelai, sedangkan dalam pakan burung puyuh berpotensi menggantikan tepung ikan. Potensi pemanfaatan BSF, jangkrik, ulat hongkong, dan ulat sutera pada ayam pedaging sebesar 8%BK menggantikan 100% KD, 5-15%BK menggantikan 40-100% TI, 5-29,5%BK menggantikan 3-100% KD, dan 7,8%BK menggantikan 100% KD. Potensi pemanfaatan BSF dan ulat hongkong pada ayam petelur sebesar 10-15%BK menggantikan 66-100% KD dan 5%BK menggantikan 21% KD. Potensi pemanfaatan jangkrik, ulat

hongkong, dan ulat sutera pada burung puyuh sebesar 2-8%BK menggantikan 25-100% TI, 2,25%BK menggantikan 25% TI, dan 2,08-6,25%BK menggantikan 26-76% TI.

Kata kunci: Jangkrik, *black soldier fly*, ulat hongkong, ulat sutera, serangga, pakan

PENDAHULUAN

Penggunaan serangga sebagai sumber protein dalam pakan ternak telah banyak dilakukan di sejumlah negara termasuk Indonesia. Menurut Siemianowska et al. (2013) serangga berpotensi digunakan sebagai sumber makanan bergizi bagi manusia dan ternak karena mengandung protein cukup tinggi seperti halnya daging dan ikan. Penelitian lain melaporkan bahwa serangga dapat digunakan sebagai sumber protein alternatif ternak monogastrik karena memiliki kandungan protein serta nutrisi lain berupa lemak, mineral, dan vitamin yang tinggi (Khusro et al. 2012; Makkar et al. 2014; Sánchez-Muros et al. 2014). Selain memiliki kandungan nutrisi yang tinggi, menurut van Huis et al. (2015) protein yang bersumber pada serangga bersifat lebih ekonomis dan ramah lingkungan. Hal ini disebabkan karena proses produksi serangga seperti *Black Soldier Fly* (BSF), maggot BSF, dan ulat hongkong pada umumnya memanfaatkan limbah sebagai media pembiakan sehingga biaya produksi menjadi lebih terjangkau. Pemanfaatan limbah sebagai media tumbuh juga akan mengurangi dampak pencemaran lingkungan. Selanjutnya, limbah hasil produksi serangga seperti pupa ulat sutera dan jangkrik afkir juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber protein alternatif. Akan tetapi, kajian Taufek et al. (2016) menunjukkan biaya produksi pakan akan semakin tinggi dengan semakin tingginya pemanfaatan serangga dalam pakan. Peningkatan biaya produksi tersebut terjadi akibat produksi serangga umumnya masih dilakukan dalam skala kecil sehingga efisiensi produksi masih belum dapat tercapai. Peningkatan biaya tersebut akan mengalami penurunan seiring dengan peningkatan kebutuhan terhadap serangga sebagai bahan pakan.

Beberapa jenis serangga yang telah diaplikasikan sebagai pakan unggas, babi, ikan, dan ruminansia adalah larva *Black Soldier Fly* (BSF), maggot BSF, ulat hongkong, belalang-jangkrik, dan ulat sutera (Makkar et al. 2014). Serangga-serangga tersebut dapat dimanfaatkan sebagai pengganti bungkil kedelai atau tepung ikan dalam pakan (Makkar et al. 2014). Hasil studi metaanalisis menunjukkan bahwa jenis serangga yang sering digunakan adalah larva BSF, ulat hongkong, maggot BSF, belalang dan lainnya (jangkrik dan ulat sutera) dalam ransum unggas (Moula & Detilleux 2019). Meski demikian, pengkajian terhadap peran serangga sebagai pengganti sumber protein konvensional masih terus diperlukan akibat keragaman jenis serangga yang tinggi.

Beberapa studi telah melaporkan nilai ekonomis dan efisiensi produksi pemanfaatan serangga sebagai sumber protein alternatif (Fuah et al. 2015; M.A. Khan et al. 2018; Permatahati et al. 2019). Akan tetapi, pengkajian terhadap kandungan nutrisi dari serangga dalam menggantikan bahan pakan sumber protein konvensional masih terbatas. Berdasarkan fakta tersebut maka pengkajian nutrisi beberapa jenis serangga sebagai sumber protein alternatif pengganti sumber protein konvensional masih perlu dilakukan. Oleh karena itu, tulisan ini bertujuan untuk mengulas potensi pemanfaatan sumber protein alternatif asal serangga (jangkrik, *black soldier fly*, ulat hongkong, dan ulat sutera) dalam menggantikan tepung ikan dan bungkil kedelai berdasarkan profil nutrisinya.

KANDUNGAN NUTRISI SUMBER PROTEIN PAKAN ALTERNATIF

Beberapa jenis serangga yang umum digunakan sebagai sumber pakan alternatif antara lain adalah: jangkrik, BSF, ulat hongkong, dan ulat sutera. Serangga tersebut telah diproduksi pada beberapa usaha tertentu. Jangkrik saat ini telah tersedia di pasar lokal sebagai *edible insect* untuk pakan ternak (Bosch et al. 2014; Fuah et al. 2015; van Huis et al. 2015). Tepung BSF umumnya digunakan sebagai pakan babi, ayam petelur, ayam pedaging, dan burung puyuh (Wardhana 2016), demikian juga dengan ulat hongkong. Ulat sutera juga telah dikembangkan untuk menghasilkan sutera dengan kokon sebagai produk samping yang digunakan dalam usaha kerajinan (Estetika & Endrawati 2018).

Kandungan nutrisi serangga sebagai sumber protein alternatif dan beberapa sumber protein konvensional dapat dilihat pada Tabel 1. Kandungan protein kasar (PK) pada sumber protein alternatif asal serangga sebesar 45,2-67,4%, sedangkan sumber protein konvensional yaitu tepung ikan memiliki kandungan PK sebesar 60,2-73,0% dan bungkil kedelai memiliki kandungan PK sebesar 46,8-50,4%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kandungan PK pada sumber protein alternatif dapat setara dengan kandungan PK sumber protein konvensional. Akan tetapi, jika dilihat dari fraksi protein yaitu kandungan *neutral detergent insoluble crude protein* (NDICP) dari jangkrik, ulat hongkong, larva BSF 1 minggu, dan bungkil kedelai masing-masing sebesar 37,9%PK, 26,4%PK, 47%PK, dan 16,6%PK, sedangkan *acid detergent insoluble crude protein* (ADICP) masing-masing sebesar 9,8%PK, 6,7%PK, 9,2%PK, dan

4,7%PK (Jayanegara et al. 2017). Nitrogen dalam NDICP dan ADICP mungkin berasal dari senyawa kitin yang berikatan atau terlindungi oleh serta sehingga tidak dapat dicerna. Nilai NDICP dan ADICP yang semakin tinggi menunjukkan semakin tinggi protein yang tidak dapat dimanfaatkan oleh ternak non ruminan maupun ruminan. Kandungan NDICP dan ADICP pada sumber protein alternatif yang lebih tinggi dibandingkan dengan bungkil kedelai menjadi salah satu pembatas pemanfaatan bahan tersebut sebagai pakan ternak.

Kandungan lemak kasar (LK) pada sumber protein alternatif juga cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan sumber protein konvensional, yakni 12,2-31,29% pada sumber protein alternatif dan 4,11-8,20% pada sumber protein konvensional. Kandungan lemak yang tinggi menjadi pembatas dalam penggunaan maggot (Hidayat 2018). Oleh sebab itu, ada proses untuk mengurangi lemak (*defatted*). Proses penghilangan lemak sebagian (*partially defatted*) dilakukan oleh Matin et al. (2021) tanpa menyebutkan caranya. dan proses ini menghasilkan kandungan

nutrisi maggot dan maggot *partially defatted* yang tidak jauh berbeda (Tabel 1). Hal ini disebabkan karena proses penghilangan lemak yang dilakukan pada maggot hanya sebagian saja sehingga kandungan LK pada maggot yang *partially defatted* tidak jauh berbeda dengan maggot sebelum *defatting*, demikian juga dengan kandungan nutrisi lainnya. Namun, bila BSF dipress dengan mesin, kandungan lemak pada maggot berkurang drastis hingga tinggal 20% dari lemak sebelumnya (Traksele et al. 2021). Hal ini menyebabkan peningkatan kandungan protein sebesar 2 kali dan nilai pencernaan protein sebesar 1,6 kali pada tepung larva BSF setelah *defatting* dibandingkan dengan tepung larva BSF tanpa *defatting*.

Selain itu perbedaan kandungan nutrisi BSF dapat terjadi akibat perbedaan tingkat pertumbuhan. Hasil penelitian Soetemans et al. (2020) menunjukkan bahwa BSF pada tingkat pertumbuhan larva, prepupa, pupa, *shedding*, dan kokon memiliki kandungan abu yang berbeda, yakni masing-masing sebesar 12% BK, 12,2% BK, 10,7% BK, 24,5% BK, dan 19,4% BK.

Tabel 1. Kandungan nutrisi bahan pakan sumber protein

Kandungan nutrisi (%BK kecuali disertakan)	Sumber protein alternatif						Sumber protein konvensional	
	Maggot (<i>Hermetia illucens</i>) ¹	Maggot <i>partially defatted</i> (<i>Hermetia illucens</i>) ¹	Jangkrik (<i>Gryllus bimaculatus</i>) ^{1,2}	Ulat hongkong (<i>Tenebrio molitor</i>) ^{3,8,11}	Ulat sutra (<i>Samia ricini</i>) ⁴	Ulat sutra (<i>Bombyx mori</i>) ^{5,12}	Tepung ikan ^{6,7,10,13}	Bungkil kedelai ^{6,7,8,9,10,13}
PK	45,20-58,10	56,7	67,70-67,40	52,40-64,50	54,00-54,80	54,55-57,21	60,2-73,00	41,14-61,23
LK	19,00-20,70	12,2	14,00-19,40	20,30-28,00	25,00-26,2	29,05-31,29	4,11-10,70	0,81-3,60
ADF	7,44-9,85	13,8	10,80-13,10	7,17-10,80				
NDF	12,40-32,70	21,2	36,00-39,30	41,40	3,14-3,62*	2,39-4,84*	0,80-1,10	4,49-8,63*
Ca	1,34-3,65	0,91	0,14	0,05	0,71-0,77	0,11	4,06-5,46	0,18-0,53
P	0,85-1,11	0,87	0,82	0,85	0,57-0,59	0,27	2,69-3,14	0,64-0,87
Na	0,12-0,18	0,24	0,43	0,07	-	-	0,44-0,96	0,01-0,12
GE (Kkal/kg BK)	5325-5159	5110	5877	5832	4596-4685	4756	4732	4345
TME (Kkal/kg BK)	3990-4250	3561	4223	-	-	-	-	-

¹(Matin et al. 2021); ²(Jayanegara et al. 2017); ³(De Marco et al. 2015); ⁴(Longvah et al. 2011); ⁵(Bhagat & Barat 2017); ⁶(Wang et al. 2005); ⁷(Barroso et al. 2013); ⁸(Joseph et al. 2008); ⁹(Ibáñez et al. 2020); ¹⁰(NRC 2000); ¹¹(Finke 2015); ¹²(Kim et al. 2017); ¹³(Allameh et al. 2007); *SK = Serat kasar; PK=Protein kasar; LK=Lemak kasar; ADF=Acid detergent fiber; NDF=Neutral detergent fiber; Ca= kalsium; P=fosfor; Na=natrium; GE=Gross energy; TME= True metabolizable energy

Tabel 2. Kandungan asam amino bahan pakan alternatif sumber protein

Asam amino (%BK)	Sumber protein alternatif				Sumber protein konvensional		
	Maggot (<i>Hermetia illucens</i>) ¹	Maggot <i>partially defatting</i> (<i>Hermetia illucens</i>) ¹	Jangkrik (<i>Gryllus bimaculatus</i>) ¹	Ulat Hongkong (<i>Tenebrio molitor</i>) ²	Ulat Sutra (<i>Bombyx mori</i>) ³	Tepung ikan ^{4, 5, 6}	Bungkil kedelai ^{5,7}
Asam aspartat	4,35-5,22	5,2	6,81	4,37	5,06	4,77-6,15	6,99
Treonin	1,89-2,24	2,33	2,63	1,85	2,17	2,25-4,57	2,10-4,81
Serin	1,85-2,12	2,46	3,22	2,27	2,06	2,0-2,596	7,42
Asam glutamat	5,16-5,65	6,47	7,46	6,29	5,28	6,02-8,33	11,93
Prolin	2,72-3,09	3,97	4,43	3,43	3,89	2,71-3,47	2,51-8,94
Glisin	3,02-3,47	4,44	6,9	2,21	2,00	2,8-3,11	11,14
Alanin	3,23-3,66	3,88	7,45	3,89	2,17	3,33-4,04	5,27
Sistin	0,57-0,67	0,64	0,73	1,25	0,78	0,49	0,94
Valin	4,08-4,69	7,45	6,31	2,82	2,61	2,62-4,06	2,75-4,33
Metionin	0,69-1,02	0,92	1,13	1,01	1,89	1,45-2,14	0,51-1,11
Isoleusin	2,14-2,66	2,65	3,31	2,21	1,89	2,33-3,68	2,76-4,00
Leusin	3,27-3,91	4,07	5,39	3,15	3,45	3,68-5,70	4,04-8,04
Tirosin	2,80-3,49	3,62	3,69	3,28	3,11	1,52-2,85	1,48-3,22
Fenilalanin	1,98-2,57	2,46	2,54	1,88	2,56	2,35-3,93	2,92-5,99
Lisin	3,36-4,48	3,88	4,32	3,59	3,39	4,51-6,41	3,20-5,44
Histidin	1,45-1,95	1,87	1,77	1,68	1,50	1,71-5,74	1,65-3,00
Arginin	2,16-2,86	2,84	4,17	2,8	2,61	3,24-5,42	4,05-5,67
Triptofan	0,66-0,84	0,81	0,7	-	0,83	-	1,65

¹(Matin et al. 2021); ²(Bosch et al. 2014); ³(Tomotake et al. 2010); ⁴(Wang et al. 2005); ⁵(Barroso et al. 2013); ⁶(Tazikeh et al. 2019); ⁷(Joseph et al. 2008)

Ulat sutera yang berbeda spesies juga memiliki kandungan nutrisi yang serupa (Tabel 1). Hal tersebut menunjukkan bahwa terdapat kandungan PK dan LK yang hampir sama pada serangga dengan jenis yang sama, meskipun spesies serangga tersebut berbeda.

Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kandungan protein (Dong et al. 2017) dan asam amino (Stull et al. 2019) dalam ulat sutera adalah jenis media pembiakan. Hasil kajian Ruth et al. (2019) bahwa komposisi nutrisi dalam tanaman inang ulat sutera mempengaruhi

performa pertumbuhan dan komposisi protein ulat sutera, sedangkan perbedaan jenis ulat sutera tidak memberikan perbedaan yang berarti pada kandungan protein kasar pupa ulat sutera *Samia ricini* dan *Bombyx mori* (Longvah et al. 2011; Bhagat & Sudip 2017). Tetapi, hasil penelitian Stull et al. (2019) menunjukkan bahwa ulat hongkong yang dibiakkan pada media berbeda selama 32 hari walaupun tidak menunjukkan perbedaan kandungan PK, namun terdapat perbedaan kandungan asam amino dari ulat hongkong yang dikembangkan dengan media berbeda.

Kandungan asam amino

Kandungan asam amino esensial (metionin, lisin, threonin, dan triptofan) dan non-esensial (valin, isoleusin, dan glisin) pada sumber protein alternatif dan konvensional memiliki nilai yang hampir sama bagi ternak unggas. Kandungan tirosin sumber protein alternatif lebih tinggi dibandingkan dengan tirosin dalam sumber protein konvensional, masing-masing sebesar 2,80-3,69% dibandingkan 1,48-2,85%. Sedangkan sumber protein konvensional memiliki kandungan arginin yang sedikit lebih tinggi (3,24-5,42% BK dan 2,16-2,86%), kecuali pada arginin jangkrik yang serupa dengan sumber protein konvensional yakni sebesar 4,17% BK.

Kandungan leusin dan isoleusin pada maggot dan jangkrik hampir sama dengan sumber protein konvensional (Tabel 2). Sedangkan kandungan kedua asam amino esensial tersebut pada ulat sutera dan ulat Hongkong lebih rendah dibandingkan dengan sumber protein konvensional, namun nilainya mendekati nilai pada tepung ikan.

Menurut Sánchez-Muros et al. (2014), tepung ikan kualitas tinggi memiliki kandungan histidin, lisin, dan triptofan lebih tinggi dibandingkan insekta termasuk ulat sutera. Kandungan histidin, lisin, dan triptofan sumber protein alternatif masing-masing sebesar 1,45-1,95% BK, 3,36-4,48% BK, dan 0,66-0,84% BK (Tabel 2), sedangkan kandungan 3 asam amino tersebut dalam tepung ikan berkualitas tinggi masing-masing sebesar 3,6% BK, 7,9% BK, dan 1% BK (Sánchez-Muros et al. 2014).

Kandungan asam lemak

Kandungan asam miristat, palmitat, dan stearat sebagai asam lemak jenuh pada sumber protein alternatif cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan sumber protein konvensional, yakni sebesar 3,55-13,86%BK dibandingkan 0,59-2,91%BK (Tabel 3). Menurut Lawal et al. (2021) kandungan 7 asam lemak jenuh (asam laurat, asam miristat, asam pentadecanoat, asam palmitat, asam margarar, asam stearat, dan asam

arachidonat) pada larva BSF adalah sebesar 59,13-86,75% total asam lemak, setara dengan 10,76-25,03% BK, sedangkan kandungan asam lemak jenuh larva ulat hongkong adalah sebesar 26,95-28,61% total asam lemak, setara dengan 8,69-11,33% BK. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan dengan asam lemak jenuh pada Tabel 3, yakni 3,55-13,86%BK pada maggot dan 11,02%BK pada ulat hongkong. Hal ini disebabkan karena nilai pada Tabel 3 hanya menunjukkan 3 asam lemak jenuh, yakni asam miristat, palmitat, dan stearat.

Selain itu, kandungan asam palmitoleat, omega-3, omega-6, dan omega-9 sebagai asam tidak jenuh pada sumber protein alternatif juga cenderung lebih besar dibandingkan dengan sumber protein konvensional, yakni sebesar 3,46-22,96%BK dibandingkan 1,45-2,10%BK (Tabel 3). Menurut Lawal et al. (2021) kandungan asam lemak tidak jenuh pada larva BSF adalah sebesar 2,39-13,13%BK, sedangkan kandungan asam lemak tidak jenuh larva ulat hongkong adalah sebesar 22,81-32,42%BK. Kandungan asam lemak tidak jenuh penelitian tersebut tidak jauh berbeda dibandingkan dengan asam lemak jenuh pada Tabel 3, yakni 3,46-22,06%BK pada maggot dan 19,87%BK pada ulat Hongkong. Hal ini disebabkan karena nilai pada Tabel 3 menunjukkan 4 jenis asam lemak (asam palmitoleat, asam oleat, asam linoleat, dan asam linolenat) dan Lawal et al. (2021) menggunakan 5 jenis asam lemak jenuh (asam palmitoleat, asam oleat baik trans dan cis, asam erukat, asam linoleat, dan asam linolenat). Perbedaan nilai tersebut disebabkan oleh 1 jenis asam lemak yang tidak dihitung pada Tabel 3, yakni asam erukat yang nilainya cenderung kecil sehingga tidak memberikan perbedaan yang berarti pada nilai asam lemak tidak jenuh Tabel 3 dan Lawal et al. (2021).

Kandungan kitin

Kitin adalah senyawa kimia yang banyak terdapat pada serangga yaitu sebesar 2,59-31,1%BK. Nilai tersebut tergantung pada jenis serangga dan tahapan pertumbuhan serangga yang diamati. Sedangkan menurut Wang et al. (2005) sumber protein konvensional tidak memiliki kandungan kitin, baik pada sumber protein berbasis hewan (tepung ikan), maupun sumber protein yang berbasis tanaman (bungkil kedelai). Kandungan kitin ini akan berkontribusi pada nilai PK yang tinggi pada sumber protein alternatif ini dan diduga mengakibatkan terjadinya penurunan pencernaan BK, PK, LK, dan GE (Taufek et al. 2016).

Produk turunan kitin dari serangga, yakni kitosan dapat digunakan sebagai antibakteri dan antifungi. Produk kitosan dari ulat sutra ini memiliki aktivitas antibakteri (*Bacillus cereus*, *staphylococcus aureus*,

Tabel 3. Kandungan asam lemak bahan pakan sumber protein alternatif

Asam lemak (% BK)	Sumber protein alternatif						Sumber protein konvensional	
	Maggot (<i>Hermetia illucens</i>) ^{1a}	Maggot (<i>Hermetia illucens</i>) ^{1b}	Jangkrik (<i>Gryllus bimaculatus</i>) ²	Larva Ulat Hongkong (<i>Tenebrio molitor</i>) ³	Ulat Sutra (<i>Bombyx mori</i>) ⁴	Ulat Sutra (<i>Samia ricinii</i>) ⁵	Tepung ikan ⁶	Bungkil kedelai ⁶
Asam miristat (C14:0)	0,65-5,49	1,09-1,77	0,16-0,18	1,46	0,03	0,02-0,10	0,65	0
Asam palmitat (C16:0)	2,45-7,34	2,54-2,84	4,70-6,27	6,97	7,79	3,56-5,84	1,83	0,45
Asam palmitoleat (C16:1)	1,06-2,91	0,63-0,95	0,30-0,70	0,64	0,55	0,14-0,30	0,65	0
Asam stearat (C18:0)	0,45-1,03	0,48-0,57	1,18-1,90	2,59	1,45	0,61-0,90	0,43	0,14
Asam oleat (C18:1, n-9)	1,57-11,72	2,20-2,71	4,57-7,15	11,72	8,37	1,84-2,98	0,69	0,43
Asam linoleat (C18:2, n-6)	0,50-5,84	0,81-1,14	7,83-12,37	7,47	2,35	0,90-1,08	0,09	1,46
Asam linolenat (C18:3, n-3)	0,33-1,59	0,43-0,55	0,27-0,29	0,04	11,69	7,72-11,66	0,02	0,21

^{1a}(Ewald et al. 2020) maggot dengan sumber media berbeda; ^{1b}(Ewald et al. 2020) maggot dengan konsentrasi substrat berbeda; ²(Grapes et al. 1989) dengan BK merujuk pada (Mlček et al. 2018); ³(Paul et al. 2017); ⁴(Tomotake et al. 2010); ⁵(Shanker et al. 2006); ⁶(Barroso et al. 2013)

E.coli, dan *Klebsiella pneumoniae*) yang lebih tinggi dari amoxicillin dan antifungi (*Aspergillus niger*, *Trichophyton mentagrophytes*, *Candida albicans*, dan *Cryptococcus neoformans*) yang lebih tinggi dari clotrimazole (Battampara et al. 2020). Produk kitosan ini diperoleh dengan menghilangkan lemak dan menghilangkan protein yang secara tidak langsung akan menghilangkan mineral bahan untuk menghasilkan kitin serta kemudian penghilangan gugus asetil untuk menghasilkan kitosan sebesar 66,9% dari produk kitin yang dihasilkan (Battampara et al. 2020).

Kandungan kitin yang tidak diubah menjadi kitosan di dalam pakan juga memiliki potensi aktivitas antibakteri. Hal ini sesuai dengan Dong et al. (2021) yang melaporkan bahwa larva BSF yang telah dihilangkan kandungan lemaknya dapat menekan

pertumbuhan *Clostridium perfringens* pada percobaan *in vitro*. Selain itu percobaan *in vitro* pada ruminansia juga menunjukkan adanya penurunan gas metana akibat penggunaan tepung larva BSF (Jayanegara et al. 2017). Pemanfaatan 5%BK minyak serangga (maggot/jangkrik/ulat hongkong) dalam uji *in vitro*, dapat menekan produksi gas metana masing-masing penurunan sebesar 15,94%, 25,95%, dan 33,00% (Jayanegara et al. 2020). Sedangkan penggunaan kitosan sebanyak 1,5 g/kg secara *in-vitro* dapat menurunkan produksi metana sebanyak 32% (Jiménez-Ocampo et al. 2021). Oleh sebab itu, pemanfaatan serangga pada ternak ruminansia ditujukan pada pemanfaatan kitin sebagai bahan aditif atau minyak serangga sebagai suplemen untuk menekan produksi gas metana.

Tabel 4. Kandungan kitin bahan pakan sumber protein

Bahan pakan	Kandungan kitin (% BK)	Sumber
Larva BSF (<i>Hermetia illucens</i>)	7,80-9,50	Soetemans et al. 2020
Larva BSF sebelum <i>defatting</i> (<i>Hermetia illucens</i>)	3,87	Traksele et al. 2021
Larva BSF setelah <i>defatting</i> (<i>Hermetia illucens</i>)	7,21	Traksele et al. 2021
Prepupa BSF (<i>Hermetia illucens</i>)	9,10-10,90	Soetemans et al. 2020
Pupa BSF (<i>Hermetia illucens</i>)	10,30-10,70	Soetemans et al. 2020
<i>Shedding</i> BSF (<i>Hermetia illucens</i>)	23,70-31,10	Soetemans et al. 2020
Kokon BSF (<i>Hermetia illucens</i>)	22,40-23,80	Soetemans et al. 2020
BSF (<i>Hermetia illucens</i>)	5,60-8,40	Soetemans et al. 2020
Jangkrik (<i>Gryllus bimaculatus</i>)	8,70	Wang et al. 2005
Jangkrik (<i>Gryllus bimaculatus</i>)	7,15	Taufek et al. 2016
Larva ulat hongkong (<i>Tenebrio molitor</i>)	4,92	Song et al. 2018
Ulat sutera (<i>Bombyx</i> sp)	2,59-4,23	Paulino et al. 2006
Pupa ulat sutera*	18,00	Battampara et al. 2020
Cangkang telur ulat sutera*	6,00	Battampara et al. 2020
Tepung ikan	-	Wang et al. 2005
Bungkil kedelai	-	Wang et al. 2005

*Nama ilmiah tidak disertakan dalam literatur

APLIKASI PEMANFAATAN SUMBER PROTEIN PAKAN ALTERNATIF

Pemanfaatan serangga telah banyak dilakukan pada ternak, khususnya ternak unggas. Penggunaan serangga ini untuk pemenuhan kebutuhan protein pada ruminansia masih sangat terbatas. Sumber protein ruminan berasal dari sintesis protein mikroba di dalam rumen. Protein mikroba pada ruminan yang diberi pakan dengan kandungan protein tinggi menunjukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan yang diberi pakan dengan kandungan karbohidrat bukan serat yang tinggi (Lu et al. 2019). Hal ini menunjukkan bahwa pemberian pakan dengan kandungan protein yang tinggi pada ruminan menjadi tidak efisien.

Tabel 5 menunjukkan aplikasi penggunaan sumber protein alternatif tersebut di lapangan. Sumber protein alternatif dalam pakan ayam petelur maupun

ayam pedaging berpotensi menggantikan bungkil kedelai, sedangkan dalam pakan burung puyuh berpotensi menggantikan tepung ikan. Potensi pemanfaatan BSF, jangkrik, ulat hongkong, dan ulat sutera pada ayam pedaging sebesar 8%BK menggantikan 100% bungkil kedelai, 5-15%BK menggantikan 40-100% tepung ikan, 5-29,5%BK menggantikan 3-100% bungkil kedelai, dan 7,8%BK menggantikan 100% bungkil kedelai. Potensi pemanfaatan BSF dan ulat hongkong pada ayam petelur sebesar 10-15%BK menggantikan 66-100% bungkil kedelai dan 5%BK menggantikan 21% bungkil kedelai. Potensi pemanfaatan jangkrik, ulat hongkong, dan ulat sutera pada burung puyuh sebesar 2-8%BK menggantikan 25-100% tepung ikan, 2,25%BK menggantikan 25% tepung ikan, dan 2,08-6,25%BK menggantikan 26-76% tepung ikan.

Tabel 5. Aplikasi penggunaan sumber protein alternatif dalam pakan ternak

Serangga	Aplikasi pada ternak	Jumlah pemberian	Pengaruh	Sumber
Non-ruminansia/monogastrik				
Larva BSF <i>deffated</i> (<i>Hermetia illucens</i>)	Ayam petelur	10-15% dalam pakan menggantikan bungkil kedelai	(+) Peningkatan bobot badan <i>shaver white</i> (0,52-2,45%) dan meningkatkan skor kuning telur (13,58-17,80%) (-) meningkatkan retensi NDF pakan (59,07-68,87%) dan mengurangi berat telur/butir (1,56-2,25%)	Mwaniki et al. 2020
Maggot BSF (<i>Hermetia illucens</i>)	Ayam pedaging	8% dalam pakan menggantikan bungkil kedelai	Pengaruh terhadap konsumsi pakan sama pengaruhnya dengan 10% bungkil kedelai dalam pakan (+) Meningkatkan pertambahan bobot badan (9,58%) dan mengurangi FCR (7,53%)	Khan et al. 2018
Jangkrik (<i>Gryllus bimaculatus</i>)	Ayam pedaging	5-15% dalam pakan menggantikan tepung ikan	Pertambahan bobot badan, konsumsi pakan, dan efisiensi pakan (g pertumbuhan/kg pakan) sama dengan perlakuan tepung ikan dalam pakan	Wang et al. 2005
Jangkrik (<i>Gryllus bimaculatus</i>)	Burung puyuh	2-8% dalam pakan komersial	(-) Menurunkan bobot badan akhir burung puyuh jantan (0,64-3,35%) (+) Meningkatkan persentase karkas jantan (0,40-2,29%) (+) Meningkatkan bobot badan akhir burung puyuh betina (7,24-8,76%) (+) Meningkatkan persentase karkas betina (3,21-7,39%)	Panjaitan et al. 2012
Jangkrik (<i>Gryllus bimaculatus</i>)	Burung puyuh	6-8% dalam pakan menggantikan tepung ikan	(+) meningkatkan produksi telur (18,26-45,80%) dan meningkatkan bobot telur (13,44-41,56%)	Permatahati et al. 2019
Ulat hongkong (<i>Tenebrio molitor</i>)	Burung puyuh	2,25% dalam pakan menggantikan tepung ikan	Nilai hematologi telur puyuh, FCR, berat telur sama dengan perlakuan tepung (+) menurunkan konsumsi pakan sebesar 9,42% (umur 1-5 minggu)	Zadeh et al. 2020
Ulat hongkong (<i>Tenebrio molitor</i>)	Ayam pedaging	29,65% dalam pakan menggantikan bungkil kedelai	PBB ternak sama dengan perlakuan bungkil kedelai (+) menurunkan FCR (12,35%) dan meningkatkan panjang total usus sebesar (8,40%) (-) menurunkan pencernaan BK (2,04%), BO (2,03%), dan PK (8,19%) di ileal	Bovera et al. 2016
Ulat hongkong (<i>Tenebrio molitor</i>)	Ayam pedaging	8,1% dalam pakan menggantikan bungkil kedelai	(+) Meningkatkan pertambahan bobot badan (13,71%), menurunkan konsumsi pakan (7,2%), mengurangi FCR (13,44%) selama 5 minggu pemeliharaan	Khan et al. 2018

Serangga	Aplikasi pada ternak	Jumlah pemberian	Pengaruh	Sumber		
Non-ruminansia/monogastrik						
Ulat hongkong (<i>Tenebrio molitor</i>)	Ayam pedaging jantan	5-15% dalam pakan menggantikan bungkil kedelai	(+) Meningkatkan linear bobot badan umur 12 (7,32-24,74%) dan 25 hari (2,17-15,11%) serta menurunkan bobot badan umur 53 hari secara kuadratik (3,47-11,69%)	Biasato et al. 2018		
Ulat hongkong (<i>Tenebrio molitor</i>)	Ayam pedaging	1-3 g BK <i>as fed</i> dalam pakan	(+) meningkatkan pertambahan bobot badan sebesar (6,76-14,94%) dan menurunkan FCR (6,47-12,94%) dari kelompok kontrol selama 6 minggu pemeliharaan	Hussain et al. 2017		
Ulat hongkong (<i>Tenebrio molitor</i>)	Babi masa pertumbuhan	9,95% dalam pakan menggantikan tepung ikan, tepung daging, atau tepung limbah unggas	(+) Tren peningkatan pencernaan BK di ileal dibandingkan dengan tepung ikan, tepung daging, dan tepung unggas sebesar 6,03%, 2,82%, dan 2,04% (+) Tren peningkatan pencernaan GE di ileal dibandingkan dengan tepung ikan, tepung daging, dan tepung unggas sebesar 7,07%, 1,29%, dan 1,90% (+) Tren peningkatan pencernaan PK di ileal dibandingkan dengan tepung ikan, tepung daging, dan tepung unggas sebesar 5,34%, 3,25%, dan 1,95% (+) Tren peningkatan pencernaan total asam amino di ileal dibandingkan dengan tepung ikan, tepung daging, dan tepung unggas sebesar 4,95%, 3,11%, dan 1,85%	Yoo et al. 2019		
Ulat hongkong (<i>Tenebrio molitor</i>)	Ayam petelur	5% dalam pakan untuk menggantikan bungkil kedelai	Kestabilan mikroba dan produksi micotoksin dalam pakan, panjang vili, dan mikroba di sekum nilainya sama dengan perlakuan bungkil kedelai (+) meningkatkan viskositas digesta di ileum (20,94%) yang mengindikasi penurunan laju pakan di ileum dan berpotensi meningkatkan penyerapan nutrisi pakan di ileum	Stastnik et al. 2021		
Ulat sutera (<i>Bombyx mori</i>)	Burung puyuh	2,08-6,25% dalam pakan menggantikan tepung ikan	Konsumsi pakan dan <i>yolk score</i> sama dengan perlakuan tepung ikan, namun terdapat tren kenaikan dengan penambahan tepung ulat sutera (+) Menurunkan FCR (20,04-28,72%) (+) Meningkatkan produksi total produksi telur (17,58-46,58%)	Rahmasari et al. 2014		
Ulat sutera (<i>Bombyx mori</i>)	Ayam pedaging	7,8% dalam pakan menggantikan bungkil kedelai	Pengaruh terhadap konsumsi pakan sama pengaruhnya dengan 10% bungkil kedelai dalam pakan (+) Meningkatkan pertambahan bobot badan (11,15%) dan mengurangi FCR (9,14%)	Khan et al. 2018		
Ruminansia						
Larva minggu (<i>Hermetia illucens</i>)	BSF dan 1 minggu	2	Potensi penggunaan pada sapi	100% dalam pengamatan	Kandungan VFA (mmol/l) sama dengan 100% bungkil kedelai (+) menurunkan produksi gas metana (ml/g BK) pada inkubasi 12 jam (52,41-60,17%), 24 jam (60,39-67,53%), dan 48 jam (66,84-73,52%)	Jayanegara et al. 2017

Serangga	Aplikasi pada ternak	Jumlah pemberian	Pengaruh	Sumber
Ruminansia				
			(-) menurunkan NH_3 (38,71-46,08%), menurunkan pencernaan BK (37,50-39,41%), dan menurunkan pencernaan BO (36,60-39,63%), meningkatkan pH (2,11-2,54%), dan menurunkan produksi gas total pada inkubasi 12 jam (40,13-50,53%), 24 jam (46,01-56,27%), dan 48 jam (50,25-61,04%)	
Maggot BSF (<i>Hermetia illucens</i>)	Potensi penggunaan pada sapi	Minyak maggot BSF sebanyak 5% dalam pakan secara <i>in vitro</i>	Nilai pH, VFA, NH_3 , pencernaan BK dan BO sama dengan perlakuan tanpa penambahan minyak (+) menurunkan total gas (mL) pada inkubasi 48 jam (8,13%) dan 72 jam (8,51%), serta menurunkan produksi gas metana (15,94%)	Jayanegara et al. 2020
Jangkrik (<i>Gryllus bimaculatus</i>)	Potensi penggunaan pada sapi	100% dalam pengamatan	Kandungan VFA (mmol/l) sama dengan 100% bungkil kedelai (+) meningkatkan NH_3 (38,71%) serta menurunkan produksi gas metana pada inkubasi 12 jam (75,34%), 24 jam (69,35%), dan 48 jam (67,58%) (-) menurunkan pencernaan BK (27,70%) dan pencernaan BO (24,59%), meningkatkan pH (3,80%), dan menurunkan produksi gas total pada inkubasi 12 jam (56,89%), 24 jam (55,24%), dan 48 jam (53,11%)	Jayanegara et al. 2017
Jangkrik (<i>Gryllus bimaculatus</i>)	Potensi penggunaan pada sapi	Minyak jangkrik sebanyak 5% dalam pakan secara <i>in vitro</i>	Nilai pH, VFA, dan NH_3 , total gas (mL) pada inkubasi 48 dan 72 jam sama dengan perlakuan tanpa penambahan minyak (+) menurunkan produksi gas metana (25,95%) (-) menurunkan pencernaan BK (19,01%) dan pencernaan BO (19,82%)	Jayanegara et al. 2020
Ulat hongkong (<i>Tenebrio molitor</i>)	Potensi penggunaan pada sapi	100% dalam pengamatan	Kandungan VFA (mmol/l) dan NH_3 (mmol/l) sama dengan 100% bungkil kedelai (+) menurunkan produksi gas metana (ml/g BK) pada inkubasi 12 jam (59,48%), 24 jam (55,06%), dan 48 jam (59,75%) dibandingkan penggunaan kedelai (-) menurunkan pencernaan BK (32,88%) dan BO (30,42%), menaikkan pH (2,11%), dan menurunkan produksi gas total pada inkubasi 12 jam (47,55%), 24 jam (46,71%), dan 48 jam (46,51%)	Jayanegara et al. 2017
Ulat hongkong (<i>Tenebrio molitor</i>)	Potensi penggunaan pada sapi	Minyak ulat hongkong sebanyak 5% dalam pakan secara <i>in vitro</i>	Nilai pH, VFA, dan NH_3 , total gas (mL) pada inkubasi 48 dan 72 jam sama dengan perlakuan tanpa penambahan minyak (+) menurunkan produksi gas metana sebesar 33% (-) menurunkan pencernaan BK (13,91%) dan pencernaan BO (15,26%)	Jayanegara et al. 2020

Secara berurutan harga jual per kg maggot BSF, ulat hongkong, dan pupa ulat sutera segar mencapai Rp 30.000 (Dewi et al. 2021), Rp 100.000-170.000 (Lazuardi et al. 2020), dan Rp 20.000 (Mutiar & Asnani 2017). Sedangkan, harga jual per kg bungkil kedelai saat ini tidak lebih dari Rp 10.000 dan tepung ikan tidak lebih dari Rp 15.000,-. Kondisi ini menunjukkan bahwa penggunaan sumber protein alternatif belum ekonomis apabila dibandingkan dengan sumber protein konvensional. Namun, menurut Fauzi & Sari (2018) biaya produksi per kg maggot BSF hanya sebesar Rp 4.650. Perbedaan yang sangat tinggi antara harga jual dan harga produksi sumber protein alternatif ini dapat disebabkan karena produksi sumber protein tersebut masih dilakukan dalam skala kecil dan hanya dikhususkan untuk pakan hewan peliharaan. Oleh karena itu, peningkatan kapasitas produksi skala industri perlu dikembangkan dan perlu dilakukan perubahan orientasi pemanfaatan sumber protein-protein alternatif tersebut menjadi bahan pakan ternak produksi serta kajian ekonomisnya. Hal ini dilakukan sebagai upaya untuk mengurangi penggunaan sumber protein konvensional, yang umumnya sangat bergantung pada impor.

KESIMPULAN

Tepung serangga memiliki kandungan protein kasar yang relatif sama dan lemak kasar yang lebih tinggi dibandingkan dengan sumber protein konvensional. Tepung serangga memiliki kandungan tirosin yang lebih tinggi, serta arginin, histidin, lisin, dan triptofan yang lebih rendah dibandingkan dengan bungkil kedelai dan tepung ikan. Kandungan kitin pada sumber protein alternatif menyebabkan penurunan pencernaan pakan sehingga dapat membatasi penggunaannya dalam ransum, namun berpotensi sebagai antibakteri, antifungi, dan pada ternak ruminansia berperan dalam upaya mitigasi gas metana enterik. Tepung serangga sebagai sumber protein alternatif dalam pakan ayam petelur maupun ayam pedaging berpotensi menggantikan bungkil kedelai, sedangkan dalam pakan burung puyuh berpotensi menggantikan tepung ikan. Potensi pemanfaatan BSF, jangkrik, ulat hongkong, dan ulat sutera pada ayam pedaging sebesar 8%BK menggantikan 100% bungkil kedelai, 5-15%BK menggantikan 40-100% tepung ikan, 5-29,5%BK menggantikan 3-100% bungkil kedelai, dan 7,8%BK menggantikan 100% bungkil kedelai. Potensi pemanfaatan BSF dan ulat hongkong pada ayam petelur sebesar 10-15%BK menggantikan 66-100% bungkil kedelai dan 5%BK menggantikan 21% bungkil kedelai. Potensi pemanfaatan jangkrik, ulat hongkong, dan ulat sutera pada burung puyuh sebesar 2-8%BK menggantikan 25-100% tepung ikan,

2,25%BK menggantikan 25% tepung ikan, dan 2,08-6,25%BK menggantikan 26-76% tepung ikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Allameh SK, NM Soofiani, J Pourreza. 2007. Determination of digestible and metabolizable energy of fishmeal and soybean meal in rainbow trout with two different sizes (*Oncorhynchus mykiss*). Pak J Biol Sci. 10:3277-3725.
- Barroso FG, de Haro C, Sánchez-Muros MJ, Venegas E, Martínez-Sánchez A, Pérez-Bañón C. 2013. The potential of various insect species for use as food for fish. Aquaculture. 422-423:193-201. doi: 10.1016/j.aquaculture.2013.12.024.
- Battampara P, Nimisha Sathish T, Reddy R, Guna V, Nagananda GS, Reddy N, Ramesha BS, Maharaddi VH, Rao AP, Ravikumar HN, et al. 2020. Properties of chitin and chitosan extracted from silkworm pupae and egg shells. Int J Biol Macromol. 161:1296-1304. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.07.161.
- Bhagat RP, Barat S. 2017. Impact of artificial feed on survival and growth of Rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) during exogenous feeding in Raceways of Kathmandu, Nepal. Int J Pure Appl Biosci. 5:149-156.
- Biasato I, Gasco L, De Marco M, Renna M, Rotolo L, Dabbou S, Capucchio M, Biasibetti E, Tarantola M, Sterpone L, et al. 2018. Yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*) inclusion in diets for male broiler chicken: effects on growth performance, gut morphology, and histological findings. Poult Sci. 97:540-548. doi: 10.3382/ps/pex308.
- Bosch G, Zhang S, Oonincx DGAB, Hendriks WH. 2014. Protein quality of insects as potential ingredients for dog and cat foods. J Nutr Sci. 3:1-4. doi: 10.1017/jns.2014.23.
- Bovera F, Loponte R, Marono S, Piccolo G, Parisi G, Iaconisi V, Gasco L, Nizza A. 2016. Use of *Tenebrio molitor* larvae meal as protein source in broiler diet: Effect on growth performance, nutrient digestibility, and carcass and meat traits. J Anim Sci. 94:639-647. doi: 10.2527/jas.2015-9201.
- De Marco M, Martínez S, Hernandez F, Madrid J, Gai F, Rotolo L, Belforti M, Bergero D, Katz H, Dabbou S, et al. 2015. Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. Anim Feed Sci. 209:211-218. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2015.08.006.
- Dewi IP, Taufikurohman MR, Bross N. 2021. Analisis kelayakan finansial pembuatan pakan ternak dari sampah organik dapur. J Ekon Pertan Agribisnis. 5:869-877. doi: 10.21776/ub.jepa.2021.005.03.24.

- Dong HL, Zhang SX, Tao H, Chen ZH, Li X, Qiu JF, Cui Wen Zhao, Sima YH, Cui Wei Zheng, Xu SQ. 2017. Metabolomics differences between silkworms (*Bombyx mori*) reared on fresh mulberry (*Morus*) leaves or artificial diets. *Sci Rep*. 7:1–16. doi: 10.1038/s41598-017-11592-4.
- Dong L, Ariëns RMC, America AHP, Paul A, Veldkamp T, Mes JJ, Wichers HJ, Govers C. 2021. *Clostridium perfringens* suppressing activity in black soldier fly protein preparations. *Lwt-Food Sci Technol*. 149:111806. doi: 10.1016/j.lwt.2021.111806.
- Estetika Y, Endrawati YC. 2018. Produktivitas ulat sutera (*Bombyx mori* L.) ras BS-09 di daerah tropis. *J Ilmu Produksi dan Teknol Has Peternak*. 6:104–112. doi: 10.29244/jipthp.6.3.104-112.
- Ewald N, Vidakovic A, Langeland M, Kiessling A, Sampels S, Lalander C. 2020. Fatty acid composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) – Possibilities and limitations for modification through diet. *Waste Manag*. 102:40–47. doi: 10.1016/j.wasman.2019.10.014.
- Fauzi RUA, Sari ERN. 2018. Analisis usaha budidaya maggot sebagai alternatif pakan lele. *J Teknologi Manajemen Agroindustri*. 7:39–46.
- Finke MD. 2015. Complete nutrient content of four species of commercially available feeder insects fed enhanced diets during growth. *Zoo Bio*. 34:554–564.
- Fuah AM, Siregar HCH, Endrawati YC. 2015. Cricket farming for animal protein as profitable business for small farmers in Indonesia. *J Agric Sci Technol A*. 5:296–304. doi: 10.17265/2161-6256/2015.04.008.
- Grapes M, Whiting P, Dinan L. 1989. Fatty acid and lipid analysis of the house cricket, *Acheta domesticus*. *Insect Biochem*. 19:767–774.
- Hidayat C. 2018. Pemanfaatan insekta sebagai bahan pakan dalam ransum ayam pedaging. *Wartazoa*. 28:161-174. doi: 10.14334/wartazoa.v28i4.1875.
- Hussain I, Khan S, Sultan A. 2017. Meal worm (*Tenebrio molitor*) as potential alternative source of protein supplementation in broiler. *Int J Biosci*. 10:255–262. doi: 10.12692/ijb/10.4.255-262.
- Ibáñez MA, de Blas C, Camara L, Mateos GG. 2020. Chemical composition, protein quality and nutritive value of commercial soybean meals produced from beans from different countries: A meta-analytical study. *Anim Feed Sci Tech*. 267:114531. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114531.
- Jayanegara A, Gustanti R, Ridwan R, Widyastuti Y. 2020. Fatty acid profiles of some insect oils and their effects on *in vitro* bovine rumen fermentation and methanogenesis. *Ital J Anim Sci*. 19:1311–1318. doi: 10.1080/1828051X.2020.1841571.
- Jayanegara A, Yantina N, Novandri B, Laconi EB, Nahrowi, Ridla M. 2017. Evaluation of some insects as potential feed ingredients for ruminants: Chemical composition, *in vitro* rumen fermentation and methane emissions. *J Indones Trop Anim Agric*. 42:247–254. doi: 10.14710/jitaa.42.4.247-254.
- Jiménez-Ocampo R, Montoya-Flores MD, Herrera-Torres E, Pámanes-Carrasco G, Arceo-Castillo JI, Valencia-Salazar SS, Arango J, Aguilar-Pérez CF, Ramírez-Avilés L, Solorio-Sánchez FJ. 2021. Effect of chitosan and naringin on enteric methane emissions in crossbred heifers fed tropical grass. *Animals*. 11:1599.
- Joseph I, Paul Raj R, Bhatnagar D. 2008. Effect of solidstate fermentation on nutrient composition of selected feed ingredients. *Indian J Fish*. 55:327-332.
- Khan S, Khan RU, Alam W, Sultan A. 2018. Evaluating the nutritive profile of three insect meals and their effects to replace soya bean in broiler diet. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*. 102:e662–e668. doi: 10.1111/jpn.12809.
- Khusro M, Andrew NR, Nicholas A. 2012. Insects as poultry feed: A scoping study for poultry production systems in Australia. *Worlds Poult Sci J*. 68:435–446. doi: 10.1017/S0043933912000554.
- Kim SY, Weaver CM, MK Choi. 2017. Proximate composition and mineral content of five edible insect consumed in Korea. *J Food*. 15:143-146. doi: 10.1080/19476337.2016.1223172.
- Lawal KG, Kavle RR, Akanbi TO, Miroso M, Agyei D. 2021. Enrichment in specific fatty acids profile of *Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens* larvae through feeding. *Futur Foods*. 3:100016. doi: 10.1016/j.fufo.2021.100016.
- Lazuardi R, Baihaqi A, Fauzi T. 2020. Analisis kelayakan usaha budidaya ulat hongkong (*Tenebrio molitor*) (Studi kasus usaha budidaya ulat hongkong di Kecamatan Indrapuri Kabupaten Aceh Besar). *J Ilm Mhs Pertan*. 5:108–120.
- Longvah T, Mangthya K, Ramulu P. 2011. Nutrient composition and protein quality evaluation of eri silkworm (*Samia ricinii*) prepupae and pupae. *Food Chem*. 128:400–403. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.03.041.
- Lu Z, Xu Z, Shen Z, Tian Y, Shen H. 2019. Dietary energy level promotes rumen microbial protein synthesis by improving the energy productivity of the ruminal microbiome. *Front Microbiol*. 10:847.
- Makkar HPS, Tran G, Heuzé V, Ankers P. 2014. State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Anim Feed Sci Technol*. 197:1–33. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008.
- Matin N, Utterback P, Parsons CM. 2021. True metabolizable energy and amino acid digestibility in black soldier fly larvae meals, cricket meal, and mealworms using a precision-fed rooster assay. *Poult Sci*. 100:101146. doi: 10.1016/j.psj.2021.101146.
- Mlček J, Adámková A, Adámek M, Borkovcová M, Bednářová M, Kouřimská L. 2018. Selected nutritional values of field cricket (*Gryllus assimilis*)

- and its possible use as a human food. *Indian J Tradit Knowl*. 17:518–524.
- Moula N, Detilleux J. 2019. A meta-analysis of the effects of insects in feed on poultry growth performances. *Animals*. 9:1–13. doi: 10.3390/ani9050201.
- Mutiara F, Asnani DNH. 2017. Strategi pengembangan agribisnis ulat sutera pemakan daun singkong di Kabupaten Malang. *J Ilmu-Ilmu Peternak*. 27:24–38. doi: 10.21776/ub.jiip.2017.027.03.04.
- Mwaniki Z, Shoveller AK, Huber LA, Kiarie EG. 2020. Complete replacement of soybean meal with defatted black soldier fly larvae meal in Shaver White hens feeding program (28–43 wks of age): impact on egg production, egg quality, organ weight, and apparent retention of components. *Poult Sci*. 99:959–965. doi: 10.1016/j.psj.2019.10.032.
- [NRC] National Research Council. 2000. Nutrient requirements of beef cattle. 7th revised ed. Washington (US): National Academy Press.
- Panjaitan I, Sofiana A, Priabudiman Y. 2012. Suplementasi tepung jangkrik sebagai sumber protein pengaruhnya terhadap kinerja burung puyuh (*Coturnix coturnix japonica*). *J Ilm Ilmu-ilmu Peternak Univ Jambi*. XV:8–14. doi: 10.22437/jiip.v15i1.1513.
- Paul A, Frederich M, Megido RC, Alabi T, Malik P, Uyttenbroeck R, Francis F, Blecker C, Haubruge E, Lognay G, et al. 2017. Insect fatty acids: A comparison of lipids from three Orthopterans and *Tenebrio molitor* L. larvae. *J Asia Pac Entomol*. 20:337–340. doi: 10.1016/j.aspen.2017.02.001.
- Paulino AT, Simionato JI, Garcia JC, Nozaki J. 2006. Characterization of chitosan and chitin produced from silkworm crysalides. *Carbohydr Polym*. 64:98–103. doi: 10.1016/j.carbpol.2005.10.032.
- Permatahati D, Mutia R, Astuti DA. 2019. Effect of cricket meal (*Gryllus bimaculatus*) on production and physical quality of Japanese quail egg. *Trop Anim Sci J*. 42:53–58. doi: 10.5398/tasj.2019.42.1.53.
- Rahmasari R, Sumiati S, Astuti DA. 2014. The effect of silkworm pupae (*Bombyx mori*) meal to substitute fish meal on production and physical quality of quail eggs (*Coturnix coturnix japonica*). *J Indones Trop Anim Agric*. 39:180–187. doi: 10.14710/jitaa.39.3.180-187.
- Ruth L, Ghatak S, Subbarayan S, Choudhury BN, Gurusubramanian G, Kumar NS, Bin T. 2019. Influence of micronutrients on the food consumption rate and silk production of *Bombyx mori* (Lepidoptera: Bombycidae) reared on mulberry plants grown in a mountainous agro-ecological condition. *Front Physiol*. 10:1–11. doi: 10.3389/fphys.2019.00878.
- Sánchez-Muros MJ, Barroso FG, Manzano-Agugliaro F. 2014. Insect meal as renewable source of food for animal feeding: A review. *J Clean Prod*. 65:16–27. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.11.068.
- Shanker KS, Shireesha K, Kanjilal S, Kumar SVLN, Srinivas C, Rao JVK, Prasad RBN. 2006. Isolation and characterization of neutral lipids of desilked eri silkworm pupae grown on castor and tapioca leaves. *J Agric Food Chem*. 54:3305–3309. doi: 10.1021/jf060581x.
- Siemianowska E, Kosewska A, Aljewicz M, Skibniewska KA, Polak-Juszczak L, Jarocki A, Jędras M. 2013. Larvae of mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as European novel food. *Agric Sci*. 04:287–291. doi: 10.4236/as.2013.46041.
- Soetemans L, Uyttebroek M, Bastiaens L. 2020. Characteristics of chitin extracted from black soldier fly in different life stages. *Int J Biol Macromol*. 165:3206–3214. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.11.041.
- Song YS, Kim MW, Moon C, Seo DJ, Han YS, Jo YH, Noh MY, Park YK, Kim SA, Kim YW, et al. 2018. Extraction of chitin and chitosan from larval exuvium and whole body of edible mealworm, *Tenebrio molitor*. *Entomol Res*. 48:227–233. doi: 10.1111/1748-5967.12304.
- Stastnik O, Novotny J, Roztocilova A, Kouril P, Kumbar V, Cernik J, Kalhotka L, Pavlata L, Lacina L, Mrkvicova E. 2021. Safety of mealworm meal in layer diets and their influence on gut morphology. *Animals*. 11. doi: 10.3390/ani11051439.
- Stull VJ, Kersten M, Bergmans RS, Patz JA, Paskewitz S. 2019. Crude protein, amino acid, and iron content of *Tenebrio molitor* (Coleoptera, Tenebrionidae) reared on an agricultural byproduct from maize production: An exploratory study. *Ann Entomol Soc Am*. 112:533–543. doi: 10.1093/aesa/saz024.
- Taufek NM, Muin H, Raji AA, Razak SA, Yusof HM, Alias Z. 2016. Apparent digestibility coefficients and amino acid availability of cricket meal, *Gryllus bimaculatus*, and Fishmeal in African Catfish, *Clarias gariepinus*. *Diet. J World Aquac Soc*. 47:798–805. doi: 10.1111/jwas.12302.
- Tazikeh T, Abedian Kenari A, Esmaeili M. 2019. Effects of fish meal replacement by meat and bone meal supplemented with garlic (*Allium sativum*) powder on biological indices, feeding, muscle composition, fatty acid and amino acid profiles of whiteleg shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquac Res*. 51:674–686. doi: 10.1111/are.14416.
- Tomotake H, Katagiri M, Yamato M. 2010. Silkworm pupae (*Bombyx mori*) are new sources of high quality protein and lipid. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*. 56:446–448. doi: 10.3177/jnsv.56.446.
- Traksele L, Speiciene V, Smicius R, Alencikiene G, Salaseviciene A, Garmiene G, Zigmantaite V, Grigaleviciute R, Kucinskas A. 2021. Investigation of *in vitro* and *in vivo* digestibility of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae protein. *J Funct Foods*. 79:104402. doi: 10.1016/j.jff.2021.104402.

- van Huis A, Dicke M, van Loon JJA. 2015. Insects to feed the world. *J Insects Food Feed.* 1:3–5. doi: 10.3920/JIFF2015.x002.
- Wang D, Shao WZ, Chuan XZ, Yao YB, Shi HA, Ying NX. 2005. Evaluation on nutritional value of field crickets as a poultry feedstuff. *Asian-Australasian J Anim Sci.* 18:667–670. doi: 10.5713/ajas.2005.667.
- Wardhana A. 2016. Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as an plternative protein source for animal feed. *Wartazoa* 26:069–078. doi: 10.14334/wartazoa.v26i2.1218.
- Yoo JS, Cho KH, Hong JS, Jang HS, Chung YH, Kwon GT, Shin DG, Kim YY. 2019. Nutrient ileal digestibility evaluation of dried mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae compared to three animal protein by-products in growing pigs. *Asian-Australasian J Anim Sci.* 32:387–394. doi: 10.5713/ajas.18.0647.
- Zadeh ZS, Kheiri F, Faghani M. 2020. Productive performance, egg-related indices, blood profiles, and interferon- γ gene expression of laying Japanese quails fed on *Tenebrio molitor* larva meal as a replacement for fish meal. *Ital J Anim Sci.* 19:274–281. doi: 10.1080/1828051X.2020.1722970.

Regulation on Genetically Modified Animals: Proposed and Its Possible Application in Indonesia

(Regulasi Tentang Ternak Termodifikasi Genetik: Usulan dan Kemungkinan Penerapannya di Indonesia)

Bess Tiesnamurti¹, S Muharsini² and MI Shiddieqy¹

¹Indonesian Center for Animal Research and Development, Jalan Pajajaran Kav E59, Bogor 16128, Indonesia

²Indonesian Research Center for Veterinary Sciences, Jalan RE Martadinata No. 30 PO BOX 151, Bogor 16114, Indonesia
Kontributor utama: bessbiesnamurti@yahoo.com

(Diterima 20 Oktober 2021 – Direvisi 22 November 2021 – Disetujui 14 Desember 2021)

ABSTRACT

The government is responsible for fulfil the needs of safe, healthy and halal food for all its people in a sustainable manner. The world population will increase from 7 to 9 billion people in 2050. While the availability of land may not increase in the future, it may even not be used for agriculture. Scientists are trying to overcome this problem by creating technologies that can increase livestock productivity, one of which is through a genetically modified process. Genetically modified animals are animals that have been genetically modified for many purposes including yields and disease resistance. Although genetically modified animals are at the last stage of research and the possibility to entering Indonesia remains small, but government should prepare a regulation related to it. European countries and USA have regulations to control genetically modified animals. Malaysia also has applied a similar regulation since 2007. Currently, Indonesia has formed an authority that oversees the genetically modified product, namely Biosafety Commission (*Komisi Keamanan Hayati*) on genetically modified products. However, this commission only supervises genetically modified organism in food and feed. This paper is aimed to propose the regulation for genetically modified animal that may be entering Indonesia and or be researched by Indonesian scientists.

Key words: Regulation, genetically modified organism, animal

ABSTRAK

Pemerintah mempunyai tanggung jawab untuk memenuhi kebutuhan pangan aman sehat dan halal bagi seluruh penduduknya. Pada tahun 2050 diperkirakan populasi manusia akan bertambah dari 7 miliar menjadi 9 milyar orang, dipihak lain, ketersediaan lahan boleh jadi tidak akan bertambah. Seandainya pun tersedia, akan banyak terjadi alih fungsi lahan sehingga peruntukan bagi kegiatan pertanian kemungkinan berkurang. Para peneliti mencoba mengatasi hal ini melalui penciptaan teknologi yang akan meningkatkan produktivitas ternak, diantaranya melalui proses modifikasi genetik (GM). Ternak yang termodifikasi gen nya dapat dipergunakan untuk berbagai kepentingan, misalnya peningkatan produksi dan meningkatkan ketahanan terhadap penyakit. Walaupun saat ini, penelitian ternak GM ada yang sudah masuk dalam fase akhir riset dan belum akan memasuki wilayah Indonesia, akan tetapi pemerintah harus mempersiapkan regulasi terkait. Negara Uni Eropa dan Amerika Serikat telah mempunyai regulasi tentang GM ternak, hal serupa telah dimiliki negara Malaysia sejak tahun 2007. Saat ini, pemerintah Indonesia telah mempunyai Komisi Keamanan Hayati Produk Rekayasa Genetik. Tetapi komisi ini hanya menangani produk GM pangan dan pakan. Makalah ini menyampaikan usulan regulasi untuk GM ternak yang kemungkinan akan memasuki wilayah Indonesia maupun GM ternak hasil penelitian dalam negeri.

Kata kunci: Peraturan, modifikasi genetik, ternak

INTRODUCTION

World population will rise from 7 to 9 billion people in 2050 (OECD 2012). According to United Nations Millennium Goals, the targets include reduce by half the share of the global population suffering from hunger. However, the goal is not easy to be reached. Food insecurity is both an immediate tragedy and threat to longer-term well-being. Families tend to reduce higher-quality food intake, such as meat or

vegetables (Dewbre 2010). Land, water and biological resources are declining at an alarming rate, this loss has significant negative impacts on the production of food and forests (Crist et al. 2017).

Agriculture sector plays an important role in low-income countries because they have high economic dependency on that sector (Brools 2012). In Indonesia, agricultural sector remains important factor, comprising 13.45% of the country's aggregate Gross Domestic Product (GDP) or the second largest after

industrial sector (19.62%) in Quarter 3 (Q3) 2019 (BPS 2019). The Indonesian government organized many programs for the realization of food security, although many obstacles in their implementation (Andoko et al. 2018). Increasing food production is important for all countries including Indonesia, but several countries are not self-sufficient and depend on imports from other regions (D'Odorico et al. 2014).

Animal agriculture also needs to increase its production. In the future, demand for animal food products will increase, mostly in developing countries. The global livestock sector is rapidly changing in response to globalization and growing demand for animal-source foods, driven by population growth and increasing wealth in much of the developing world. The rapid rate of urbanization seen in many countries is not only linked to growing affluence but also gives rise to changes in people's food preferences, usually tending towards greater convenience and higher standards of safety (Robinson et al. 2011).

Growing two or more crops in the same land increased yields, especially in Asian countries (Taiz 2013). Genetic engineering reached an important progress during the 1980s which triggered the development of genetic modification (GM). At the most basic level, a genetically modified organism (GMO) is any organism whose genetic material has been altered using genetic engineering techniques (Veitenheimer 2016).

First GMO crop launched in 1994 as the "Flavr-Savr" tomato (Taiz 2013). While the discussion on the risks, the general necessity and the economically optimal levels of synthetic pesticide use has not come to an end, today GM raise concerns in many parts of civil society (Zadoks & Waibel 2000). In a traditional breeding program, a breeder selects desirable parental plant lines to cross, but the changes occurring at the genetic level are unpredictable (Veitenheimer 2016). There are also numerous benefits of GMO. The prospect of GM crops offering increased yield potential for important food crops on a per acre basis is one way to address the world's increased demand for food. Some GM crops also decrease synthetic chemical pesticide utilization and lower the environmental impact associated with such use.

Underlining those advance, fast biotechnology and the need to provide foods for the human population, this paper is aimed to propose the regulation for animal GMO that may be entering Indonesia and be researched by Indonesian scientists.

THE GLOBAL STATUS OF GM ANIMAL

Regulations on GM crops and GM animals have been issued by countries in various parts of the continent (Pasquito 2019; Viera et al. 2021; Kuiken &

Kuzma 2021). Indonesia can take lessons from the country's experience and adapt to the existing conditions.

The most frequently genetically engineered crop species are the big three of cotton, corn, and soybeans (Veitenheimer 2016). However, engineered animal species are also developing. Animal's genetic modification includes altering its genetic material by adding, changing or removing certain DNA sequences which do not occur naturally (EFSA 2012). The aims of the genetic modification are to modify specific characteristics or introduce a new trait, such as resistant to disease or increased growth. Initially, GM animals were used for laboratory purpose. Genetically defined laboratory mice have been described and incorporated into biological research; this trend has accelerated in the 21st century (Pritchett-Corning & Landel 2015). However, effort has been made to modify several aspects of farm animals to improve their cultivation (Cotter & Perls 2019; Lievens et al. 2015). Amongst the most targeted traits are: animal health (increased neonatal survival), disease resistance, growth rate, improvement of meat and milk composition. Three categories can thus be defined: GM animals for human consumption, as medical bioreactors, and as companion animal. The first GM animal that enter the food chain is salmon. United States Food and Drug Administration (FDA) has approved a new animal drug application concerning AquAdvantage Salmon, a genetically engineered Atlantic salmon. There are at least 74 (ongoing) attempts at animal modification, of which about half are designed for use as livestock. Amongst the latter, at the majority are intended for direct release onto the food market (as meat or meat product) as opposed to animals for wool or milk production.

The number of GM animals for which we were able to find (partial) sequence information was approximately around 56 items. Of all the genetically modified animals listed, there is currently only AquAdvantage salmon that is actually being brought into production (Lievens et al. 2015). According to EFSA (2013), no GM animals or derived products are on the EU market, nor have any applications for GM animals been received in the EU.

Table 1 showed recent molecular research of transgenic animals with potential applications. Indonesia with 265 million population has high consumption of animal products, especially in the future. The beef cattle population in Indonesia is 17,118,650 head while the population of dairy cattle is 561,061 head (Indonesian Ministry of Agriculture, 2020). Demand of beef and milk are 686,270 tons and 1.098.125 tons, respectively, while the production of beef and milk are 490,400 tons and 996,400 tons, respectively. Beef import is around 40% of the total demand which is equivalent to 204,682.78 tons of live

cattle and processed beef products as much as 164,260.57 tons .

Milk supply is also came from abroad as much as 79% (equivalent to 455,559.47 tons) of milk and dairy products. Countries of origin are Netherlands, Australia, New Zealand, and United States. Seeing the opportunity for beef and milk demand is very high, it is necessary to anticipate with regulations if GM livestock, meat products, eggs and GM milk will enter Indonesia, especially by looking at the risks posed both in terms of the environment. There is possibility that

the exporting country in the future will send GM beef or milk.

Indonesian researchers (Faculty of Fishery and Maritime at University of Pajajaran, Bandung, West Java) already carried out the insertion of growth genes in catfish, and already produced GM fish. Therefore, it is necessary to have regulatory on animal genetically modified organism. Meanwhile, research related to gene modification in other livestock, has not been recorded or carried out in Indonesia.

Table 1. Overview some of the transgenic animals with potential commercial applications

Species	Category	Transgene	Origin	Effect/goal
Cattle	Livestock	Lysozyme	Human	Milk composition
		a,k-Case	Bovine	Milk composition
		Omega-3	Nematode	Milk composition
		Lysostaphin	Bacterial	Mastasis resistance
Chicken	Bioreactor	Lactoferrin	Human	Prophylactic treatment
	Livestock	alv6 envelope glycoprotein	Viral	Disease resistance
		short hairpin RNA	Viral	Disease resistance
		LacZ	Bacterial	Animal Health
Carp	Bioreactor	a-interferon	Human	Hepatitis treatment
	Livestock	Growth Hormone	Piscine	Growth rate
		Lactorferrin	Human	Disease resistanc
Catfish	Livestock	Cercopin B	Insect	Disease resistanc
Fruit Fly	Livestock	fsRIDL	Hymenopteran	Pest control
Frog	Bioreactor	GFP	Cnidarian	Water purity
Goat	Livestock	Lysozyme	Human-Bovine	Animal Health
		Monosat. fat. acid	Rat-Bovine	Mastasis resistance
		MSP(1)42	Plasmodial	Malaria vaccine
		Antithrombin III	Human	Thrombosis/embolism treatment
		Tissue plasminogen activator	Human-Mouse	Anti clotting agent
		Lactoferrin	Human	Prophylactic treatment
		Lysosomalacid b-glucosidase	Human	Gaucher disease treatment
		Human coagulation factor IX	Human	Haemophilia treatment
		Human beta-defensin 3	Human	Milk composition
		Phytase	E. coli Mouse	Feed uptake
Pig	Livestock	Growth hormone	Human-Porcine	Growth rate
		cSKI	Chicken	Muscle development
		Lysozyme	Human	Piglet survival
		Unsat. fat. acid	Spinach	Meat composition
		Omega-3	Nematode	Meat composition
		a-lactalbumin	Bovine	Piglet survival
		Mx1	Murine	influenza resistance
	Bioreactor	Factor VIII	Human	Haemophilia treatment
		CD59, DAF	Human	Human transplantation

Species	Category	Transgene	Origin	Effect/goal
Rabbit	Bioreactor	DAF	Human	Human transplantation
		hHO-1	Human	Human transplantation
		hHO-1,DAF	Human	Human transplantation
		b-D Mamose, GnTIII	Human	Human transplantation
		Fibrinogen	Human	Tissue sealant
		Haemoglobin	Human	Transfusion
		Protein C	Human	Blood coagulation
		Albumin	Human	Human transplantation
		Calcitonin	Salmon	Osteoporosis treatment
		Erythropoietin	Human	Anemia treatment
		Superoxide dismutase	Human	Blood purification
		Interleukin-2	Human	Cancer treatment
		Tissue plasminogen activator	Human	Anti Clotting Agent
		VP2, VP6	Viral	Rotavirus vaccine
		Human Factor VII	Human-Mouse-Chicken	Haemophilia treatment
Salmon	Livestock	Growth Hormone	Human	HGH insufficiency treatment
		Von Willebrand factor	Human-Bovine	Haemophilia treatment
		Growth hormone	Piscine	Growth rate
		Growth hormone	Piscine	Growth rate
		Lysozyme	Piscine	Animal health
Sheep	Livestock	wfIAFP-6	Piscine	Cold tolerance
		IGF-1	Ovine	Wool growth
		CsK	Bacterial	Wool growth
		HTT	Human	Disease model
	Bioreactor	Visna resistance	Viral	Disease resistance
		Factor IX	Human	Haemophilia treatment
		Factor VIII	Human	Haemophilia treatment
		a-1-antitrypsin	Human	Cystic fibrosis treatment
Silkworm	Livestock	eGFP, DsRed, or	Cnidarian	Silk color
		A2S8 ₁₄	Arachnid	Silk strength
		Fibroin	Human	Cell adhesive film
	Bioreactor	Crp	Canine	Inflammation marker
		TRACP5B	Human	Inflammation marker
Tilapia	Bioreactor	Insulin	Human	Diabetes treatment
Trout	Livestock	Follistatin	Piscine	Muscle development
Zebrafish	Companion	GFP or RFP	Cnidarian	Fish color

Sumber: Lievens et al. (2015)

Several types of animal that have been carried out research on genetic modified organism are cattle, goats, sheep, chickens, pigs, rabbits, carp, catfish, tilapia, fruitfly, frog, salmon, trout, zebrafish and silkworm. While the genes under studied are intended to solve problems in human health, such as for the treatment of mastasis, malaria vaccines, anti-clotting agents,

haemophilia treatment, human transplantation, transfusion, anemia problems and many others (Lievens et al. 2015). For example, to help the problem of anemia in humans, the genes are taken from humans and then use rabbits as bioreactors to produce Erythropoietin. This Erythropoietin then can be utilized to help curing the anemia treatment. Cooperation can

be done between agencies or companies that have GM animal patents to enter Indonesia for further development, as well as GM crops, which are widely imported into Indonesia recently and have been subjected to risk assessments by the Biosafety Technical Team. Certain livestock growth is not optimal because it is not resistant to parasitic attacks, while overseas research has been conducted and produced research for animals that are resistant to certain diseases. In addition, there is a tendency for children under five who are not resistant to lactic acid in cow's milk, so that in the future cow milk will be produced which is tolerant of lactic acid for infants.

NATIONAL BIOSAFETY REGULATION

The available legislation

The Cartagena Protocol was a strong commitment among parties that regulates across borders of living organism that derived from genetically modified organism from modern biotechnology process either from private and or institute overseas or nationally produced. The protocol ensure reliable protection in term of transit, handling and safety utilization from cross border movement of GMO products. The protection level was conducted to avoid negative effect toward sustainable and utilization of genetic resources as well as its risks for human being. Indonesia ratified the Cartagena Protocol on August 16, 2004 by

implementing Law No 21/2005 regarding the authentication of Cartagena Protocol on Biosafety to the Convention on Biological Diversity. Until February 2019 at least 172 countries from 180 parties already entry into force of the Cartagena Protocol. Some of these countries have the regulations on genetically modified animals (Table 2)

Indonesian Biosafety Clearing House already established as stated in article No 20 of Cartagena Protocol to facilitate information exchange interm of scientific, technical, environment and regulation about GMO. Base on article No. 77 paragraph (1), Act No. 18/2012 about foods and state that “every human being are not allowed to produce foods derived from GMO that has not been approved on biosafety before distributed”, then followed by amandmend of that regulation to No. 6/2018 of food control genetically modified organism. Based on Government Regulation No. 21/2005, Commision on Biosafety was the institution that assigned for risk assessment. To facilitate operational activities for risk assessment, the Biosafety Technical Team for Food, Feed and Environment was established. Food biosafety certificate was granted by the Director General of National Agency of Drug and Food Control, feed biosafety certificate was granted by Ministry of Agriculture and environment biosafety certificate was granted by Ministry of Environment and Forestry. Regulation related to biosafety regulation in Indonesia is shown in Table 3.

Table 2. Regulations on genetically modified animals in selected countries and regions

Countries/Regions	Regulation
European Union	Regulation (EC) No 1829/2003 of the European Parliament and of the Council of 22 September 2003 on genetically modified food and feed Directive 2001/18/EC of the European Parliament and of the Council of 12 March 2001 on the deliberate release into the environment of genetically modified organisms and repealing Council Directive 90/220/EEC
Norway	Gene Technology Act of 2 April 1993 No. 38 relating to the production and use of genetically modified organisms, etc
United States	Guidance for Industry on Regulation of Genetically Engineered Animals Containing Heritable recombinant DNA Constructs; Availability (Docket No. FDA-2008-D-0394)
Argentina	Law on the Promotion of the Development and Production of Modern Biotechnology, Law 26270, 2007
Australia	Gene Technology Act 2000, implemented by Gene Technology Regulations 2001
New Zealand	Hazardous Substances and New Organisms Act 1996
Brazil	Law No. 11.105 of 24 March 2005. Safety standards and inspection mechanisms for activities involving Genetically modified organisms – GMOs – and their derivatives, creates the National Biosecurity Council (CNBS), restructures the National Biosecurity Technical Commission (CTNBio), and rearranges the National Biosecurity Policy (PNB)
South Africa	Genetically Modified Organisms Act, 1997 (No. 15 of 1997)
Nigeria	National Biosafety Management Agency Act, 2015
Malaysia	Biosafety Act 2007

Table 3. Biosafety Regulation in Indonesia.

Regulation	Topic
Law No. 5 /1994	United Nation Convention on Biological Diversity (CBD)
Decree of Four Minister / 1999	Biosafety and Agriculture Genetic Modified Organism of Food Biosafety
Law No. 21/2004	Ratification of Cartagena Protocol
Government Regulation No.21/2005	Biosafety of Genetic Modified Organism
Ministry of Agriculture Decree No 37/ 2006	Testing, Reviewing and Releasing of Crop Variety
Ministry of Agriculture Decree No 67 / 2006	Conservation and Utilization of Plant Genetic Resources.
Law No. 32/2009	Environment Protection and Management
Ministry of Agriculture Decree No 36/2016	Biosafety Risk Assessment for Feed
Regulation of National Agency of Drug and Food Control No. 6/2018	Supervision on Genetically Modified Food Product
Ministry of Agriculture Decree No 38/ 2019	Testing, Reviewing and Release of Crop Variety
Ministry of Agriculture Decree No 50/ 2020	Supervision and Controlling Plant Varieties of Agricultural Genetically Modified Organisms Distributing in the Territory of the Republic of Indonesia

Table 4. GM animals and associated differences in environmental effects (EFSA, 2013)

Description	Confined GM animals	Semi-confined GM animals	Non Confined GM animals
Definition	GM animals intended to be kept under confinement	GM animals intended to be under human control but not always under confinement	GM animals directly released into specific environments
Examples for GM mammals or birds	Chicken (except free-range); pigs; fenced mammals; caged birds; companion animals held indoors	Cats; cattle or goats sometimes browsing on an unfenced pasture	Rabbits released to control wild populations
Environmental effects	Environmental effects of confined GM animals	Environmental effects during confinement periods	Environmental effects of released GM animals
	Environmental effects of escaped GM animals	Environmental effects during non-confinement periods Environmental effects of escaped GM animals	

During the last 15 years after the ratification and entry into force of Cartagena protocol, the government of Indonesia already produced 41 biosafety certificates such as events of maize, soybean, canola, potato and feed additive, ice cream stabilizer and vaccines. Some events of GM maize, were imported for human consumption and feed, whereas other events will be planted for production (such as corn, sugarcane, potato and soybean). After granted the biosafety certificates of environment, food and feed, the designated varieties have to follow procedure for releasement. The Decree of Ministry of Agriculture No. 50/2020 was an expectation for GM plant varieties to be cultivated, however, those varieties require biosafety certificates of food, environment and feed.

Proposed regulation for GM animal

In a protocol published by EFSA (2013), it stated that GM animal are species of fish, bird and livestock. EFSA (2013) reported three confined facilities for GM animals, such as Confined GM animals, Semi-confined GM animals and Non Confined GM animals as shown in Table 4. If Indonesia would like to prepare and facilitate risk assessment for GM animals, therefore one needs to consider component such as GM animals for breeding stock, GM animals for food and also GM animals as bioreactor that require to be regulated.

GM animal, livestock, insect and fish are not regulated at the previous regulation schemes. To anticipate that GM livestock will enter Indonesia, there

is a need to prepare the regulation. These GM livestock could be as breed stocks or and readily consumed products or even pharmaceutical products derived from GM livestock and or animal. Nowadays, the available regulation only for environment risk assessment plants according to the Decree of Ministry of Environment and Forestry No. P.69/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 regarding testing procedure of environment biosafety of GMO at Limited Field Test. The upcoming law on Genetic Resources is expected to cover the utilization of genetic resources in Indonesia. On the other hand, regulation for GMO breed stocks has not been available yet, underlining those circumstances, procedures of GM livestock can be proposed as follows:

Breeding stock. Risk assessment needs to be conducted for genetic materials from genetic modified (GM) processes, both for incoming materials or GM animals produced in Indonesia. Frozen semen, frozen embryo, oocytes, premordial germ cell, fertilized eggs and live animals are genetic materials resulted from breeding of GM animals. The risk assessment for breeding stock that will be carried out consists of reviewing the documents submitted by the proponent, then followed by observations of the GM animals as part of the field tests. EFSA classified GM animals risk assessment according to their intended uses, within the three groups such as confined, semi-confined and non-confined GM animals (Table 4).

At the very beginning, frozen semen from GM bulls, GM embryos or GM live animals can be imported, the risk assessment conducted through reviewing the documents from the proponent. However, after the frozen embryos transferred to the recipient animals, or by conducting AI (artificial insemination) of the frozen semen, then the recipient and the offsprings required substantial risk assessment based on GM confined animals. At this point, environment technical assessment team which include member of animal aspect needed to be established. This is due to the fact that most Indonesia's environment for livestock rearing are under confinement. Therefore protocols for the environment effects and the possibilities of the environmental effects that may come from escaped GM animals must be reviewed in details.

The risk analysis elements of the breeding stocks (Table 5) include of hazard characterisation, exposure characterization (high, moderate, low or negligible). The component of risk assessment can be divided into 1) Molecular characterisation, 2) Compositional characterisation, 3) Phenotypic characterisation and 4) Interaction between the GM animal and its receiving environment. The molecular information include of 1) genetic information (consist of genetic element, source of the gene, transformation system, genetic stability),

2) biosafety information (substantial equivalent, toxicity (bioinformatics study, toxicity test) (EFSA 2013).

The phenotypic parameters required for risk assessment of breeding stocks include of 1) production data (body weight, growth rate, carcass percentage, egg production, milk production, milk quality, meat quality, egg quality etc according to the species being assessed), 2) reproduction data (sperm quality, mature age, age at first mating, body weight at first mating, puberal age etc), 3) disposal from the animals (urine, manure), 4) other products (feather, leather), 5) processing of the urine and manure, 6) disease that may occur during the assessment, 7) mortality rate and 8) physiological data of the animals (rectal temperature, heart rate as well as respiration rate) (EFSA 2013).

GM Animals Products. In the future, GM Animal products possibly come into the market, even though the research has not been conducted in Indonesia. Products from GM animals can be as meat, milk, eggs, wool, leather, honey and bones that require risk assessed by food biosafety technical team. The GM animals products can be in a wide range such as their products and also the result from their processing. The output from processing such as from milk processing (yoghurt, cheese, kefir etc), product of egg processing (powdered eggs, albumin powder, egg yolk powder, egg yolk liquid etc) and products of meat processing (sausage, smoked beef, meatball, nuggets etc).

The risk assessment for GM Animals Products (Table 5) include of 1) Molecular characterisation and 2) Compositional characterisation. Data required for risk analysis molecular characterisation include of 1) general description of GM animal product (description of the host and its use as food; description of gene sources; description of genetic transformation methods and characterization of genetic modification); 2) food safety information which includes substantial equivalence; changes in food composition; allergenicity; toxicity; and 3) other considerations include of marking genes for antibiotic resistance; potential accumulation of substances that have a significant impact on human health. The compositional characterisation include of proximate analysis, amino acid content, mineral content, secondary compound etc.

The goals of livestock GM research generally fall into three categories such as increased yield, increased the cost-effectiveness in keeping animals (e.g., certain disease resistance) and changes in the quality of nutrition for milk, meat or eggs (Cotter & Perls, 2019). Examples of genetically engineered animals in development include of super-muscle of cows, sheep and pigs. Due to many diseases problems in chicken and pigs, therefore considerable GM researches are conducted for resistant to the respiratory disease for pig and chicken. An ongoing experiment is conducted

Table 5. Proposed biosafety risk assessment of GM breedstock and product of GM livestock .

Type of product	Document assessment	Biosafety containment test	Contained field test
Breeding Stocks			
Semen (frozen and fresh)	Yes	Yes	Yes
Embryo(frozen and fresh)	Yes	Yes	Yes
Fertilized eggs	Yes	Yes	Yes
Live animal	Yes	Yes	Yes
GM Livestock Products			
Meat	Yes	No	No
Milk	Yes	No	No
Egg	Yes	No	No
Livestock Bioreactor Products			
Enzyme	Yes	No	No
Hormone	Yes	No	No
Serum	Yes	No	No

also to engineered the gene-edited chickens to potentially produce non-allergenic eggs.

GM Animal Bioreactor Products. Enzyme, hormone and serum are some bioreactor products that may be produced in the future, and will be utilized for human esthetics, pharmacy and medication. Depend on the type of research, the products can also be used for human as well as for animal needs. Data required for risk analysis of GM animals bioreactor products include of molecular characterisation and compositional characterisation. A biosafety risk assessment worksheet is shown in Table 5.

The molecular characterisation include of 1) general description of GM animal bioreactor product (description of the host; description of gene sources; description of genetic transformation methods; and characterization of genetic modification); 2) product safety information which includes substantial equivalence; changes in the composition; allergenicity; toxicity and 3) other considerations include of marking genes for antibiotic resistance; potential accumulation of substances that have a significant impact on human health.

CONCLUSION

Regulation for GM animal is required to anticipate the products that will enter the territory of Indonesia. Institution that conduct laboratory and field trial of G animal breed stocks required to be developed before the products are available in the market. Labelling for GM animal breeds and animal products is a necessity.

REFERENCES

- Andoko E, Candida A, Zmudczynska E. 2018. A review of Indonesia's agriculture development in recent years 2014-2018 [Internet]. [accessed 22th August 2021]. Available from: <https://ap.fftc.org.tw/article/1363>.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2019. Economic indicators october 2019 publication number 07330.1916. Jakarta (Indonesia): Badan Pusat Statistik.
- Brooks J. 2012. Agricultural policies for poverty reduction [Internet]. [accessed 22th August 2021]. Available from: <https://www.oecd.org/development/agricultural-policies-for-poverty-reduction-9789264112902-en.htm>.
- Cotter J, Perls D, 2019. Genetically engineered animals: from lab to factory farm. USA: Friends of the Earth US.
- Crist E, Mora C, Engelman R. 2017. The interaction of human population, food production, and biodiversity protection. *Sci.* 356:260-264. doi: 10.1126/science.aal2011.
- D'Odorico P, Carr JA, Laio F, Ridolfi L, Vandoni S. 2014. Feeding humanity through global food trade. *Earth's Future.* 2:458–469. doi: 10.1002/2014EF000250.
- Decree of Four Minister. 1999. Biosafety and agriculture GMO of food biosafety. Government Regulation No.21/2005: Biosafety of Genetically Modified Organism.
- Dewbre J. 2010. Food security. Paris (France): OECD Publication and Information Centre.
- EFSA Panel on GMO 2013. Guidance on the environmental risk assessment of genetically modified animals *EFSA J.* 11:3200. doi: 10.2903/j.efsa.2013.3200.

- EFSA Panels on GMO and Animal Health and Welfare. 2012. Guidance on the risk assessment of food and feed from genetically modified animals and animal health and welfare aspects. EFSA J. 10:2501. doi: 10.2903/j.efsa.2012.2501.
- Gore M. 2021. Genetically engineered animals as food: A regulatory framework under-prepared. UNSW Law J Student. Series 4.
- Indonesia Ministry of Agriculture. 2020. Livestock and animal health statistics 2020. Jakarta (Indonesia): Directorate General of Livestock and Animal Health.
- Kuiken T, Kuzma J. 2021. Genome editing in Latin America: Regional regulatory overview discussion. Inter American Development Bank, Environment Rural Development and Disaster Risk Management Division. Paper No IDB-DP-00877.] [Internet]. [accessed 22th August 2021]. Available from: <http://www.iadb.org>.
- Law No. 21/2004. 2004. Ratification of Cartagena Protocol.
- Law No. 5 /1994, United Nation Convention on Biological Diversity (CBD).
- Lievens A, Petrillo M, Querci M, Patak A. 2015. Genetically modified animals: Options and issues for traceability and enforcement. Trends Food Sci Technol. 44:159-176. doi: 10.1016/j.tifs.2015.05.001.
- Ministry of Agriculture Decree No 36/2016. 2016. Biosafety risk assessment for feed.
- Ministry of Agriculture Decree No 50/2020. 2020. Supervising and controlling plant varieties of agricultural genetically modified organisms distributing in the territory of the Republic of Indonesia.
- [OECD] Organisation for Economic Co-operation and Development. 2012. OECD environmental outlook to 2050. Washington DC (US): OECD Publishing.
- Pasquito LN, 2019. The biosafety regulatory approach and governance mechanism of GM crops in the Philippines. Iapa Proceedings Conference. p. 620-649. doi: 10.30589/proceedings.2019.290.
- Pritchett-Corning KR, Landel CP. 2015. Genetically modified animals. laboratory animal medicine. Chapter 32. USA: American College of Laboratory Animal Medicine. p. 1417-1440.
- Regulation of National Agency of Drug and Food Control No. 6/2018, Indonesia. Supervision on Genetically Modified Food Product.
- Robinson TP, Thornton PK, Franceschini G, Kruska RL, Chiozza F, Notenbaert A, Cecchi G, Herrero M, Epprecht M, Fritz S, You L, Conchedda G, See L. 2011. Global livestock production systems. Rome (Italy): Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and International Livestock Research Institute (ILRI). p. 152.
- Taiz L. 2013. Agriculture, plant physiology, and human population growth: past, present, and future. Theor Exp Plant Physiol. 25:167-181.
- UK Statutory Instruments No. 1663, 2014. Health and safety the genetically modified organisms (contained sse), Regulations 2014 [Internet]. [accessed 22th August 2021]. Available from: <https://www.legislation.gov.uk/uksi/2014/1663>.
- Veitenheimer EE. 2016. Challenges and opportunities facing the evolving field of Genetically Modified Organisms (GMO). USA: Thomson Reuters/Aspatore
- Vieira LR, Freitas NC, Justen F, de Jesus Miranda V, de Oliveira Garcia B, Nepomuceno AL, Fuganti-Pagliarini R, Felipe MSS, Molinari HBC, Velini EDE, de Campos Pinto R, Dagli MLZ, Andrade G, Fernandes PMB, Mertz-Henning LM, Kobayashi AK. 2021. Regulatory framework of genome editing in Brazil and worldwide [Internet]. [accessed 22th August 2021]. Available from: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1132164/1/Regulatory-framework-of-genome-CAP-5.pdf>
- Zadoks JC, Waibel H. 2000. From pesticides to genetically modified plants: history, economics and politics. Wageningen J Life Sci 48:125-149. doi: 10.1016/S1573-5214(00)80010-X.

INDEKS SUBJEK

- Aditif pakan alami 13
Antibiotic growth promoter 129
Antisipasi 85
Ayam 75, 175
Ayam broiler 119
Biomasa lignoselulosa 55
Black soldier fly 185
Daun kersen 129
Dedak padi 75
Emisi gas metana 23
Entok putih lokal 109
Faktor risiko 85
Fermentasi enterik 13
Fitosterol 67
Free-range 175
Gen myostatin 37
Hijauan pakan 137
Indonesia 85
Isoflavon 67
Itik pedaging 109
Jangkrik 185
Kapasitas tampung 23
Katekin 13
Kelinci 67
Kelor 67
Kesejahteraan hewan 43, 175
Keunggulan 137
Lama perjalanan 43
LSD 85
Lysolecithin 75
Manfaat 147
Manipulasi rumen 1
Metana enterik 1
Mikroba 147
Modifikasi genetik 199
Modifikasi pakan 1
Mutasi 163
Mutu genetik ternak 155
One Health 97
Organisme 97
Oryzanol 75
Pakan 55, 185
Patogen 97
Pemuliaan 163
Pengangkutan ternak 43
Peraturan 199
Performa 119, 175
Populasi ternak 23
Probiotik 147
Produk samping perkebunan 23
Reduksi metana 13
Reproduksi 67
Resistensi antimikroba 129
Respon fisiologis 43
Ruminansia 137
Ruminansia 55
Saluran pencernaan 119
Sapi 85
Sel punca spermatogonia 155
Seleksi 37
Senyawa bioaktif 75
Serangga 185
Serat 119
Sifat karkas 37
Sifat pertumbuhan 37
Strategi pembibitan 109
Susu kuda liar 147
Tanaman pakan ternak 163
Teknologi proses 55
Ternak 199
Tingkat kematian 43
Tithonia diversifolia 137
Transplantasi 155
Ulat hongkong 185
Ulat sutera 185
Varanidae 97
Varietas unggul 163
Zoonosis 97

SUBJECT INDEX

- Animal 199
Animal welfare 43, 175
Antibiotic growth promoter 129
Anticipation 85
Antimicrobial resistance 129
Benefit 147
Bioactive compounds 75
Black Soldier Fly 185
Breeding 163
Breeding strategy 109
Broiler 119
Carcass traits 37
Carrying capacity 23
Catechin 13
Cattle 85
Chicken 75, 175
Cricket 185
Distance 43
Enteric fermentation 13
Enteric methane 1
Excellence 137
Feed 55, 185
Feed modification 1
Fiber 119
Forage 137, 163
Free-range 175
Gastrointestinal tract 119
Genetically modified organism
Growth traits 37
Indonesia 85
Insect 185
Isoflavones 67
Jamaican cherry leaves 129
Lignocellulosic biomass 55
Livestock genetic improvement 155
Livestock population 23
Livestock transportation 43
Local white muscovy 109
LSD 85
Lysolecithin 75
Mealworm 185
Meat type duck 109
Methane emission 23
Methane reduction 13
Microbial 147
Moringa oleifera 67
Mortality 43
Mutation 163
Myostatin gene 37
Natural feed additives 13
One Health 97
Organism 97
Oryzanol 75
Pathogen 97
Performance 119, 175
Physiological response 43
Phytosterols 67
Plantation byproducts 23
Probiotic 147
Processing technology 55
Rabbit 67
Regulation 199
Reproduction 67
Rice bran 75
Risk factors 85
Rumen modification 1
Ruminant 55, 137
Selection 37
Silkworm 185
Spermatogonial stem cell 155
Superior variety 163
Tithonia diversifolia 137
Transplantation 155
Varanidae 97
Wild horse milk 147
Zoonotic 97

INDEKS PENULIS (AUTHOR INDEX)

Abdullah L 175	Prihandini PW 37
Abdurrahman AM 67	Puastuti W 23
Anggraeni YN 13	Pujiawati Y 185
Aprilliza MN 13	Rahmawati RA 97
Arief II 175	Ratnawati 85
Assadah NS 85	Ridla M 119
Destomo A 43	Rizal S 97
Dharmayanti NLPI 85	Saepulloh M 85
Erwan E 175	Sendow I 85
Fanindi A 163	Setiasih 67
Fitra D 175	Shiddieqy MI 199
Ginting SP 55	Simaniguruk K 137
Hariyono DNH 37	Sirait J 137
Harmini 163	Soetanto H 67
Herliatika A 1, 185	Sopiyana S 75
Hermana W 119	Susanti T 109
Hidayat C 75	Suyatno 155
Inounu I 23	Tiesnamurti B 199
Jayawardhita AAG 129	Tresia GE 23, 185
Mahmilia F 43	Tribudi YA 37
Muharsini S 199	Trisiana FA 43
Mutia R 175	Ulupi N 175
Nahrowi 119	Widiawati Y 1
Nursiam I 119	Widyanjaya AAGF 129
Permatahati D 185	Wina E 13, 75, 185
Prastyowati A 147	

UCAPAN TERIMA KASIH

Dewan Penyunting Wartazoa mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para pakar yang telah berperan sebagai mitra bestari pada penerbitan Wartazoa Volume 31 Nomor 4 Tahun 2021, masing-masing kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Argono Rio Setioko, M.Sc. : Fisiologi dan Reproduksi Ternak – Balai Penelitian Ternak
2. Prof. Ir. Budi Haryanto, M.Sc., Ph.D. : Pakan Ternak – Balai Penelitian Ternak
3. Prof. Dr. Ir. Subandriyo, M.Sc. : Pemuliaan dan Genetika Ternak – Balai Penelitian Ternak

Semoga kerjasama yang baik dapat terus berlangsung di masa-masa yang datang untuk lebih meningkatkan kualitas Wartazoa.

PEDOMAN BAGI PENULIS

KETENTUAN UMUM

Naskah yang dikirim belum pernah diterbitkan dan dalam waktu yang bersamaan tidak disampaikan kepada media publikasi lain. Perlu menandatangani surat pernyataan tentang keaslian naskah (*ethical statement*) dan hak publikasi (*copyright transfer*) sebagaimana terlampir atau dapat diunduh di <http://medpub.litbang.pertanian.go.id/index.php/wartazoa/index>.

RUANG LINGKUP

Buletin ilmiah ini memuat tulisan hasil tinjauan, ulasan (*review*), kajian kebijakan dan gagasan serta pemikiran sistematis tentang peternakan dan veteriner. Topik yang dibahas berupa informasi baru dan/atau memperkuat hasil temuan sebelumnya. Buletin ini diterbitkan 4 (empat) kali dalam setahun pada bulan Maret, Juni, September dan Desember.

PENGIRIMAN NASKAH

Naskah ditulis dalam bahasa Indonesia atau bahasa Inggris, ditulis dengan jarak 1,5 spasi, kecuali 1 spasi untuk Judul, Abstrak, Tabel, Gambar dan Lampiran. Jumlah halaman dalam naskah maksimum 20 halaman. Batas tepi kiri 4 cm dan masing-masing 3 cm untuk batas tepi kanan, atas dan bawah. Naskah diketik dengan jenis huruf *Times New Roman* dan ukuran (*font*) 12, menggunakan program *Microsoft Word*, kecuali program *Microsoft Excel* untuk tabel dan grafik serta format JPEG atau TIFF pada gambar (dalam format yang dapat diedit). Naskah lengkap dikirim melalui email dengan alamat wartazoa@yahoo.co.id. Bagi naskah yang diterima, penulis berhak menerima 1 (satu) buletin asli dan 5 (lima) eksemplar cetak lepas.

TATA CARA PENULISAN NASKAH

1. **Judul** ditulis singkat, jelas, spesifik dan informatif yang mencerminkan isi naskah serta tidak lebih dari 15 kata.
2. **Nama** penulis tanpa gelar dan lembaga/institusi ditulis lengkap di bawah judul, disertai dengan alamat lengkap dan alamat e-mail penulis korespondensi.
3. **Abstrak** ditulis dalam bahasa Indonesia dan bahasa Inggris dan merupakan intisari naskah, masing-masing tidak lebih dari 125-250 kata yang dituangkan dalam satu paragraf dengan jarak satu spasi.
4. **Kata kunci** (*key words*) dalam bahasa Indonesia dan Inggris, boleh kata tunggal dan majemuk, serta terdiri atas tiga sampai dengan lima kata.
5. **Pendahuluan** terdiri dari latar belakang, permasalahan atau rumusan masalah, serta tujuan dan manfaat ulasan (*review*).
6. **Isi pokok bahasan** menyajikan dan membahas secara jelas pokok bahasan dengan mengacu kepada tujuan penulisan.
7. **Kesimpulan** merupakan substansi pokok bahasan yang menjawab permasalahan serta tujuan penulisan dan bukan merupakan tulisan ulang atau ringkasan dari pembahasan.
8. **Saran** (apabila ada) dapat berisi rekomendasi, tindak lanjut atau implikasi kebijakan atas kesimpulan yang diperoleh.
9. **Ucapan terima kasih** (apabila ada).
10. **Daftar pustaka:**
 - a. Penulisan menggunakan Program Mendeley
 - b. Minimal 25 acuan, diutamakan menggunakan pustaka 10 tahun terakhir dan minimal 80% pustaka primer. Sitasi hasil penulisan sendiri paling banyak 30% dari total acuan.
 - c. Pustaka dari internet hanya diperbolehkan dari sumber yang dapat dipertanggungjawabkan seperti jurnal, instansi pemerintah atau swasta.
 - d. Nama pengarang disusun secara alfabetis dan tahun penerbitan.
11. **Tabel:**
 - a. Huruf standar yang digunakan adalah *Times New Roman* dengan jarak satu spasi dan *font* 11.
 - b. Judul adalah kalimat singkat, jelas, dapat dimengerti tanpa harus membaca naskah.
 - c. Setiap kolom dari tabel harus memiliki tajuk (*heading*). Unit harus dipisahkan dari judul dengan koma dalam kurung atau di bawahnya.
 - d. Keterangan tabel ditulis di bawah tabel dengan jarak 1 spasi dan *font* 11. Sumber data dituliskan di bawah tabel atau di dalam tabel pada tajuk sendiri.
 - e. Garis pemisah dibuat dalam bentuk horisontal.Contoh tabel:

Tabel 1. Komposisi kimia susu kambing, sapi dan kerbau organik

Komposisi kimia (%)	Susu kambing ^a		Susu sapi ^b		Susu kerbau ^c	
	Organik	Konvensional	Organik	Konvensional	Organik	Konvensional
Lemak	3,6	5,4	3,7	3,8	8,5	8,3
Protein	3,5	3,4	3,3	3,4	4,6	4,5
Laktosa	4,9	4,8	4,7	4,7	4,7	4,7
BKTL	7,6	6,7	td	td	10,3	10,2
Total padatan	10,7	10,9	10,1	9,0	td	td

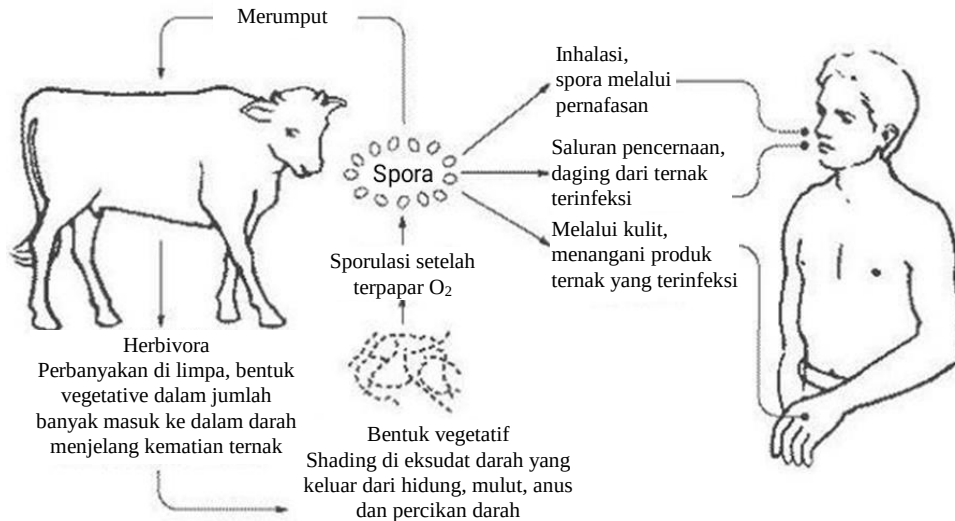
td: Data tidak tersedia; BKLT: Berat kering tanpa lemak

Sumber: ^aTsiplakou et al. (2010); ^bBattaglini et al. (2009); ^cDi Francia et al. (2007)

12. **Gambar/grafik:**

- Judul menggunakan *Times New Roman* dengan jarak 1 spasi dan font 11, berupa kalimat singkat dan jelas diletakkan di bawah gambar/grafik.
- Garis pada grafik harus secara jelas terlihat perbedaan satu dengan yang lain apabila terdapat lebih dari satu kurva.
- Gambar dengan kontras yang jelas dengan ukuran yang proporsional dan beresolusi tinggi agar dapat tampil baik untuk penampilan terbaik.
- Tuliskan sumber gambar/grafik di bawah judul.

Contoh gambar:



Gambar 1. Penularan penyakit antraks pada ternak dan manusia

Sumber: Qureshi (2012) yang dimodifikasi

13. **Satuan pengukuran:** dipergunakan sistem internasional (SI).

14. **Penulisan angka desimal:** untuk bahasa Indonesia dipisahkan dengan koma (.), untuk bahasa Inggris dengan titik (.).

15. **Penulisan pustaka dalam teks:**

- Penulisan pustaka menggunakan Program Mendeley (<http://www.mendeley.com>) dengan gaya sitasi mengikuti Council of Science Editor (CSE) edisi ke-7 tahun 2006.
- Pustaka harus ditulis nama penulis terlebih dahulu, diikuti tahun, contoh: Martindah (2017) atau (Martindah 2017).
- Bila ada dua nama penulis dalam satu makalah, maka nama penulis harus ditulis semua, contoh: Putra & Indriastuti (2011) atau (Putra & Indriastuti 2011).
- Bila ada lebih dari dua nama penulis dalam satu makalah, maka harus ditambah et al. (huruf tegak dan diberi titik di belakang huruf), contoh: Wina et al. (2017) atau (Wina et al. 2017) dan di dalam daftar pustaka ditulis lengkap hingga penulis kesepuluh, serta diakhiri dengan et al.
- Bila ada lebih dari satu pustaka untuk satu pernyataan, maka harus ditulis urutan dari tahun yang tertua dan urutan alfabet nama penulis bila tahunnya sama, contohnya: (Sumanto 2012; Gunawan & Talib 2016; Wina et al. 2017).
- Pustaka dalam pustaka seperti contoh: Teleni dalam Widiawati (2012) tidak diperkenalkan.
- Bila suatu pernyataan diperoleh dari komunikasi pribadi, perlu dicantumkan "nama orang yang dihubungi" dan diikuti dengan (komunikasi pribadi) di belakangnya.
- Memuat nama penulis yang dirujuk dalam naskah.
- Jika penulis yang sama menulis lebih dari satu artikel dalam tahun yang sama dapat dibubuhi huruf kecil.
- Disusun secara alfabetis dan tahun penerbitan menurut nama penulis.

16. **Cara penulisan pustaka di dalam Daftar Pustaka:**

- Setiap pustaka yang disebut di dalam tulisan harus dimasukkan ke dalam Daftar Pustaka yang ditulis di bagian akhir makalah.
- Pustaka yang dirujuk harus dipublikasi dalam kurun waktu 10 tahun terakhir dengan proporsi pustaka jurnal minimum 80%.
- Pengutipan pustaka dari internet hanya diperbolehkan dari sumber yang dapat dipertanggungjawabkan seperti jurnal, instansi pemerintah atau swasta. Wikipedia tidak dapat dijadikan sumber pustaka.
- Pustaka dengan "Anonimus" tidak diperbolehkan.
- Bila tidak disebut nama penulisnya, maka yang di cantumkan adalah nama institusi atau penerbit.
- Makalah yang sudah diterima tetapi masih dalam proses pencetakan, harus ditulis (*in press*) pada akhir pustaka.
- Beberapa contoh penulisan sumber acuan adalah sebagai berikut:

Buku:

Widowati W, Sastiono A, Rumampuk RJ. 2008. Efek toksik logam pencegahan dan penanggulangan pencemaran. Yogyakarta (Indonesia): Penerbit Andi.

Jurnal:

Kostaman T, Yusuf TL, Fahrudin M, Setiadi MA, Setioko AR. 2014. Pembentukan *germline chimera* ayam Gaok menggunakan *primordial germ cells* sirkulasi segar dan beku. JITV. 19:17-25.

Artikel dalam Buku:

Prawiradiputra BR. 2012. Tanaman penutup tanah untuk perkebunan kelapa sawit. Dalam: Tiesnamurti B, Inounu I, penyunting. Inovasi pengembangan sapi sistem integrasi sapi sawit. Jakarta (Indonesia): IAARD Press. hlm. 159-187.

Wina E. 2012. Saponins: Effect on rumen microbial ecosystem and metabolism in the rumen. In: Patra AK, editor. Dietary phytochemicals and microbes. Dordrecht (Germany): Springer. p. 311-350.

Internet:

WHO. 2017. Emergencies preparedness, response: Anthrax. World Health Organization [Internet]. [cited 12 February 2017]. Available from: <http://www.who.int/csr/disease/Anthrax/anthraxfaq/en/>

Prosiding:

Nuradji H, Adjid RMA, Nirmalasanti N, Khadijah S, Sekarwati HD, Widyasari D. 2017. Evaluasi Tiga Prosedur Penyiapan Sampel Daging untuk Deteksi Penyakit Mulut dan Kuku dengan Uji RT-PCR. Dalam: Puastuti W, Muharsini S, Inounu I, Tiesnamurti B, Kusumaningtyas E, Wina E, Herawati T, Hartati, Hutasoit R, penyunting. Teknologi Peternakan dan Veteriner Mendukung Diversifikasi Sumber Protein Asal Ternak. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner. Bogor, 8-9 Agustus 2017. Bogor (Indonesia): Puslitbangnak. hlm. 158-165.

Skripsi/Tesis/Disertasi:

Roza E. 2013. Pengaruh penggunaan daun singkong sebagai pakan suplemen terhadap performans, produksi dan gejala reproduksi ternak kerbau yang dipelihara secara tradisional [Tesis]. [Padang (Indonesia)]: Universitas Andalas.

Jurnal elektronik:

Huber I, Campe H, Sebah D, Hartberger C, Konrad R, Bayer M, Busch U, Sing A. 2011. A multiplex one-step real-time RT-PCR assay for influenza surveillance. Eurosurveillance [Internet]. 16:1-7. Available from: <http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=19798>



To:
Editorial Office of WARTAZOA
Pusat Penelitian dan Pengembangan Peternakan
Jl. Raya Pajajaran Kav. E-59, Bogor 16128

ETHICAL STATEMENT

Herewith, we submit a manuscript to be published in WARTAZOA:

Name :
Institution :
Title :

We declare that the proposed manuscript is written by ourselves or team work that:

- ☐ Provide original contents without any fabrication, falsification, plagiarism, duplication, fragmentation and violation of copyrights on the data/contents
- ☐ Agree to follow in peer review process based on WARTAZOA's procedures
- ☐ Should not be or under process of publishing elsewhere.

We declare that this ethical statement has been made by ourselves with honesty and high responsibility based on the decree of Head of Indonesian Institute of Science No. 06/E/2013 about Researcher Ethics Code.

....., 2021

Submitted by:

Name	Main or Member Contributor	Signature
	Main	
	Main	
	Member	
		



COPYRIGHT TRANSFER

Title : _____

Author(s) : 1. _____
2. _____
3. _____

Institution : 1. _____
2. _____
3. _____

The manuscript is guaranteed for its originality and author(s) agree to transfer copyright to WARTAZOA when manuscript is accepted for publication by the Editorial Office.

Person(s) listed as author(s) have contributed significantly to its content and intellectual property along with responsibility to public. If in any case, there should be a violation of copyright rules, then it would be author(s) responsibility not obliged to WARTAZOA Editorial Office.

The manuscript has not been published or is not being submitted for publication elsewhere.

_____, 2021

Approved by:

Name	Main or Member Contributor	Signature

Registered in:

