

ISSN 0216-6461

e-ISSN 2354-6832

Terakreditasi LIPI

Sertifikat Nomor: 644/AU3/P2MI-LIPI/07/2015

WARTAZOA

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

Volume 28
Nomor 1
Maret 2018



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

WARTAZOA

Buletin Ilmu Peternakan dan Kesehatan Hewan Indonesia

Volume 28 Nomor 1 Tahun 2018

ISSN 0216-6461

e-ISSN 2354-6832

Terakreditasi LIPI

Sertifikat Nomor 644/AU3/P2MI-LIPI/07/2015
(SK Kepala LIPI No. 818/E/2015)

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 Utama – Balai Penelitian Ternak – Pakan dan Nutrisi Ternak)

Wakil Ketua:

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

Anggota:

Dr. Ir. Atien Priyanti SP, MSc. (Peneliti Utama – Puslitbangnak – Ekonomi Pertanian)
Drh. Indrawati Sendow, MSc. (Peneliti Utama – Balai Besar Penelitian Veteriner – Virologi)
Dr. Drh. Eny Martindah, MSc. (Peneliti Madya – Balai Besar Penelitian Veteriner – Parasitologi dan Epidemiologi)
Dr. Drh. Susan Maphiliandawati Noor, MVSc. (Peneliti Madya – Balai Besar Penelitian Veteriner – Bakteriologi)
Dr. Wisri Puastuti, SPt., MSi. (Peneliti Madya – Balai Penelitian Ternak – Pakan dan Nutrisi Ternak)
Dr. Ir. Chalid Talib, MSc. (Peneliti Utama – Balai Penelitian Ternak – Pemuliaan dan Genetika Ternak)
Dr. Nurhayati (Peneliti Madya – Balai Penelitian Ternak – Budidaya Tanaman)
Ir. Tati Herawati, MAg. (Peneliti Madya – Balai Penelitian Ternak – Sistem Usaha Pertanian)

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 Nurgartiningih, MSc. (Universitas Brawijaya – Pemuliaan dan Genetika Ternak)

Penyunting Pelaksana:

Fitra Aji Pamungkas, SPt., MSi.
Pringgo Pandu Kusumo, AMd.
Irfan R Hidayat, SPt.

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

Kebijakan pemerintah dalam memenuhi kebutuhan daging dan susu nasional dapat didukung melalui program pemuliaan ternak kerbau. Namun, populasi kerbau mengalami penurunan karena adanya beberapa faktor penyebab, termasuk tekanan *inbreeding*. Salah satu upaya alternatif untuk mengatasi tekanan *inbreeding* adalah dengan meningkatkan kualitas genetik ternak kerbau melalui introduksi gen baru kerbau atau perkawinan *outbreeding* melalui inseminasi buatan. Selain masalah *inbreeding*, fertilitas pejantan di lapang juga rendah. Salah satu penyebabnya adalah rendahnya konsentrasi hormon gen reseptor (AR), *luteinizing hormone* (LH) dan *follicle stimulating hormone* (FSH) sehingga mengganggu aksi hormon androgen dalam regulasi proses spermatogenesis. Pemberian *gonadotropin releasing hormone* (GnRH), LH, FSH dan testosteron eksogen diharapkan dapat meningkatkan fertilitas pejantan.

Indeks Pembangunan Manusia (IPM) digunakan untuk mengukur kinerja pembangunan. Konsumsi protein asal ternak memiliki hubungan yang erat dengan tingkat harapan hidup dan kualitas hidup manusia yang menentukan capaian IPM. Dari hasil telaahan, *share* ketersediaan produksi daging sapi kurang dari 25% dan partisipasi konsumsi yang terus menurun menunjukkan bahwa daging sapi bukan merupakan pilihan utama bagi sebagian besar masyarakat Indonesia. Dalam mengonsumsi daging tersebut, kini masyarakat sangat memperhatikan kebersihan produk dan tidak terkontaminasi unsur-unsur yang berbahaya. Salah satu cara untuk menjaga keamanan produk dan bebas dari kontaminan adalah penggunaan bakteriofaga yaitu virus yang memiliki beberapa fungsi yaitu sebagai antibiotika, dapat mendeteksi bakteri patogen pada rantai makanan dan sebagai biopreservasi makanan serta biokontrol *foodborne pathogen*.

Luas lahan peternakan semakin berkurang karena lahan pertanian beralih fungsi menjadi pemukiman dan industri, sehingga lahan bekas tambang terpaksa dimanfaatkan untuk lahan peternakan. Hal ini berdampak pada polusi logam berat yang menyebabkan gangguan kesehatan pada hewan dan manusia. Metode mikoremediasi dengan menggunakan cendawan potensial seperti *Aspergillus flavus*, *Penicillium* sp, *Fusarium* sp, *Saccharomyces cerevisiae* adalah alternatif untuk mengatasi cemaran tersebut. Metode ini tergolong murah, efisien dan ramah lingkungan.

Semoga publikasi edisi pertama tahun 2018 ini bermanfaat bagi pembaca. Dewan penyunting menyampaikan terima kasih kepada para penulis, mitra bestari dan semua yang terlibat dalam edisi publikasi ini.

Bogor, Maret 2018

Ketua Dewan Penyunting

WARTAZOA

Buletin Ilmu Peternakan dan Kesehatan Hewan Indonesia

Volume 28 Nomor 1 (Maret 2018)

ISSN 0216-6461

e-ISSN 2354-6832

DAFTAR ISI

Halaman

Tekanan <i>Inbreeding</i> dan Alternatif Solusi pada Ternak Kerbau (Inbreeding Depression and Alternative Solution in Buffaloes) Lisa Praharani dan RSG Sianturi	001-012
Regulasi Androgen dalam Spermatogenesis untuk Meningkatkan Fertilitas Ternak Jantan (Androgen Regulation in Spermatogenesis to Increase Male Fertility) Hasbi Hasbi dan S Gustina	013-022
Perspektif Perkembangan Ketersediaan Produksi Sumber Protein Asal Ternak di Indonesia (Perspective on the Production Availability of Animal Protein Source from Livestock in Indonesia) Priyono dan A Priyanti	023-032
Pemanfaatan Bakteriofaga untuk Deteksi dan Biokontrol <i>Foodborne Pathogen</i> (The Use of Bacteriophage for Detection and Biocontrol of Foodborne Pathogen) Tati Ariyanti	033-040
Mikoremediasi Menghilangkan Polusi Logam Berat pada Lahan Bekas Tambang untuk Lahan Peternakan (Mycoremediation to Remove Heavy Metal Pollution in Post-Mining Areas for Farmland Utilization) Riza Zainuddin Ahmad	041-050

Tekanan *Inbreeding* dan Alternatif Solusi pada Ternak Kerbau (Inbreeding Depression and Alternative Solution in Buffaloes)

Lisa Praharani dan RSG Sianturi

Balai Penelitian Ternak, PO Box 221, Bogor 16002
lisa_praharani@yahoo.com

(Diterima 15 Januari 2018 – Direvisi 20 Januari 2018 – Disetujui 3 Maret 2018)

ABSTRACT

Buff and dairy buffaloes have an important role in farming system to produce meat, milk, and fertilizer. Their productivity and population have been decreasing due to several reasons such as inbreeding depression and lack of sires. This paper presents alternative efforts to improve genetics of buffaloes through outbreeding facilitated by artificial insemination (AI) and estrus synchronization to decrease inbreeding rates. Effort to reduce inbreeding depression is conducted by introducing new buffalo genes from distant populations known as outbreeding. Indonesian Research Institute for Animal Production has initiated an outbreeding program in buffalo through AI. The pregnancy rate varies between 40-80% using estrus synchronization with prostaglandin and fixed time AI. Outbred offsprings have higher growth performance and selling price than offsprings of natural breeding. The outbreeding program through AI in buffaloes need to be carried out sustainability to increase availability of qualified breeding stocks.

Key words: Inbreeding, outbreeding, artificial insemination, productivity, buffaloes

ABSTRAK

Kerbau potong dan kerbau perah memiliki peran penting dalam sistem usaha tani sebagai penghasil daging, susu dan pupuk organik. Produktivitas dan populasi kerbau mengalami penurunan disebabkan antara lain oleh tekanan *inbreeding* dan kelangkaan pejantan. Makalah ini menyajikan upaya alternatif meningkatkan kualitas genetik kerbau melalui perkawinan *outbreeding* dengan inseminasi buatan (IB) dan sinkronisasi estrus untuk menurunkan tingkat *inbreeding*. Upaya mengurangi tekanan *inbreeding* dilakukan melalui introduksi gen baru kerbau dari luar populasi yang berjarak jauh yang dikenal dengan perkawinan *outbreeding*. Balai Penelitian Ternak telah mengawali penelitian IB kerbau di beberapa sentra pengembangan. Tingkat kebuntingan hasil IB masih bervariasi antara 40-80% dengan aplikasi sinkronisasi berahi menggunakan hormon prostaglandin dan IB secara terjadwal. Anak hasil IB ini memiliki performans dan pertumbuhan serta harga jual yang lebih tinggi dibandingkan dengan anak hasil kawin alam menggunakan pejantan setempat. Program *outbreeding* melalui IB pada kerbau diharapkan keberlanjutannya dalam rangka meningkatkan ketersediaan bibit berkualitas.

Kata kunci: *Inbreeding*, *outbreeding*, inseminasi buatan, produktivitas, kerbau

PENDAHULUAN

Kerbau air (*water buffalo*) dipercaya merupakan hasil domestikasi kerbau liar India *Bubalus arnee* pada 5000 tahun yang lalu di India dan Tiongkok (Borghese 2010). Domestikasi kerbau diawali dari campur tangan manusia dalam pengaturan perkawinan sebagai ternak untuk dibudidayakan karena kemampuan adaptasinya terhadap lingkungan sangat tinggi.

Keunggulan biologis kerbau dibandingkan dengan ternak ruminansia lainnya adalah kemampuannya dalam mencerna serat kasar. Pada kondisi lingkungan ekstrim tropis dengan kandungan hijauan yang tersedia umumnya memiliki serat kasar yang sangat tinggi, dimana ternak ruminansia lain tidak mampu hidup, namun kerbau masih mampu hidup dan berkembangbiak dengan baik disebabkan oleh

kemampuannya mencerna serat kasar yang tinggi dan ketahanannya terhadap parasit eksternal (Lemcke 2011). Menurut Desta (2012) kemampuannya dalam mengubah serat kasar tinggi seperti jerami menjadi daging yang kaya protein dan rendah kolesterol ini disebabkan oleh gerakan mengunyah pakan dalam proses ruminasi yang lebih lambat dan efisien termasuk pergerakan lidah dan otot pencernaan. Selain itu, Napolitano et al. (2013) menyebutkan efisiensi pakan serat kasar yang tinggi karena volume rumen lebih besar, kecepatan perpindahan bolus pakan lebih lambat dan tingginya aktivitas bakteri rumen kerbau air. Bahkan bila dibandingkan dengan ternak sapi Brahman yang terkenal efisien dalam hal efisiensi penggunaan pakan serat kasar tinggi pada pemeliharaan ekstensif pastura (Rodas-González et al. 2015), kerbau lebih efisien.

Kerbau memiliki peran dalam penyediaan daging dan susu meskipun tidak sebesar daging sapi, selain sebagai tenaga kerja dan penghasil pupuk dalam usaha tani masyarakat pedesaan, khususnya di negara-negara berkembang pada daerah tropis. Di Asia, kontribusi daging kerbau sebesar 11,5% dari total produksi daging ruminansia (Cruz 2013), sedangkan di Indonesia masih <7% (Ditjen PKH 2017). Konsumsi daging kerbau diprediksi akan meningkat menurut Cruz (2013) karena tren perubahan gaya hidup mengonsumsi daging yang memiliki kandungan lemak lebih rendah. Keunggulan daging kerbau antara lain kandungan kolesterol 40% lebih rendah, kalori 55% lebih rendah, protein 11% lebih tinggi dan mineral 10% lebih tinggi dan asam amino (Naveena & Kiran 2014) dan tersehat 2-3 kali dibandingkan dengan ruminansia lainnya (Kandeean et al. 2009). Namun demikian, konsumen daging kerbau di pasaran masih rendah karena kurang disukai, karena dagingnya kurang empuk (Borghese 2013). Namun saat ini, tersedia daging kerbau *tenderbuff* yang merupakan hasil persilangan kerbau potong dan kerbau perah di Australia, terkenal memiliki kualitas keempukan yang tinggi (Lemcke 2011) atau dengan pemotongan kerbau pada usia muda <1 tahun.

Populasi kerbau di dunia lebih rendah dibandingkan dengan sapi dan diperkirakan lebih dari 178 juta ekor (Deb et al. 2016) tersebar di benua Asia, Amerika, Eropa dan Afrika. Dari populasi dunia, 97% berada di Asia terutama di India, Tiongkok, Pakistan dan Thailand. Populasi kerbau dunia tercatat bahwa populasi kerbau perah lebih tinggi (79%) dibandingkan dengan kerbau potong (21%). Jumlah kerbau di Indonesia saat ini jumlahnya hanya 1.386 juta kerbau (Ditjen PKH 2017) atau 0,7% dari populasi dunia dan 0,8 dari populasi Asia. Kerbau tersebar di berbagai agroekosistem (dataran rendah/pantai sampai tinggi/pegunungan). Berdasarkan data statistik populasi kerbau ada di setiap provinsi kecuali Sulawesi Utara dan Papua Barat dengan kisaran populasi antara 259 (DKI)-178.392 (NAD) ekor (Ditjen PKH 2017).

Populasi kerbau dunia khususnya di beberapa negara Asia bagian Selatan dan Tenggara mengalami penurunan selama satu dekade terakhir, termasuk Indonesia. Menurut Cruz (2013) dan Borghese (2013) disebabkan terutama oleh mekanisasi pertanian, dimana kerbau sebelumnya digunakan sebagai tenaga kerja untuk membajak sawah atau alat transportasi pedesaan, industrialisasi sapi perah menggantikan kerbau perah pada beberapa negara sentra kerbau khususnya negara berkembang. Sedangkan penurunan populasi kerbau di Indonesia sebesar 7% per tahun sejak tahun 2009 sampai 2017 (Ditjen PKH 2017) disebabkan pengurangan ternak akibat pemotongan ternak (pejantan dan betina) yang tinggi terjadi untuk memenuhi kebutuhan daging nasional. Impor kerbau telah dilakukan sejak tahun 2003 sampai 2010 dengan total

3.865 ekor dari Australia yang pernah dilaporkan oleh Lemcke (2011), padahal sebelumnya Australia mendatangkan kerbau dari Indonesia. Kelangsungan pemotongan kerbau yang tinggi dan terus menerus tanpa kendali akan menyebabkan kepunahan ternak di masa mendatang serta ketergantungan impor.

Menurunnya populasi kerbau disebabkan juga oleh rendahnya tingkat reproduktivitas. Faktor utama penyebab rendahnya reproduktivitas adalah pengaruh tekanan *inbreeding*. Tingginya tingkat *inbreeding* terjadi akibat kelangkaan pejantan dan sistem perkawinan yang tidak terarah dalam pemeliharaan tradisional. Makalah ini menyajikan upaya alternatif meningkatkan kualitas genetik kerbau melalui perkawinan *outbreeding* dengan cara IB untuk menurunkan tingkat *inbreeding* dan menyajikan dampak sosial ekonomi dari perkawinan *outbreeding*. Tulisan ini diharapkan dapat memberikan masukan pada kebijakan program pemuliaan dalam pengembangan usaha kerbau mendukung penyediaan daging dan susu nasional.

PENGARUH TEKANAN *INBREEDING*

Inbreeding termasuk salah satu sistem perkawinan yang dilakukan antara individu yang memiliki hubungan sedarah atau kekerabatan dekat. Besarnya derajat hubungan kekerabatan dalam *inbreeding* dinyatakan oleh koefisien *inbreeding*. Korelasi positif antara kedekatan dan tingkat *inbreeding*, dengan kata lain semakin dekat antara kekerabatan individu, semakin besar koefisien *inbreeding*. Koefisien *inbreeding* juga mengukur penurunan heterozigositas dan peningkatan homozigositas genotipe individu dalam populasi (Falconer & MacKay 1996). Perkawinan *inbreeding* dalam populasi menghasilkan generasi yang lebih seragam dalam populasi. Namun, hilangnya keragaman dan heterozigositas dalam populasi akan mengakibatkan meningkatnya homogenitas gen resesif ternak yang bersifat negatif (*deleterious/detrimental*) (Vale et al. 2013) dan menurunkan intensitas seleksi (Falleiro et al. 2014). Pada program seleksi dalam jangka waktu panjang, terjadinya *inbreeding* tidak dapat dihindari, karenanya perlu diketahui perhitungan koefisien tingkat *inbreeding* untuk meramalkan besarnya pengaruh *inbreeding* pada generasi berikutnya (van Wyk et al. 2009).

Tekanan *inbreeding* (*inbreeding depression*) merupakan terminologi yang telah lama digunakan sejak zaman Darwin (Paige 2010). Pengaruh negatif yang ditimbulkan dari besarnya tingkat *inbreeding* dikenal dengan istilah tekanan *inbreeding*. Frekuensi alel dalam populasi *inbreeding* sebenarnya tidak berubah, namun distribusi genotipe saja yang berubah (Falleiro et al. 2014). Pada umumnya, tekanan

inbreeding akan lebih berdampak negatif pada sifat yang berkaitan dengan daya ketahanan hidup termasuk tingkat daya hidup, fertilitas dan kesehatan ternak (Paige 2010). *Inbred* ternak akan mengalami penurunan kelangsungan hidup yang berkaitan erat dengan kinerja reproduksi dan mortalitasnya dibandingkan dengan ternak *non-inbred*. Gullstrand (2015) juga menjelaskan tingginya tekanan *inbreeding* mempengaruhi kerentanan ternak terhadap penyakit yang menyebabkan tingginya kematian pada embrio, *neo-natal* akibat gen resesif ternak yang memiliki efek negatif. Populasi *inbred* mengalami penurunan jumlahnya disebabkan ketahanan daya hidupnya lebih rendah dibandingkan dengan *non-inbred* (Bezdicsek et al. 2007).

Faktor penyebab terjadinya *inbreeding* antara lain jumlah populasi atau ukuran populasi efektif yang kecil (*effective population size*) termasuk rasio pejantan dan betina produktif, perkawinan tidak terarah, *random genetic drift*, populasi tertutup yang terisolasi kemungkinan karena lingkungan alamnya (Falconer & MacKay 1996). Sedangkan Keller & Waller (2002) menyatakan bahwa konservasi suatu spesies makhluk hidup memberikan ancaman terhadap terjadinya *inbreeding*. Demikian pula perkawinan *inbreeding* yang tidak dapat dihindari pada suatu populasi disebabkan oleh preferensi individu terhadap individu tertentu, hierarki sosial jantan dalam perkawinan pejantan lebih sedikit, lebih sering mengawini betina dalam populasi, termasuk mengawini anak betina atau kerabat betinanya (Vale et al. 2013).

Jumlah individu dalam suatu populasi sangat mempengaruhi tingkat *inbreeding*, dimana semakin kecil populasi maka semakin besar tekanan *inbreeding* terhadap suatu sifat. Jumlah individu dalam suatu populasi berkaitan dengan ukuran populasi efektif terutama yang mampu bereproduksi (Falconer & MacKay 1996). Sayed et al. (2012) melaporkan tingkat *inbreeding* kerbau di Mesir menurun secara nyata yaitu sebesar 43% dengan meningkatnya ukuran populasi dari 1.000 menjadi 2.500 ekor. Sayed et al. (2012) juga melaporkan bahwa pengaruh tekanan *inbreeding* terhadap sifat reproduksi menurun 25% reproduktivitasnya pada populasi kecil dan 8% pada populasi besar.

Neaves et al. (2015) merangkum pengaruh peningkatan derajat *inbreeding* terhadap penurunan performans dari berbagai penelitian dari jenis ternak yang berbeda. Sebanyak 81,9% menyebutkan pengaruh tekanan *inbreeding* terhadap penurunan daya hidup, 52% tentang pengaruh negatif terhadap ukuran tubuh, 12,5% dampak terhadap ketahanan penyakit patogen, parasit, cekaman (stres) dan kegagalan kebuntingan. Secara umum, dilaporkan bahwa 92% penelitian menunjukkan bahwa *inbreeding* berpengaruh terhadap survabilitas, viabilitas dan fekunditas. Performans ternak *inbred* akan menurun pada lingkungan

pemeliharaan yang buruk, misalnya ketersediaan pakan yang kurang memenuhi kebutuhan ternak (Cheptou & Donohue 2011). Tekanan *inbreeding* juga berdampak negatif pada kinerja reproduksi pejantan dan induk. Losdat et al. (2014) melaporkan bahwa pengaruh *inbreeding* menyebabkan penurunan kualitas sperma pejantan sehingga menghasilkan rendahnya tingkat kebuntingan betina yang dikawinkan. Penurunan kualitas sperma menimbulkan penurunan kualitas morfologi, motilitas, konsentrasi sperma dan volume semen. Bezdicsek et al. (2007) melaporkan bahwa koefisien *inbreeding* sebesar 10% akan menyebabkan umur beranak pertama lebih panjang 25 hari, jarak beranak lebih panjang tiga hari, distokia lebih tinggi 2%, lahir prenatal lebih tinggi 2%, kawin ulang kembali (*re-breeding*) lebih tinggi 3%, *calving* interval lebih panjang tiga hari dibandingkan dengan ternak kontrol. Khan et al. (2007) melaporkan bahwa pada kerbau perah di Pakistan terdapat peningkatan 1% *inbreeding* menyebabkan umur beranak pertama naik 1,13 hari, jarak beranak meningkat 15 hari, penurunan produksi susu laktasi pertama 27 kg, lama laktasi menurun 10 hari, umur produksi menurun empat hari (Khan et al. 2007). Bezdicsek et al. (2007) menyebutkan pada tingkat *inbreeding* 10% terjadi penurunan protein susu 10,14-11 kg, lemak susu -12,6 kg, produksi susu selama hidup induk -177 kg pada kerbau perah. Santana et al. (2012) melaporkan *inbreeding* 2,4% pada kerbau Murrah di Amerika menurunkan produksi susu -4,287 kg, lemak susu -0,581 kg, protein susu -0,383. Malhado et al. (2013) melaporkan pada kerbau Murrah di Brasil dengan kenaikan *inbreeding* 1% maka penurunan berat umur 205 hari -0,25 kg dan umur 365 hari -0,39 kg. Pada kerbau, kenaikan intensitas *inbreeding* sebesar 0,01 atau 1% pada setiap generasi berdampak pada penurunan produktivitas ternak sebesar 2% (Malhado et al. 2013). Meskipun respon penurunan produktivitas antara spesies dan jenis ternak berbeda terhadap setiap peningkatan *inbreeding* 1%, semakin tinggi tingkat *inbreeding* akan semakin besar penurunan performans produksinya.

Dampak ekonomis akibat pengaruh tekanan *inbreeding* adalah penurunan rata-rata fenotipik terutama pada sifat-sifat yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Penurunan keuntungan akibat *inbreeding* dilaporkan oleh Croquet et al. (2006) sebesar US\$ 22-24 per ekor setiap kenaikan tingkat *inbreeding* sebesar 1% sedangkan pada kerbau kenaikan intensitas *inbreeding* sebesar 0,01 atau 1% pada setiap generasi menurunkan efisiensi usaha ternak sebesar 3% (Ferraz et al. 2015). Kerugian akibat meningkatnya *inbreeding* sebesar 1% pada sifat produksi yang memiliki nilai ekonomi yang tinggi sebesar 0,35% (Leroy 2014). Sementara produksi keju Mozarella dilaporkan oleh Santana et al. (2012) turun sebesar 2.001 kg pada tingkat *inbreeding* kerbau Murrah 2,52%.

INDIKASI KEJADIAN *INBREEDING*

Penurunan produktivitas kerbau disebabkan oleh faktor lingkungan terutama ketersediaan pakan yang semakin menurun akibat berkurangnya kawasan lahan sumber hijauan. Sementara penurunan produktivitas yang disebabkan oleh faktor genetik terutama disebabkan oleh penurunan kualitas genetik kerbau akibat tingginya tekanan *inbreeding*.

Tingkat *inbreeding* diduga terjadi akibat penurunan produktivitas dan populasi daerah pengembangan kerbau dari seluruh daerah atau provinsi selama 20 tahun terakhir. Produktivitas kerbau yang rendah berdampak pada lambatnya pertambahan atau penurunan populasi, akibat lambatnya laju reproduksi dan tingginya kematian tahun 1925-2011 (Praharani et al. 2011).

Rendahnya tingkat kelahiran dilaporkan oleh Mawi (2009) sebagai salah satu indikator pendugaan adanya *inbreeding* yang menyebabkan penurunan kesuburan ternak betina. Tingkat kelahiran kerbau Kalang di Kabupaten Kutai, Kalimantan Timur hanya sebesar 20,6%. Rendahnya kesuburan kerbau di Kabupaten Batanghari, Jambi dilaporkan juga oleh Achyadi et al. (2008) dimana 52 ekor kerbau betina yang dikawinkan hanya 10 ekor bunting atau 19%. Kerbau betina pertama kali dikawinkan pada umur 3,5-3,8 tahun dimana berahi pertama terjadi pada umur 2,5-3 tahun. Rata-rata jarak beranak kerbau antara 2,5-2,8 tahun dengan persentase beranak 40-50% sedangkan karakteristik kerbau di Indonesia dilaporkan oleh Sulaeman (2011), dimana dewasa kelamin 2-2,5 tahun, beranak pertama 40-44 bulan, lama bunting 10,5-11 bulan, jarak beranak 553 hari. Tingkat *inbreeding* yang tinggi pada populasi kerbau juga ditandai dengan kelainan genetik berupa albino maupun cacat genetik lainnya. Praharani et al. (2010) melaporkan sebanyak 40% dari total jumlah kerbau di Kabupaten Lebak memiliki kelainan genetik berupa warna bulu atau kulit albinoid (putih). Albino merupakan kelainan genetik akibat perkawinan antara ternak resesif atau heterozigot resesif. Menurut Vale et al. (2013), kejadian albino merupakan indikator terjadinya perkawinan kerabat dekat/*inbreeding* pada kerbau. Triwulanningsih et al. (2012) menyebutkan banyak kerbau yang memiliki tanduk bergantung atau cacat bentuk tanduk di Kabupaten Lebak dan Pandeglang, meskipun jumlah kejadiannya belum pernah dilaporkan.

Indikator terjadinya *inbreeding* berdasarkan jumlah populasi efektif dan rasio antara pejantan dan betina seperti yang dilaporkan oleh Praharani et al. (2010) di Kabupaten Lebak adalah sebesar 0,12 atau 12% dengan rumus perhitungan seperti dalam Falconer & MacKay (1996). Populasi efektif yang kecil ini menyebabkan tingkat *inbreeding* meningkat. Sementara Thiruvengadan et al. (2013) melaporkan ukuran

populasi yang kecil dan tingkah laku kawin preferensi terhadap ternak tertentu menyebabkan terjadinya *inbreeding*.

Menurut laporan Bamualim & Zulbardi (2008) di Kabupaten Brebes, Jawa Tengah memperlihatkan bahwa dari 172 ekor kerbau milik petani terdapat sebanyak 147 ekor betina dan 25 ekor jantan, tetapi kerbau jantan tersebut yang dapat dipakai sebagai pemacek hanya dua ekor yang menyebabkan rendahnya rasio pejantan dan betina produktif yaitu 1:73. Praharani et al. (2011) juga melaporkan rasio pejantan dan betina yang dipelihara oleh kelompok peternak kerbau di tiga kecamatan berbeda di Kabupaten Lebak masih rendah (1:>30). Praharani et al. (2011) lebih jauh menunjukkan bahwa struktur populasi kerbau di Kabupaten Pandeglang menjadi indikasi rasio pejantan dan induk sangat rendah.

Dalam sistem pemeliharaan tradisional dimana sistem pencatatan belum berjalan, maka perkawinan antara saudara dekat atau anak jantan dengan induk atau pejantan dengan anak betinanya sangat mungkin terjadi. Selain itu, pejantan digunakan sebagai pemacek untuk mengawini betina produktif dalam populasi dipelihara terlalu lama (>3 tahun), sehingga pejantan tersebut berpotensi mengawini anaknya. Villasmil-Ontiveros et al. (2008) melaporkan tingkat *inbreeding* menurun <5% setelah lima generasi setelah dilakukan sistem perkawinan rotasi pejantan pada lima subpopulasi sapi Criollo di Brasil. Praharani & Ashari (2012) menyebutkan lama pemakaian pejantan dalam kelompok kerbau di Kabupaten Lebak lebih dari lima tahun. Naghavian et al. (2016) mengatakan tidak ada pengaturan pejantan menyebabkan *inbreeding* khususnya dalam populasi tertutup dengan ukuran populasi kecil.

Sistem pemeliharaan kerbau umumnya dilakukan berkelompok secara ekstensif atau semi intensif pada padang penggembalaan atau daerah perkebunan (kelapa, sawit, karet) yang terisolasi dari populasi kerbau lain dalam jangka waktu yang lama. Populasi tertutup dalam jangka waktu lama dapat memicu terjadinya *inbreeding*. Pada kerbau perah yang dipelihara di Sumatera Utara, menurut Situmorang et al. (2012) tingkat *inbreeding* sangat tinggi. Kerbau perah tersebut didatangkan dari India pada jaman Pemerintahan Belanda yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan susu kerbau masyarakat keturunan India yang berlangsung sampai saat ini. Besarnya tingkat *inbreeding* memang masih bersifat asumsi dan belum dapat dibuktikan secara analisis ilmiah, disebabkan oleh tidak adanya pencatatan perkawinan individu, sehingga sulit untuk mengetahui koefisien *inbreeding*.

Pada sistem pemeliharaan tradisional dalam populasi kerbau yang tertutup, beberapa indikator dapat diasumsikan telah terjadi *inbreeding* antara lain performans eksterior, ukuran tubuh, kinerja reproduksi,

proporsi jumlah jantan dan betina, lama penggunaan pejantan dalam populasi, asal pejantan, perkawinan tidak terarah dan cacat genetik. Penelitian tingkat *inbreeding* pada kerbau secara akurat perlu dilakukan. Namun demikian, Amin & Lestari (2015) telah melakukan penelusuran tingkat heterozigositas secara molekuler menggunakan penanda mikrosatelit pada beberapa kelompok kerbau di Jawa Timur (dua populasi) dan Lombok Tengah (dua populasi) untuk menduga aliran alel dan variasi genetik dimana heterozigositas populasi kerbau di Jawa Timur lebih rendah yaitu 50,17% dibandingkan dengan di Lombok Tengah yaitu 62,12%, yang merupakan peringatan bahwa keragaman kerbau pada keempat populasi tersebut termasuk kategori rendah sampai sedang.

PERKAWINAN *OUTBREEDING*

Perbaikan genetik dapat dilakukan melalui seleksi di dalam atau antara rumpun ternak untuk membentuk galur baru namun seleksi pada kerbau akan memerlukan waktu relatif lebih lama mengingat generasi interval kerbau >5 tahun. Selain itu, kemajuan seleksi dipengaruhi oleh heritabilitas atau besarnya pengaruh genetik suatu sifat terhadap performans ternak dimana semakin rendah nilai heritabilitas maka semakin lama waktu yang diperlukan menghasilkan ternak terseleksi (Falconer & MacKay 1996).

Persilangan antara rumpun kerbau merupakan alternatif lain dalam usaha memperbaiki genetik ternak yang relatif lebih cepat dibandingkan dengan seleksi. Persilangan antara kerbau potong dan kerbau perah akan menghasilkan ternak F1 dengan jumlah kromosom 49 yang fertil. Namun, bila ternak F1 dikawinkan interse maka terjadi segregasi dengan anak F2 memiliki jumlah kromosom yang bervariasi yaitu 48, 49 dan 50. Hasil persilangan (F1 *outbred*) kerbau potong dan kerbau perah memiliki performans produksi dan reproduksi lebih tinggi dibandingkan tanpa persilangan (Praharani 2009). Program persilangan kerbau perkawinan harus terkontrol dan terarah sesuai untuk menghindari pencampuran F1 *crossbred* (ternak silangan) dengan populasi luar Talib et al. (2014) karena F1 berbeda tiga genotipe yang berbeda jumlah kromosomnya. Dengan sistem pemeliharaan tradisional, agak sulit menerapkan perkawinan silang.

Outbreeding merupakan salah satu sistem perkawinan antara individu yang tidak memiliki hubungan kekerabatan dari dua populasi yang berjauhan karena terpisah oleh jarak (Falconer & MacKay 1996). Pada suatu populasi dengan tingkat *inbreeding* yang tinggi dengan tingkat homozigositas yang tinggi. *Outbreeding* merupakan salah satu cara untuk menurunkan *inbreeding* dan meningkatkan kembali heterozigositas, bila *crossbreeding* tidak

memungkinkan. Tujuan utama perkawinan *outbreeding* adalah meningkatkan produktivitas ternak melalui penurunan atau penghilangan tekanan *inbreeding*. Pengamatan reproduksi betina sapi Holstein antara ternak *inbred* lebih rendah dibandingkan dengan ternak *outbred* (Bezdiczek et al. 2007). Borghese (2013) melakukan *outbreeding* dengan memasukkan pejantan kerbau perah Murrah Bulgarian ke dalam populasi kerbau perah Murrah Mediteranean untuk meningkatkan keragaman genetik, produksi susu dan memperbaiki konfirmasi tubuh. Sementara Marcondes et al. (2014) melaporkan penurunan tingkat *inbreeding* sebesar 33% melalui perkawinan *outbreeding* melalui introduksi pejantan Mediteranean di Brasil. Perkawinan *outbreeding* sangat direkomendasikan pada populasi tertutup dengan sistem perkawinan tanpa *recording* pada ukuran populasi kecil yang menyebabkan penurunan keragaman dan menyebabkan *inbreeding* (Ferraz et al. 2015).

Di Indonesia, perkawinan *outbreeding* antara lain dilakukan melalui pemasukan pejantan yang berasal dari Nusa Tenggara Barat (kerbau Sumbawa) ke dalam populasi kerbau di Banten atau kerbau jantan dari Taman Nasional Baluran yang berasal populasi tertutup dimasukkan ke dalam populasi kerbau di Banten, Brebes, Kalimantan Timur dan Nusa Tenggara Barat. Perkawinan *outbreeding* pada kerbau perah harus mengimpor pejantan kerbau perah baru baik dalam bentuk ternak hidup maupun semen beku karena ketidaktersediaan populasi kerbau perah lain di Indonesia, selain di Sumatera Utara. Permentan NO. 51/Permentan/OT.140/9/2011 (Ditjen PKH 2011) pada Pasal 8 yang menyatakan pemasukkan benih atau bibit ternak harus memenuhi persyaratan kesehatan hewan yang ditetapkan oleh otoritas veteriner dan harus berasal dari negara yang berstatus bebas dari penyakit menular.

Introduksi pejantan baru telah dilakukan pemerintah pusat atau daerah di beberapa daerah sentra kerbau melalui program perbaikan genetik ternak dalam rangka meningkatkan produktivitas. Dengan masuknya pejantan baru, maka semua pejantan yang telah lama (>5 tahun) digunakan sebagai pemacek dalam populasi yang berada dalam populasi atau memindahkannya pejantan lama pada kelompok lain yang sangat berjauhan letak lokasi pemeliharaannya dengan sistem rotasi. Pengeluaran pejantan lama akan memberikan peluang kepada pejantan baru dapat mengawini seluruh betina-betina yang ada, mengingat adanya hierarki atau rangking sosial ternak jantan dalam populasi, dimana pejantan yang memiliki hierarki tertinggi akan menjadi penguasa sebagai pemacek (Rutberg 1983). Namun, bila hierarki pejantan lama lebih tinggi, maka pejantan tersebut tetap menjadi pemacek dan pejantan baru (introduksi) tidak dapat mengawini sebagian besar betina dalam populasi

tersebut, sehingga program *outbreeding* menjadi tidak efektif.

TEKNOLOGI REPRODUKSI PADA KERBAU

Kerbau air (potong dan perah) memiliki karakter biologi reproduksi yang unik dan berbeda dengan ternak sapi, seperti lambat dewasa kelamin, panjangnya jarak beranak, rendahnya intensitas dan durasi estrus. Warriach et al. (2015) menyebutkan bahwa efisiensi reproduksi kerbau lebih rendah dibandingkan dengan sapi, namun sangat dipengaruhi oleh lingkungan manajemen, pakan dan iklim, serta memiliki respon tinggi terhadap perbaikan manajemen dan lingkungan. Borghese (2013) menyebutkan bahwa umur dewasa kelamin tergolong lambat (15-18 bulan untuk kerbau perah dan 21-24 bulan kerbau potong). Panjang siklus estrus antara 17-26 hari dengan intensitas estrus rendah, durasi estrusnya lebih pendek (10-12 jam) dan umumnya terjadi pada malam hari atau cenderung tidak menunjukkan gejala estrus (Warriach et al. 2015). Perera (2011) melaporkan bahwa 50-80% kerbau pada kondisi optimal kembali estrus setelah beranak 90-150 hari.

Barile (2012) melaporkan hanya 3,3% kerbau estrus yang dinaiki kerbau betina lainnya, sehingga disarankan pengamatan berahi lebih efisien dilakukan melalui pemasukkan pejantan pengganggu (*teaser*) dalam populasi atau penggunaan alat deteksi berahi elektronik (Barile 2012). Selain itu, kejadian estrus kerbau dilaporkan pada malam hari (Sulaeman 2011; Warriach et al. 2015). Keunikan tingkah laku berahi yang sulit dideteksi dengan durasi dan intensitas estrus yang rendah ini menyebabkan kesulitan dalam melakukan perkawinan buatan melalui inseminasi.

Peningkatan efisiensi reproduksi betina dapat dilakukan melalui aplikasi teknologi reproduksi antara lain sinkronisasi estrus yang diikuti oleh inseminasi buatan (IB) untuk mempercepat penyebaran genetik pejantan superior.

Sinkronisasi estrus kerbau

Rendahnya efisiensi reproduksi kerbau memacu berbagai usaha untuk meningkatkan kinerja reproduksi seperti memperpendek jarak beranak dan meningkatkan kebuntingan (Kumar et al. 2014), antara lain melalui sinkronisasi berahi secara hormonal. Berbagai metode telah lama diuji cobakan untuk meningkatkan efisiensi reproduksi kerbau betina.

Sinkronisasi estrus merupakan perlakuan manipulasi berahi ternak secara hormonal dengan tujuan untuk mendapatkan sejumlah ternak betina berahi dalam waktu yang bersamaan, sehingga perkawinan dapat dilakukan secara serentak dan

selanjutnya menghasilkan kelahiran dan penyapihan anak pada waktu yang bersamaan yang berdampak pada efisiensi manajemen pemeliharaan. Dengan sinkronisasi estrus, program IB lebih mudah dilakukan secara efisien karena menghemat tenaga dan waktu. Sinkronisasi estrus pada kerbau perlu dilakukan dalam program IB, mengingat tanda-tanda estrus pada kerbau umumnya tidak jelas terlihat sehingga sulit untuk mendeteksi estrus, dengan intensitas dan durasi estrus yang rendah dan terjadi pada malam hari (Barile 2012). Sinkronisasi pada dasarnya dilakukan dengan menggunakan hormon prostaglandin atau progesteron, yang keduanya bertujuan memperpendek atau memperpanjang fase luteal yang menyebabkan penurunan progesteron pada level terendah, sehingga memungkinkan terjadinya peningkatan hormon estrogen dan *luteneizing hormone* (LH) (Paul et al. 2015). Sinkronisasi estrus hormonal menginduksi berahi yang dapat meningkatkan kesuburan dan memperpendek jarak beranak (Kalwar et al. 2015). Umumnya, penggunaan protokol progesteron, prostaglandin F2 α (atau PGF2 α analog) dan estrogen atau kombinasinya (Paul et al. 2015).

Tingkat kebuntingan hasil sinkronisasi estrus kerbau dari berbagai protokol sangat bervariasi antara 30-50% (Warriach et al. 2015) lebih rendah dibandingkan dengan sapi. Namun, kebuntingan dari estrus sinkronisasi secara hormonal sebanding atau tidak berbeda bila dilakukan dengan berahi alam (Warriach et al. 2015). Sinkronisasi estrus hormonal dapat dilakukan pada ternak *acyclic* atau kerbau dengan siklus berahi tidak normal pascaberanak atau yang sedang menyusui sehingga menyebabkan siklus berahi kembali normal dan dapat bunting segera (Urdaneta et al. 2013). Dalam Tabel 1 disajikan berbagai penelitian dengan menggunakan protokol sinkronisasi yang berbeda menghasilkan tingkat kebuntingan berbeda. Aplikasi prostaglandin (PGF2 α) merupakan metode yang paling umum dipakai untuk menginduksi estrus karena sifatnya yang luteolitik, melisis/meregresi korpus luteum, yang menyebabkan penurunan konsentrasi progesteron dalam darah, perkembangan folikel ovarium dan terjadinya ovulasi dalam 2-6 hari setelah penyuntikan (Sianturi et al. 2012a). Penambahan *human chorionic gonadotropin* (hCG) disarankan pada kerbau untuk menstimulir terjadinya ovulasi, sehingga dapat meningkatkan kebuntingan. Akhtar et al. (2013) melaporkan kebuntingan kerbau melalui penambahan hCG meningkat (48 vs 65%). Yendraliza et al. (2011) melaporkan kombinasi PGF dan GnRH menghasilkan kebuntingan pada kerbau di Provinsi Riau sebesar 100%. Meskipun tingkat kebuntingan kerbau masih rendah namun dengan sinkronisasi estrus dapat diperoleh kelahiran ternak bersamaan sehingga memudahkan manajemen dan meningkatkan efisiensi usaha.

Tabel 1. Tingkat kebuntingan kerbau dari beberapa metode sinkronisasi hormonal

Perlakuan	Tingkat kebuntingan (%)	Sumber
GnRH + PGF + GnRH	36	Warriach et al. (2015)
CIDR-SYNCH	39-42	Urdaneta et al. (2013)
GnRH + PGF + hCG	57-68	Akhtar et al. (2013)
GnRH + PGF + PGF	60-90	Perera (2011)
Progesteron + eCG (hCG)	56-64	Perera (2011)
Ovysinch + CIDR	53	Kalwar et al. (2015)
PGF + PGF	83	Jamsawat et al. (2015)

Inseminasi buatan kerbau

Inseminasi buatan merupakan aplikasi teknologi reproduksi pertama yang dilakukan oleh Spallanzani pada tahun 1779 pada anjing. Tujuan utama IB adalah sebagai alat untuk mengoptimalkan penggunaan pejantan unggul teruji (*proven bull*), sehingga dapat diperoleh anak keturunan dari pejantan superior lebih banyak dalam waktu singkat. Selain itu, keuntungan dari IB memberikan peluang perkawinan antara ternak yang berada di lokasi yang terpisah secara geografis atau antara jenis/rumpun ternak yang berbeda (*crossbreeding*). Inseminasi buatan menghilangkan preferensi ternak terhadap pejantan tertentu atau sebaliknya yang terjadi dalam sistem kawin alam (Barile 2012). Selain itu, penyakit menular seperti vibriosis, trikomoniasis, tuberkulosis, *brucellosis* dan *infectious bovine rhinotracheitis* (IBR) yang mudah tersebar melalui kawin alam dapat dicegah melalui IB (Rossi 2013).

Keberhasilan IB pada kerbau dilaporkan lebih rendah dibandingkan dengan sapi karena kualitas

semen beku kerbau lebih rendah dibandingkan dengan sapi, karena lebih mudah terjadi kerusakan selama proses pembekuan (Andrabi 2009). Teknologi pembekuan semen kerbau telah berkembang pesat sehingga mampu meningkatkan kualitas dan keberhasilan terhadap persentase kebuntingan lebih dari 70% (Sianturi et al. 2012a; 2012b). Teknologi IB digunakan dalam mempercepat perbaikan genetik dalam program *crossbreeding* kerbau potong dengan kerbau perah atau *upgrading* di Filipina (Mumuad 2013; De La Cruz-Cruz et al. 2014), sedangkan di Indonesia IB kerbau mulai diperkenalkan pada tahun 1978 (Toelihere 2001) dalam program persilangan kerbau potong dengan kerbau perah yang dilakukan di Kabupaten Brebes.

Pengamatan berahi yang ditandai oleh lendir, oedema dan perubahan mukosa menjadi kemerahan yang lazimnya menjadi penanda klinis yang khas relatif sulit diamati pada kerbau (Rossi 2013). Namun, peternak kerbau di Indonesia sudah mengerti dan memahami gejala estrus dengan baik yaitu 98% (Triwulanningsih et al. 2012; Yusuf et al. 2013).

Inseminasi tepat waktu menjadi solusi terbaik pada kerbau. Penggunaan prostaglandin (PGF) dengan pemberian dua kali berselang 11 hari yang dilanjutkan dengan IB setelah 48-72 jam pemberian PGF kedua, menunjukkan hasil kebuntingan lebih tinggi (Sianturi et al. 2012b). Balai Penelitian Ternak telah melakukan penelitian IB terjadwal dengan menggunakan sinkronisasi berahi hormonal seperti PGF, GnRH, Progesteron, PMSG dan penamahan hCG sejak tahun 2011 di beberapa daerah sentra kerbau yang menghasilkan tingkat kebuntingan kerbau antara 40-68,2% seperti yang terdapat dalam Tabel 2. Penambahan hCG pada saat IB dapat menjamin terjadinya ovulasi setelah sinkronisasi estrus meningkatkan keberhasilan IB (Sianturi et al. 2012b).

Penelitian yang dilakukan oleh Balitnak selama tujuh tahun telah menghasilkan total anak hasil IB sebanyak 268 ekor *outbred* di beberapa sentra pembibitan (Banten, Brebes, NTB, Riau dan Kalimantan Timur). Aplikasi sinkronisasi berahi yang

Tabel 2. Tingkat kebuntingan kerbau potong melalui sinkronisasi estrus dan IB yang telah dilakukan di berbagai daerah sentra kerbau di Indonesia

Daerah sentra kerbau	Tingkat kebuntingan (%)	Sumber
Provinsi Sumatera Utara	68,8	Situmorang et al. (2012; 2013)
Provinsi Riau	68,0	Triwulanningsih et al. (2012)
Provinsi Banten	50-80	Sianturi et al. (2012b; 2015)
	63-78	Triwulanningsih et al. (2012)
Provinsi Kalimantan Timur	62,0	Praharani et al. (2013a; 2013b)
Provinsi NTB	66,6	Praharani et al. (2014)
Kabupaten Brebes	40,0	Praharani et al. (2013a; 2013b)
	42-63	Sianturi et al. (2012b; 2015)

diikuti dengan IB terjadwal di Indonesia belum diestimasi besaran biayanya dan dampak sosial ekonomi dari program IB dengan sinkronisasi. Sementara di Filipina, Jamsawat et al. (2015) melaporkan bahwa menggunakan PGF (dua kali) dan IB terjadwal dua kali lebih hemat biaya dibandingkan dengan IB menggunakan hormon lain dan deteksi berahi.

PERFORMANS TERNAK *OUTBRED* (F1)

Perkawinan *outbreeding* antara induk lokal dengan pejantan introduksi dari luar populasi (jauh) yang tidak memiliki hubungan kekerabatan akan menghasilkan ternak *outbred* dengan performans diharapkan lebih tinggi dibandingkan dengan ternak hasil perkawinan menggunakan pejantan lokal sebagai pembandingnya (kontrol). Praharani & Sianturi (2014) dan Praharani et al. (2014) melakukan pengamatan performans kerbau *outbred* di Kabupaten Pandeglang, Banten dan Kabupaten Lombok Barat, Nusa Tenggara Barat (NTB). Pengamatan terhadap anak F1 *outbred* dibandingkan dengan anak hasil kawin alam dengan pejantan lokal yang diduga memiliki tingkat *inbreeding* tinggi dalam populasinya. Pada Tabel 3 terlihat bahwa variasi ukuran tubuh (panjang badan, lingkaran dada dan tinggi badan) ternak *outbred* antara provinsi disebabkan perbedaan umur prasapih (3-4 bulan) di Provinsi Banten dan lepas sapih (5-7 bulan) di Provinsi NTB.

Tabel 3. Tampilan perbandingan ukuran tubuh antara ternak *outbred* dan lokal di Provinsi Banten dan NTB

Parameter	Banten ¹		NTB ²	
	<i>Outbred</i>	Lokal	<i>Outbred</i>	Lokal
N (ekor)	49	28	20	16
Tinggi badan (cm)	68,38	61,76	81,50	73,20
Lingkar dada (cm)	75,17	69,78	83,30	76,10
Panjang badan (cm)	54,09	50,12	65,60	60,10

Sumber: ¹Praharani et al. (2014); ²Praharani & Sianturi (2014)

Performans ternak *outbred* menunjukkan ukuran badan yang lebih besar dibandingkan dengan ternak kontrol (anak pejantan lokal/kawin alam) pada kedua provinsi. Selain itu, hasil pengamatan pertumbuhan pada ternak *outbred* di NTB menunjukkan pertumbuhan badan sejak lahir sampai umur tujuh bulan lebih tinggi dibandingkan dengan ternak *outbred* (Praharani & Sianturi 2014). Perbedaan performans *outbred* dan lokal disebabkan oleh perbedaan kualitas genetik ternak pejantan yang digunakan dalam perkawinan. Ternak *outbred* berasal dari gen introduksi pejantan luar populasi (Baluran) sedangkan ternak lokal menggunakan pejantan *inbred* yang berasal dari dalam populasi yang diduga memiliki tingkat tekanan *inbreeding* yang tinggi.

Tingkat preferensi peternak terhadap ternak *outbred* lebih tinggi dibandingkan dengan ternak lokal seperti yang dilaporkan oleh Praharani & Sianturi (2014) dan Praharani et al. (2014) yang melakukan penelitian di Provinsi Banten dan NTB (Tabel 4). Penelitian menggunakan survei wawancara terhadap peternak *outbred* dan lokal dengan parameter pertumbuhan, eksterior dan taksiran harga jual ternak menunjukkan bahwa 70-80% peternak baik di Provinsi Banten dan NTB menyenangi ternak *outbred* karena harga jualnya lebih tinggi. Sebagian 15-27% peternak belum berpendapat adanya perbedaan superioritas ternak *outbred* dibandingkan dengan lokal.

Tersedianya ternak *outbred* (F1) yang memiliki performans pertumbuhan lebih baik dapat dijadikan sebagai calon bibit dalam populasi. Namun, tingginya harga jual ternak *outbred* mengakibatkan sulitnya mempertahankan dalam populasi, disebabkan peternak dengan cepat menjual ternak *outbred* untuk mendapatkan keuntungan lebih tinggi pada umur lepas sapih seperti yang terjadi di Provinsi Banten (Praharani et al. 2014). Dampak sosial ekonomi lainnya adalah permintaan ternak *outbred* cukup tinggi karena komunikasi antar peternak yang saling berbagi pengalaman dan informasi mengenai pertumbuhan dan performans ternak *outbred* mengakibatkan pada tingginya harga dan preferensi ternak *outbred*. Peternak rela membeli ternak *outbred* dengan harga lebih tinggi. Peran lembaga terkait dalam hal ini pemerintah daerah setempat sangat diperlukan untuk melindungi ternak

Tabel 4. Tingkat preferensi peternak terhadap ternak *outbred* di Provinsi Banten dan NTB

Parameter	<i>Outbred</i> > lokal (%)		<i>Outbred</i> = lokal (%)		Tidak tahu (%)	
	Banten ¹	NTB ²	Banten ¹	NTB ²	Banten ¹	NTB ²
N (ekor)	45	36	45	36	45	36
Pertumbuhan	84,4	85,1	11,1	10,9	4,5	4,0
Eksterior	77,7	82,5	15,5	11,2	6,8	6,3
Taksiran harga	73,5	80,3	13,3	15,7	13,2	6,5

Sumber: ¹Praharani et al. (2014); ²Praharani & Sianturi (2014)

outbred agar tidak keluar dari populasi, dapat dilakukan melalui pembentukan kelompok pembibitan yang merupakan bagian dari kelompok peternak dengan cara pemberian insentif atau biaya pengganti pemeliharaan.

Peternak kerbau di Provinsi Banten dan NTB saat ini lebih menyukai IB karena telah membuktikan superioritas dari ternak *outbred*. Pemerintah Daerah setempat sudah selayaknya melakukan program IB kerbau melalui penyediaan semen beku dan inseminator khusus kerbau. Pada daerah sentra kerbau dapat dilakukan pemasalan program IB khususnya pada kelompok peternak dengan sistem pemeliharaan semi intensif (mengkandangkan ternak pada malam hari).

Introduksi pejantan baru dalam populasi kerbau melalui perkawinan *outbreeding* dengan cara IB selain menghasilkan ternak *outbred* diharapkan dapat menurunkan tingkat *inbreeding* dan sekaligus meningkatkan keragaman genetik dan produktivitas ternak. Peran institusi terkait dalam menyelamatkan ternak *outbred* agar tidak dijual/keluar dari populasi (kelompok) peternak perlu diupayakan, mengingat taksiran harga ternak *outbred* lebih tinggi, sehingga peternak cenderung memprioritaskan penjualan ternak *outbred* untuk mendapatkan keuntungan yang lebih besar.

KESIMPULAN

Perkawinan *outbreeding* melalui introduksi pejantan yang berasal dari luar populasi yang jauh merupakan sebuah alternatif untuk memasukkan pejantan baru dalam kelompok kerbau sekaligus menurunkan tekanan *inbreeding*. Teknologi inseminasi buatan terjadwal dengan sinkronisasi estrus secara hormonal merupakan cara terbaik dalam penerapan sistem perkawinan *outbreeding* dengan meniadakan persaingan dominasi pejantan dalam populasi dan kesulitan deteksi berahi. Ternak *outbred* lebih disukai peternak karena memiliki performans superior dalam pertumbuhan dan eksterior dengan harga jual lebih tinggi dibandingkan dengan ternak lokal. Program *outbreeding* yang berkelanjutan melalui inseminasi buatan pada kerbau sangat diharapkan karena meningkatkan sosial ekonomi dan ketersediaan bibit berkualitas. Program *outbreeding* pada kerbau perlu didukung oleh penyediaan pejantan kerbau terseleksi yang berkualitas.

DAFTAR PUSTAKA

- Achyadi K, Teguh S, Puji R, Aulia. 2008. Sosialisasi dan implementasi program grading-up kerbau lumpur (*swamp buffalo*) melalui teknologi inseminasi buatan di Kabupaten Batanghari, Provinsi Jambi. Dalam: Bamualim AM, Talib C, Handiwirawan E, Herawati T, penyunting. Peningkatan Produktivitas Ternak Kerbau dalam Mendukung Swasembada Daging Sapi Tahun 2010. Prosiding Seminar dan Lokakarya Nasional Usaha Ternak Kerbau 2007. Jambi, 22-23 Juni 2007. Bogor (Indonesia): Puslitbangnak. hlm. 25-31.
- Akhtar MS, Lodhi LA, Farooq AA, Ayaz MM, Murtaza S. 2013. Effect of different doses of hCG at AI on pregnancy rates of repeat breeder Nili-Ravi buffalo. *Buffalo Bull.* 32:362-365.
- Amin M, Lestari U. 2015. Identifikasi keragaman genetik kerbau lokal populasi Jawa Timur dan Nusa Tenggara barat berbasis mikrosatelit sebagai model pengembangan konservasi kerbau secara *ex situ*. Dalam: Prosiding Seminar Nasional XI Pendidikan Biologi FKIP UNS. Surakarta (Indonesia): FKIP UNS. hlm. 528-533.
- Andrabi SMH. 2009. Factors affecting the quality of cryopreserved buffalo (*Bubalus bubalis*) bull spermatozoa. *Reprod Domest Anim.* 44:552-569.
- Bamualim A, Zulfardi M. 2008. Situasi dan keberadaan kerbau di Indonesia. Dalam: Bamualim AM, Talib C, Handiwirawan E, Herawati T, penyunting. Peningkatan Produktivitas Ternak Kerbau dalam Mendukung Swasembada Daging Sapi Tahun 2010. Prosiding Seminar dan Lokakarya Nasional Usaha Ternak Kerbau 2007. Jambi, 22-23 Juni 2007. Bogor (Indonesia): Puslitbangnak. hlm. 32-39.
- Barile VL. 2012. Technologies related with the artificial insemination in buffalo. *J Buffalo Sci.* 1:139-146.
- Bezdicsek J, Subrt J, Filipeik R, Bjelka M, Dufek A. 2007. The effects of inbreeding on service period and pregnancy length in Holsteins and Czech Fleckviehs after the first calving. *Arch Tierz, Dummerstorf.* 50:455-463.
- Borghese A. 2010. Development and perspective of buffalo and buffalo market in Europe and Near East. *Rev Vet.* 21:20-31.
- Borghese A. 2013. Buffalo livestock and products in Europe. *Buffalo Bull.* 32:50-74.
- Cheptou PO, Donohue K. 2011. Environment-dependent inbreeding depression: its ecological and evolutionary significance. *New Phytol.* 189:395-407.
- Croquet C, Mayeres P, Gillon A, Vanderick S, Gengler N. 2006. Inbreeding depression for global and partial economic indexes, production, type, and functional traits. *J Dairy Sci.* 89:2257-2267.
- Cruz LC. 2013. Changing faces of swamp buffaloes in an industrializing Asia. *Buffalo Bull.* 32:32-49.
- De La Cruz-Cruz LA, Guerrero-Legarreta I, Ramirez-Necoechea R, Roldan-Santiago P, Mora-Medina P, Hernandez-Gonzalez R, Mota-Rojas D. 2014. The behaviour and productivity of water buffalo in different breeding systems: A review. *Vet Med (Praha).* 59:181-193.

- Deb GK, Nahar TN, Duran PG, Presicce GA. 2016. Safe and sustainable traditional production: The water buffalo in Asia. *Front Environ Sci.* 4:1-7.
- Desta TT. 2012. Introduction of domestic buffalo (*Bubalus bubalis*) into Ethiopia would be feasible. *Renew Agric Food Syst.* 27:305-313.
- Ditjen PKH. 2011. Peraturan Menteri Pertanian No.51/Permentan/OT.140/9/2011 tentang Rekomendasi Persetujuan Pemasukan Dan Pengeluaran Benih dan/atau Bibit Ternak Ke Dalam dan Ke Luar Wilayah Negara Republik Indonesia. Jakarta (Indonesia): Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan, Kementerian Pertanian.
- Ditjen PKH. 2017. Statistik peternakan 2017. Jakarta (Indonesia): Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan, Kementerian Pertanian.
- Falconer DS, MacKay TFC. 1996. Introduction to quantitative genetics. 4th ed. Harlow (UK): Longman Group.
- Falleiro VB, Malhado CHM, Malhado ACM, Carneiro PLS. 2014. Population structure and genetic variability of Angus and Nellore Herds. *J Agric Sci.* 6:277-286.
- Ferraz PC, Malhado CHM, Carneiro PLS, Ramos AA. 2015. Population structure and genetic variability of a closed Jaffarabadi buffalo herd from Brazil. *Buffalo Bull.* 34:197-207.
- Gullstrand P. 2015. Control of inbreeding in dairy cattle in the genomic era [Bachelor Thesis]. [Uppsala (Sweden)]: Swedish University of Agricultural Sciences.
- Jamsawat V, Mamuad FV, Venturina EV. 2015. Effects of PGF2 α and GnRH on reproductive performance of cattle and buffaloes in Thailand and Philippines. *J Agric Technol.* 11:2273-2281.
- Kalwar Q, Memon AA, Bhutto MB, Kunbhar HK. 2015. Estrus response and fertility rate in Kundhi buffaloes following estrus synchronization in breeding season. *J Adv Vet Anim Res.* 2:362-365.
- Kandeepan G, Anjaneyulu ASR, Kondaiah N, Mendiratta SK, Lakshmanan V. 2009. Effect of age and gender on the processing characteristics of buffalo meat. *Meat Sci.* 83:10-14.
- Keller LF, Waller DM. 2002. Inbreeding effects in wild populations. *Trends Ecol Evol.* 17:230-241.
- Khan MS, Ahmad N, Khan MA. 2007. Genetic resource and diversity in dairy buffaloes in Pakistan. *Pak Vet J.* 27:201-207.
- Kumar PR, Singh SK, Kharche SD, Govindaraju CS, Kumar B. 2014. Review article anestrus in cattle and buffalo: Indian perspective. *Adv Anim Vet Sci.* 2:124-138.
- Lemcke B. 2011. Is there a major role for buffalo in Indonesia's beef self sufficiency program by 2014? Dalam: Talib C, Herawati T, Matondang RH, Praharani L, penyunting. Percepatan Perbibitan dan Pengembangan Kerbau melalui Kearifan Lokal dan Inovasi Teknologi untuk Mensukseskan Swasembada Daging Kerbau dan Sapi serta Peningkatan Kesejahteraan Masyarakat Peternakan. Prosiding Seminar dan Lokakarya Nasional Usaha Ternak Kerbau. Lebak, 2-4 November 2010. Bogor (Indonesia): Puslitbangnak. hlm. 1-6.
- Leroy G. 2014. Inbreeding depression in livestock species: Review and meta-analysis. *Anim Genet.* 45:618-628.
- Losdat S, Chang SM, Reid JM. 2014. Inbreeding depression in male gametic performance. *J Evol Biol.* 27:992-1011.
- Malhado CHM, Malhado ACM, Carneiro PLS, Ramos AA, Carrillo JA, Pala A. 2013. Inbreeding depression on production and reproduction traits of buffaloes from Brazil. *Anim Sci J.* 84:289-295.
- Marcondes CR, Marques LC, Vozzi PA, Aguiar JF, Camargo RNC, Duarte SRR, Marques JRF. 2014. Pedigree analysis applied to an endangered buffalo population: Possible management strategy. *Livest Res Rural Dev.* 26:1-12.
- Mawi SH. 2009. Program aksi perbibitan terak kerbau di Kabupaten Kutai Kertanegara. Dalam: Bamualim AM, Talib C, Herawati T, penyunting. Peningkatan Peran Kerbau dalam Mendukung Kebutuhan Daging Nasional. Prosiding Seminar dan Lokakarya Nasional Usaha Ternak Kerbau. Tana Toraja, 24-26 Oktober 2008. Bogor (Indonesia): Puslitbangnak. hlm. 147-154.
- Mumuad FV. 2013. Increasing efficiency of artificial insemination (AI) in buffalo upgrading program in Nueva Ecija, Philippines. *Buffalo Bull.* 32:376-379.
- Naghavian S, Hasani S, Azari MA, Ahmadi ARK, Saghi DA, Zade NM. 2016. Estimation of inbreeding coefficients using pedigree and microsatellite markers and its effects on economic traits of Shirvan Kordi sheep. *Iran J Appl Anim Sci.* 6:133-141.
- Napolitano F, Pacelli C, Grasso F, Braghieri A, De Rosa G. 2013. The behaviour and welfare of buffaloes (*Bubalus bubalis*) in modern dairy enterprises. *Animal.* 7:1704-1713.
- Naveena BM, Kiran M. 2014. Buffalo meat quality, composition, and processing characteristics: Contribution to the global economy and nutritional security. *Anim Front.* 4:18-24.
- Neaves LE, Eales J, Whitlock R, Hollingsworth PM, Burke T, Pullin AS. 2015. The fitness consequences of inbreeding in natural populations and their implications for species conservation - A systematic map. *Environ Evid.* 4:5.
- Paige KN. 2010. The functional genomics of inbreeding depression: A new approach to an old problem. *Bioscience.* 60:267-277.
- Paul AK, Yoisingnern T, Bunaparte N. 2015. Hormonal treatment and estrus synchronization in cows. *J Adv Vet Anim Res.* 2:10-17.

- Perera BMAO. 2011. Reproductive cycles of buffalo. *Anim Reprod Sci.* 124:194-199.
- Praharani L. 2009. Tinjauan performa persilangan kerbau sungai $\times$ kerbau lumpur. Dalam: Bamualim AM, Talib C, Herawati T, penyunting. Peningkatan Peran Kerbau dalam Mendukung Kebutuhan Daging Nasional. Prosiding Seminar dan Lokakarya Nasional Usaha Ternak Kerbau. Tana Toraja, 24-26 Oktober 2008. Bogor (Indonesia): Puslitbangnak. hlm. 29-37.
- Praharani L, Juarini E, Budiarsana IGM. 2010. Parameter indikator *inbreeding rate* pada populasi ternak kerbau di Kabupaten Lebak, Provinsi Banten. Dalam: Talib C, Herawati T, Matondang RH, Syafitrie C, penyunting. Peningkatan Produktivitas Kerbau Melalui Aplikasi Teknologi Reproduksi Dalam Rangka Meningkatkan Kesejahteraan Peternak. Prosiding Seminar dan Lokakarya Nasional Kerbau. Brebes, 11-13 November 2009. Bogor (Indonesia): Puslitbangnak. hlm. 93-99.
- Praharani L, Ashari. 2012. Dinamika kelestarian populasi (*herd survival*) kerbau: Kasus di Kabupaten Lebak, Banten. Dalam: Talib C, Herawati T, Praharani L, Sumantri C, Hidayati N, penyunting. Pengembangan Usaha Pembibitan Kerbau melalui Pemanfaatan Keunggulan Daya Adaptasi dan Kesesuaian Inovasi Teknologi dalam Mensukseskan Swasembada Daging Nasional. Prosiding dan Lokakarya Nasional Kerbau. Samarinda, 21-22 Juni 2011. Bogor (Indonesia): Puslitbangnak. hlm. 76-81
- Praharani L, Talib C, Wibowo B, Isbandi, Rusdiana. 2011. Perbaikan sistem perbibitan dan *rearing* calon pejantan kerbau di Kabupaten Lebak. Laporan Penelitian PIPP. Jakarta (Indonesia): Kementerian Ristek.
- Praharani L, Budiarsana IGM, Juarini E. 2013a. Tingkat kebuntingan ternak kerbau melalui perbaikan pakan dan inseminasi buatan tepat waktu dengan sinkronisasi estrus. Seminar Nasional Pengembangan Agribisnis Peternakan. Purwokerto, 8 Desember 2012. Purwokerto (Indonesia): UNSOED.
- Praharani L, Sianturi RSG, Kristianto LK. 2013b. Peningkatan genetik ternak kerbau melalui inseminasi buatan di Kabupaten Kutai Kertanegara. Laporan Kegiatan Dinas Peternakan Kunker. Kutai Kertanegara (Indonesia): Dinas Peternakan Kunker.
- Praharani L, Sianturi RSG. 2014. Growth performance of outbred calves of Baluran $\times$ Banten swamp buffaloes. In: Sustainable Livestock Production in the Perspective of Food Security, Policy, Genetic Resources and Climate Change. Proceedings of the 16th AAAP Animal Science Congress. Vol. II. Yogyakarta, 10-14 November 2014. Yogyakarta (Indonesia): Gadjah Mada University. p 1483-1486
- Praharani L, Sianturi RSG, Budiarsana IGM. 2014. Perkawinan *outbreeding* melalui aplikasi teknologi reproduksi pada ternak kerbau di Provinsi NTB. Laporan Penelitian Insentif Riset Sistem Inovasi Nasional. Jakarta (Indonesia): Kementerian Ristek.
- Rodas-González A, Huerta-Leidenz N, Vidal A, Colina O, Lopez J, Rodriguez R. 2015. Comparison of water buffalo (*Bubalus bubalis*) with crossbred and purebred Brahman cattle for growth performance on savannah and slaughter traits at four ages in Venezuela. *Anim Prod Sci.* 55:967-977.
- Rossi P. 2013. Timed artificial insemination in the reproductive management of buffalo (*Bubalus bubalis*) herds. [Thesis]. [Napoli (Italy)]: Università degli Studi di Napoli Federico II.
- Rutberg AT. 1983. Factors influencing dominance status in American Bison cows (*Bison bison*). *Z Tierpsychol.* 63:206-212.
- Santana JL, Oliveira PS, Eler JP, Gutierrez JP, Ferraz JBS. 2012. Pedigree analysis and inbreeding depression on growth traits in Brazilian Marchigiana and Bonsmara breeds. *J Anim Sci.* 90:99-108.
- Sayed AI, Abdel-Salam SA, Elsayed M, Abou-Bakr S. 2012. Inbreeding Coefficient in simulated open nucleus breeding scheme in Egyptian buffalo. *Egypt J Anim Prod.* 49:1-8.
- Sianturi RSG, Purwantara B, Supriatna I, Amrozi, Situmorang P. 2012a. Pengaruh glutation dan penggantian plasma semen kerbau dengan plasma semen sapi terhadap kualitas semen beku kerbau rawa (*Bubalus bubalis*). *JITV.* 17:169-178.
- Sianturi RSG, D.A. Kusumaningrum, L. Praharani, R. Krisnan, W. Nugroho, Y. Widiawati. 2015. Peningkatan Efisiensi Produksi dan Reproduksi Kerbau Lumpur. Laporan Penelitian APBN 2015. Bogor. Indonesia. Balitnak. Kementerian Pertanian.
- Sianturi RSG, Purwantara B, Supriatna I, Amrozi, Situmorang P. 2012b. Optimasi inseminasi buatan pada kerbau lumpur (*Bubalus bubalis*) melalui Teknik sinkronisasi estrus dan ovulasi. *JITV.* 17:92-99.
- Situmorang P, Praharani L, Mahyudin P, Sianturi RSG. 2013. Perkawinan *outbreeding* ternak kerbau melalui aplikasi teknologi reproduksi di Provinsi NTB. Laporan Akhir INSINAS. Jakarta (Indonesia): Kementerian Ristek.
- Situmorang P, Praharani L, Sianturi RSG. 2012. Performans kerbau penghasil susu yang dipelihara di sekitar perkebunan sawit melalui teknologi inseminasi buatan. Dalam: Seminar Nasional Teknologi Peternakan. Mataram, 11 Desember 2012. hlm. 3-13.
- Sulaeman. 2011. Percepatan peningkatan populasi dan kualitas kerbau melalui efisiensi reproduksi. Dalam: Talib C, Herawati T, Matondang RH, Praharani L, penyunting. Percepatan Perbibitan dan Pengembangan Kerbau melalui Kearifan Lokal dan Inovasi Teknologi untuk Mensukseskan Swasembada Daging Kerbau dan Sapi serta Peningkatan Kesejahteraan Masyarakat Peternakan. Prosiding Seminar dan Lokakarya Nasional Usaha Ternak Kerbau. Lebak, 2-4 November 2010. Bogor (Indonesia): Puslitbangnak. hlm. 16-22.

- Talib C, Herawati T, Hastono. 2014. Strategi peningkatan produktivitas kerbau melalui perbaikan pakan dan genetik. *Wartazoa*. 24:83-96.
- Thiruvenkadan AK, Rajendran R, Muralidharan J. 2013. Buffalo genetic resources of India and their conservation. *Buffalo Bull*. 32:227-235.
- Toelihere MR. 2001. Potensi dan peluang pengembangan kerbau di Indonesia: Suatu tinjauan reproduksi. Dalam: Workshop Kebijakan Ketahanan Pangan melalui Pengembangan Kerbau sebagai Sumber Keaneragaman Protein Hewani. Bogor (Indonesia): Kerjasama Puslitbangnak dan Dinas Pertanian dan Peternakan Provinsi Banten.
- Triwulanningsih E, Haryanto B, Yendraliza. 2012. Respon beberapa metode sinkronisasi estrus dan inseminasi buatan pada kerbau (*Bubalus bubalis*) di Kabupaten Kampar. Dalam: Talib C, Herawati T, Praharani L, Sumantri C, Hidayati N, penyunting. Pengembangan Usaha Pembibitan Kerbau melalui Pemanfaatan Keunggulan Daya Adaptasi dan Kesesuaian Inovasi Teknologi dalam Mensukseskan Swasembada Daging Nasional. Prosiding dan Lokakarya Nasional Kerbau. Samarinda, 21-22 Juni 2011. Bogor (Indonesia): Puslitbangnak. hlm. 61-70.
- Urdaneta NSM, Montiel MCCC, Berrios N, Morillo SN, Belandria J, Andara M, Arias J. 2013. Assessment of the rate of pregnancy in buffaloes crossbred lactation using two protocols CIDR-SYNCH[®] in 6 and 8 days. *Buffalo Bull*. 32:375.
- Vale WG, Minervino AHH, Neves KAL, Morini AC, Coelho JAS. 2013. Buffalo genetic resources in Latin America: Constraints and treats on its sustainability. *Buffalo Bull*. 32:121-131.
- van Wyk JB, Fair MD, Cloete SWP. 2009. Case study: The effect of inbreeding on the production and reproduction traits in the Elsenburg Dormer sheep stud. *Livest Sci*. 120:218-224.
- Villasmil-Ontiveros Y, Aranguren-Méndez J, Román R, Isea W, Contreras G, Zambrano S, Jordana J. 2008. Pedigree analysis in Criollo Limonero. *Revista Científica*. 18: 284-290.
- Warriach HM, McGill DM, Bush RD, Wynn PC, Chohan KR. 2015. A review of recent developments in buffalo reproduction - A review. In: Asian-Australasian J Anim Sci. Vol. 28:451-455.
- Yendraliza, Zesfin BP, Udin Z, Jaswandi, Arman C. 2011. Effect of combination of GnRH and PGF2 α for estrus synchronization on onset of estrus and pregnancy rate in different postpartum in swamp buffalo in Kampar Regency. *J Indonesian Trop Anim Agric*. 36:9-13.
- Yusuf M, Baco S, Karim MN. 2013. Current status of reproductive management in buffalo in West Sulawesi Province, Indonesia. *Open J For*. 3:1-3.

Regulasi Androgen dalam Spermatogenesis untuk Meningkatkan Fertilitas Ternak Jantan

(Androgen Regulation in Spermatogenesis to Increase Male Fertility)

Hasbi Hasbi¹ dan S Gustina²

¹Departemen Produksi Ternak, Fakultas Peternakan, Universitas Hasanuddin
Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10, Makassar, 90245.

²Jurusan Peternakan, Fakultas Pertanian dan Perikanan, Universitas Sulawesi Barat, Majene 91412
srigustinasain@gmail.com

(Diterima 22 November 2017 – Direvisi 5 Februari 2018 – Disetujui 3 Maret 2018)

ABSTRACT

Male fertility is affected by quantity and quality of sperm which controlled by androgens (testosterone and 5 α -dihydrotestosterone) mediated by androgen receptors (AR). Androgen receptors belong to receptor group of steroid hormone and a group of ligand-activated nuclear receptor superfamily. This paper explains androgen hormone and its regulation in spermatogenesis to increase male fertility. Regulation of androgen hormone in spermatogenesis include initiation of spermatogenesis, proliferation and maturation of Sertoli cells, germ cell development, spermatogonia, meiosis, and spermiogenesis. The role of androgen hormone in regulation of spermatogenesis is influenced by AR, luteinizing hormone (LH), and follicle stimulating hormone (FSH) levels. Disruption of spermatogenesis will cause low male fertility. However, low concentrations of AR, LH and FSH could be enhanced by exogenous gonadotrophine releasing hormone (GnRH), LH, FSH, and testosterone to increase male fertility.

Key words: Androgen, androgen reseptor, spermatogenesis, fertilitas pejantan

ABSTRAK

Fertilitas pejantan dipengaruhi oleh jumlah dan kualitas sperma di bawah kontrol hormon terutama androgen (testosteron dan 5 α -dihidrotestosteron) yang dimediasi oleh androgen reseptor (AR). Androgen reseptor termasuk dalam kelompok reseptor hormon steroid dan merupakan kelompok *ligand-activated nuclear receptor superfamily*. Tulisan ini memberikan penjelasan mengenai hormon androgen dan regulasinya dalam spermatogenesis untuk meningkatkan fertilitas pejantan. Regulasi hormon androgen pada spermatogenesis meliputi inisiasi spermatogenesis, proliferasi dan maturasi sel Sertoli, perkembangan *germ cell*, spermatogonia, meiosis serta spermiogenesis. Peran hormon androgen dalam regulasi spermatogenesis sangat dipengaruhi oleh keberadaan AR dan konsentrasi *luteinizing hormone* (LH) dan *follicle stimulating hormone* (FSH). Terganggunya spermatogenesis akan menyebabkan rendahnya fertilitas pejantan. Rendahnya konsentrasi AR, LH dan FSH dapat ditingkatkan dengan pemberian *gonadotrophine releasing hormone* (GnRH), LH, FSH dan testosteron eksogen sehingga dapat meningkatkan fertilitas pejantan.

Kata kunci: Androgen, androgen reseptor, spermatogenesis, male fertility

PENDAHULUAN

Peningkatan produktivitas ternak dapat dilakukan melalui program pemuliaan dan perbaikan efisiensi reproduksi. Kinerja reproduksi kaitannya dengan peningkatan kebuntingan dan kelahiran yang ditentukan oleh faktor pejantan, dalam hal ini perkembangan saluran reproduksinya untuk menghasilkan spermatozoa yang mempunyai kemampuan dalam membuahi sel telur. Produksi spermatozoa ditentukan oleh androgen yang merupakan hormon steroid yang berperan penting untuk mempertahankan karakteristik pejantan (Kerkhofs et al. 2009) dan mendukung perkembangan *germ cell* dengan

target utama sel-sel Sertoli (Verhoeven et al. 2010; Walker 2011). Terdapat dua hormon androgen utama yaitu testosteron dan 5 α -dihidrotestosteron. Hormon androgen dihasilkan di sel-sel Leydig testis dan fungsi utamanya dalam regulasi spermatogenesis (Wang et al. 2009; Ivell et al. 2013). Grinspon et al. (2012) melaporkan bahwa pada pejantan sekresi testosteron hanya selama 3-6 bulan setelah dilahirkan dan konsentrasinya tetap sangat rendah sampai awal pubertas. Aksi hormon androgen dalam mengatur spermatogenesis dimediasi oleh androgen reseptor (AR) (*nuclear receptor subfamily 3, group C, gene 4/NR3C4*) (Brinkmann 2009; Zhou 2010).

Beberapa peneliti melaporkan bahwa ekspresi AR pada testis sangat penting untuk keberlangsungan spermatogenesis. Eacker et al. (2007) menjelaskan bahwa fungsi AR pada sel Sertoli penting untuk memelihara kemampuan sel Sertoli dan konsentrasi hormon untuk mendukung meiosis I selama spermatogenesis. Peran hormon androgen terutama testosteron dan 5α -dihidrotestosteron dalam inisiasi, pemeliharaan dan restorasi spermatogenesis adalah penting. Beberapa pendekatan yang dapat diterapkan untuk mempelajari peran androgen dalam spermatogenesis dapat dilakukan dengan berbagai model khususnya untuk mempelajari efek tunggal dari hormon (*follicle stimulating hormone*/FSH, *luteinizing hormone*/LH dan testosteron), konsentrasi dan dampaknya (McLachlan et al. 2002). Keberadaan hormon androgen terutama testosteron dan 5α -dihidrotestosteron sangat mempengaruhi fertilitas pejantan. Oleh karena itu, tulisan ini bertujuan memberikan gambaran mengenai hormon androgen dan regulasinya dalam spermatogenesis untuk meningkatkan fertilitas pejantan.

ANDROGEN RESEPTOR

Androgen adalah hormon yang disintesis dari kolesterol oleh sel-sel Leydig testis (Brinkmann 2009) dan berperan dalam mengatur spermatogenesis dengan cara berikatan dengan AR intraseluler. Bansal et al. (2015) melaporkan bahwa AR berperan sangat penting pada proses diferensiasi seksual pejantan. Androgen reseptor termasuk dalam kelompok reseptor hormon steroid secara umum dan merupakan kelompok *ligand-activated nuclear receptor superfamily* (Zhou 2010). Lebih lanjut, androgen reseptor terdapat pada *germ cells* (Aquila et al. 2007; Merlet et al. 2007) dan diketahui beraktivitas di dalam sel Sertoli (Chemes et al. 2008; Hazra et al. 2013), sel Leydig (Xu et al. 2007; Rey et al. 2009) dan *peritubular myoid cells* dari testis (Chemes et al. 2008; Boukari et al. 2009; Welsh et al. 2009). Testosteron atau 5α -reduced metabolite dihydrotestosterone (DHT), mengikat *cytosolic* AR yang kemudian mengalami dimerise, translokasi ke inti dan mengikat *androgen response elements* (AREs) di dalam mendukung *androgen-responsive genes* untuk memodulasi transkripsi gen atau yang lebih dikenal sebagai “*genomic*” *pathway of action*. Hal ini juga diketahui berperan pada rapid “*nongenomic*” *signal transduction pathways* yang diinisiasi oleh androgen dalam sel Sertoli dan juga tampaknya terlibat dalam modulasi fungsi sel Sertoli (Eacker et al. 2007).

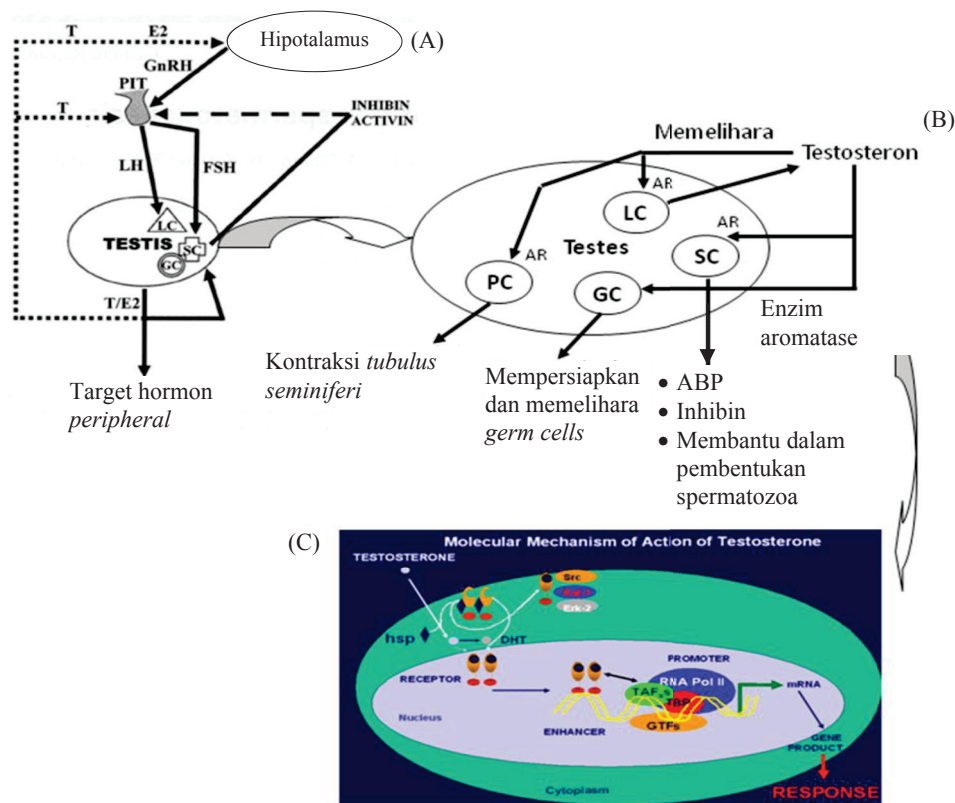
Pendapat umum saat ini menunjukkan bahwa *germ cells* yang kekurangan AR, meskipun terjadi *immunoexpression* dari AR dalam *germ cells* tidak ditunjukkan pada sel-sel yang lain (Hill et al. 2004). Androgen menstimulasi enzim aromatase sebagai

mRNA dalam mempersiapkan *germ cells* tanpa keterlibatan sel somatik, lebih lanjut dijelaskan bahwa efek ini dapat diblokir dengan cara pemberian AR antagonis seperti *bicalutamide* secara eksogen (Bourguiba et al. 2003; Rathkopf & Scher 2013) dan menunjukkan bahwa *germ cells* mungkin mampu merespon langsung ke androgen dalam hal ekspresi terhadap enzim aromatase. Namun demikian, pada penelitian *germ cell transplantation* menunjukkan bahwa *germ cell* yang kekurangan AR dapat berkembang secara normal di testis yang mengandung AR fungsional (Kerkhofs et al. 2009).

Selama perkembangan testis *postnatal* pada tikus, *androgen binding sites* di testis meningkat setelah 15 hari, yang terkait dengan proliferasi dari AR-expressing *Leydig cells* serta peningkatan jumlah *androgen binding sites* pada setiap sel Sertoli. Sel Sertoli berperan dalam regulasi spermatogenesis dan perubahan produksi spermatozoa termasuk dalam hal mendukung struktur dan memberikan nutrisi untuk perkembangan *germ cells*, memfagositosis *germ cells* degenerasi, pelepasan spermatid dan produksi sejumlah protein yang mengatur pelepasan hormon hipofisis serta mempengaruhi aktivitas mitosis spermatogonia (Johnson et al. 2008). Sel Sertoli pada periode neonatal menunjukkan AR *immunoreactivity* yang lemah yang akan semakin meningkat setelah hari ke-14 (yaitu setelah sel Sertoli berproliferasi) untuk mencapai dewasa pada hari ke-45 (Knobil & Neill's 2006).

Sementara itu, Dong et al. (2007) melaporkan bahwa sel Leydig dewasa pertama kali terlihat sekitar 7-11 hari setelah dilahirkan. Sel Leydig berperan untuk memproduksi hormon testosteron yang distimulasi oleh keberadaan LH. *Luteinizing hormone* meningkatkan aktivitas enzim yang akan merubah kolesterol menjadi hormon testosteron (Brinkmann 2009). Peningkatan intensitas AR *immunostaining* dari sel Sertoli, juga terlihat dalam testis *marmoset*, dengan hanya sebagian dari sel Sertoli yang menunjukkan *immunoreactivity* yang lemah pada hewan neonatal, namun dengan pewarnaan yang kuat pada seluruh bagian dari sel Sertoli menunjukkan bahwa *immunoreactivity* semakin meningkat selama periode menjelang pubertas dan pubertas (Knobil & Neill's 2006). Dengan demikian, meskipun testis berkembang dan dapat respon terhadap androgen, tetapi ekspresi AR pada umumnya lebih rendah sebelum dewasa dibandingkan dengan setelah dewasa.

Gambar 1A menunjukkan mekanisme hormonal via hipotalamus-hipofisa-gonad. Hipotalamus mensekresikan *gonadotropin releasing hormone* (GnRH) yang akan menstimulasi hipofisa anterior untuk mensekresikan LH dan FSH yang akan menstimulasi sel Leydig testis mensekresikan testosteron dan estrogen serta sel Sertoli mensekresikan inhibin dan aktivin. Testosteron dan estrogen yang



LC: Leydig cell; SC: Sertoli cell; GC: Germ cell; PC: Peritubular cell; ABP: Androgen binding protein; AR: Androgen receptor; DHT: 5 α -dihydrotestosterone; hsp: Heat shock proteins; TBP: TATA box binding protein; TAF's: Associating factors; GTF's: General transcription factors

Gambar 1. (A) Mekanisme hormonal via hipotalamus-hipofisa-gonad; (B) Mekanisme testosteron dalam testis; (C) Mekanisme molekuler testosteron dalam sel

Sumber: Collins et al. (2003) yang dimodifikasi; Brinkmann (2009)

dihasilkan oleh sel Leydig bersifat umpan balik negatif baik terhadap hipotalamus maupun hipofisa anterior yang akan menekan sekresi GnRH dari hipotalamus dan FSH, serta LH dari hipofisa anterior. Demikian pula inhibin dan aktivin yang dihasilkan oleh sel Sertoli bersifat umpan balik negatif spesifik terhadap hipofisa anterior. Gambar 1B, testosteron yang dihasilkan oleh sel Leydig akan berikatan dengan AR di sel Sertoli yang akan mensekresikan *androgen binding protein* (ABP) dan inhibin serta membantu dalam proses pembentukan spermatozoa. Selain itu, testosteron akan mempersiapkan dan memelihara germ cells yang difasilitasi oleh enzim aromatase dan memelihara sel Leydig serta menstimulasi PC untuk kontraksi *tubulus seminiferus*. Gambar 1C, protein utama yang terlibat adalah AR yang akan berikatan langsung dengan testosteron dan DHT. Setelah berasosiasi dengan hsp reseptor masuk ke dalam inti via *intrinsic nuclear localization signal* dan berikatan dengan testosteron dan DHT dalam ditoplasma atau inti. Ikatan antara AR dengan testosteron dan DHT terjadi secara homodimer pada elemen DNA spesifik. Tahapan selanjutnya akan

terjadi rekrutmen koaktivator yang dapat membentuk jembatan komunikasi antara reseptor dan beberapa komponen transkripsi. Komunikasi antara kompleks reseptor androgen dan beberapa komponen transkrip seperti RNA-polymerase II (RNA-Pol II), TBP, TAF's, dan GTF's dapat secara langsung maupun tidak. Komunikasi tersebut memicu sintesis mRNA dan akibatnya terjadi sintesis protein yang akhirnya akan memicu terjadinya respon androgen (Collins et al. 2003; Brinkmann 2009).

Eksresi AR dalam sel Sertoli ditunjukkan dengan cara atau tahap tertentu. Sebagai contoh pada tikus, AR mRNA dan *immuno-expression* maksimal pada pertengahan spermatogenik yakni pada tahap spermatosit primer (VII) dan spermatosit leptotene (VIII) (Hill et al. 2004), dengan *down-regulation* yang jelas selama tahap VIII. Puncak ekspresi dari AR pada tahap pertengahan spermatogenik diketahui pada marmoset dan manusia, sedangkan pada hewan pengerat pada tahap VII-VIII. Hal ini memperlihatkan bahwa modulasi AR pada sel Sertoli kemungkinan menjadi mekanisme yang sangat penting dimana

respon dari epitel seminiferus dikontrol oleh hormon androgen. Sel Sertoli adalah satu dari dua jenis sel somatik pada *tubulus seminiferus* yang berperan penting pada spermatogenesis (Johnson et al. 2008).

Ekspresi AR dalam sel Sertoli distimulasi oleh keberadaan FSH. Namun demikian, respon terhadap FSH tampaknya menurun dengan bertambahnya umur. Hal ini mungkin mencerminkan penurunan FSH-*responsiveness* terhadap sel. Meskipun demikian, secara *in vitro* telah dilaporkan bahwa testosteron tampaknya berperan positif dalam mengatur reseptor sendiri seperti yang ditunjukkan pada stimulasi ekspresi AR sel Sertoli dan pengurangan konsentrasi testosteron intratestikular terkait dengan menurunnya AR protein sel Sertoli secara *in vivo* (Hill et al. 2004). Zhang et al. (2004) melaporkan bahwa *nuclear factor- κ B* (NF- κ B) adalah aktivator transkripsi kuat dari gen AR dalam sel Sertoli. Lebih lanjut dijelaskan bahwa *tumor necrosis factor α* (TNF α) distimulasi NF- κ B mengikat AR promotor dan meningkatkan ekspresi AR dalam sel Sertoli. Verhoeven et al. (2010) menjelaskan bahwa salah satu tahapan yang terlihat pada perkembangan *germ cell* yang dikontrol oleh AR adalah pada tahap VII dan VIII dari siklus spermatogenesis.

REGULASI ANDROGEN PADA SPERMATOGENESIS

Testosteron dan 5 α -dihidrotestosteron berperan dalam inisiasi, pemeliharaan dan restorasi spermatogenesis telah menjadi subjek penelitian yang menarik, namun mekanisme seluler dan molekuler aksi androgen pada testis belum diketahui secara detail. Testosteron disintesis oleh sel Leydig testis sebagai respon terhadap stimulasi LH dan berperan penting untuk memelihara spermatogenesis (Smith & Walker 2014). Aksi biologi androgen dalam epitel seminiferus pada prinsipnya dianggap dimediasi melalui AR yang cenderung dilokalisasi secara eksklusif dalam sel Sertoli yang konsentrasi sangat tinggi yakni 100-200 ng/gm. Sebagai contoh, konsentrasi AR pada jaringan testis hewan pengerat adalah 3,5-7,0 $\times 10^{-7}$ M dan dua sampai tiga kali lipat lebih tinggi pada manusia, bahkan dapat menjadi 50-100 kali lipat lebih tinggi dalam sirkulasi. Namun diperkirakan konsentrasi AR testis adalah 3 $\times 10^{-9}$ M. Hal ini menunjukkan bahwa AR adalah *fully saturated* dalam testis normal. Konsentrasi AR yang tinggi mengindikasikan bahwa AR tersebut dapat memediasi hormon androgen dalam epitel seminiferus untuk memelihara keberlangsungan spermatogenesis (Smith & Walker 2014). Penelitian pada tikus telah menunjukkan bahwa kuantitatif spermatogenesis, seperti yang ditunjukkan oleh sejumlah *germ cells* dibandingkan dengan sel-sel Sertoli, dapat terjadi ketika konsentrasi testosteron

intratestikular dikurangi dari 100 sampai 20 ng/ml. Pada tikus, dosis atau konsentrasi testosteron diperlukan lebih besar untuk memulai spermatogenesis daripada yang dibutuhkan untuk pemeliharaan spermatogenesis, hal ini menunjukkan bahwa ada dua mekanisme yang berbeda dari aksi androgen, mungkin ada di testis tergantung pada status pematangan. Selain itu, penelitian lain menunjukkan bahwa pengikatan testosteron untuk ABP mungkin menempati sebagian dari *intratesticular free T pool* (Knobil & Neill's 2006).

Mempelajari tentang peran androgen dalam spermatogenesis dapat dilakukan dengan berbagai model khususnya untuk mempelajari efek tunggal dari hormon (FSH, LH dan T), konsentrasi dan dampaknya (McLachlan et al. 2002). Verhoeven et al. (2010) melaporkan bahwa hormon utama yang mengontrol perkembangan *germ cell* adalah FSH dan LH. Lebih lanjut dijelaskan bahwa aksi LH pada sel Leydig bertanggungjawab pada konsentrasi testosteron dan menjaga agar spermatogenesis dapat berlangsung dengan normal.

Model yang biasa digunakan diantaranya adalah *hypophysectomy* atau pengangkatan kelenjar hipofisa, *active immunization against GnRH* atau pemberian anti GnRH (Bougnères et al. 2008), penghambatan pelepasan GnRH dengan pemberian GnRH analog, penghambatan pelepasan gonadotropin dengan seks steroid hormon atau penggunaan hewan model transgenik. Hormon ini kemudian diberikan melalui implan (steroid) atau injeksi (gonadotropin). Ketika model ini diterapkan, ternyata secara selektif dapat menghilangkan dan menggantikan dukungan kerja endokrin dalam testis, meskipun dalam aplikasinya diakui bahwa masing-masing model memiliki kekurangan/keterbatasan. Hal ini terlihat pada ablasi hormon-hormon dari pituitari dengan *hypophysectomy*, hambatan yang tidak sempurna pada kedua hormon gonadotropin oleh GnRH antagonis atau *immunization regimes* atau re-inisiasi pelepasan FSH dari hipofisa dengan pemberian androgen eksogen diikuti dengan GnRH *immunization* pada tikus, memberikan informasi kepada kita bahwa efek dari testosteron tidak dapat dipelajari dengan metode isolasi. Kekurangan atau keterbatasan ini harus diperhatikan ketika kita akan mengevaluasi data tentang peran androgen dalam inisiasi dan pemeliharaan spermatogenesis.

Inisiasi spermatogenesis

Spermatogenesis adalah proses kompleks yang dikontrol oleh endokrin dan *regulatory factors* lainnya (Lucas et al. 2011). Spermatogenesis difasilitasi oleh keberadaan hormon-hormon yang lain, tetapi hanya hormon testosteron yang berperan sangat penting dalam memelihara dan menjaga spermatogenesis (Ruwanpura et al. 2010; Alves et al. 2013; Chang et al.

2013). Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan hormon androgen sangat penting untuk keberlangsungan spermatogenesis secara normal. Namun demikian, aksi hormon androgen harus dimediasi oleh AR agar dapat berperan untuk menstimulasi perkembangan struktur dan fungsi karakteristik pejantan seperti dalam hal inisiasi dan memelihara spermatogenesis (Handelsman 2009). Hal ini telah dibuktikan oleh Zuccarello et al. (2008) bahwa apabila terjadi mutasi pada gen AR akan berakibat terjadinya gangguan pada spermatogenesis. Lebih lanjut, Haywood et al. (2003) menjelaskan bahwa sel-sel somatik (sel-sel Sertoli) berperan penting dalam mengontrol perkembangan *germ cell*. Peran androgen dalam inisiasi spermatogenesis telah lama dipelajari dengan menggunakan hewan model tikus yang mengalami kelainan (>95%) di GnRH, tetapi dengan saluran reproduksi yang utuh atau yang lebih dikenal dengan sebutan *hypogonadal* (hpg) *mouse*. Spermatogenesis pada tikus yang menderita hpg dicirikan dengan berkurangnya jumlah sel Sertoli, yang memiliki *immature nuclear morphology* dan beberapa sel spermatogonia (60-70% dari jumlah sel Sertoli) dan spermatosit dengan spermatosit pada tahap *pachytene* yang menjadi *germ cell* matang yang dapat terlihat. Penelitian dengan hewan model ini menunjukkan bahwa *qualitatively complete spermatogenesis* dapat diinisiasi dengan pemberian testosteron eksogen tunggal. Selain itu, spermatogenesis dapat juga diinisiasi oleh DHT yang tidak dapat dimetabolisme menjadi estrogen, hal ini menunjukkan bahwa efek dari testosteron dimediasi melalui AR (Knobil & Neill's 2006).

Pentingnya sel Sertoli sebagai modulator efek androgenik pada *germ cells* selama inisiasi spermatogenesis telah dibuktikan pada tikus yang mengalami kekurangan AR pada sel Sertoli, dengan menggunakan *Cre-Lox conditional knockout strategy* (De Gendt et al. 2004). Chang et al. (2004) melaporkan bahwa pada tikus yang kekurangan AR hanya dalam sel Sertoli (SC-AR) menunjukkan penurunan fungsi testis yang normal dan perkembangan saluran urogenital. Lebih lanjut, Edelsztejn et al. (2016) melaporkan bahwa ekspresi AR-SC di bawah kontrol hormon anti-Mullerian. Konsentrasi hormon anti-Mullerian yang rendah dalam sistem sirkulasi akan menyebabkan gangguan fungsi testis seperti *cryptorchidism*, *monorchidism* dan *central hypogonadism*. Setelah pubertas, SC-AR *knockouts* menunjukkan bahwa spermatogenik tertahan pada tahap spermatosit/spermatid akhir, dengan dimulainya meiosis pada *germ cells*, tetapi blok tetap terjadi pada tahap spermatosit *diplotene* (Chang et al. 2004). Oleh karena itu, AR pada sel Sertoli merupakan syarat mutlak untuk keberlangsungan pembelahan meiosis dan spermiogenesis.

Proliferasi dan maturasi sel Sertoli

Follicle stimulating hormone diketahui berperan dalam mengontrol proliferasi sel Sertoli yang mengakibatkan terjadinya peningkatan volume testis, sedangkan testosteron dalam beberapa penelitian menunjukkan bahwa mungkin terlibat dalam memodulasi diferensiasi sel Sertoli (Kuri-Hänkinen et al. 2011). Lebih lanjut dilaporkan bahwa testosteron bekerjasama dengan hormon tiroid dan asam retinoat terlibat dalam merangsang diferensiasi sel Sertoli melalui efek pada regulator siklus sel. Rahman & Christian (2007) menjelaskan bahwa regulasi fungsi fisiologis sel Sertoli diatur oleh keberadaan hormon testosteron. Chemes et al. (2008) dan Willems et al. (2010) melaporkan bahwa AR diketahui diekspresikan pada sel Sertoli dewasa. Walaupun demikian, pada hewan pengerat dan tikus ekspresi AR telah dimulai 3-5 hari setelah kelahiran dan pada manusia dimulai pada umur empat tahun dan akan meningkat secara signifikan sampai pada umur delapan tahun. Hal ini membuktikan bahwa pada fetus dan hewan yang baru dilahirkan belum respon terhadap keberadaan hormon androgen intratestiskular yang tinggi. Hal senada juga dilaporkan oleh Grinspon et al. (2013) bahwa pada fetus dan hewan yang baru dilahirkan tidak menunjukkan adanya perubahan maturasi pada sel-sel Sertoli meskipun produksi androgen testis aktif, hal ini disebabkan karena AR pada sel-sel Sertoli belum diekspresikan.

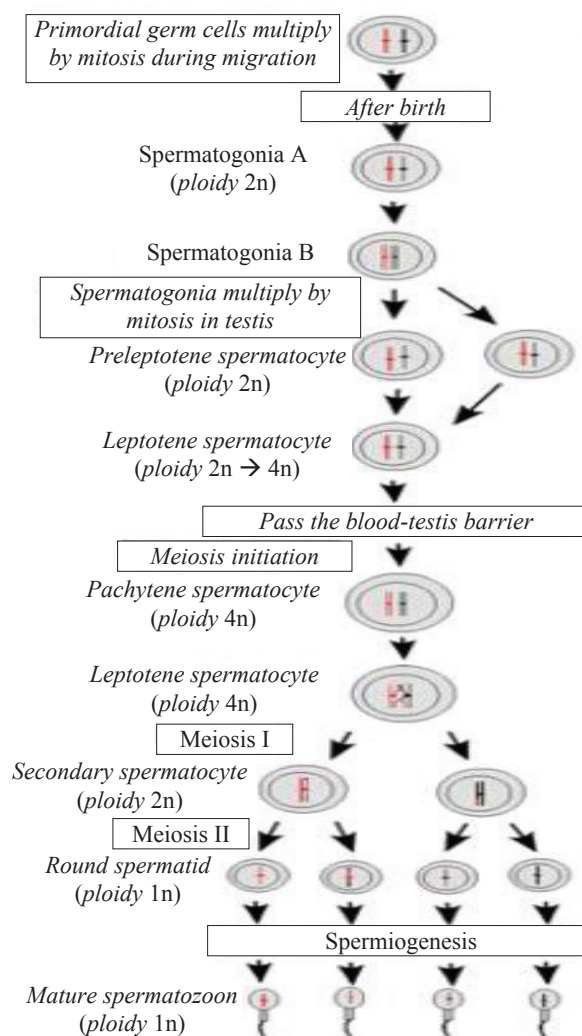
Peran utama testosteron dalam proses proliferasi sel Sertoli telah dibuktikan pada tikus dewasa yang di hpg dengan pemberian testosteron eksogen menunjukkan bahwa nukleus sel Sertoli berdiferensiasi pada umur 21 hari (Haywood et al. 2003) dan kekurangan FSH-R menunjukkan bahwa testosteron tanpa adanya FSH dapat menginduksi diferensiasi sel Sertoli. Pemberian testosteron pada tikus hpg pada umur 21 hari menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam jumlah sel Sertoli, hal ini menunjukkan bahwa testosteron dapat menjadi mitogen untuk proliferasi sel Sertoli (Haywood et al. 2003). Di lain pihak, Lasala et al. (2011) melaporkan bahwa kurangnya stimulasi FSH selama fetus dan hewan yang baru dilahirkan menyebabkan penurunan jumlah sel Sertoli. Lebih lanjut, Bastida et al. (2007) dan Aksglaede et al. (2011) melaporkan bahwa *anti-Mullerian hormone* (AMH) berkorelasi dengan inhibin B dan FSH berperan untuk mempertahankan fungsi sel Sertoli sampai pada tahap pubertas. Hal yang sama dilaporkan oleh Grinspon et al. (2016) bahwa meskipun konsentrasi FSH tinggi tetapi konsentrasi AMH rendah mengakibatkan proliferasi dan fungsi sel Sertoli tidak akan berlangsung sempurna. Meskipun demikian, konsentrasi AMH tidak bergantung pada konsentrasi testosteron (Bergadá et al. 2007). Hal ini menunjukkan

bahwa testosteron bukan satu-satunya faktor utama yang dapat mengendalikan proliferasi sel Sertoli. Faktor lain yang dapat berpengaruh adalah *reactive oxygen species* (ROS). *Reactive oxygen species* dapat menginduksi kematian sel secara *autophagy*, sebuah proses *self-catabolic* yang melibatkan penyerapan komponen sitoplasma dengan melemahkan atau merusak organel-organel sel (Shrivastava et al. 2011). Pada konsentrasi yang tinggi, ROS dapat menyebabkan kerusakan DNA akibat gangguan pada membran mitokondria (Rocha-Frigoni et al. 2016). Akibat dari sifatnya yang sangat reaktif dan tidak stabil, ROS dapat berinteraksi dengan beberapa molekul untuk mengikat elektron dan membuat dirinya stabil (Deleuze & Goudet 2010). Oleh karena itu, interaksi tersebut pada akhirnya menyebabkan kerusakan sel termasuk peroksidasi lipid, yang merupakan fosfolipid utama pada membran, serta oksidasi asam amino dan juga asam nukleat (Bain et al. 2011).

Perkembangan *germ cell*

Sel somatik (sel Sertoli) memegang peran penting dalam mengontrol perkembangan *germ cell*. Lebih lanjut dijelaskan bahwa androgen merupakan faktor utama dalam mendukung perkembangan *germ cell* pejantan dan sel Sertoli merupakan target utama untuk aksi hormon androgen (Verhoeven et al. 2010). Beberapa laporan menunjukkan bahwa testosteron dan FSH bertindak sebagai *germ cell survival factor* selama inisiasi spermatogenesis (Walker 2011). Dalam testis tikus *immature*, *selective immunoneutralization* LH dapat mengganggu spermatogenesis dan menyebabkan kematian sel (apoptosis), terutama pada tahap *pachytene spermatocytes*, tetapi tidak pada sel spermatogonium. Tahapan perkembangan *germ cell* secara lengkap disajikan pada Gambar 2.

Androgen diketahui penting untuk pemeliharaan viabilitas *germ cell*. Lebih lanjut dilaporkan bahwa testosteron diperlukan untuk penyelesaian spermiogenesis pada tikus pubertas. Pemberian *ethane dimethanesulphonate* (EDS) pada sel Leydig dapat menyebabkan penurunan sementara konsentrasi testosteron dalam cairan interstitial dan pada tahap VII-IX spermatid bundar dari epitelium (Walker 2011). Penelitian lebih lanjut menunjukkan bahwa secara kolektif androgen sangat aktif terlibat dalam inisiasi spermatogenesis pada hewan model dengan cara bertindak sebagai *germ cell survival factor* dan bekerjasama dengan FSH dalam mendukung terjadinya spermiogenesis.



Gambar 2. Perkembangan *germ cells* sampai membentuk spermatozoa matang

Sumber: Wang et al. (2009)

Spermatogonia

Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa testosteron atau faktor-faktor sel Leydig yang diperlukan untuk perkembangan sel spermatogonium. Pada tikus hpg, efek tunggal testosteron tidak merangsang jumlah sel spermatogonium seperti yang terlihat pada tikus yang tidak diberi hpg dan pada tikus yang diberi perlakuan testosteron dalam jangka panjang tidak mempengaruhi perkembangan sel spermatogonium (Haywood et al. 2003). Tingginya konsentrasi testosteron dalam testis diduga dapat berpengaruh jelek terhadap perkembangan sel

spermatogonium. Hal ini didukung oleh hasil penelitian yang lain seperti terjadinya deplesi sel spermatogonium *juvenile*, tikus mutan dan tikus yang telah diiradiasi, ini menunjukkan bahwa penekanan konsentrasi testosteron dalam testis diperlukan untuk mendukung perkembangan sel spermatogonium. Lebih lanjut dijelaskan bahwa penurunan sementara konsentrasi testosteron dalam testis melalui pemberian GnRH-antagonis dapat meningkatkan kemampuan donor sel spermatogonium untuk ditransplantasikan ke testis hewan resipien. Hal yang berbeda dilaporkan oleh (Verhoeven et al. 2010) bahwa salah satu tahapan perkembangan *germ cell* adalah diferensiasi spermatogonium sebagai akibat dari kontrol aksi hormon androgen.

Meiosis dan spermiogenesis

Peran utama androgen adalah dalam meiosis dan spermiogenesis (Stanton et al. 2012). Meiosis selama awal spermatogenesis tampaknya sangat sensitif terhadap testosteron yang teramati pada tikus hpg. Tikus yang diberikan testosteron eksogen mengakibatkan konsentrasi testosteron intratestikular meningkat 40% dari normal, sehingga mendukung meiosis dari *preleptotene* menjadi spermatosit *pachytene*. Efek tunggal testosteron dapat memfasilitasi penyelesaian meiosis pada tikus hpg, hal ini dibuktikan pada proses produksi spermatid bundar dari *pachytene spermatocytes* (Haywood et al. 2003). Lebih lanjut Abel et al. (2008) melaporkan bahwa FSHR dan AR menginisiasi meiosis, tetapi selesainya meiosis sangat bergantung pada ekspresi AR. Walters et al. (2010) menjelaskan bahwa inaktivasi gen AR dapat mengakibatkan gangguan spermatogenesis terutama mengganggu pada penyelesaian meiosis.

Dimulainya meiosis dapat dilihat dengan jelas pada tikus hpg sebagai efek dari pemberian hormon testosteron eksogen. Suatu penghambatan pada meiosis tidak jelas diketahui pada berbagai hewan model dengan penggunaan implan testosteron untuk menekan spermatogenesis, konsentrasi testosteron intratestikular tidak cukup untuk menekan terjadinya spermatogenesis. Akan tetapi, perkembangan spermatosit tahap VII dan VIII akan menurun ketika konsentrasi testosteron intratestikular ditekan dengan menggunakan kombinasi gonadotropin dengan *anti-androgen flutamide* untuk menghilangkan pengaruh sisa dari androgen. Dengan demikian, ada kemungkinan bahwa hormon androgen memfasilitasi perkembangan meiosis setidaknya sebagian dengan mendukung kelangsungan hidup spermatosit pada tahap VII dan VIII yang merupakan tahapan yang sangat sensitif terhadap keberadaan hormon (Verhoeven et al. 2010).

Testosteron memiliki *specific site* dalam hal menginisiasi (Haywood et al. 2003), memelihara dan

pemulihan atau restorasi dari semua fase spermiogenesis. Penelitian pada tikus hpg menunjukkan bahwa testosteron tunggal dapat memulai atau menginisiasi dan memelihara produksi spermatid bundar dari *pachytene spermatocytes*. Sedangkan penelitian pada tikus dewasa telah menemukan suatu tempat tertentu dalam spermiogenesis di mana testosteron diperlukan. Penelitian selanjutnya telah menunjukkan bahwa penekanan testosteron intratestikular dapat mempengaruhi konversi spermatid bundar dari tahap VII ke tahap VIII yang disebabkan karena terjadinya prematur pada spermatid bundar pada tahap VIII. Penelitian lebih lanjut pada tikus yang kekurangan LH-R, yang memiliki konsentrasi testosteron dalam testis hanya 2% dari normal, menunjukkan bahwa konversi spermatid bundar untuk menjadi spermatid yang memanjang dapat dihilangkan dengan pemberian AR antagonist flutamide. Hal ini menunjukkan bahwa pada pertengahan spermiogenesis hanya membutuhkan konsentrasi testosteron yang sangat rendah (Zhang et al. 2003).

Pelekatan antara sel Sertoli dan sel spermatid bundar tahap VIII diatur oleh keberadaan hormon androgen. Namun demikian, penekanan androgen tampaknya tidak mengganggu struktur spesialisasi *ectoplasmic*, yang merupakan suatu *Sertoli cell-specific junctional complex*. Molekul pelekatan sel yang dapat terlibat dalam *round spermatid-Sertoli cell junction* termasuk diantaranya adalah $\alpha 6 \beta 1$ integrin dan anggota dari *cadherin* dan kelompok *protocadherin*. Penelitian secara *in vitro* menunjukkan bahwa N-cadherin mungkin penting, sebagai suatu antibodi N-cadherin yang akan memblokir *androgen-stimulated adhesion* antara sel-sel Sertoli tikus dan spermatid bundar yang terisolasi dan N-Cad yang diproduksi oleh sel Sertoli secara *in vitro* distimulasi oleh androgen (Knobil & Neill's 2006).

Peran androgen pada fertilitas pejantan

Hormon androgen terutama testosteron dan DHT yang dihasilkan oleh sel-sel Leydig testis berperan sangat penting untuk memelihara spermatogenesis (Smith & Walker 2014). Testosteron dan DHT berperan dalam spermatogenesis dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah keberadaan AR (Bansal et al. 2015), LH (Dong et al. 2007) dan FSH. Androgen reseptor memediasi testosteron dan DHT baik pada *germ cells*, sel Sertoli, sel Leydig maupun *peritubular myoid cells* dari testis (Rey et al. 2009; Welsh et al. 2009; Hazra et al. 2013). Smith & Walker (2014) melaporkan bahwa konsentrasi AR yang tinggi mengindikasikan bahwa AR tersebut dapat memediasi hormon androgen dalam epitel seminiferus untuk memelihara keberlangsungan spermatogenesis. Lebih lanjut dijelaskan bahwa LH yang disekresikan oleh

hipofisa anterior berperan untuk mengontrol perkembangan *germ cell* dan menstimulasi sel Leydig untuk memproduksi testosteron (Collins et al. 2003; Dong et al. 2007; Verhoeven et al. 2010). Sedangkan FSH selain berperan untuk mengontrol perkembangan *germ cell* bersama dengan LH juga berperan untuk menstimulasi ekspresi AR dan mengontrol proliferasi dan mempertahankan fungsi sel Sertoli (Aksglaede et al. 2011; Kuiri-Hänninen et al. 2011).

Berdasarkan penjelasan di atas menunjukkan bahwa keberadaan AR, LH dan FSH sangat mempengaruhi fungsi testosteron dan DHT yang berdampak pada fertilitas pejection. Konsentrasi AR yang rendah dapat mengakibatkan AR tidak dapat memediasi hormon androgen sehingga akan mengganggu keberlangsungan spermatogenesis. Hal yang sama juga dapat terjadi ketika konsentrasi LH dan FSH rendah. Konsentrasi LH dan FSH yang rendah akan mengakibatkan perkembangan *germ cell* tidak terkontrol dan stimulasi sel Leydig untuk memproduksi testosteron juga terganggu sehingga berakibat pada rendahnya fertilitas pejection. Konsentrasi AR, LH dan FSH yang rendah dapat diatasi dengan pemberian GnRH eksogen. Collins et al. (2003) menjelaskan bahwa GnRH menstimulasi hipofisa anterior untuk mensekresikan LH dan FSH yang selanjutnya akan menstimulasi sel Leydig mensekresikan testosteron. Testosteron membantu dalam proses pembentukan spermatozoa, mempersiapkan dan memelihara *germ cells*, memelihara sel Leydig, serta menstimulasi PC untuk kontraksi *tubulus seminiferus*. Selain itu, dapat pula dilakukan pemberian LH, FSH dan testosteron eksogen baik melalui implan maupun injeksi sehingga dapat meningkatkan fertilitas pejection.

KESIMPULAN

Peran hormon androgen dalam regulasi spermatogenesis sangat dipengaruhi oleh keberadaan AR, konsentrasi *luteinizing hormone* (LH) dan *follicle stimulating hormone* (FSH). Terganggunya spermatogenesis akan menyebabkan rendahnya fertilitas pejection. Pemberian *gonadotrophine releasing hormone* (GnRH), LH, FSH dan testosteron eksogen sehingga dapat meningkatkan fertilitas pejection.

DAFTAR PUSTAKA

- Abel MH, Baker PJ, Charlton HM, Monteiro A, Verhoeven G, De Gendt K, Guillou F, O'Shaughnessy PJ. 2008. Spermatogenesis and Sertoli cell activity in mice lacking Sertoli cell receptors for follicle-stimulating hormone and androgen. *Endocrinology*. 149:3279-3285.
- Aksglaede L, Christiansen P, Sørensen K, Boas M, Linneberg A, Main KM, Andersson AM, Skakkebaek NE, Juul A. 2011. Serum concentrations of anti-Müllerian hormone (AMH) in 95 patients with Klinefelter syndrome with or without cryptorchidism. *Acta Paediatr Int J Paediatr*. 100:839-845.
- Alves MG, Rato L, Carvalho RA, Moreira PI, Socorro S, Oliveira PF. 2013. Hormonal control of Sertoli cell metabolism regulates spermatogenesis. *Cell Mol Life Sci*. 70:777-793.
- Aquila S, Middea E, Catalano S, Marsico S, Lanzino M, Casaburi I, Barone I, Bruno R, Zupo S, Andò S. 2007. Human sperm express a functional androgen receptor: Effects on PI3K/AKT pathway. *Hum Reprod*. 22:2594-2605.
- Bain NT, Madan P, Betts DH. 2011. The early embryo response to intracellular reactive oxygen species is developmentally regulated. *Reprod Fertil Dev*. 23:561-575.
- Bansal N, Pathak D, Uppal V, Anuradha, Singh I. 2015. Androgen receptor in buffalo testis during prenatal life: An immunohistochemical study. *Indian J Vet Anat*. 27:6-8.
- Bastida MG, Rey RA, Bergadà I, Bedecarràs P, Andreone L, Del Rey G, Boywitt A, Ropelato MG, Cassinelli H, Arcari A, et al. 2007. Establishment of testicular endocrine function impairment during childhood and puberty in boys with Klinefelter syndrome. *Clin Endocrinol (Oxf)*. 67:863-870.
- Bergadà I, Andreone L, Ropelato MG, Bedecarràs P, Rey RA, Campo SM. 2007. Sertoli cell function in boys with central precocious puberty (CPP). *Horm Res*. 68:3.
- Bougnères P, François M, Pantalone L, Rodrigue D, Bouvattier C, Demestee E, Roger D, Lahlou N. 2008. Effects of an early postnatal treatment of hypogonadotropic hypogonadism with a continuous subcutaneous infusion of recombinant follicle-stimulating hormone and luteinizing hormone. *J Clin Endocrinol Metab*. 93:2202-2205.
- Boukari K, Meduri G, Brailly-Tabard S, Guibourdenche J, Ciampi ML, Massin N, Martinier L, Picard JY, Rey R, Lombès M, Young J. 2009. Lack of androgen receptor expression in Sertoli cells accounts for the absence of anti-Müllerian hormone repression during early human testis development. *J Clin Endocrinol Metab*. 94:1818-1825.
- Bourguiba S, Lambard S, Carreau S. 2003. Steroids control the aromatase gene expression in purified germ cells from the adult male rat. *J Mol Endocrinol*. 31:83-94.
- Brinkmann AO. 2009. Androgen physiology: Receptor and metabolic disorders. Rotterdam (Netherlands): University Medical Center Rotterdam.
- Chang C, Chen YT, Yeh SD, Xu Q, Wang RS, Guillou F, Lardy H, Yeh S. 2004. Infertility with defective spermatogenesis and hypotestosteronemia in male mice lacking the androgen receptor in Sertoli cells. *Proc Natl Acad Sci*. 101:6876-6881.

- Chang C, Lee SO, Wang RS, Yeh S, Chang TM. 2013. Androgen receptor (AR) physiological roles in male and female reproductive systems: Lessons learned from AR-knockout mice lacking AR in selective cells. *Biol Reprod*. 89:1-16.
- Chemes HE, Rey RA, Nistal M, Regadera J, Musse M, Gonzalez-Peramato P, Serrano A. 2008. Physiological androgen insensitivity of the fetal, neonatal, and early infantile testis is explained by the ontogeny of the androgen receptor expression in Sertoli cells. *J Clin Endocrinol Metab*. 93:4408-4412.
- Collins LL, Lee HJ, Chen YT, Chang M, Hsu HY, Yeh S, Chang C. 2003. The androgen receptors in spermatogenesis. *Cytogenet Genome Res*. 103:299-301.
- De Gendt K, Swinnen JV, Saunders PTK, Schoonjans L, Dewerchin M, Devos A, Tan K, Atanassova N, Claessens F, Lecureuil C, et al. 2004. A Sertoli cell-selective knockout of the androgen receptor causes spermatogenic arrest in meiosis. *Proc Natl Acad Sci*. 101:1327-1332.
- Deleuze S, Goudet G. 2010. Cysteamine supplementation of *in vitro* maturation media: A review. *Reprod Domest Anim*. 45:e476-e482.
- Dong L, Jelinsky SA, Finger JN, Johnston DS, Kopf GS, Sottas CM, Hardy MP, Ge RS. 2007. Gene expression during development of fetal and adult Leydig cells. In: *Annals of the New York Academy of Sciences*. Vol. 1120. p. 16-35.
- Eacker SM, Shima JE, Connolly CM, Sharma M, Holdcraft RW, Griswold MD, Braun RE. 2007. Transcriptional profiling of androgen receptor (AR) mutants suggests instructive and permissive roles of AR signaling in germ cell development. *Mol Endocrinol*. 21:895-907.
- Edelsztein NY, Grinspon RP, Schteingart HF, Rey RA. 2016. Anti-Mullerian hormone as a marker of steroid and gonadotropin action in the testis of children and adolescents with disorders of the gonadal axis. *Int J Pediatr Endocrinol*. 20:1-10.
- Grinspon RP, Andreone L, Bedecarrás P, Ropelato MG, Rey RA, Campo SM, Bergadá I. 2013. Male central precocious puberty: Serum profile of anti-Mullerian hormone and inhibin B before, during, and after treatment with GnRH analogue. *Int J Endocrinol* [Internet]. 2013. Available from: <https://www.hindawi.com/journals/ije/2013/823064/>
- Grinspon RP, Habib C, Bedecarrás P, Gottlieb S, Rey RA. 2016. Compensatory function of the remaining testis is dissociated in boys and adolescents with monorchidism. *Eur J Endocrinol*. 174:399-407.
- Grinspon RP, Ropelato MG, Bedecarrás P, Loreti N, Ballerini MG, Gottlieb S, Campo SM, Rey RA. 2012. Gonadotrophin secretion pattern in anorchid boys from birth to pubertal age: pathophysiological aspects and diagnostic usefulness. *Clin Endocrinol*. 76:698-705.
- Handelsman DJ. 2009. Androgen physiology, pharmacology and abuse. In: De Groot LJ, Jameson JL, editors. *Endocrinology*. 6th ed. Philadelphia (US): Elsevier Saunders Publications.
- Haywood M, Spaliviero J, Jimenez M, King NJC, Handelsman DJ, Allan CM. 2003. Sertoli and germ cell development in hypogonadal (hpg) mice expressing transgenic follicle-stimulating hormone alone or in combination with testosterone. *Endocrinology*. 144:509-517.
- Hazra R, Corcoran L, Robson M, McTavish KJ, Upton D, Handelsman DJ, Allan CM. 2013. Temporal role of Sertoli cell androgen receptor expression in spermatogenic development. *Mol Endocrinol*. 27:12-24.
- Hill CM, Anway MD, Zirkin BR, Brown TR. 2004. Intratesticular androgen levels, androgen receptor localization, and androgen receptor expression in adult rat Sertoli cells. *Biol Reprod*. 71:1348-1358.
- Ivell R, Wade JD, Anand-Ivell R. 2013. INSL3 as a biomarker of Leydig cell functionality. *Biol Reprod*. 88:1-8.
- Johnson L, Thompson DL, Varner DD. 2008. Role of Sertoli cell number and function on regulation of spermatogenesis. *Anim Reprod Sci*. 105:23-51.
- Kerkhofs S, Denayer S, Haelens A, Claessens F. 2009. Androgen receptor knockout and knock-in mouse models. *J Mol Endocrinol*. 42:11-17.
- Knobil, Neill's. 2006. *Physiology of reproduction*. California (US): Elsevier Academic Press.
- Kuiri-Hänninen T, Seuri R, Tyrväinen E, Turpeinen U, Hämäläinen E, Stenman UH, Dunkel L, Sankilampi U. 2011. Increased activity of the hypothalamic-pituitary-testicular axis in infancy results in increased androgen action in premature boys. *J Clin Endocrinol Metab*. 96:98-105.
- Lasala C, Schteingart HF, Arouche N, Bedecarrás P, Grinspon RP, Picard J-Y, Josso N, di Clemente N, Rey RA. 2011. SOX9 and SF1 are involved in cyclic AMP-mediated upregulation of anti-Mullerian gene expression in the testicular prepubertal Sertoli cell line SMAT1. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 301:E539-E547.
- Lucas TF, Pimenta MT, Pisolato R, Lazari MFM, Porto CS. 2011. 17 β -estradiol signaling and regulation of Sertoli cell function. *Spermatogenesis*. 1:318-324.
- McLachlan RI, O'Donnell L, Meachem SJ, Stanton PG, de Kretser DM, Pratis K, Robertson DM. 2002. Identification of specific sites of hormonal regulation in spermatogenesis in rats, monkeys, and man. *Recent Prog Horm Res*. 57:149-179.
- Merlet J, Racine C, Moreau E, Moreno SG, Habert R. 2007. Male fetal germ cells are targets for androgens that physiologically inhibit their proliferation. *Proc Natl Acad Sci*. 104:3615-3620.

- Rahman F, Christian HC. 2007. Non-classical actions of testosterone: An update. Trends Endocrinol Metab. 18:371-378.
- Rathkopf D, Scher HI. 2013. Androgen receptor antagonists in castration-resistant prostate cancer. Cancer J. 19:43-49.
- Rey RA, Musse M, Venara M, Chemes HE. 2009. Ontogeny of the androgen receptor expression in the fetal and postnatal testis: Its relevance on Sertoli cell maturation and the onset of adult spermatogenesis. Microsc Res Tech. 72:787-795.
- Rocha-Frigoni NAS, Leão BCS, Dall'Acqua PC, Mingoti GZ. 2016. Improving the cytoplasmic maturation of bovine oocytes matured *in vitro* with intracellular and/or extracellular antioxidants is not associated with increased rates of embryo development. Theriogenology. 86:1897-1905.
- Ruwanpura SM, McLachlan RI, Meachem SJ. 2010. Hormonal regulation of male germ cell development. J Endocrinol. 205:117-131.
- Shrivastava A, Kuzontkoski PM, Groopman JE, Prasad A. 2011. Cannabidiol induces programmed cell death in breast cancer cells by coordinating the cross-talk between apoptosis and autophagy. Mol Cancer Ther. 10:1161-1172.
- Smith LB, Walker WH. 2014. The regulation of spermatogenesis by androgens. Semin Cell Dev Biol. 30:2-13.
- Stanton PG, Sluka P, Foo CFH, Stephens AN, Smith AI, McLachlan RI, O'Donnell L. 2012. Proteomic changes in rat spermatogenesis in response to *in vivo* androgen manipulation; impact on meiotic cells. PLoS One. 7:e41718.
- Verhoeven G, Willems A, Denolet E, Swinnen JV, De Gendt K. 2010. Androgens and spermatogenesis: Lessons from transgenic mouse models. Philos Trans R Soc. 365:1537-1556.
- Walker WH. 2011. Testosterone signaling and the regulation of spermatogenesis. Spermatogenesis. 1:116-120.
- Walters KA, Simanainen U, Handelsman DJ. 2010. Molecular insights into androgen actions in male and female reproductive function from androgen receptor knockout models. Hum Reprod Update. 16:543-558.
- Wang RS, Yeh S, Tzeng CR, Chang C. 2009. Androgen receptor roles in spermatogenesis and fertility: Lessons from testicular cell-specific androgen receptor knockout mice. Endocr Rev. 30:119-132.
- Welsh M, Saunders PTK, Atanassova N, Sharpe RM, Smith LB. 2009. Androgen action via testicular peritubular myoid cells is essential for male fertility. FASEB J. 23:4218-4230.
- Willems A, De Gendt K, Allemeersch J, Smith LB, Welsh M, Swinnen JV, Verhoeven G. 2010. Early effects of Sertoli cell-selective androgen receptor ablation on testicular gene expression. Int J Androl. 33:507-517.
- Xu Q, Lin HY, Yeh SD, Yu IC, Wang RS, Chen YT, Zhang C, Altuwajri S, Chen LM, Chuang KH, et al. 2007. Infertility with defective spermatogenesis and steroidogenesis in male mice lacking androgen receptor in Leydig cells. Endocrine. 32:96-106.
- Zhang FP, Pakarainen T, Poutanen M, Toppari J, Huhtaniemi I. 2003. The low gonadotropin-independent constitutive production of testicular testosterone is sufficient to maintain spermatogenesis. Proc Natl Acad Sci USA. 100:13692-13697.
- Zhang L, Charron M, Wright WW, Chatterjee B, Song CS, Roy AK, Brown TR. 2004. Nuclear factor-kappaB activates transcription of the androgen receptor gene in Sertoli cells isolated from testes of adult rats. Endocrinology. 145:781-789.
- Zhou X. 2010. Roles of androgen receptor in male and female reproduction: Lessons from global and cell-specific androgen receptor knockout (ARKO) mice. J Androl. 31:235-243.
- Zuccarello D, Ferlin A, Vinanzi C, Prana E, Garolla A, Callewaert L, Claessens F, Brinkmann AO, Foresta C. 2008. Detailed functional studies on androgen receptor mild mutations demonstrate their association with male infertility. Clin Endocrinol (Oxf). 68:580-588.

Perspektif Perkembangan Ketersediaan Produksi Sumber Protein Asal Ternak di Indonesia

(Perspective on the Production Availability of Animal Protein Source from Livestock in Indonesia)

Priyono dan A Priyanti

*Pusat Penelitian dan Pengembangan Peternakan, Jl. Raya Pajajaran Kav. E-59, Bogor 16128
priyono.spt@gmail.com*

(Diterima 3 Februari 2017 – Direvisi 5 Februari 2018 – Disetujui 3 Maret 2018)

ABSTRACT

Human Development Index (HDI) is used to measure overall performance where Indonesia's HDI is ranked 110 out of 187 countries with an index value of 0.684 in 2015. Consumption of animal protein has a relationship with life expectancy and quality of life which determines by the HDI performance. The paper describes on perspective development of animal protein source from livestock in Indonesia. The production development of animal protein source in overall (meat, eggs, and milk) had a positive growth during the period of 1994-2015 with the range of 1-6%/year, except that for buffalo meat production that decreased by 1.77%/year. The animal protein availability of meat was dominated by broiler production, followed by beef, mutton and others. The broiler meat production has the highest growth rate of 6.67%/year. Meanwhile, the animal protein source of non-meat production was dominated by eggs and milk production that its growth rate were 5.98 and 4.29%/year, respectively. In the same period, the meat production share was dominated by poultry meat, the rest derived from large ruminant, small ruminant, and other meat sources. Egg and milk production share also increased significantly during the period and share availability of beef production was less than 25% where its consumer participation was decreased. This indicates that beef is not a primary consumption for the majority people of Indonesia. Development program is needed to encourage an increase of the protein source from poultry meat, large ruminants, small ruminants, and milk.

Key words: Protein from livestock, production, share

ABSTRAK

Indeks Pembangunan Manusia (IPM) digunakan untuk mengukur kinerja pembangunan keseluruhan, dimana Indonesia mencapai peringkat ke-110 dari 187 negara dengan nilai indeks 0,684 pada tahun 2015. Konsumsi protein asal ternak memiliki hubungan yang erat dengan tingkat harapan hidup dan kualitas hidup manusia yang menentukan capaian IPM. Makalah ini bertujuan untuk mendeskripsikan perspektif perkembangan produksi sumber protein asal ternak di Indonesia. Perkembangan produksi sumber protein asal ternak secara keseluruhan (daging, telur dan susu) tumbuh positif dengan kisaran 1-6%/tahun selama periode tahun 1994-2015, kecuali produksi daging kerbau yang menurun sebesar 1,77%/tahun. Ketersediaan sumber protein asal daging didominasi oleh produksi ayam ras pedaging, diikuti oleh daging sapi, daging ruminansia kecil dan sumber daging lainnya. Ayam ras pedaging memiliki tingkat pertumbuhan produksi paling tinggi sebesar 6,67%/tahun. Sementara itu, sumber protein asal ternak dari non-daging didominasi oleh produksi telur ayam ras petelur dan susu dengan pertumbuhan masing-masing 5,98 dan 4,29%/tahun, sedangkan sisanya berasal dari telur ayam buras dan telur itik. Dalam periode yang sama, *share* produksi daging didominasi oleh daging unggas, sisanya secara berturut-turut berasal dari *share* daging ruminansia besar, daging ruminansia kecil dan sumber daging lainnya. *Share* produksi telur dan susu juga mengalami peningkatan secara signifikan pada kurun waktu tersebut. Berdasarkan hasil telaahan, *share* ketersediaan produksi daging sapi kurang dari 25% dan partisipasi konsumsi yang terus menurun menunjukkan bahwa daging sapi bukan merupakan pilihan utama bagi sebagian besar masyarakat Indonesia. Program pengembangan perlu diusulkan untuk mendorong peningkatan ketersediaan sumber protein asal ternak ruminansia besar dan ternak potensial lain dari unggas, ruminansia kecil dan susu.

Kata kunci: Protein asal ternak, produksi, *share*

PENDAHULUAN

Indeks Pembangunan Manusia (IPM) digunakan untuk mengukur kinerja pembangunan secara keseluruhan melalui tiga dimensi dasar pendekatan,

yaitu umur panjang dan sehat, pengetahuan, serta penghidupan yang layak. Indeks pembangunan manusia yang pertama kali diperkenalkan oleh *United Nations Development Programme* (UNDP) dapat digunakan untuk mengklasifikasikan suatu negara dalam kategori

maju, berkembang atau terbelakang. *United Nations Development Programme* mencatat IPM Indonesia telah mencapai 0,684 pada tahun 2014 dengan capaian posisi ke-110 dari 187 negara (UNDP 2015). Capaian IPM tersebut mengantarkan Indonesia pada posisi status pembangunan manusia kategori menengah.

Indonesia menempati urutan kelima untuk capaian IPM diantara negara-negara ASEAN. Dalam perolehan capaian IPM, Indonesia masih kalah bersaing dengan Singapura, Brunei Darussalam, Malaysia dan Thailand. Menurut UNDP (2015), nilai IPM Singapura dan Brunei Darussalam berada pada kategori sangat tinggi dengan capaian IPM masing-masing sebesar 0,912 dan 0,856 yang menempati posisi 11 dan 31, sedangkan Malaysia dan Thailand berada pada kategori tinggi dengan nilai IPM sebesar 0,779 dan 0,726 yang menempati posisi 62 dan 93 dari 187 negara. Meskipun demikian, selama periode 2010-2014 nilai IPM Indonesia telah meningkat sebesar 2,37 poin dengan pertumbuhan 0,89% (BPS 2015a).

Konsumsi protein asal ternak memiliki hubungan yang erat terhadap tingkat harapan dan kualitas hidup manusia. Seiring dengan peningkatan pendapatan dan kesadaran gizi masyarakat, hal ini berdampak pada perubahan pola konsumsi pangan dengan meningkatnya konsumsi protein asal ternak. Sementara itu, tingkat konsumsi pangan asal karbohidrat sebagian besar menurun, berbeda dengan tingkat konsumsi protein yang sebagian besar mengalami peningkatan dalam 15 tahun terakhir. Laju perubahan tingkat konsumsi pangan asal ternak di kota dan desa tahun 1996-2011 sebagian besar mengalami kenaikan dimana untuk konsumsi daging ayam sebesar 9,2%; konsumsi telur sebesar 9,4%; konsumsi susu sebesar 12,2%; namun konsumsi daging sapi menurun sebesar 4,6% (Kementerian Perdagangan 2013).

Menurut BPS (2016) standar kecukupan kalori dan protein yang diterapkan di Indonesia hasil Widyakarya Nasional Pangan dan Gizi tahun 2012 sebesar 2.150 kkal dan 57 g protein/kapita/hari. Sementara itu, rata-rata konsumsi daging dalam sehari pada bulan September 2015 sebesar 53,83 kkal dan 3,24 g, sedangkan telur dan susu sebesar 59,04 kkal dan 3,21 g. Saat itu, rata-rata pengeluaran per kapita sebulan untuk daging sebesar Rp. 21.157 dan pengeluaran untuk telur dan susu sebesar Rp. 27.912 (BPS 2015b). Kesetaraan konsumsi protein per kapita di perkotaan adalah 58,72 g, sedangkan di pedesaan belum memenuhi standar kecukupan konsumsi, karena baru mencapai 53,17 g.

Protein asal ternak berperan besar dalam membangun ketahanan pangan dan SDM berkualitas. Angka Kecukupan Gizi (AKG) Indonesia tahun 2014 dengan kategori tahan pangan (konsumsi >90% AKG) sebesar 48,86%, sedangkan untuk kategori rawan pangan sebesar 33,74% dan sangat rawan pangan

sebesar 17,40% (BKP 2015). Sumber daya manusia yang berkualitas merupakan unsur penting yang perlu diprioritaskan karena menjadi faktor penentu keberhasilan pembangunan. Perkembangan konsumsi energi dan kualitas konsumsi pangan hewani penduduk Indonesia tahun 2010-2014 belum mengalami peningkatan yang signifikan dimana nilai konsumsi pangan hewani pada tahun 2010 sebesar 102,3 g (178 kkal/kapita/hari) dan AKG 8,9% sedangkan pada tahun 2014 sebesar 102,6 g (183 kkal/kapita/hari) dan AKG 9,2% (BKP 2015). Konsumsi energi pangan hewani ini meningkat menjadi 201 kkal/kapita/hari pada tahun 2015 dan 211 kkal/kapita/hari pada tahun 2016 (BKP 2016). Dengan demikian diperlukan akselerasi program peningkatan produksi dan populasi ternak untuk mendorong peningkatan konsumsi protein asal ternak secara *massive*.

Daging sapi merupakan sumber protein asal ternak yang diakselerasi perkembangannya agar tercapai swasembada produksi. Konsumsi daging sapi pada tahun 2010-2014 mengalami penurunan dari sebelumnya sebanyak 0,365 kg/kapita/tahun pada 2010 menjadi 0,261 kg/kapita/tahun pada 2014, sedangkan konsumsi daging ayam ras meningkat dari 3,456 kg/kapita/tahun pada 2010 menjadi 3,963 kg/kapita/tahun pada 2014 (Ditjen PKH 2015). Berdasarkan data Susenas dari tahun 2002 sampai dengan tahun 2011, partisipasi konsumsi daging sapi/kerbau terus mengalami penurunan dari sebelumnya sebesar 26,15% pada tahun 2002 menjadi 21,93% pada tahun 2005, 16,18% pada tahun 2008 dan 16,16% pada tahun 2011 (Soedjana 2013). Menurut Satriani (2017), partisipasi konsumsi daging sapi pada tahun 2015 sebesar 8,20% dan kembali menurun menjadi 6,46% pada tahun 2016.

Pemenuhan konsumsi protein asal ternak harus didukung dengan ketersediaan sumber penghasilnya. Peningkatan konsumsi protein asal ternak harus diikuti secara linier oleh ketersediaan sumber protein asal ternak yang mencukupi dan terjangkau. Berdasarkan kondisi yang terjadi, diperlukan adanya telaahan mengenai perkembangan ketersediaan sumber protein asal ternak (daging, telur dan susu) sehingga dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan pengambilan kebijakan untuk meningkatkan konsumsi protein asal ternak dan pada akhirnya berdampak pada naiknya nilai IPM Indonesia.

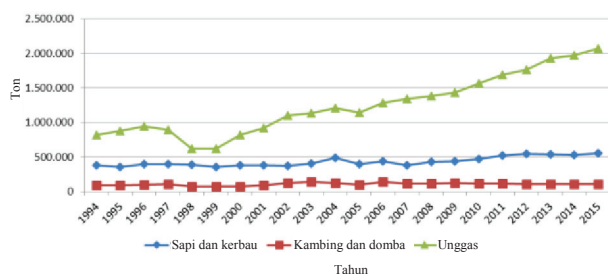
Pendekatan ketersediaan sumber protein asal ternak dapat diukur dengan jumlah produksi daging, telur dan susu dari berbagai komoditas ternak. Akselerasi peningkatan ketersediaan sumber protein asal ternak memerlukan analisis terhadap laju pertumbuhan produksi daging, produksi telur dan produksi susu, sehingga diperoleh informasi besaran laju pertumbuhan produksinya. Sebagai informasi pendukung dapat dilakukan analisis mengenai

perkembangan *share* produksi dari berbagai komoditas sumber protein asal ternak dalam kurun waktu tertentu. *Share* produksi dapat memberikan potret jenis sumber protein asal ternak yang dikonsumsi masyarakat.

Makalah ini menelaah dan mendeskripsikan perspektif perkembangan ketersediaan serta produksi sumber protein asal ternak berdasarkan hasil rujukan dan kajian serta penelitian terdahulu. Hal ini diharapkan dapat memberikan secara komprehensif gambaran terhadap ketersediaan dan produksi sumber protein asal ternak yang terjangkau oleh seluruh lapisan masyarakat, sehingga program diversifikasi pangan dapat terwujud dengan baik.

LAJU PERTUMBUHAN PRODUKSI SUMBER PROTEIN ASAL TERNAK

Sumber protein asal daging secara umum dapat dikelompokkan dalam tiga golongan, yaitu daging sapi dan kerbau, daging kambing dan domba, serta daging unggas. Dalam kurun waktu 20 tahun (1994-2015), produksi daging asal ternak unggas memiliki pertumbuhan yang lebih tinggi dibandingkan dengan daging asal ternak sapi/kerbau maupun kambing/domba (Gambar 1). Seiring dengan semakin membaiknya pendapatan masyarakat, konsumsi produk peternakan cenderung turut meningkat. Soedjana (2011) menyatakan bahwa konsumsi produk peternakan akan menaikkan pendapatan peternakan tradisional, dengan demikian usaha peternakan skala kecil tetap bertahan.



Gambar 1. Perkembangan produksi daging sapi dan kerbau, kambing dan domba, serta unggas (ayam buras, ayam ras petelur, ayam ras pedaging dan itik)

Sumber: BPS (2015c); Ditjen PKH (2015) diolah

Perkembangan produksi daging unggas mengalami peningkatan yang sangat signifikan mencapai 5,02%/tahun, kecuali pada periode tahun 1997-1999 yang mengalami penurunan sebesar 19,38%. Hal ini salah satunya disebabkan akibat terjadinya krisis ekonomi yang berdampak pada terhambatnya pertumbuhan industri perunggasan Indonesia (Yusdja et al. 2007). Daging unggas merupakan sumber protein asal ternak yang paling banyak dikonsumsi oleh masyarakat. Daging ini memiliki harga yang lebih terjangkau dibandingkan

dengan daging sapi, kerbau, kambing dan domba. Daging ayam ras pedaging memiliki laju pertumbuhan yang paling tinggi sebesar 6,67%/tahun dibandingkan dengan daging lainnya. Hal ini selaras dengan industri perunggasan yang berkembang sangat pesat dalam memenuhi kebutuhan daging masyarakat dengan harga yang lebih terjangkau. Secara nasional, produksi *day old chick* (DOC) ayam pedaging mengalami peningkatan, baik kapasitas produksi, mutu genetik, teknologi budidaya dan efisiensi konsumsi pakannya (Priyanti et al. 2015). Menurut Dawami (2015) telah terjadi peningkatan mutu genetik ayam pedaging dan perkembangan model kandang, rumah potong ayam, transportasi dan 68 pabrik pakan berkapasitas 18.500 ton/tahun. Perkembangan teknologi dan ketersediaan pabrik pakan tersebut mendukung peningkatan kapasitas produksi ayam pedaging.

Perkembangan produksi daging unggas lokal juga terus meningkat akhir-akhir ini dengan tren preferensi konsumen yang lebih menginginkan daging unggas dengan cita rasa khas. Ayam kampung, salah satunya merupakan komoditas peternakan yang *emerging* dengan kontribusi yang cukup signifikan karena memiliki prospek yang baik, namun belum tersosialisasikan kepada masyarakat luas. Pemberdayaan usaha ini merupakan alternatif yang sangat baik untuk mengurangi ketergantungan pada impor karena sejatinya sekitar 70% input usaha ayam ras masih mengandalkan komponen impor, baik untuk bibit (15-20%), sebagian bahan baku pakan (60-70%) dan vaksin/obat-obatan (<10%). Pemanfaatan sumberdaya lokal secara optimal untuk mendukung pembangunan peternakan dalam pasar yang kompetitif sangat diperlukan. Upaya ini harus dibarengi dengan aplikasi inovasi yang tepat dan keberlanjutannya. Ayam kampung menempati populasi terbanyak di antara ayam lokal lain, dimana hal ini mengindikasikan bahwa ayam kampung cukup mendapat tempat dan diapresiasi dengan baik di masyarakat. Data Susenas 2014 menunjukkan bahwa partisipasi konsumsi daging ayam kampung baru sekitar 10% dari konsumsi daging ayam ras, sedangkan produksi telur unggas lokal mencapai 31% dari produksi telur ayam nasional (Ditjen PKH 2015). Harga jual per satuan produk ayam kampung (baik daging maupun telur) yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan ayam ras menjadi daya tarik tersendiri bagi para pelaku usaha. Hal ini disebabkan karena produk ayam kampung tidak mengandung residu antibiotika (sangat minimal), sehingga digunakan sebagai bahan kuliner khusus dengan tekstur dan rasa yang berbeda dengan ayam ras.

Perkembangan produksi daging asal ternak sapi dan kerbau cenderung stagnan, kecuali mulai tahun 2005-2015 sudah ada peningkatan produksi yang cukup signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan produksi daging asal ternak sapi dan kerbau maupun

kambing dan domba masih perlu didorong dengan kebijakan yang mendukung perkembangan populasi ternaknya. Menurut Harmini et al. (2011) swasembada daging sapi dapat dicapai apabila diterapkan kebijakan pengurangan pemotongan sapi betina produktif dan meningkatkan program kawin silang sapi lokal dengan inseminasi buatan. Sementara menurut Ardiyati (2011) faktor yang menentukan tingkat produksi daging dalam upaya swasembada daging sapi/kerbau adalah jumlah *feedloter* dan harga daging sapi itu sendiri.

Hasil analisis menunjukkan bahwa laju pertumbuhan produksi daging, telur dan susu periode tahun 1994-2015 menunjukkan sebagian besar komoditas tersebut tumbuh positif dengan kisaran 1-6%/tahun. Hal tersebut untuk daging kerbau terus mengalami penurunan secara konsisten setiap periode lima tahunan dengan laju pertumbuhan sebesar -1,77%/tahun (Tabel 1).

Produksi daging unggas sebagian besar berasal dari daging ayam ras pedaging (70,71%), ayam kampung (23,04%), ayam ras petelur (4,27%) dan itik (1,98%). Laju pertumbuhan produksi daging ayam ras mencapai 6,67%/tahun, paling tinggi dibandingkan dengan komoditas lainnya yang diikuti dengan ayam ras petelur sebesar 4,88%/tahun. Dalam empat kali periode lima tahunan, kecuali untuk daging ayam kampung, produksi daging unggas meningkat cukup signifikan secara konsisten, sehingga menghasilkan laju pertumbuhan produksi daging unggas yang positif. Hal tersebut untuk daging ayam kampung relatif tumbuh dengan tipis, namun menunjukkan tren peningkatan yang positif dari tahun ke tahun. Zulkarnain (2017) menyatakan bahwa saat ini produksi

DOC ayam kampung mencapai 500 ribu ekor/bulan dengan nilai investasi lebih dari Rp.10 milyar.

Produksi daging babi memberikan kontribusi yang cukup signifikan terhadap laju pertumbuhan produksi sebesar 3,25%/tahun selama periode 1994-2015. Produksi daging ini meningkat secara signifikan dalam empat kali periode lima tahunan, lebih dari 50% pada periode yang sama. Hal ini menjadikan Indonesia menjadi salah satu negara eksportir babi, dimana pada bulan Juli 2016, babi yang diekspor ke Singapura senilai US\$ 4,58 juta atau Rp. 59,54 miliar (US\$ 1 = 13.000) (Diarmita 2017).

Daging yang berasal dari ternak ruminansia, kecuali untuk daging kerbau, sebagian besar mengalami pertumbuhan positif, meskipun tidak sebesar pada daging unggas. Terjadi fluktuasi pertumbuhan produksi daging sapi dan domba dalam periode lima tahunan tersebut, dimana mengalami penurunan pada periode ketiga dalam kurun waktu lima tahunan dan meningkat kembali di periode keempat. Hal tersebut untuk daging kambing mengalami peningkatan produksi yang relatif konsisten, meskipun dalam jumlah yang relatif kecil. Tentunya hal ini juga disebabkan oleh dinamika perkembangan populasi komoditas tersebut dalam satuan waktu tertentu. Tidak dapat dipungkiri juga bahwa kasus terjadinya wabah penyakit mempengaruhi terhadap kinerja populasi ternak, sebagaimana halnya kejadian penyakit flu burung pada ternak unggas pada periode lima tahunan tersebut.

Komoditas daging sapi cukup memberikan perhatian serius bagi pemerintah, karena program swasembada daging yang dicanangkan dalam periode

Tabel 1. Produksi dan laju pertumbuhan sumber protein asal ternak di Indonesia tahun 1994-2015

Sumber protein asal ternak	Rata-rata produksi (ton)				Laju pertumbuhan (%/tahun)
	1994-1998	1999-2003	2004-2008	2009-2015	
Daging ayam kampung	287.827	296.421	301.487	284.170	0,14
Daging ayam ras petelur	34.167	48.376	53.327	72.935	4,88
Daging ayam ras pedaging	490.329	846.097	889.597	1.388.306	6,67
Daging itik	19.492	22.211	28.635	30.031	3,29
Daging sapi	337.243	447.573	386.822	480.736	2,41
Daging kerbau	47.242	40.237	40.593	35.381	-1,77
Daging kambing	55.285	57.132	60.079	67.229	1,44
Daging domba	38.953	66.057	58.488	45.200	0,67
Daging babi	164.003	194.683	200.007	254.616	3,25
Telur ayam kampung	124.464	172.147	187.724	182.019	2,19
Telur ayam ras petelur	426.025	762.042	832.031	1.110.378	5,98
Telur itik	148.828	173.222	194.067	260.065	3,75
Susu	420.034	549.945	583.418	874.106	4,29

Sumber: BPS (2015c); Ditjen PKH (2015) diolah

lima tahunan tersebut masih saja belum terwujud. Upaya pencapaian swasembada daging yang dilakukan pemerintah mengalami dinamika perkembangan dan secara umum telah terjadi perbaikan dari sisi konsep, instrumen kebijakan maupun tata kelola program atau manajemen (Ariningsih 2014). Besarnya permintaan daging sapi masih diimbangi dengan pasokan sapi/daging sapi impor. Gapuspindo (2017) menyatakan bahwa produksi daging sapi nasional turun sebesar 0,07%, dari 651.424 ton tahun 2016 menjadi 604.996 ton pada tahun 2017. Periode yang sama, impor sapi bakalan dan daging sapi meningkat masing-masing sebesar 0,24 dan 0,16%.

Hal ini menunjukkan bahwa kontribusi produksi daging sapi di dalam negeri mengalami penurunan, sebaliknya untuk memenuhi kebutuhan nasional hal ini dipenuhi komponen impor. Menurut Fatmawati et al. (2016) permintaan daging sapi dipengaruhi secara nyata oleh konsumsi daging sapi dan pendapatan masyarakat. Namun, kebijakan impor ini sebetulnya dapat disubstitusi secara bertahap dengan pengembangan sapi dalam negeri pada lahan-lahan non-padat penduduk yang memiliki biomassa pakan yang mencukupi dengan dukungan tiga dimensi utama agribisnis yaitu kebijakan pasar input, budidaya dan pemasaran yang melibatkan pemerintah, swasta dan peternak (Mayulu et al. 2010). Daging sapi merupakan komoditas yang termasuk dalam golongan *high income elastic* dimana peningkatannya hanya bersifat responsif pada yang berpenghasilan tinggi (Ilham 2001). Lebih lanjut, menurut Soedjana (2013) partisipasi konsumsi daging sapi hanya sebesar 16,16%. Fokus peningkatan produksi sebaiknya tidak hanya ditekankan pada peningkatan produksi daging sapi melainkan juga harus memperhatikan ketersediaan sumber protein asal ternak lainnya.

Peningkatan produksi daging ini tidak terlepas dari peningkatan populasi komoditas tersebut di dalam negeri. Sebagai contoh, kenaikan produksi daging unggas memiliki korelasi positif dari peningkatan populasi ayam ras pedaging, ayam ras petelur dan ayam kampung masing-masing sebesar 4,94; 5,67 dan 0,38%/tahun dalam periode yang sama tahun 1994-2015.

Pemenuhan protein asal ternak dapat dipenuhi dari produk selain daging, yaitu telur dan susu. Telur merupakan salah satu produk ternak yang memiliki nilai nutrisi yang baik, mudah diperoleh dan harganya relatif murah (Nurmanaf 2003). Produksi telur secara nasional pada tahun 1994-2015 terdiri dari 67,71% telur ayam ras, 17,48% telur itik dan 14,81% telur ayam kampung dengan laju pertumbuhan produksi telur ayam ras sebesar 5,98%/tahun, telur itik sebesar 3,75%/tahun dan telur ayam buras sebesar 2,19%/tahun. Produksi telur unggas selama empat periode dalam kurun waktu lima tahunan menunjukkan

peningkatan secara konsisten dengan signifikan. Hal ini seiring juga dengan peningkatan populasi ternak unggas yang sangat signifikan pertumbuhannya selama periode tersebut. Menurut Junaedi (2012) tingkat konsumsi berbagai jenis telur secara nyata dipengaruhi oleh tingkat pendapatan, harga, ukuran rumah tangga dan tingkat pendidikan keluarga.

Produksi susu dari tahun 1994-2015 memiliki nilai pertumbuhan positif mencapai 4,30%/tahun. Namun, pertumbuhan tersebut belum mampu mengimbangi kebutuhan susu segar untuk Industri Pengolahan Susu (IPS) dan konsumsi, sehingga masih diperlukan impor susu. Menurut Dewayani & Kesumajaya (2015) impor susu/produk susu di Indonesia tahun 1991-2012 secara signifikan dipengaruhi oleh nilai tukar rupiah terhadap dolar Amerika, konsumsi susu per kapita dan produksi susu dalam negeri. Produksi susu di Indonesia 90% dihasilkan dari peternakan rakyat skala pemeliharaan 2-3 ekor induk/KK dengan rata-rata produksi sebesar 8-12 l/hari (Sanny 2011). Upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan produksi dan kualitas susu yaitu dengan memperhatikan potensi sumber daya lokal pakan serta sumberdaya manusia, teknologi dan kelembagaan (Mukson et al. 2014).

Saat ini, kebutuhan susu nasional mencapai 3,7 juta ton setara susu segar dengan rata-rata pertumbuhan sebesar 5%/tahun (Tiesnamurti et al. 2017). Pasokan di dalam negeri hanya sekitar 0,85 ribu ton atau sekitar 23% yang dapat memenuhi konsumsi nasional. Sejumlah 2,85 juta ton setara dengan 77% harus dilakukan impor bahan baku susu oleh IPS dan importir susu dalam bentuk *skim milk powder*, *whole milk powder*, *anhydrous milk fat* dan *butter milk powder*. Ketergantungan yang semakin besar pada susu impor dan dinamika ketersediaan susu di pasar global, sangat mempengaruhi kemampuan pemenuhan kebutuhan susu di Indonesia. Fluktuasi produksi susu, adanya wabah penyakit hewan dan perubahan iklim di berbagai negara produsen susu, membawa konsekuensi akan ketersediaan susu di pasar global. Guna mengurangi ketergantungan impor tersebut, diperlukan langkah atau upaya percepatan peningkatan produksi susu segar dalam negeri.

PERKEMBANGAN *SHARE* PRODUKSI SUMBER PROTEIN ASAL TERNAK

Secara global dapat dipahami bahwa *share* produksi daging didominasi oleh daging unggas. Pada tahun 1990 *share* daging unggas dalam memenuhi kebutuhan daging nasional di Indonesia mampu melampaui peran daging sapi, sedangkan hal tersebut di tingkat dunia terjadi pada sekitar tahun 2000an (Ilham 2009). Hal ini ditunjukkan dengan *share* produksi daging ayam ras pedaging yang mengalami peningkatan signifikan pada kurun waktu 10 tahun

terakhir, yaitu meningkat sebesar 7,44% pada tahun 2004-2008 dan mencapai 8,16% pada tahun 2009-2015. Secara umum, *share* produksi daging unggas mengalami pertumbuhan sebesar 1,11%/tahun dalam periode 1994-2015.

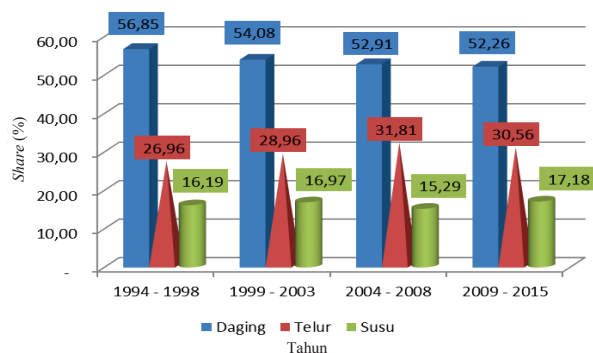
Sementara itu, di sisi lain rata-rata *share* produksi daging sapi tahun 2004-2008 mengalami penurunan sebesar 2,37% dari rata-rata *share* sebelumnya. Bahkan pada tahun 2009-2015 *share* produksi daging sapi juga kembali mengalami penurunan sebesar 1,08%. Salah satu upaya untuk mewujudkan akselerasi peningkatan produksi daging dapat dilakukan melalui penetapan kawasan perbibitan sapi nasional yang didukung dengan penguatan kelembagaan (Matondang & Rusdiana 2013). Disamping itu, dalam mengakselerasi ketersediaan daging juga perlu terus mengupayakan peningkatan populasi sapi potong, peningkatan produksi daging selain sapi, pengendalian jumlah penduduk, pengeluaran ternak hidup ke daerah lain dan pemantauan pemotongan ternak di rumah potong hewan (Mukson et al. 2014).

Berdasarkan pola ketersediaan protein asal ternak, telah terjadi dinamika perkembangan *share* ketersediaan daging pada periode tahun 1994-2015, salah satunya terkait *share* produksi daging ayam ras dan daging sapi. Dengan adanya peningkatan produksi daging ayam ras, secara signifikan menyebabkan semakin meningkatnya *share* produksi daging ayam ras terhadap total produksi daging nasional. Di sisi lain, meskipun laju produksi daging sapi mengalami peningkatan positif, namun peningkatan laju produksi daging ayam ras masih 2,77 kali lebih tinggi dari laju produksi daging sapi (6,67 vs 2,41%/tahun). Hal ini berdampak pada terjadinya penurunan *share* produksi daging sapi dan terjadinya peningkatan *share* produksi daging ayam ras. Berdasarkan periode pembangunan lima tahunan, rata-rata *share* produksi daging dapat dilihat pada Tabel 2.

Rata-rata *share* produksi daging tahun 2009-2015 didominasi oleh daging unggas sebesar 66,73%, diikuti

oleh daging ruminasia besar (19,40%), ruminasia kecil (4,23%) dan sebesar 9,64% dari sumber daging lain. Hal ini menunjukkan bahwa *share* produksi daging mengikuti dinamika permintaan dan pola konsumsi masyarakat. Menurut Soedjana (2013) partisipasi konsumsi daging sapi/kerbau pada tahun 2011 sebesar 16,16% sedangkan partisipasi konsumsi daging unggas pada tahun 2011 sebesar 56,98%.

Sumber protein asal ternak berdasarkan jumlah produksinya secara nasional didominasi oleh produksi daging. Rata-rata *share* produksi daging tahun 2009-2015 sebesar 52,26%, sedangkan untuk *share* produksi telur sebesar 30,56% dan *share* produksi susu sebesar 17,18%. Dalam kurun waktu 1994-2015, *share* produksi susu meningkat dengan signifikan dari 16,19% pada tahun 1994-1998 menjadi 17,18% pada 2009-2015. Hal serupa terjadi pada *share* produksi telur yang sebelumnya sebesar 26,96% menjadi 30,56%. Perkembangan *share* produksi sumber protein asal ternak tahun 1994-2015 secara rinci disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Perkembangan *share* produksi sumber protein asal ternak tahun 1994-2015

Sumber: BPS (2015c); Ditjen PKH (2015) diolah

Gambar 2 menunjukkan bahwa rata-rata *share* produksi daging mengalami penurunan, namun *share* produksi telur dan susu justru meningkat. Hal ini

Tabel 2. Perkembangan *share* produksi daging tahun 1994-2015

Sumber protein asal ternak (<i>share</i> (%))	Tahun				Laju pertumbuhan <i>share</i> (%/tahun)
	1994-1998	1999-2003	2004-2008	2009-2015	
Daging ayam buras	19,52	18,03	14,93	10,69	-3,66
Daging ayam ras petelur	2,32	2,92	2,64	2,74	0,97
Daging ayam ras pedaging	33,25	36,62	44,06	52,22	2,92
Daging itik	1,33	1,22	1,41	1,13	-0,56
Daging sapi	22,87	21,53	19,16	18,08	-1,62
Daging kerbau	3,20	2,81	2,01	1,33	-5,37
Daging kambing	3,75	3,33	2,98	2,53	-2,36
Daging domba	2,64	3,32	2,90	1,70	-2,57
Daging babi	11,12	10,22	9,91	9,58	-0,89

Sumber: BPS (2015c); Ditjen PKH (2015) diolah

menunjukkan bahwa adanya diversifikasi partisipasi konsumsi masyarakat terhadap sumber protein asal ternak diduga mengakibatkan terjadinya dinamika *share* produksi daging, telur dan susu pada kurun waktu 1994-1998, 1999-2003, 2004-2008 dan 2009-2015. Dinamika perkembangan *share* produksi daging asal ternak ini juga selaras dengan kenyataan yang menunjukkan bahwa partisipasi konsumsi masyarakat terhadap komoditas daging sapi dan kerbau secara konsisten mengalami penurunan. Susenas (berbagai edisi) menyatakan bahwa selama periode 2002-2014, partisipasi konsumsi masyarakat terhadap daging sapi dan kerbau bagi rumah tangga berpendapatan rendah, sedang dan tinggi baik di perkotaan maupun perdesaan menurun dari 26,15% pada tahun 2002 menjadi 15,25% pada tahun 2014. Sebaliknya, hal tersebut pada komoditas unggas justru mengalami peningkatan dari 57,67 menjadi 65,46%. Semakin tinggi partisipasi konsumsi ini menunjukkan semakin besarnya masyarakat dapat mengakses produk tersebut dalam memenuhi kebutuhannya. Hal ini menunjukkan bahwa komoditas daging unggas dapat lebih banyak diakses oleh masyarakat dengan indikator *share* produksinya yang relatif lebih besar. Soedjana (2013) lebih lanjut menyatakan bahwa perlunya untuk lebih mendorong peningkatan produktivitas komoditas peternakan yang dapat lebih dijangkau oleh masyarakat dalam memenuhi kebutuhan protein asal ternak, utamanya untuk komoditas-komoditas yang tidak *high income elastic*, seperti daging unggas dan daging domba/kambing.

Instrumen terkait diversifikasi pangan telah ditetapkan melalui Peraturan Pemerintah Nomor 17 Tahun 2015 tentang Ketahanan Pangan dan Gizi; dan Permentan Nomor 15/Permentan/OT.140/2/2013 tentang Program Peningkatan Diversifikasi dan Ketahanan Pangan Masyarakat. Sebelumnya, Pemerintah telah menerapkan instrumen untuk tercapainya diversifikasi pangan melalui Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2009 dan Permentan No. 43 Tahun 2009 mengenai kebijakan percepatan penganeekaragaman konsumsi pangan berbasis sumber daya lokal (Ariani 2010).

Perkembangan *share* produksi dari sumber protein asal ternak akan berubah menyesuaikan dengan besarnya permintaan masyarakat untuk konsumsi daging, telur dan susu beserta produk olahannya. Permintaan masyarakat yang meningkat ini salah satunya merupakan dampak dari peningkatan kesadaran masyarakat untuk mengkonsumsi protein hewani (Jiuhardi 2016). Tingginya permintaan sumber protein hewani tersebut akan diikuti dengan upaya peningkatan produksi, sehingga akan berdampak pada perkembangan *share* produksi protein asal ternak. Adanya dinamika ini perlu diikuti dengan kebijakan yang mendukung pada program pembangunan terkait

dengan penganeekaragaman peningkatan produksi sumber protein asal ternak.

IMPLIKASI KEBIJAKAN DAN PROGRAM PENGEMBANGAN PETERNAKAN

Ketersediaan sumber protein asal ternak didominasi dari produksi daging, dimana pada satu dekade terakhir lebih dari 50% *share* produksi daging berasal dari ayam ras pedaging. *Share* produksi daging sapi pada kurun waktu yang sama tidak lebih dari 18% terhadap total produksi daging nasional. Kondisi ini memberikan pilihan yang lebih beragam bagi masyarakat untuk memilih sumber protein asal ternak. Oleh karena itu, dalam upaya meningkatkan asupan protein asal ternak bagi penduduk Indonesia terutama yang berada di pedesaan, harus dikembangkan ternak selain sapi potong yang dapat memacu ketersediaan produk asal ternak. Program pembangunan peternakan nasional harus berpihak kepada masyarakat untuk memenuhi kebutuhan protein asal ternak. Dengan demikian, pemenuhan protein asal ternak tidak harus berasal dari daging sapi melainkan dapat dari daging ayam, daging kambing/domba, telur dan susu.

Keseimbangan pangsa komoditas daging perlu dijaga untuk mempertahankan diversifikasi pangan daging asal ternak. Seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan masih tingginya jumlah rumah tangga berpendapatan rendah, maka perluasan partisipasi konsumsi daging unggas dapat membantu peningkatan konsumsi gizi masyarakat. Hal ini dapat dilakukan melalui kebijakan diferensiasi harga untuk daerah perkotaan dan perdesaan karena memiliki elastisitas permintaan yang berbeda.

Berdasarkan pola pangan harapan nasional, kelompok pangan hewani diharapkan dapat berkontribusi secara signifikan terhadap angka kecukupan energi per kapita per hari melalui promosi penganeekaragaman pangan dengan pilihan produk asal ternak yang terjangkau (Bahri et al. 2013). Kondisi terdiversifikasinya sumber protein asal ternak erat kaitannya dengan daya beli dan aksesibilitas masyarakat untuk mengkonsumsi daging. Selain itu, diversifikasi juga akan sangat dipengaruhi oleh pengetahuan, ketersediaan, dukungan kebijakan dan faktor sosial budaya/tradisi (Soedjana 2012). Lebih lanjut, Soedjana (2013) menyatakan bahwa ketahanan pangan daging memiliki karakteristik aksesibilitas, ketersediaan, keterjangkauan dan distribusi melalui pelestarian keseimbangan pangsa konsumsi jenis-jenis daging.

Peran pangan asal ternak non-sapi potong mempunyai kontribusi sangat besar dalam memenuhi kebutuhan protein hewani terutama berasal dari unggas (ayam ras pedaging maupun petelur). Pengalihan konsumen pangan asal ternak lainnya terutama daging

ayam ras akan mengganggu proses diversifikasi pangan asal ternak yang sudah berjalan. Kondisi ini dapat menyebabkan terjadinya de-industrialisasi ayam ras yang selama ini (lebih dari 30 tahun) memberikan kontribusi sangat nyata dalam meningkatkan konsumsi protein hewani di Indonesia. Indonesia sebagai negara kepulauan dengan beragam budaya, tradisi, kebiasaan dan perbedaan status ekonomi, serta pendapatan mengakibatkan terjadinya perbedaan preferensi dan pilihan atas macam pangan serta bahan baku pangan termasuk pangan asal ternak untuk dijadikan sumber protein hewannya sesuai kemampuan, kesempatan, ketersediaan dan keterjangkauannya. Kementerian Pertanian agar memfasilitasi berkembangnya berbagai sumber komoditas pangan dan bahan pangan asal ternak yang dapat dikembangkan oleh masyarakat. Hal ini semakin memperkuat pendapat bahwa program nasional swasembada daging sapi sudah tidak relevan lagi dipertahankan, tetapi yang lebih penting adalah program untuk meningkatkan pangan asal ternak (sebagai sumber protein hewani) yang berasal dari berbagai komoditas ternak potensial yang ada di Indonesia.

Berdasarkan hasil telaahan, terdapat beberapa program pengembangan dan opsi kebijakan yang diusulkan untuk mendorong peningkatan produksi komoditas ternak potensial yang ada di Indonesia. Rekomendasi kebijakan yang dapat diterapkan untuk mendukung perunggasan dapat dilakukan melalui: (1) Percepatan pembangunan infrastruktur dan pengawasan pada pola produksi serta distribusi produk perunggasan; (2) Menciptakan iklim usaha yang mendukung industri perunggasan, salah satunya melalui pembebasan PPN dan harmonisasi bea masuk; (3) Mendorong investasi penanaman modal asing dan penanaman modal dalam negeri untuk pembangunan industri hilir perunggasan; (4) Pengaturan regulasi pemerintah terkait pengendalian produksi dan stabilitas harga yang menguntungkan peternak dan terjangkau oleh konsumen; dan (5) Mendorong kegiatan penelitian dan pengembangan untuk menghasilkan inovasi yang mendukung industri perunggasan (Priyanti et al. 2015). Rekomendasi kebijakan sektor perunggasan yang dilakukan secara simultan dengan peningkatan daya saing akan mampu mendukung upaya pencapaian ketahanan pangan, kesejahteraan masyarakat dan peningkatan perekonomian nasional (Diwyanto et al. 2005). Dewasa ini, pengembangan usaha unggas lokal memiliki pasar tersendiri dengan peluang pasar yang cukup besar seiring maraknya wisata kuliner berbasis unggas lokal.

Unggas lokal memiliki prospek yang baik serta memberikan kontribusi yang signifikan terhadap penyediaan daging. Pengembangan dan pemberdayaan unggas lokal ini dapat menjadi salah satu alternatif untuk meningkatkan produksi daging asal ternak unggas. Unggas lokal didominasi oleh ayam kampung

dimana jenis unggas lokal ini cukup diapresiasi oleh masyarakat, namun hal ini masih perlu disosialisasikan pada masyarakat luas. Ayam lokal mempunyai potensi besar untuk dikembangkan menjadi industri perunggasan rakyat (Iskandar 2006), disamping itu ayam lokal juga memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap penyakit *Avian Influenza* (AI) dibandingkan dengan ayam ras (Nataamijaya 2010). Priyanti et al. (2016) menyatakan bahwa beberapa rekomendasi kebijakan untuk meningkatkan posisi tawar unggas lokal yaitu: (1) Pengawasan mutu bibit *parent stock* dan *final stock*; (2) Rekayasa kelembagaan usaha dengan membentuk koperasi atau kelompok usaha terintegrasi; (3) Pelatihan manajemen atau pengelolaan usaha yang berbasis *good management practices*; (4) Prakarsa peningkatan daya saing komoditas dengan segmen pasar khusus, misalnya ayam Kampung Unggul Balitbangtan (KUB) di NTB dengan segmen pasar ayam Taliwang; dan (5) Pembenahan struktur pasar, perilaku pasar dan kinerja pasar supaya unggas lokal tetap atraktif dan memberikan kesejahteraan bagi peternak dan pelaku usaha lainnya.

Sementara itu, ternak kambing dan domba dapat menjadi alternatif lain bagi masyarakat untuk dikonsumsi selain daging sapi. Agar dapat berkembang dengan baik, pengembangan komoditas potensial kambing dan domba dapat merujuk pada opsi alternatif kebijakan sebagai berikut: (1) Mendorong terbangunnya usaha pembibitan kambing dan domba melalui bantuan dan insentif berbasis pendekatan kawasan; (2) Merumuskan regulasi aspek perijinan impor bibit unggul dan pengawalan secara intensif; (3) Melakukan inventarisasi wilayah potensial untuk pengembangan kambing dan domba berbasis sumber daya lokal; (4) Membentuk kelembagaan unit perbanyakan bibit kambing dan domba untuk memenuhi permintaan peternak pengembang; dan (5) Membentuk industri peternakan sesuai dengan target pasar, misalnya untuk kebutuhan qurban dan aqiqah (Inounu et al. 2015). Kemudahan peternak untuk mengakses pasar akan membantu membangun industri ternak kambing dan domba yang lebih menguntungkan, produktif, serta efisien (Soedjana 2005).

Susu segar beserta produk olahannya merupakan sumber protein asal ternak yang produksinya meningkat cukup tinggi pada kurun waktu 1994-2015. Namun, produksi susu dalam negeri masih harus ditingkatkan karena kebutuhan konsumsi dalam negeri baru terpenuhi sebanyak 22%. Beberapa rekomendasi kebijakan yang dapat diterapkan untuk meningkatkan produksi susu segar, yaitu: (1) Ekstensifikasi pengembangan usaha sapi perah di luar Jawa; (2) Pengembangan sapi di luar Jawa secara *integrated system* dari hulu ke hilir untuk efisiensi biaya produksi; (3) Mendorong IPS untuk membangun pabrik susu di lokasi sentra pengembangan sapi dan kambing perah;

- (4) Memberikan insentif jaminan pasar melalui program dan promosi peningkatan konsumsi susu; dan
- (5) Melakukan harmonisasi tarif bea masuk bahan baku susu dan tarif bea masuk produk susu olahan (Bahri et al. 2015).

Dalam rangka mengakselerasi pemenuhan kebutuhan protein hewani, mewujudkan kemandirian pangan, peningkatan kesejahteraan masyarakat dan peningkatan produksi susu nasional, pemerintah telah mengeluarkan Peraturan Menteri Pertanian Nomor: 26/Permentan/PK.450/7/2017 tentang Penyediaan dan Peredaran Susu (Kementerian Pertanian 2017a). Dijelaskan bahwa peredaran susu dapat dilakukan oleh peternak kepada koperasi, peternak kepada pelaku usaha dan koperasi kepada pelaku usaha. Pelaku usaha wajib melakukan kemitraan dengan peternak, gabungan peternak dan/atau koperasi melalui pemanfaatan susu segar dalam negeri dan promosi. Lebih lanjut, Peraturan Menteri Pertanian Nomor: 13/Permentan/PK.240/5/2017 tentang Kemitraan Usaha Peternakan mengatur bahwa kemitraan usaha peternakan dapat dilakukan melalui pola inti-plasma, bagi-hasil, sewa, perdagangan umum dan/atau subkontrak (Kementerian Pertanian 2017b). Kemitraan melalui pemanfaatan susu segar dalam negeri wajib dilakukan bagi pelaku usaha yang memproduksi susu olahan. Selain kemitraan melalui pemanfaatan susu segar dalam negeri dan promosi, maka dapat dilakukan kemitraan berupa: (1) Penyediaan sarana produksi; (2) Produksi; dan (3) Permodalan, dimana kemitraan produksi dapat dilakukan melalui penambahan populasi ternak perah pada peternak, gabungan peternak dan/atau koperasi, fasilitas pembesaran pedet (*rearing*), serta peningkatan keterampilan dan kompetensi peternak, gabungan peternak dan/atau koperasi.

KESIMPULAN

Pertumbuhan produksi sumber protein asal ternak (daging, telur dan susu) tahun 1994-2015 sebagian besar mengalami pertumbuhan yang positif. Ketersediaan sumber protein asal ternak didominasi oleh produksi daging ayam ras pedaging, kemudian daging sapi, daging ruminansia kecil dan sumber daging lain. Sumber protein asal ternak selain daging didominasi oleh telur ayam ras dan susu. *Share* ketersediaan produksi daging sapi kurang dari 25% dan angka partisipasi konsumsi daging sapi yang terus menurun menunjukkan bahwa daging sapi bukan merupakan pilihan konsumsi utama bagi sebagian besar masyarakat Indonesia. Beberapa program pengembangan perlu diakselerasi untuk mendorong peningkatan ketersediaan sumber protein asal ternak potensial lain dari ternak unggas, ruminansia kecil dan susu.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiyati A. 2011. Penawaran daging sapi di Indonesia (analisis proyeksi swasembada daging sapi 2014) [Thesis]. [Depok (Indonesia)]: Universitas Indonesia.
- Ariani M. 2010. Analisis konsumsi pangan tingkat masyarakat mendukung pencapaian diversifikasi pangan. *Gizi Indonesia*. 33:20-28.
- Ariningsih E. 2014. Kinerja kebijakan swasembada daging sapi nasional. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*. 32:137-156.
- Bahri S, Inounu I, Soedjana TD, Haryanto B, Priyanti A, Tiesnamurti B. 2013. Diversifikasi produk ternak untuk mencukupi kebutuhan protein asal ternak di Indonesia. Jakarta (Indonesia): IAARD Press.
- Bahri S, Inounu I, Soedjana TD, Priyanti A, Shiddieqy MI, Tiesnamurti B. 2015. Pengembangan sapi perah di luar Jawa mendukung peningkatan produksi dan konsumsi susu segar. Bogor (Indonesia): Puslitbangnak.
- BKP. 2015. Data statistik ketahanan pangan tahun 2014. Jakarta (Indonesia): Badan Ketahanan Pangan.
- BKP. 2016. Laporan tahunan Badan Ketahanan Pangan tahun 2016. Jakarta (Indonesia): Badan Ketahanan Pangan.
- BPS. 2015a. Indeks pembangunan manusia 2014 metode baru. Jakarta (Indonesia): Badan Pusat Statistik.
- BPS. 2015b. Ringkasan eksekutif pengeluaran dan konsumsi penduduk Indonesia. Jakarta (Indonesia): Badan Pusat Statistik.
- BPS. 2015c. Statistik Indonesia 2014. Jakarta (Indonesia): Badan Pusat Statistik.
- BPS. 2016. Statistik Indonesia 2015. Jakarta (Indonesia): Badan Pusat Statistik.
- Dawami A. 2015. Ancaman masuknya produk ayam terhadap daya saing usaha peternakan rakyat. Dalam: *Round Table Meet Menyikapi Kerjasama Industri Pengolahan Ayam Berbahan Baku Impor*. Jakarta, 15 April 2015. Bogor (Indonesia): Puslitbangnak.
- Dewayani M, Kesumajaya WW. 2015. Pengaruh kurs dollar Amerika, konsumsi, dan produksi terhadap impor produk olahan susu Indonesia. *J Ekonomi Pembangunan Unud*. 4:96-104.
- Diarmita K. 2017. Regulasi pendukung daya saing industri peternakan domestik. Dalam: *Masa Depan Peternakan Domestik di Era Milenial*. Seminar ISPI: Outlook Industri Peternakan 2018. Tangerang, 7 Desember 2017. Tangerang (Indonesia): ISPI.
- Ditjen PKH. 2015. Statistik peternakan 2015. Jakarta (Indonesia): Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan.
- Diwyanto K, Priyanti A, Inounu I. 2005. Prospek dan arah pengembangan komoditas peternakan: Unggas, sapi dan kambing-domba. *Wartazoa*. 15:11-25.
- Fatmawati, Rostin, Baso JN. 2016. Faktor-faktor yang mempengaruhi permintaan daging sapi di Indonesia. *J Ekonomi*. 1:128-134.

- Gapuspindo. 2017. Daya saing penambahan populasi sapi indukan melalui pencegahan pemotongan sapi betina produktif. Dalam: FGD Pengendalian Sapi Betina Produktif Mendukung Program UPSUS SIWAB. Bogor, 28 Desember 2017. Bogor (Indonesia): Puslitbangnak.
- Harmini RW, Asmarantaka, Atmakusuma J. 2011. Model dinamis sistem ketersediaan daging sapi nasional. *J Ekonomi Pembangunan*. 12:128-146.
- Ilham N. 2001. Analisis penawaran dan permintaan daging sapi di Indonesia. Dalam: Haryanto B, Setiadi B, Sinurat AP, Mathius IW, Situmorang P, Nurhayati, Ashari, Abubakar, Murdiati TB, Hastiono S, Hardjoutomo S, Adjid RMA, Priadi A, penyunting. *Teknologi Peternakan dan Veteriner dalam Pengembangan Sistem Agribisnis Peternakan yang Berdaya Saing. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner*. Bogor, 17-18 September 2001. Bogor (Indonesia): Puslitbangnak. hlm. 385-403.
- Ilham N. 2009. Kelangkaan produksi daging: Indikasi dan implikasi kebijakannya. *Analisis Kebijakan Pertanian*. 7:43-63.
- Inounu I, Priyanti A, Bahri S, Soedjana TD, Handiwirawan E, Shiddieqy MI. 2015. Dukungan kebijakan dalam meningkatkan produksi dan konsumsi daging kambing-domba. Bogor (Indonesia): Puslitbangnak.
- Iskandar S. 2006. Strategi pengembangan ayam lokal. *Wartazoa*. 16:190-197.
- Jiuhardi. 2016. Kajian Tentang impor daging sapi di Indonesia. *Forum Ekonomi*. 17:75-91.
- Junaedi. 2012. Dinamika pola konsumsi telur di Indonesia. *J Analisa Kebijakan*. 10:13-25.
- Kementerian Perdagangan. 2013. Analisis dinamika konsumsi pangan masyarakat Indonesia. Jakarta (Indonesia): Badan Pengkajian dan Pengembangan Kebijakan Perdagangan. Kementerian Perdagangan.
- Kementerian Pertanian. 2017a. Peraturan Menteri Pertanian Nomor: 26/Permentan/PK.450/7/2017 tentang Penyediaan dan Peredaran Susu. Jakarta (Indonesia): Kementerian Pertanian.
- Kementerian Pertanian. 2017b. Peraturan Menteri Pertanian Nomor: 13/Permentan/PK.240/5/2017 tentang Kemitraan Usaha Peternakan. Jakarta (Indonesia): Kementerian Pertanian.
- Matondang RH, Rusdiana S. 2013. Langkah-langkah strategis dalam mencapai swasembada daging sapi/kerbau 2014. *J Litbang Pertanian*. 32:131-139.
- Mayulu H, Sunarso, Sutrisno CI, Sumarsono. 2010. Kebijakan pengembangan peternakan sapi potong di Indonesia. *J Litbang Pertanian*. 29:34-41.
- Mukson, Roessali W, Setiyawan H. 2014. Analisis wilayah pengembangan sapi potong dalam mendukung swasembada daging di Jawa Tengah. *J Peternakan Indonesia*. 16:26-32.
- Nataamijaya AG. 2010. Pengembangan potensi ayam lokal untuk menunjang peningkatan kesejahteraan petani. *J Litbang Pertanian*. 29:131-138.
- Nurmanaf AR. 2003. Tingkat konsumsi telur dan variasi keseimbangan produksi-konsumsi antar provinsi di Indonesia. *Wartazoa*. 13:152-159.
- Priyanti A, Sartika T, Priyono, Juliyanto TB, Soedjana TD, Bahri S, Tiesnamurti B. 2016. Kajian ekonomik dan pengembangan inovasi Ayam Kampung Unggul Balitbangtan (KUB). Bogor (Indonesia): Puslitbangnak.
- Priyanti A, Soedjana TD, Handiwirawan E, Diwyanto K, Priyono, Tiesnamurti B. 2015. Menyikapi kerjasama industri pengolahan ayam berbahan baku impor. Bogor (Indonesia): Puslitbangnak.
- Sanny L. 2011. Analisis Industri pengolahan susu di Indonesia. *Binus Bus Rev*. 2:81-87.
- Satriani TA. 2017. Diversifikasi pangan asal ternak mendukung keamanan pangan nasional. 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.
- Soedjana TD. 2005. Accessibility to small ruminants input and output markets in Indonesia. *J Litbang Pertanian*. 24:137-142.
- Soedjana TD. 2011. Prevalensi usaha ternak tradisional dalam perspektif pembangunan peternakan menghadapi pasar global. *Pengembangan Inovasi Pertanian*. 4:156-173.
- Soedjana TD. 2012. Peningkatan konsumsi daging ruminansia kecil dalam rangka diversifikasi pangan daging mendukung PSDSK 2014. Dalam: *Prosiding Workshop Nasional Diversifikasi Pangan Daging Ruminansia Kecil*. Jakarta, 15 Oktober 2011. Bogor (Indonesia): Puslitbangnak. hlm. 17-26.
- Soedjana TD. 2013. Partisipasi konsumsi sebagai alat ukur status ketahanan pangan daging. *Wartazoa*. 23:166-175.
- Tiesnamurti B, Bahri S, Saptati RA, Priyono, Magrianti T, Priyanti A. 2017. Strategi percepatan produksi susu segar dalam negeri. Bogor (Indonesia): Puslitbangnak.
- UNDP. 2015. Human development report 2015. New York (US): United Nations Development Programme.
- Yusdja Y, Sayuti R, Wahyuning S, Sejati WK, Sodikin I, Ilham N, Sinuraya YF. 2007. Pembangunan peternakan: Pencapaian dan prospek. Dalam: *Prosiding Kinerja dan Prospek Pembangunan Pertanian Indonesia*. Jakarta, 20 Desember 2006. Bogor (Indonesia): PSEKP. hlm. 44-65.
- Zulkarnain AM. 2017. Prospek pengembangan unggas lokal di era milenial. In: *Masa Depan Peternak Domestik di Era Milenial*. ISPI Outlook Ind Peternak 2018. Tangerang, 7 Desember 2017. Tangerang (Indonesia): ISPI.

Pemanfaatan Bakteriofaga untuk Deteksi dan Biokontrol *Foodborne Pathogen*

(The Use of Bacteriophage for Detection and Biocontrol of Foodborne Pathogen)

Tati Ariyanti

Balai Besar Penelitian Veteriner, Jl. RE Martadinata No. 30, Bogor 16114
tatiariyanti@gmail.com

(Diterima 20 Februari 2018 – Direvisi 27 Februari 2018 – Disetujui 3 Maret 2018)

ABSTRACT

Bacteriophages are viruses that have ability to attack bacterial cells in specific receptors, infect, multiply in bacterial cells and eventually lyse bacterial cells. This unique bacteriophage character is highly beneficial because it is harmless to mammalian cells and does not interfere with natural microbes. Bacteriophages are easy to obtain because they are widespread in the environment such as soil, water, animal, and farm waste or food. This paper describes the potential use of bacteriophages to detect pathogen and foodborne pathogen biocontrol. Bacteriophages are very potential to control the growth of pathogenic bacteria both in food industry and environment. Bacteriophages act as antibiotics, detection tool for pathogenic bacteria in the food chain, food biopreservative from pathogen bacteria contamination, and foodborne disease prevention. Although research on bacteriophage in Indonesia has not been widely reported, research on bacteriophage utilization is being carried on.

Key words: Bacteriophage, foodborne disease, antibiotics, pathogen bacteria

ABSTRAK

Bakteriofaga merupakan virus yang mempunyai kemampuan menyerang sel bakteri pada reseptor yang spesifik, menginfeksi, bermultiplikasi dalam sel bakteri dan akhirnya melisis sel bakteri. Sifat bakteriofaga yang unik ini, sangat menguntungkan karena tidak berbahaya pada sel mamalia dan tidak mengganggu mikroba alamiah. Bakteriofaga mudah diperoleh di lingkungan seperti tanah, air, limbah peternakan dan makanan. Makalah ini menguraikan pemanfaatan bakteriofaga yang potensial untuk mendeteksi bakteri patogen dan sebagai biokontrol *foodborne pathogen*. Bakteriofaga sangat potensial untuk mengendalikan pertumbuhan bakteri patogen baik di bidang industri makanan dan lingkungan. Bakteriofaga juga dapat berperan sebagai antibiotika, alat deteksi bakteri patogen pada rantai makanan dan biopreservasi makanan agar bebas dari kontaminasi bakteri patogen. Pemanfaatan bakteriofaga di Indonesia belum banyak dilaporkan, namun penelitian bakteriofaga sedang berlanjut.

Kata kunci: Bakteriofaga, *foodborne disease*, antibiotika, bakteri patogen

PENDAHULUAN

Wabah penyakit oleh *foodborne pathogen bacteria* yang terjadi di banyak negara di dunia sangat berbahaya terhadap kesehatan manusia. Bakteri yang tergolong *foodborne pathogen* antara lain *Salmonella*, *Campylobacter*, *Escherichia coli* O157:H7 dan *Listeria*. Strain *E. coli* O157:H7 dikenal sebagai penyebab wabah diare berdarah di Michigan pada tahun 1982 berkaitan dengan konsumsi daging, susu, bahan makanan mentah/segar, air dan lingkungan yang terkontaminasi bakteri (Yoichi et al. 2005). Bakteri ini berperan sebagai sumber kontaminasi paling umum untuk *foodborne*, *waterborne* dan infeksi pada hewan melalui kontak secara langsung (Sheng et al. 2006).

Sapi, domba dan ternak ruminansia merupakan *reservoir primer* *E. coli* O157:H7 dan dapat membawa

bakteri tersebut dalam tubuhnya selama beberapa hari sampai berbulan-bulan. Pada ruminansia yang sehat, hewan dapat berperan sebagai karier *E. coli* O157:H7 dalam saluran pencernaannya sementara waktu dan mensekresikan bakteri di dalam feses secara intermiten (Sheng et al. 2006). Salah satu rute transmisi serogrup *E. coli* O157 adalah melalui kontaminasi feses sapi ke daging selama proses pemotongan sapi di rumah potong hewan (O'Flynn et al. 2004).

Strategi untuk mengurangi cemaran mikroba pada bahan mentah telah diaplikasikan selama bertahun-tahun namun untuk menginaktivasi bakteri patogen pada makanan sampai saat ini belum sempurna, terbukti kasus *foodborne disease* yang disebabkan oleh bakteri patogen seperti *Salmonella*, *Campylobacter*, *E. coli*, *Listeria* dan lainnya terus meningkat. Penanganan kasus *foodborne disease* dengan cara mengendalikan

bakteri patogen menggunakan antibiotika bersifat terbatas untuk terapi antimikrobia pada manusia dan mempunyai pengaruh yang negatif (Garcia et al. 2008). Pemakaian antibiotika biasanya tidak hanya berpengaruh terhadap target bakteri patogen tetapi juga mikroflora normal sehingga mengakibatkan gangguan keseimbangan mikroba alamiah dalam saluran pencernaan manusia maupun hewan dapat menjadi efek sekunder yang serius termasuk penyakit pada saluran pencernaan. Munculnya bakteri yang resisten terhadap antibiotika menjadi masalah yang kritis akibat penggunaan obat-obatan yang tidak tepat (Yoichi et al. 2005). Meluasnya resistensi terhadap antibiotika pada beberapa patogen yang berkaitan dengan *foodborne disease* merupakan kasus yang serius sehingga menjadi alasan utama untuk mencari strategi pengendalian infeksi bakteri patogen pangan yang lebih aman dan alami (Sajjad et al. 2004).

Bakteriofaga (faga) pertama kali ditemukan secara tidak langsung oleh Frederick W Twort di Inggris pada tahun 1915 dan oleh Felix d'Herelle, Institute Pasteur di Paris pada tahun 1917 (Garcia et al. 2008; Sharma et al. 2009). Faga merupakan parasit obligat intraseluler yang hanya mampu memperbanyak diri di dalam sel hospes/sel bakteri. Makalah ini mengulas lebih luas mengenai bakteriofaga, kelebihan, kelemahan dan aplikasinya untuk alat deteksi serta biokontrol *foodborne* patogen khususnya *E. coli* O157:H7.

BAKTERIOFAGA

Sumber bakteriofaga

Faga tersebar luas di ekosistem dan berperan penting dalam ekologi bakteri. Secara alamiah, faga berada dalam saluran pencernaan manusia, hewan termasuk unggas, pada makanan dan berbagai macam sumber lingkungan seperti sampah, tanah dan air (Bielke et al. 2012; Tiwari et al. 2014). Faga mampu memelihara keanekaragaman, keseimbangan dan ekologi mikroba dalam saluran pencernaan sapi terutama rumen untuk beradaptasi terhadap perubahan konsumsi pakan dan air minum (Bielke et al. 2012). Faga relatif mudah diisolasi dari berbagai macam sumber termasuk lingkungan yang berasal dari air dilaporkan telah ditemukan beberapa faga yang berbeda famili (Grabow 2001). Faga dilaporkan telah diisolasi dari bermacam-macam makanan asal hewan maupun tumbuhan seperti sosis ayam, sosis babi, daging giling, ikan air laut, susu skim, keju, macam-macam daging, jamur, selada, adonan biskuit yang didinginkan dan gulai daging ayam beku (Sharma et al. 2009).

Struktur dan morfologi bakteriofaga

Bakteriofaga tersusun dari molekul asam nukleat yang dikelilingi lapisan protein yang disebut kapsid. Kapsid ini dibentuk oleh subunit-subunit yang identik satu sama lain yang disebut kapsomer. Kapsomer terdiri dari subunit protein atau molekul yang disebut protomer. Beberapa faga juga mengandung lipida dan struktur tambahan seperti ekor atau bagian ujung yang tajam (Grabow 2001).

Berdasarkan morfologi dan kandungan asam nukleatnya, faga dapat diklasifikasikan ke dalam dua kelompok yaitu faga yang mempunyai kepala dan ekor digolongkan dalam Ordo *Caudovirales* (famili *Myoviridae*, *Siphoviridae* dan *Podoviridae*) dan faga yang hanya memiliki kepala saja tanpa ekor yaitu faga *Polyhedral DNA* (*Microviridae*, *Corticoviridae* dan *Tectiviridae*), faga *Polyhedral RNA* (*Leviviridae* dan *Cystoviridae*), faga *filamentous* (*Inoviridae* dan *Lipothrixviridae*) dan faga *Pleomorphic* (*Plasmaviridae* dan *Fuselloviridae*) (Grabow 2001; Ackermann 2005).

Famili *Myoviridae* mempunyai ciri kepala berbentuk *icosahedral* atau *elongated*, mengandung *dsDNA* dan ekor panjang yang bersifat kontraktil (contoh *coliphage* T4, P1 dan Mu). Ciri famili *Siphoviridae* mempunyai kepala berbentuk *icosahedral*, mengandung *linear dsDNA*, ekor panjang non-kontraktil (contoh *coliphage* T5 dan T1). Ciri famili *Podoviridae* mempunyai kepala berbentuk *icosahedral*, *linear dsDNA*, ekor pendek non-kontraktil (contoh *coliphage* T7 dan *enterobacter* faga P22). Famili *Microviridae* mempunyai kepala berbentuk *icosahedral* mengandung *ssDNA*, tanpa ekor (contoh faga fX174). Famili *Corticoviridae* mempunyai ciri kepala *icosahedral* mengandung lipida dengan *dsDNA* sedang famili *Tectiviridae* mempunyai kepala ganda yang mengandung lipida dan *dsDNA*. Famili *Leviviridae* mempunyai kepala *icosahedral* dengan *ssRNA* dan tidak berekor (contoh *enterobacteriophage* MS2 dan QB). Famili *Cystoviridae* mempunyai kepala berbentuk *icosahedral* disertai dengan lapisan pembungkus melingkar dan mengandung *segmented dsDNA*. Famili *Inoviridae* berbentuk filamen atau batang dengan *ssDNA*, tidak berekor (contoh faga f1, fd dan M13). Famili *Lipothrixviridae* berbentuk batang berselubung dengan *linear dsDNA*. Famili *Plasmaviridae* berbentuk *pleomorphic* berselubung dengan *sircular dsDNA* dan famili *Fuselloviridae* mempunyai kapsul berbentuk seperti buah lemon tanpa selubung, mengandung *sircular dsDNA* (Grabow 2001).

Reseptor bakteriofaga

Spesifisitas faga ditentukan oleh reseptor (molekul protein) pada permukaan sel bakteri yang rentan. Faga tertentu hanya akan mengenal reseptor yang spesifik, kemudian menempel dan menginfeksi sel bakteri. Lokasi reseptor faga pada sel bakteri adalah pada dinding sel bakteri, fli, fimbria dan flagela sel bakteri. Faga yang mengenali tempat reseptor pada dinding sel bakteri dikenal sebagai *somatic phage* atau faga somatik. Faga somatik terdiri dari famili *Myoviridae*, *Siphoviridae*, *Podoviridae* dan *Microviridae*. Kolifaga seri T termasuk ke dalam faga somatik. Tempat reseptor faga yang lain berlokasi pada fimbria fertiliti (*sex*) dari sel bakteri. Faga yang secara khas menggunakan tempat reseptor pada fimbria fertiliti (*sex*) dikenal dengan nama faga *male-specific*. Jenis faga yang termasuk anggota *male-specific* adalah *Inoviridae* dan *Leviviridae* (Grabow 2001).

Replikasi bakteriofaga

Replikasi faga somatik adalah dengan menempel pada permukaan sel bakteri dengan ekornya dan menembus ke dalam sel bakteri melalui dinding sel yang diikuti dengan menginjeksikan materi genetik. Kemungkinan lain adalah faga masuk ke dalam sel bakteri dengan sempurna dan memulai replikasi partikel faga. Faga menggunakan ribosom, faktor sintesis protein, asam amino dan energi dari sel hospes untuk replikasi. Oleh sebab itu, faga hanya dapat memperbanyak diri di dalam metabolisme bakteri yang menjadi hospes atau inangnya. Partikel faga selanjutnya disusun sehingga membentuk faga yang sempurna kemudian partikel-partikel faga baru yang terbentuk akan dikeluarkan dari sel bakteri dengan cara melisiskan dinding sel bakteri dan akhirnya sel bakteri menjadi mati (Higgins et al. 2005; Callaway et al. 2008; Viazis et al. 2011).

Berdasarkan cara replikasinya di dalam sel bakteri, faga dibagi menjadi dua grup yaitu faga litik dan lisogenik. Faga litik atau faga virulen merupakan faga yang mempunyai cara replikasi yang khas, yang dimulai segera setelah faga menginfeksi sel hospes, bermultiplikasi dan partikel faga-faga baru yang dihasilkan akan dilepaskan dari sel bakteri dalam jumlah yang banyak melalui lisisnya sel hospes dalam waktu paling sedikit 30 menit setelah infeksi. Satu sel bakteri yang terinfeksi dapat diproduksi sekitar 200 partikel faga baru. Faga tipe ini apabila ditumbuhkan pada media agar yang mengandung bakteri inangnya, morfologi faga dapat diamati dengan terbentuknya plak (*plaque*) yang jernih pada permukaan media agar.

Faga lisogenik atau *temperate phage*, replikasi di dalam sel bakteri tidak segera dilakukan setelah menginfeksi sel bakteri. Replikasi faga dilakukan

berdasarkan beberapa kondisi dengan menggabungkan sebagian asam nukleat ke dalam sel bakteri untuk memulai replikasi dan sebagian asam nukleat sisanya akan menginduksi dan memulai replikasi dan selanjutnya sel menjadi lisis. Faga lisogenik dapat melakukan replikasi secara langsung di dalam sitoplasma sel hospes tanpa menghasilkan partikel faga yang baru dan tanpa melisiskan sel hospes. Replikasi ini diperantarai oleh elemen genetik faga yang dikenal sebagai plasmid atau episom. Kondisi optimal untuk replikasi *somatic phage* maupun *male-specific phage* dalam sel bakteri yang ada di dalam saluran pencernaan manusia dan hewan berdarah panas (Grabow 2001).

Isolasi dan karakterisasi bakteriofaga

Faga dapat dideteksi secara kualitatif melalui tahapan pengkayaan dalam media pertumbuhan yang mengandung sel inang dari faga dan diinkubasi pada suhu yang sesuai untuk mendukung replikasi faga hingga terbentuk partikel faga yang baru. Faga yang murni dapat diperoleh dengan filtrasi menggunakan membran berpori yang berukuran 0,22 µm. Beberapa metode deteksi dapat dilakukan seperti teknik pertumbuhan faga pada *double layer agar* (DLA) untuk melihat morfologi plak pada permukaan media agar yang telah mengandung sel bakteri/inangnya. Plak tersebut merupakan daerah bening atau zona pada media agar yang menunjukkan daerah pertumbuhan bakteri yang dilisiskan oleh faga. Karakterisasi bakteriofaga dilakukan untuk mengetahui famili dari faga yang spesifik menginfeksi bakteri tertentu misalnya *E. coli* O157:H7. Faga yang spesifik menginfeksi *E. coli* O157:H7 dikenal sebagai *coliphage*. Metode karakterisasi faga antara lain adalah dengan mengamati morfologi faga menggunakan *transmission electron microscopy* (TEM), karakterisasi molekuler menggunakan metode *polymerization chain reaction* (PCR), *random amplified polymorphic DNA* (RAPD) dan sekuensing faga (Lee 2009; Santos et al. 2009; Tomat et al. 2013).

APLIKASI BAKTERIOFAGA

Sejak faga ditemukan pertama kali, telah dimanfaatkan untuk bermacam-macam aplikasi, seperti deteksi cepat bakteri patogen, *phage typing*, *fluorescent bacteriophage assay*, *amplification technology*, terapi faga dan biokontrol terhadap *foodborne pathogen* (Shin et al. 2012). Faga dapat dimanfaatkan dalam pengendalian beberapa bakteri patogen pada manusia. Sebagai agen terapi maupun bakterisidal alam, faga mampu menghambat bakteri yang tidak diinginkan dan tidak bersifat toksik pada rantai makanan (Yoichi et al. 2005; Garcia et al. 2008).

Fungsi lain dari pemberian faga dapat meningkatkan kualitas dan keamanan produk makanan yang terkontaminasi oleh bermacam-macam bakteri *foodborne* termasuk *E. coli* O157:H7 karena faga mempunyai potensi dalam mengatur keseimbangan mikroba pada makanan (Kudva et al. 1999; Sharma et al. 2009; Coffey et al. 2011). Pengendalian pertumbuhan bakteri dapat dilakukan sejak awal produksi pangan asal hewan atau tumbuhan sampai masa penyimpanan dalam refrigerator (Greer 2005). Beberapa penelitian telah melaporkan bahwa faga dapat membantu menurunkan kejadian wabah penyakit bakterial baik sebagai agen dalam deteksi cepat penyakit, sebagai agen terapi *foodborne pathogen* di peternakan maupun biokontrol pada rantai makanan (Hagens & Loessner 2007). Untuk kepentingan aplikasi, jenis faga yang biasa digunakan untuk mengeliminasi bakteri patogen adalah faga litik (Coffey et al. 2011).

Bakteriofaga untuk deteksi bakteri patogen

Interaksi faga secara spesifik dengan sel bakteri bermanfaat untuk membedakan berbagai galur bakteri penyebab penyakit atau membedakan berbagai serotipe bakteri yang terlihat identik. Kemampuan faga ini berguna sebagai alat deteksi untuk mengetahui keberadaan bakteri patogen pada makanan, bahan makanan dan bahan asal lingkungan. Metode untuk mengidentifikasi bakteri patogen dengan menggunakan faga telah lama dikenal sebagai *phage typing*. Metode ini biasanya digunakan sebagai metode epidemiologis yang penting, untuk membedakan serotipe bakteri yang terlihat identik dan membantu dalam menentukan cara penyebaran penyakit (Poernomo et al. 2006; Hagens & Loessner 2007; Garcia et al. 2008).

Metode yang dapat digunakan untuk menentukan karakterisasi bakteri faga diantaranya ribotiping, *random amplified polymorphic DNA-PCR fingerprinting* (RAPD) atau *pulsed field gel electrophoresis of enzyme-digested DNA* (PFGE), namun *phage typing* tetap dipilih sebagai metode yang bermanfaat karena bersifat spesifik, cepat, relatif sederhana dan murah (Poernomo et al. 2006; Hagens & Loessner 2007).

Aplikasi faga untuk deteksi bakteri patogen di lapangan umumnya ditujukan untuk keamanan air, pangan, hasil pertanian dan kesehatan hewan (Hagens & Loessner 2007; Garcia et al. 2008), sedangkan sebagai alat diagnostik, faga telah banyak dikembangkan dengan cara memodifikasi faga secara genetik menggunakan aktivitas gen reporter. Beberapa gen reporter yang digunakan adalah gen *lux*, gen *luc*, gen *inaW* dan gen *lacZ*. Gen reporter dimasukkan ke dalam genom faga, selanjutnya faga reporter akan mentransduksi gen reporter ke dalam sel bakteri dan terjadi replikasi. Selanjutnya gen reporter akan

diekspresikan dan dideteksi sebagai signal pada luminometer. Teknik ini pertama kali dilaporkan oleh Ulitzur dan Kuhn pada tahun 1987 (Hagens & Loessner 2007).

Aplikasi faga untuk kepentingan medis dan farmasi dilakukan dengan pengembangan *phage antibody technology* (PAA). Deteksi bakteri patogen dalam bahan pangan yaitu dengan melabel DNA faga dengan pewarnaan *fluorescent*, yang berperan sebagai antibodi untuk mengidentifikasi secara spesifik target organisme (Goodridge et al. 2003).

Phage amplification assay atau *phage amplified biologically assay* (PhaB) merupakan metode yang tidak memodifikasi faga sebagai alat deteksi bakteri patogen. Hasil deteksi berupa terbentuknya plak atau zona bening pada media agar. Metode PAA atau PhaB relatif sederhana, tidak membutuhkan latihan khusus seperti metode molekuler, lebih mudah diaplikasikan, tidak mahal dan tidak membutuhkan alat khusus (Rees & Loessner 2005; Rees & Botsaris 2012).

Bakteriofaga untuk pengendalian *E. coli* O157:H7 pada rantai makanan

Strategi pengendalian *E. coli* O157:H7 pada rantai makanan dengan memanfaatkan aplikasi faga telah terbukti potensial, penggunaan yang aman, penanganan yang relatif mudah, bersifat spesifik dan mempunyai aktivitas antimikrobial yang tinggi. Pengendalian yang efektif dilakukan pada setiap tahapan produksi pada rantai makanan, yang dimulai dari peternakan sampai dengan meja saji (*farm to fork*). Cara aplikasi faga pada setiap tahapan rantai makanan (*preharvest* dan *postharvest*) meliputi (1) Terapi faga untuk mencegah dan mengurangi kolonisasi dan penyakit pada hewan di peternakan; (2) Biosanitasi faga yang berguna untuk disinfeksi peralatan dan permukaan kontak pada beberapa material; (3) Biokontrol faga pada produk pangan, dapat berupa dekontaminasi pada karkas, produk bahan pangan mentah lainnya seperti buah-buahan segar dan sayuran; serta (4) Sebagai biopreservasi alam, yang bermanfaat untuk memperpanjang umur simpan produk akhir bahan pangan asal pabrik (Garcia et al. 2008; Sillankorva et al. 2012).

Bakteriofaga untuk terapi infeksi *E. coli* O157:H7 pada ternak

Eliminasi *E. coli* O157:H7 pada stadium *preharvest* mempunyai peranan yang sangat penting dalam mencegah masuknya bakteri patogen ke dalam rantai makanan. Pengelolaan diet, terapi probiotik, vaksinasi dan penggunaan antibiotika *colicin* untuk mengurangi risiko infeksi *E. coli* O157:H7 pada ternak telah dilaporkan namun belum optimal, karena masih

ditemukan rekolonisasi bakteri patogen terutama *strain E. coli* O157:H7 pada ternak setelah beberapa strategi tersebut diaplikasikan (Kudva et al. 1999). Penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa terapi faga pada hewan telah terbukti berhasil untuk mengurangi infeksi *E. coli* O157:H7 baik pada ternak sapi, domba maupun unggas (Sheng et al. 2006; Goodridge & Bisha 2011).

Dasar pemberian terapi faga pada ternak ruminansia adalah untuk menurunkan jumlah *shedding* bakteri patogen dalam feses. Cara yang dilakukan adalah dengan menurunkan konsentrasi *E. coli* O157:H7 dalam saluran gastrointestinal sapi sehingga dapat membatasi durasi *shedding* bakteri patogen. Penurunan *shedding* bakteri patogen dalam feses terlihat lebih bermakna apabila terapi faga diberikan pada ruminansia lepas sapih yang berusia 7-8 minggu (Goodridge & Bisha 2011).

Keberhasilan strategi terapi faga untuk mengendalikan atau mengurangi *E. coli* O157:H7 pada sapi dan ruminansia lainnya selama masa pertumbuhan, berguna untuk menurunkan risiko paparan *E. coli* O157:H7 pada manusia. Terapi faga pada sapi dewasa yang diberikan sebelum pemotongan karkas, dapat mengurangi jumlah *E. coli* O157:H7 yang diekskresikan pada feses sapi dan dapat berpengaruh besar dalam menekan terjadinya kontaminasi *E. coli* O157:H7 pada karkas (Bach et al. 2003; Greer 2005; Sillankorva et al. 2012). Pemberian faga pada ruminansia dapat diberikan secara oral melalui air minum atau pakan namun aplikasi ini tidak cukup berhasil untuk menurunkan jumlah *E. coli* dalam saluran pencernaan.

Kegagalan pemberian faga secara oral pada ruminansia dilaporkan karena faga berikatan secara non-spesifik pada partikel makanan sehingga faga menjadi inaktif dalam abomasum karena kondisi asam dan jumlah faga yang diberikan secara oral tidak cukup mencapai saluran pencernaan ruminansia. Penurunan jumlah *E. coli* pada saluran pencernaan ruminansia dengan aplikasi oral dapat berhasil dengan pemberian *encapsulated phages* dalam matrik polimerik.

Pada umumnya, terapi faga tunggal dapat menimbulkan terjadinya resistensi sehingga aplikasinya digunakan beberapa jenis faga atau campuran faga untuk terapi pada ternak agar lebih efektif untuk mengendalikan *E. coli* O157:H7 (Goodridge & Bisha 2011). Pemberian campuran faga (CEV1 dan CEV2) secara oral pada domba dapat memberantas hampir 100% patogen (>99,9%) dibandingkan dengan penggunaan faga tunggal CEV1. Campuran faga (KH1 dan SH1) pada sapi yang diberikan secara langsung melalui rektal sebanyak 10^{10} pfu selama tujuh hari dan secara oral melalui air minum dengan konsentrasi faga 10^6 pfu, mampu menurunkan konsentrasi *E. coli* O157:H7 pada kelompok perlakuan dibandingkan dengan kelompok kontrol dengan tingkat signifikansi

$P < 0,05$ (Goodridge & Bisha 2011; Sillankorva et al. 2012).

Terapi faga pada unggas dilaporkan berhasil mencegah terjadinya infeksi saluran pernafasan yang fatal pada ayam pedaging. Aplikasi faga secara aerosol *spraying* dan injeksi intramuskular memberikan hasil yang maksimal untuk menurunkan angka kematian pada ayam pedaging. Sedang pemberian faga yang ditambahkan dalam air minum tidak cukup efisien untuk melindungi unggas dari infeksi saluran pernafasan akibat *E. coli* (Goodridge & Bisha 2011; Sillankorva et al. 2012).

Bakteriofaga untuk biosanitasi

Pemakaian bakteriofaga sebagai biosanitasi sangat menguntungkan karena mampu mengatasi kontaminan bakteri patogen yang tidak mudah dibersihkan walaupun sudah dilakukan sanitasi, termasuk adanya *biofilm* pada permukaan peralatan-peralatan yang digunakan dalam penanganan, penyimpanan atau pengolahan bahan pangan (Sillankorva et al. 2012). Goodridge & Bisha (2011) melaporkan bahwa campuran faga dapat digunakan untuk dekontaminasi permukaan benda-benda keras. Penggunaan campuran tiga jenis faga atau ECP-100 dengan konsentrasi yang berbeda (10^8 , 10^9 dan 10^{10} pfu/ml) pada permukaan kaca dan gips, mampu mengurangi jumlah *E. coli* O157:H7 lebih dari 4 log.

Bakteriofaga untuk biokontrol *E. coli* O157:H7 pada makanan

Pemanfaatan bakteriofaga dalam biokontrol bakteri pada makanan dapat diaplikasikan pada berbagai makanan baik makanan asal tumbuhan, makanan asal hewan maupun makanan yang mudah busuk. Eliminasi *E. coli* O157:H7 selama proses pengolahan bahan pangan menggunakan faga dilaporkan efektif (Kudva et al. 1999). Aplikasi dapat dilakukan secara langsung pada permukaan makanan seperti daging, produk segar, pangan olahan bahkan dicampur ke dalam susu. Pemberian campuran faga (ECP-100) yang diaplikasikan pada macam-macam makanan (tomat, bayam, brokoli dan daging sapi) secara penyemprotan (*spray*) dilaporkan juga efektif untuk mengurangi kontaminasi *E. coli* O157:H7 (Sharma et al. 2009; Goodridge & Bisha 2011; Sillankorva et al. 2012).

Bakteriofaga untuk biopreservasi

Efektivitas faga sebagai agen biopreservasi ditunjukkan pada kemampuannya dalam melisis sel hospes baik bakteri patogen maupun bakteri psikotropik yang tumbuh pada bahan makanan yang

disimpan di dalam refrigerator. Faga tetap dapat mengontrol multiplikasi bakteri dalam makanan walaupun makanan tersebut telah dikeluarkan dari refrigerator dan diletakkan di suhu ruang. Faga juga mampu mencegah kontaminasi dan multiplikasi bakteri patogen pada makanan selama pemasaran bahan pangan (Goodridge & Bisha 2011).

KEUNGGULAN DAN KELEMAHAN BAKTERIOFAGA

Beberapa keunggulan dari sifat faga yang dapat mendukung keberhasilan sebagai agen biokontrol adalah (1) Bersifat alamiah, komensal pada manusia dan hewan; (2) Terdapat di alam, dapat ditemukan di mana-mana termasuk pada ekosistem makanan dan siap diisolasi; (3) Stabil dalam makanan dan dapat hidup pada proses pengolahan makanan; (4) Pemberian faga tidak mempunyai efek samping pada kualitas makanan yaitu tidak ada perubahan pada makanan berupa perubahan fisik, bau dan rasa; (5) Mempunyai aktivitas dan spesifisitas yang tinggi pada sel hospes atau sel bakteri yang peka. Dalam proses adsorpsi, infeksi dan replikasi faga menggunakan spesifik *strain* dalam mengendalikan spesies target tanpa mempengaruhi keberadaan mikroflora normal dalam saluran pencernaan; (6) Mampu hidup dan bertahan terus-menerus karena mampu bereplikasi sendiri di dalam sel hospes; (7) Tidak bersifat toksik atau merusak sel eukariot; (8) Dapat aktif terhadap *biofilm*; (9) Preparasi dan aplikasi yang mudah; (10) Dapat diaplikasikan di sepanjang rantai makanan sebagai terapi faga, biosanitasi maupun biopreservasi; (11) Sebagai alat untuk deteksi bakteri patogen; dan (12) Sebagai sumber antimikrobia yang potensial karena mengandung endolisin dan hidrolase peptidoglikan (Greer 2005; Garcia et al. 2008; Bielke et al. 2012; Sillankorva et al. 2012).

Kelemahan sifat faga dalam aplikasinya, antara lain (1) Faga dapat bersifat resisten terhadap bakteri yang mutan; (2) Membutuhkan jumlah besar terhadap bakteri target di saluran pencernaan hewan ruminansia; (3) Berperan dalam proses transduksi, yang dapat mentransfer sifat-sifat yang tidak diinginkan seperti gen virulen dari satu organisme ke organisme yang lain; (4) Faga lisogenik/*temperate* mampu merubah bakteri normal menjadi patogen; (5) Dapat menimbulkan antigenisitas (respon imun dan alergenik); dan (6) Pertimbangan konsumen dengan penambahan virus ke dalam makanan (Greer 2005; Sillankorva et al. 2012).

PEMILIHAN FAGA YANG OPTIMAL

Beberapa kelemahan faga dapat mempengaruhi keberhasilan aplikasi faga di lapang. Strategi yang dapat dilakukan untuk mengatasi terjadinya faga yang resisten adalah dengan menggunakan campuran beberapa jenis faga untuk terapi infeksi *E. coli* O157:H7 pada ternak. Penggunaan faga tunggal dalam terapi faga sebaiknya dihindari (Greer 2005; Sillankorva et al. 2012).

Perlu dipertimbangkan lingkungan pertumbuhan faga yang sesuai untuk dapat meningkatkan produksi faga secara maksimal, antara lain adalah penggunaan bakteri yang spesifik, kondisi fisiologis bakteri sebagai hospes, modifikasi pada medium pertumbuhan faga, tekanan oksigen, praperlakuan menggunakan bahan kimia maupun penambahan antibiotika seperti penisilin, beta-lactam, aztreonam dan cefixime. Beberapa antibiotika tersebut dilaporkan dapat menstimuli bakteri untuk memproduksi faga (You et al. 2002; Santos et al. 2009; Bielke et al. 2012). Pemilihan bakteri yang bersifat litik untuk aplikasi faga lebih sesuai daripada menggunakan bakteri yang bersifat lisogenik. Memberikan edukasi peternak, produser dan masyarakat umum mengenai keunggulan faga dalam aplikasinya di lapang. Keberhasilan aplikasi faga juga perlu mendapat dukungan dari komite etik penelitian dan regulasi pemerintah (Sillankorva et al. 2012).

KESIMPULAN

Bakteriofaga dapat diaplikasikan untuk pengendalian *foodborne disease* seperti kontaminasi *E. coli* O157:H7, sebagai alternatif pengganti antibiotika dan dapat diaplikasikan secara luas dalam rantai makanan. Keberhasilan aplikasi faga didukung dengan pemberian dosis yang tepat berupa campuran faga dengan volume dan konsentrasi tertentu serta cara pemberian faga baik secara oral, intramuskular, rektal maupun *spray*. Aplikasi faga telah terbukti potensial karena aman, bersifat spesifik, penanganan yang relatif mudah dan mempunyai aktivitas antimikrobia yang tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pustakawan di Balai Besar Penelitian Veteriner atas bantuan dan dukungannya. Terima kasih disampaikan kepada dosen kekhususan Program Doktor Ilmu

Biomedik Universitas Indonesia, Dr. Ir. Siswa Setyahadi, MSc., dari Pusat Teknologi Bioindustri, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) atas bimbingan dan masukannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ackermann HW. 2005. Bacteriophage classification. In: Kutter, Elizabeth, Sulakvelidze A, editors. Bacteriophage, biology and applications. Washington DC (US): CRC Press. p. 29-66.
- Bach SJ, McAllister TA, Veira DM, Gannon VPJ, Holley RA. 2003. Effect of bacteriophage DC22 on *Escherichia coli* O157:H7 in an artificial rumen system (rusitec) and inoculated sheep. *Anim Res*. 52:89-101.
- Bielke LR, Tellez G, Hargis BM. 2012. Successes and failures of bacteriophage treatment of Enterobacteriaceae Infections in the gastrointestinal tract of domestic animals. In: Kurtboke I, editor. Bacteriophages [Internet]. Rijeka (Croatia): InTech. p. 159-178. Available from: <https://www.intechopen.com/books/bacteriophages/successes-and-failures-of-bacteriophage-treatment-of-enterobacteriaceae-infections-in-the-gastroint>
- Callaway TR, Edrington TS, Brabban AD, Anderson RC, Rossman ML, Engler MJ, Carr MA, Genovese KJ, Keen JE, Looper ML, et al. 2008. Bacteriophage isolated from feedlot cattle can reduce *Escherichia coli* O157:H7 populations in ruminant gastrointestinal tracts. *Foodborne Pathog Dis*. 5:183-191.
- Coffey B, Rivas L, Duffy G, Coffey A, Ross RP, McAuliffe O. 2011. Assessment of *Escherichia coli* O157:H7-specific bacteriophages e11/2 and e4/1c in model broth and hide environments. *Int J Food Microbiol*. 147:188-194.
- Garcia P, Martinez B, Obeso JM, Rodriguez A. 2008. Bacteriophages and their application in food safety. *Lett Appl Microbiol*. 47:479-485.
- Goodridge L, Gallaccio A, Griffiths MW. 2003. Morphological, host range, and genetic characterization of two coliphages. *Appl Environ Microbiol*. 69:5364-5371.
- Goodridge LD, Bisha B. 2011. Phage-based biocontrol strategies to reduce foodborne pathogens in foods. *Bacteriophage*. 1:130-137.
- Grabow WOK. 2001. Bacteriophages: Update on application as models for viruses in water. *Water SA*. 27:251-268.
- Greer GG. 2005. Bacteriophage control of foodborne bacteria. *J Food Prot*. 68:1102-1111.
- Hagens S, Loessner MJ. 2007. Application of bacteriophages for detection and control of foodborne pathogens. *Appl Microbiol Biotechnol*. 76:513-519.
- Higgins JP, Higgins SE, Guenther KL, Huff W, Donoghue AM, Donoghue DJ, Hargis BM. 2005. Use of a specific bacteriophage treatment to reduce *Salmonella* in poultry products. *Poult Sci*. 84:1141-1145.
- Kudva IT, Jelacic S, Tarr PI, Youderian P, Hovde CJ. 1999. Biocontrol of *Escherichia coli* O157 with O157-specific bacteriophages. *Appl Environ Microbiol*. 65:3767-3773.
- Lee HS. 2009. Somatic coliphage families as potential indicators of enteric viruses in water and methods for their detection [Dissertation]. [Chapel Hill (US)]: University of North Carolina.
- O'Flynn G, Ross RP, Fitzgerald GF, Coffey A. 2004. Evaluation of a cocktail of three bacteriophages for biocontrol of *Escherichia coli* O157:H7. *Appl Environ Microbiol*. 70:3417-3424.
- Poernomo S, Priadi A, Natalia L. 2006. *Phage typing* dan uji sensitivitas terhadap berbagai antibiotika dari isolat *Salmonella enteritidis* asal Indonesia. *JITV*. 11:157-166.
- Rees C, Botsaris G. 2012. The use of phage for detection, antibiotic sensitivity testing and enumeration. In: Cardona PJ, editor. Understanding tuberculosis - Global experiences and innovative approaches to the diagnosis. Rijeka (Croatia): InTech. p. 293-306.
- Rees C, Loessner M. 2005. Phage for detection of pathogenic bacteria. In: Elizabeth KSA, editor. Bacteriophage, biology and applications. Florida (US): CRC Press. p. 267-284.
- Sajjad M, Rahman SU, Hussain I, Rasool MH. 2004. Application of coliphage lysate: A preliminary trial to treat an experimental *Escherichia coli* infection in broiler chicken. *Int J Poult Sci*. 3:538-542.
- Santos SB, Carvalho CM, Sillankorva S, Nicolau A, Ferreira EC, Azeredo J. 2009. The use of antibiotics to improve phage detection and enumeration by the double-layer agar technique. *BMC Microbiol*. 9:1-10.
- Sharma M, Patel JR, Conway WS, Ferguson S, Sulakvelidze A. 2009. Effectiveness of bacteriophages in reducing *Escherichia coli* O157:H7 on fresh-cut cantaloupes and lettuce. *J Food Prot*. 72:1481-1485.
- Sheng H, Knecht HJ, Kudva IT, Hovde CJ. 2006. Application of bacteriophages to control intestinal *Escherichia coli* O157:H7 levels in ruminants. *Appl Environ Microbiol*. 72:5359-5366.
- Shin H, Lee JH, Kim H, Choi Y, Heu S, Ryu S. 2012. Receptor diversity and host interaction of bacteriophages infecting *Salmonella enterica* serovar *Typhimurium*. *PLoS One*. 7:e43392.
- Sillankorva SM, Oliveira H, Azeredo J, Sillankorva SM, Oliveira H, Azeredo J. 2012. Bacteriophages and their role in food safety. *Int J Microbiol*. 2012:1-13.
- Tiwari R, Dhama K, Chakraborty S, Kumar A, Rahal A, Kapoor S. 2014. Bacteriophage therapy for safeguarding animal and human health: A review. *Pakistan J Biol Sci*. 17:301-315.

- Tomat D, Mercanti D, Balagué C, Quiberoni A. 2013. Phage biocontrol of enteropathogenic and shiga toxin-producing *Escherichia coli* during milk fermentation. *Lett Appl Microbiol.* 57:3-10.
- Viazis S, Akhtar M, Feirtag J, Diez-Gonzalez F. 2011. Reduction of *Escherichia coli* O157:H7 viability on leafy green vegetables by treatment with a bacteriophage mixture and trans-cinnamaldehyde. *Food Microbiol.* 28:149-157.
- Yoichi M, Abe M, Miyanaga K, Unno H, Tanji Y. 2005. Alteration of tail fiber protein gp38 enables T2 phage to infect *Escherichia coli* O157:H7. *J Biotechnol.* 115:101-107.
- You L, Suthers PF, Yin J. 2002. Effects of *Escherichia coli* physiology on growth of phage T7 *in vivo* and *in silico*. *J Bacteriol.* 184:1888-1894.

Mikoremediasi Menghilangkan Polusi Logam Berat pada Lahan Bekas Tambang untuk Lahan Peternakan

(Mycoremediation to Remove Heavy Metal Pollution in Post-Mining Areas for Farmland Utilization)

Riza Zainuddin Ahmad

Balai Besar Penelitian Veteriner, Jl. RE Martadinata No. 30, Bogor 16114
rizamiko@yahoo.co.id

(Diterima 9 Februari 2018 – Direvisi 20 Februari 2018 – Disetujui 3 Maret 2018)

ABSTRACT

The agriculture land including farmland is decreasing caused by conversion to industrial area and settlement, therefore post-mining area is used to be farmlands. The utilization of post-mining area causes serious health problem in animals and humans due to heavy metal waste pollution (Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, and Pb). Efforts to overcome the pollution of heavy metals on farms can be carried out by preventing and controlling waste in post-mining and industry areas. There are several mycoremediation methods to recover heavy metal polluted land such as biosorption, bioaccumulation, bioprecipitation, bioreduction, and bioleaching. Mycoremediation is a process to remove pollutants or heavy metals from soil using potential fungi (*Aspergillus flavus*, *Penicillium* sp, *Fusarium* sp, *Saccharomyces cerevisiae*). Mycoremediation is chosen due to economical cost, efficient, and environmentally friendly.

Key words: Contamination, mycoremediation, farmland, heavy metal, post-mining land

ABSTRAK

Luas lahan pertanian termasuk peternakan semakin berkurang karena alih fungsi untuk pemukiman dan industri, sehingga lahan bekas tambang dimanfaatkan untuk lahan pertanian termasuk peternakan. Penggunaan lahan bekas tambang menimbulkan banyak masalah yang disebabkan oleh polusi limbah logam berat (Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni dan Pb) yang menyebabkan gangguan kesehatan pada hewan dan manusia. Upaya mengatasi cemaran polusi logam berat pada lahan peternakan dapat dilakukan dengan pencegahan dan pengendalian limbah di daerah bekas pertambangan dan industri. Terdapat beberapa metode mikoremediasi untuk membersihkan lahan yang tercemar logam berat antara lain biosorpsi, bioakumulasi, biopresipitasi, bioreduksi dan *bioleaching*. Mikoremediasi adalah suatu proses untuk memulihkan lahan dari bahan-bahan pencemar atau polutan secara biologi atau dengan menggunakan cendawan potensial antara lain *Aspergillus flavus*, *Penicillium* sp, *Fusarium* sp, *Saccharomyces cerevisiae*. Metode ini dipilih karena murah, efisien dan ramah lingkungan.

Kata kunci: Cemaran, mikoremediasi, lahan peternakan, logam berat, lahan bekas tambang

PENDAHULUAN

Hasil peternakan mendukung hasil pertanian namun keterbatasan lahan untuk beternak dan bercocok tanam merupakan masalah yang serius dan penting untuk dipikirkan. Di Indonesia lahan seringkali berubah fungsi menjadi perkebunan, perumahan atau industri (pabrik). Lahan kering potensial tersedia di Sumatera, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Kalimantan, Sulawesi, Maluku dan Papua untuk tanaman pangan, tanaman sayuran dataran tinggi, tanaman tahunan dan penggembalaan ternak. Berdasarkan hasil analisis potensi lahan kering di kawasan areal penggunaan lain, hutan produksi konversi, hutan produksi, tersedia luas lahan kering potensial untuk pengembangan pertanian pada ketiga kawasan tersebut seluas 24,79 juta ha dan

untuk penggembalaan ternak hanya sebesar 931.289 ha (Ritung et al. 2015). Lahan peternakan yang tersedia kurang mencukupi untuk memelihara ternak, sehingga lahan bekas pertambangan dan pabrik digunakan untuk peternakan ruminansia dan unggas khususnya di daerah pulau-pulau padat penduduk dengan risiko pencemaran logam berat.

Selain pabrik, eksploitasi sumber daya alam seperti industri pertambangan merupakan salah satu industri yang sangat menguntungkan karena memiliki daya jual tinggi di pasaran global, meskipun menimbulkan dampak terhadap lingkungan (Purwantari 2007). Kegiatan pertambangan dan usaha pabrik pada umumnya bila dilakukan di kawasan hutan menyebabkan kerusakan lingkungan secara keseluruhan dalam bentuk pencemaran air, tanah dan udara yang

tidak menguntungkan bagi kehidupan manusia, hewan dan tumbuhan. Hal ini disebabkan oleh sampah, limbah industri minyak dan logam berat dari aktivitas manusia yang mengakibatkan lingkungan tidak berfungsi seperti semula (Gunawan et al. 2015).

Polusi dapat didefinisikan sebagai pencemaran lingkungan oleh bahan-bahan yang dapat mengganggu kesehatan hewan, manusia, kualitas kehidupan dan juga fungsi alami dari ekosistem. Polutan ada yang mudah terdegradasi (sampah dari bahan organik) dan yang sukar terdegradasi (pestisida, fungisida, insektisida, petrokimia, logam berat dan lainnya). Polusi lingkungan terjadi karena keberadaan sumber logam berat yang salah tempat dan mencemari tanah sehingga akan mengganggu kesehatan manusia dan hewan bila masuk ke dalam rantai makanan (Akhtar et al. 2013). Polusi logam berat pada masa kini perlu mendapat perhatian khusus. Aktivitas antropogenik seperti pabrik baja, pertanian, pembuangan limbah industri menghasilkan berbagai macam logam berat seperti Ag, As, Au, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Pd, Pt, Rd, Sn, Th, U dan Zn yang dapat merusak kesehatan manusia (Malik 2004).

Bila dipaksakan mungkin ternak dapat dipelihara pada lahan peternakan dekat kawasan pabrik atau bekas pertambangan yang berpolusi (Gambar 1). Ketika ternak mengonsumsi pakan yang mengandung logam berat maka manusia yang mengonsumsi produk ternak tersebut akan terkontaminasi logam berat yang di kemudian hari akan merugikan kesehatan. Percepatan jumlah penduduk, sampai dengan tahun 2016 tercatat sebanyak 259 jiwa (BPS 2016) sedangkan luas lahan untuk beternak terus berkurang karena dipakai untuk memenuhi kebutuhan penduduk, misalnya untuk perumahan, pasar, perkantoran dan sebagainya. Ironisnya, populasi ternak harus ditambah untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Salah satu kendala besar bagi usaha peternakan sapi di daerah perkotaan adalah keterbatasan lahan penggembalaan. Penyediaan pakan ternak menjadi salah satu masalah bagi peternak. Hijauan makanan ternak sebagai pakan utama semakin sulit diperoleh akibat berkurangnya lahan untuk pengembangan produksi hijauan. Pakan alternatif untuk

mengganti sebagian atau seluruh hijauan makanan ternak perlu dicari sebagai sumber pakan baru untuk kelangsungan usaha peternakan, khususnya sapi perah (Salundik et al. 2012). Namun, pakan alternatif tersebut sering berisiko tercemar logam berat.

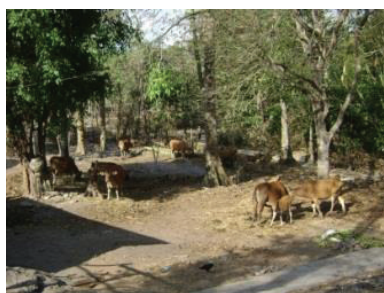
Apabila tingkat pencemaran logam berat pada lahan peternakan cukup tinggi, dalam jangka waktu yang lama logam berat tersebut berakumulasi pada organ tubuh ternak sehingga menyebabkan kelainan patologis. Untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan upaya remediasi khususnya mikoremediasi, umumnya dengan teknik biosorpsi. Meskipun cendawan dapat digunakan untuk meningkatkan produktivitas dan kesehatan ternak, baik secara langsung dan tidak langsung (Ahmad 2008). Namun demikian, beberapa mikroba cendawan dapat juga dipakai untuk meremediasi lingkungan, misalnya tanah yang sudah terakumulasi logam berat. Tulisan ini bertujuan untuk menjelaskan pendekatan mikoremediasi untuk menekan tingkat pencemaran logam berat pada lahan peternakan yang berlokasi di dekat kawasan industri, bekas industri dan pertambangan.

LOGAM BERAT DAN PENCEMARANNYA

Sumber pencemaran logam berat di suatu lahan secara umum berasal dari proses alam (misalnya aktivitas gunung berapi) atau akibat kegiatan manusia, misalnya pertambangan (minyak, emas dan batubara), pembangkit listrik, peleburan logam, pabrik pupuk dan penggunaan bahan sintetik. Cemaran akan terus bertambah sejalan dengan meningkatnya usaha eksplorasi berbagai sumber alam dengan kandungan logam berat di dalamnya (Onrizal 2005). Proses industri dan urbanisasi berperan penting terhadap peningkatan kontaminasi tersebut. Beberapa logam polutan yang penting untuk diketahui yaitu arsenik (As), boron (B), kadmium (Cd), tembaga (Cu), merkuri (Hg), molybdenum (Mo), nikel (Ni), timbal (Pb), selenium (Se) dan seng (Zn). Logam berat dan cemarannya berbahaya untuk lingkungan (Setyorini et al. 2009).



Lampung



Pulau Sumbawa



Sumatera Utara

Gambar 1. Lahan peternakan yang dapat tercemar limbah pabrik, industri dan pertambangan

Sumber: Dokumentasi pribadi

Limbah yang dihasilkan pabrik mengandung berbagai senyawa berbahaya bagi kehidupan manusia, salah satu diantaranya adalah logam berat. Logam berat secara alami sudah ada di dalam tanah dan tidak dapat terdegradasi, dapat menetap di tanah dan air untuk waktu yang lama, sehingga akan terus meningkat dari waktu ke waktu (Govindasamy et al. 2011). Akumulasi logam pada tanah dapat mengakibatkan penurunan aktivitas mikroba, kesuburan, kualitas tanah, hasil tanah secara keseluruhan dan masuknya bahan beracun ke dalam rantai makanan (Kurnia et al. 2009; Atafar et al. 2010). Pencemaran/polusi lingkungan oleh logam berat dapat terjadi apabila proses produksi oleh industri dan pertambangan yang menggunakan logam berat tidak memperhatikan keselamatan lingkungan, khususnya dalam membuang limbah. Tanah dan air merupakan dua komponen yang menjadi sasaran pencemaran, bila tanah dan air tercemar logam berat maka logam berat akan masuk ke dalam rantai makanan dan membentuk jaring-jaring makanan dan berakhir pada manusia sehingga memungkinkan timbulnya berbagai macam penyakit (Sudarmaji et al. 2006).

Logam berat masuk ke dalam tubuh hewan dan manusia melalui intravaskuler atau ekstrasvaskuler (sirkulasi sistemik) dan didistribusikan ke seluruh tubuh. Proses distribusi memungkinkan logam berat sampai pada sel reseptor. Interaksi sel reseptor dengan logam berat yang berlebihan dapat menghasilkan efek keracunan. Bila pakan terkontaminasi oleh mineral dan logam berat yang tidak diperlukan pada fungsi fisiologis tubuh maka akan terakumulasi di dalam tubuh sebagai racun yang merugikan kesehatan (Raikwar et al. 2008). Palar (2004) menjelaskan bahwa logam berat masuk ke dalam tubuh makhluk hidup melalui pernapasan atau penetrasi melalui kulit. Selain itu, masuknya logam berat ke dalam tubuh ternak secara alami dapat melalui rumput atau beberapa jenis leguminosa pakan ternak dan air minum yang tercemar oleh logam berat. Logam berat terserap oleh akar tanaman dan masuk ke dalam jaringan tanaman sehingga terakumulasi dalam pakan ternak (Widaningrum et al. 2007). Cemar logam berat pada tanah dan air yang melebihi batas ambang yang dipersyaratkan dapat menyebabkan pengaruh negatif terhadap tanaman, ternak yang digembalakan dan kesehatan masyarakat di sekitarnya. Cemar logam ini dikhawatirkan memberikan paparan pada masyarakat dan ternak di sekitarnya dengan dosis rendah dan terakumulasi dalam tubuh dalam jangka waktu lama, sehingga harus dilakukan antisipasi terhadap efek yang ditimbulkan oleh cemar logam berat pada kesehatan manusia dan ternak (Kihampa & Wenaty 2013).

Cemaran logam berat di Indonesia

Logam As merupakan unsur yang melimpah secara alami, termasuk golongan semi-logam yang dapat mencemari tanah, air dan udara melalui proses erosi atau letusan gunung berapi (Widowati et al. 2008). Penggunaan logam As sebagai pestisida dalam dunia pertanian merupakan sumber utama kontaminasi As dalam tanah atau air tanah (Notodarmojo 2005). Widowati et al. (2008) menjelaskan bahwa tersebar logam berat seperti Hg di tanah, perairan dan udara dapat melalui berbagai jalur seperti pembuangan limbah industri secara langsung, baik limbah padat maupun limbah cair. Dalam volume rendah, tanah dapat mengurai logam berat, namun secara terus menerus tanah akan tercemar logam berat. Pencemaran Pb berasal dari sumber alami maupun limbah hasil aktivitas manusia dengan jumlah yang terus meningkat, baik di lingkungan air, darat, maupun udara. Pencemaran logam Pb dan As dapat mengganggu organ hati dan ginjal ternak dan secara tidak langsung dapat mengganggu kesehatan manusia yang mengkonsumsi produk asal ternak tersebut.

Di Bogor, ditemukan Pb dan As pada susu segar di peternakan sapi perah yang diberi pakan asal limbah organik (sampah), namun khusus pakan yang berbahan dasar jagung kadar Pb dan As masih di bawah kadar ambang, masing-masing yaitu 0,3 dan 0,5 ppm. Keracunan logam Pb dan As pada ternak sapi biasanya berpengaruh terhadap produksi, disamping itu residu logam Pb dan As dalam susu dapat menurunkan kualitasnya karena sebagian logam Pb dan As diekskresikan melalui susu. Konsentrasi logam Pb dan As dalam pakan yang dikonsumsi oleh ternak sapi biasanya sangat bervariasi, sehingga keberadaan logam tersebut dalam tubuh sapi berbeda-beda (Salundik et al. 2012).

Penelitian di Kabupaten Lombok Barat dan Lombok Tengah pada tahun 2013 menunjukkan bahwa kadar Hg pada tanah terdeteksi di 72% lokasi dan kadar sianida pada air di 66,7% lokasi pengambilan sampel. Analisis kandungan Hg pada tanah melebihi batas ambang yang diijinkan, demikian pula kandungan sianida pada air. Sedangkan sampel rumput alam diketahui kandungan Hg-nya sebesar 0,05 ppm. Luasnya lokasi pencemaran Hg dan sianida pada lingkungan dan pakan dapat memberi paparan rendah kepada masyarakat dan ternak sekitarnya sehingga harus dilakukan antisipasi terhadap bahaya yang ditimbulkan pada kesehatan manusia dan ternak. Cemar Hg pada tanah dan lingkungannya di Kabupaten Lombok Barat dan Tengah mengandung Hg 0,2-3,5 ppm sedangkan batas ambang sebesar 0,005 ppm (Astuti & Sugianti 2014).

Cemaran logam berat di luar negeri

Beberapa negara di luar negeri cemaran logam berat pada lingkungan khususnya di daerah pertanian perlu mendapat perhatian khusus. Di daerah Barat Saudi Arabia polusi logam berat telah mencemari sayuran yang diairi dari irigasi dekat pertambangan pada tahun 2010 dan 2011 (Balkhair & Ashraf 2016). Menurut *The Health Risk Index* (HRI), logam yang berbahaya (index >1) secara berurutan adalah Cr > Zn > Ni > Cd > Mn > Pb > Cu > Fe.

Simon et al. (2016) menyatakan pengairan sawah dari air bekas pertambangan di Tanzania tercemar logam Pb. Hal ini dapat diatasi dengan merawat lingkungan untuk keamanan hasil-hasil pertanian. Dari hasil tersebut, terdapat korelasi positif antara kandungan logam berat hasil panen dengan pengairan air irigasi bekas pertambangan. Di pusat perkembangan industri di Tiongkok telah diteliti kualitas tanah pertanian (tanah peternakan, tanah hutan, padang rumput) dengan cemaran As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Ni dan Zn, namun masih di bawah batas ambang berbahaya. Logam As dan Ni ditemukan pada lahan pertanian yang sudah lama, sedangkan logam berat lainnya pada tanah yang baru diolah. Hal ini menunjukkan bahwa kegiatan industri mempengaruhi kualitas tanah dan kesehatan (Liu et al. 2015). Selain itu, hasil penelitian FAO di India ditemukan cemaran logam berat Zn dan Mg pada air irigasi dan pada hasil panen tomat di Kota Mysore, sedangkan mineral seperti P, Ca, K dan Na dibutuhkan oleh tanaman hortikultura tersebut (Alghobar & Suresha 2017).

Dampak keracunan logam berat pada kesehatan hewan

Efek gangguan logam berat terhadap kesehatan hewan ternak tergantung pada lokasi dalam tubuh, serta besarnya dosis paparan. Beberapa gejala penyakit yang timbul adalah anemia, gangguan pada hati, ginjal, jantung dan penurunan kecerdasan (Kafiar et al. 2013). Keracunan As dalam bentuk As₂O dan Na₃AsO₃ mengakibatkan gangguan pencernaan dan kardiovaskular (Blakley & Barry 2011), keracunan Cd menyebabkan gastroenteritis, gangguan kardiovaskular dan kerusakan hati (Gupta & Mohapatra 2003). Selain itu, keracunan Hg menyebabkan gastroenteritis dan diare (Blakley & Barry 2011), keracunan logam berat Pb menyebabkan gangguan syaraf.

BIOREMEDIASI DAN MIKOREMEDIASI (MIKO-BIOREMEDIASI)

Bioremediasi adalah proses untuk mengurangi efek negatif dari industri yang menghasilkan limbah/polusi logam berat. Istilah miko-bioremediasi (mikoremediasi) berasal dari miko (cendawan) bio (hidup) dan remediasi (pemulihan kembali) yang berarti menggunakan cendawan untuk menghilangkan senyawa yang toksik dari air, lumpur dan tanah sehingga lingkungan kembali menjadi bersih dan alamiah. Bioremediasi pada lahan terkontaminasi logam berat didefinisikan sebagai proses membersihkan lahan dari bahan-bahan pencemar/polutan secara biologis atau dengan menggunakan organisme hidup (Hidayat 2015). Melalui bioremediasi, lahan dapat dibersihkan, khususnya lahan peternakan yang berdekatan dengan pabrik sehingga bebas dari cemaran logam berat. Bioremediasi sudah banyak dilakukan pada pengolahan limbah minyak bumi (Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 128 K Tahun 2003), sedangkan untuk lahan peternakan belum ada aturannya. Mikoremediasi dapat dilakukan bila lingkungan tempat tumbuh cendawan sesuai dengan habitatnya seperti suhu, pH, nutrisi, kelembaban dan oksigen. Mikoremediasi dapat dilakukan dengan biostimulasi (memperbanyak cendawan) yang sudah ada di dalam tanah yang tercemar dengan cara memberikan lingkungan pertumbuhan yang diperlukan dan bioaugmentasi (menambahkan populasi cendawan). Di dalam proses bioremediasi dibedakan menjadi dua golongan, yaitu *in situ* untuk polutan yang tidak dipindahkan dan *ex situ* untuk polutan yang dipindahkan.

Proses remediasi berdasarkan kemampuan toleransi cendawan terbagi atas dua mekanisme, yaitu pemisahan ekstrak seluler melalui khelasi dan pengikatan dinding sel serta pemisahan intraseluler fisik logam melalui pengikatan protein atau ligan lainnya untuk mencegah kerusakan target seluler sensitif logam (Anahid et al. 2011). Enzim juga memegang peranan dalam proses mikoremediasi yang akan mendegradasi sejumlah jenis substrat dan polutan (Kulshreshtha et al. 2014).

Bioremediasi merupakan pengembangan dari bidang bioteknologi ramah lingkungan dengan memanfaatkan proses biologi dalam mengendalikan pencemaran. Teknik ini efektif, murah, mudah dilakukan dan efisiensi tinggi dalam membersihkan

tanah serta air yang tercemar oleh senyawa beracun (Kensa 2011; Bhatnagar & Kumari 2013). Mikroba yang sering digunakan dalam proses bioremediasi adalah bakteri, cendawan dan alga. Degradasi senyawa kimia dan logam berat oleh mikroba merupakan proses yang sangat penting untuk mengurangi kadar bahan berbahaya di lingkungan yang berlangsung melalui suatu seri reaksi kimia yang cukup kompleks.

Mekanisme bioremediasi

Umumnya proses bioremediasi ion logam berat terdiri atas dua mekanisme yang melibatkan proses pengambilan aktif (*active uptake*) dan penyerapan pasif (*passive uptake*). Prosesnya berlangsung dengan cepat dan bolak balik. Proses bolak balik ikatan ion logam berat di permukaan sel ini dapat terjadi pada sel mati dan sel hidup dari suatu biomassa.

Cendawan sebagai bioremediasi lebih baik daripada bakteri. Bakteri mengurai senyawa organik polutan logam berat dengan cara menangkap/mengambil senyawa tersebut ke dalam sel dan memanfaatkan enzim intraseluler. Dalam hal ini, difusi dengan polutan dibatasi oleh ukuran molekul, dinding sel, toksisitas senyawa tertentu yang akan mematikan bakteri. Sebaliknya, pada cendawan enzim pendegradasi disekresi oleh cendawan dan miselia (enzim ekstraseluler) dan proses biodegradasi (pengurai) dilakukan di luar sel cendawan sehingga ukuran molekul dan toksisitasnya dapat diabaikan (Onrizal 2005). Gambar 2 menunjukkan beberapa spesies cendawan yang sering dipakai untuk proses miko-bioremediasi.

Kemampuan mikroorganisme untuk beradaptasi dengan kondisi lingkungan yang terkontaminasi telah banyak diteliti (Pushkar et al. 2015). Salah satu pendekatan yang telah dilakukan pada proses bioremediasi adalah mikoremediasi (Agunwamba et al. 2013).

Kemampuan toleransi fungi

Mekanisme bioremediasi menggunakan mikroorganisme dikembangkan untuk mentoleransi konsentrasi logam berat (Ahmad & Malik 2012). Secara umum, kemampuan toleransi yang ditunjukkan oleh cendawan terjadi melalui dua mekanisme, yaitu pemisahan secara *ekstraselular* melalui khelasi dan pengikatan dinding sel, serta pemisahan *intraselular* fisik logam melalui pengikatan ke protein atau ligan lainnya untuk mencegah kerusakan target selular yang sensitif terhadap logam tersebut. Mekanisme ekstraselular berupaya menghindarkan sel dari masuknya logam, sedangkan sistem atau mekanisme

intraselular bertujuan untuk mengurangi beban logam dalam sitosol (Anahid et al. 2011).

Mikroorganisme memegang kunci penting dalam geoaktif di *biosphere* dan berperan di dalam pengendalian racun logam berat di lingkungan. Hal ini terjadi melalui mekanisme pertahanan yang mempengaruhi transformasi antara bentuk terlarut dan tidak terlarut. Mekanisme ini merupakan komponen yang terintegrasi secara alami di dalam siklus biogeokimia dan berpotensi dalam proses bioremediasi secara *in situ* maupun *ex situ* (Gadd 2000; 2010).

Mikoremediasi

Mikoremediasi adalah suatu proses pendegradasian atau penghilangan bahan toksik dari lingkungan yang tercemar dengan menggunakan fungi (Asiriwa et al. 2013). Pada proses remediasi cemaran di lingkungan melibatkan cendawan beserta mekanisme reduksinya, baik secara intraselular maupun ekstraselular. Beberapa jenis fungi yang sering dijadikan agen remediator antara lain *Aspergillus* sp, *Fusarium* sp, *Penicillium* sp, *Hanerochaete* sp, *Saccharomyces cerevisiae*, *Trichoderma* sp (Gambar 2). Cendawan mereduksi logam berat dengan beberapa cara yaitu biosorpsi, bioakumulasi, biopresipitasi, bioreduksi dan *bioleaching* dengan proses kimiawi melalui modifikasi ataupun mengubah bioavailabilitas (Damodaran et al. 2011; Harms et al. 2011; Chaturvedi et al. 2015; Dixit et al. 2015) (Tabel 1).

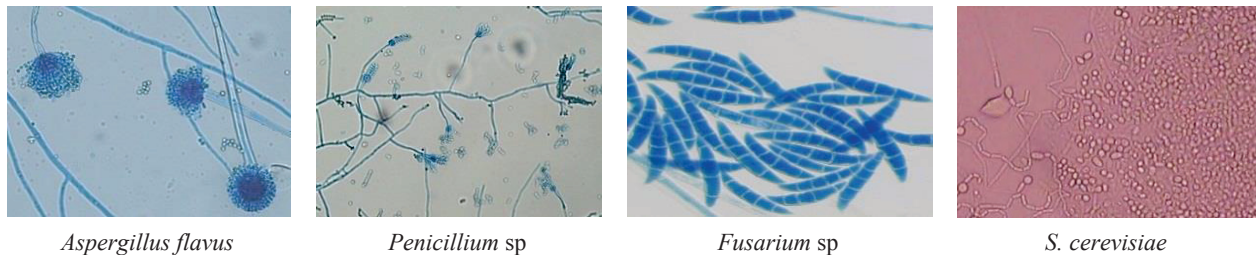
Tabel 1. Proses-proses yang dapat terjadi dalam mikoremediasi

Proses	Sumber
Biosorpsi (<i>passive active</i>)*	Gelagutashvili (2013); Davis et al. (2003); Chipasa (2003); Pagnanelli et al. (2000); Hansda et al. (2015)
Bioakumulasi (<i>active uptake</i>)	Arunakumara & Zhang (2007); Smical et al. (2008)
Biopresipitasi	Fu & Wang (2011); Martinez et al. (2007)
Bioreduksi	Wani & Ayoola (2015)
<i>Bioleaching</i>	Ohimain et al. (2009); Gadd (2010)

*: Paling banyak digunakan

Biosorpsi

Biosorpsi adalah proses penghilangan logam dari suatu larutan dengan menggunakan bahan biologis. Proses penghilangan logam berat melalui pengikatan pasif ke biomassa tidak hidup dari suatu larutan dan



Gambar 2. Cendawan yang potensial sebagai mikoremediasi

Sumber: Dokumentasi pribadi

mekanisme reduksinya tidak dikendalikan secara metabolik. Biosorpsi merupakan proses penyerapan logam secara pasif oleh sel-sel mikroorganisme, hasil dari formasi organik kompleks-logam dengan penyusun dinding sel mikroorganisme, kapsul atau polimer ekstraseluler yang disintesis dan diekskresikan oleh mikroorganisme (Gavrilescu 2004). Mekanisme biosorpsi dapat dikelompokkan menjadi mekanisme yang bergantung pada metabolisme (metabolism-dependent mechanisms) dan mekanisme yang tidak bergantung dengan metabolisme (metabolism-independent mechanisms) (Pagnanelli et al. 2000). Pengikatan logam tidak bergantung metabolisme (metabolism-independent metal binding) ke dinding sel dan permukaan eksternal hanya terjadi pada biosorpsi yang melibatkan biomassa tidak hidup (non-living biomass). Sedangkan pada metabolisme-independent metal binding melibatkan proses adsorpsi seperti ionik, kimiawi dan fisik oleh grup fungsional dinding sel biomassa. Biosorben memiliki berbagai sisi fungsional yaitu karboksil, imidazole, sulfidril (thiol), amino, fosfat, sulfat, thioether, fenol, karbonil (keton), amida, gugus hidroksil, fosfonat dan fosfodiester yang memiliki potensi (Gupta & Mohapatra 2003; Javanbakht et al. 2014). Interaksi pasif dinding sel dengan ion logam dalam proses biosorpsi juga melibatkan makromolekul seperti lipid, protein dan polisakarida yang terdapat pada permukaan dinding sel (Chipasa 2003). Biosorpsi adalah proses mikoremediasi paling banyak dilakukan dalam melakukan remediasi.

Bioakumulasi

Mikroorganisme memiliki kapasitas untuk mengakumulasi logam berat lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi yang umumnya ada di lingkungan. Proses akumulasi ini dapat dikelompokkan menjadi biokonsentrasi dan bioakumulasi. Biokonsentrasi merupakan proses peningkatan konsentrasi polutan secara langsung sewaktu berpindah dari lingkungan ke suatu organisme. Sedangkan bioakumulasi adalah absorpsi polutan secara langsung yang terakumulasi melalui nutrisi yang ditambahkan pada organisme (Smical et al. 2008). Bioakumulasi logam berat pada

organisme hidup dideskripsikan sebagai suatu proses dan jalur migrasi polutan dari satu level trofik ke level lainnya, termasuk melalui rantai makanan sehingga dapat terakumulasi pada jaringan organ (Kouba et al. 2010; Akan et al. 2012). Keberadaan logam berat tergantung pada karakteristik bioakumulasi logam yang terkonsentrasi. Bioakumulasi logam berat terjadi secara aktif dan dikendalikan secara metabolik oleh organisme. Sedangkan bioavailabilitas logam berat, akumulasi dan toksisitasnya tergantung pada variabel-variabel yang terdapat di lingkungan (Arunakumara & Zhang 2007).

Biopresipitasi

Proses reaksi kimiawi terhadap logam berat dilakukan sehingga terbentuk presipitat tidak larut dan kemudian presipitat tersebut dipisahkan melalui proses sedimentasi atau filtrasi (Fu & Wang 2011). Presipitasi diikuti oleh proses koagulasi atau penggumpalan yang terjadi di dalam pembentukan presipitat hidroksida logam melalui penambahan bahan alkali untuk menghilangkan kation logam berat seperti Pb(II), Cd(II), Cu(II) dan Ni(II) (Dhokal et al. 2005). Di dalam biopresipitasi, pereduksian logam berat menjadi presipitat dilakukan oleh mikroorganisme dalam kondisi anaerob dimana proses ini berbeda dengan biomineralisasi yang terjadi secara aerob (Martinez et al. 2007).

Bioreduksi

Pereduksian racun dari suatu lingkungan atau detoksifikasi dengan menggunakan mikroorganisme adalah merupakan pendekatan perlindungan lingkungan yang ramah. Proses bioreduksi atau bioretoksifikasi oleh mikroorganisme dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung. Bioreduksi secara langsung terjadi dengan melibatkan aktivitas enzimatis, sedangkan mekanisme tidak langsung melibatkan produk metabolisme (reduktan maupun oksidan) melalui reaksi reduksi oksidasi kimiawi (Wani & Ayoola 2015).

Bioleaching

Proses pelarutan logam dari substrat padatan secara langsung dapat dilakukan melalui metabolisme mikroorganisme seperti cendawan dan bakteri, serta secara tidak langsung dilakukan oleh produk metabolisme. Unsur-unsur dapat mengalami proses asimilasi, degradasi dan metabolisme senyawa organik serta anorganik seperti C, H, O. Selain itu, pada unsur N terjadi dekomposisi senyawa, denitrifikasi dan nitrifikasi, oksidasi amonia dan nitrit, atau sintesis biopolimer yang mengandung nitrogen (N). Delusi fosfat anorganik dan mineral yang mengandung fosfor (P); degradasi senyawa organik yang mengandung sulfur (S); pelapukan biologis pada mineral yang mengandung besi (Fe); pelarutan Fe oleh siderofor atau asam organik dan metabolit lainnya, seperti biomineralisasi dan oksidasi; bioakumulasi, immobilisasi, biosorpsi, presipitasi intraselular, oksidasi, reduksi dan biomineralisasi Mn; oksidasi, reduksi dan akumulasi kromium (Cr); pelapukan, biosorpsi, biopresipitasi dan penyerapan, serta akumulasi pada unsur magnesium (Mg), kalsium (Ca), kobalt (Co), nikel (Ni), seng (Zn) dan kadmium (Cd); reduksi, biosorpsi dan akumulasi perak (Ag); akumulasi, translokasi melalui miselium dan mobilisasi kalium (K) serta natrium (Na); mobilisasi mineral yang mengandung tembaga (Cu); volatilisasi raksa (Hg) menjadi Hg(0), biometilasi Hg dan reduksi Hg(II) menjadi Hg(0); dan peran lainnya di dalam siklus mineral, termasuk proses dehalorespirasi (Ohimain et al. 2009; Gadd 2010).

Tabel 2 menunjukkan beberapa cendawan yang dapat digunakan sebagai cendawan mikoremediasi. Sejumlah cendawan lainnya yang telah diteliti dan digunakan sebagai agen mikoremediasi antara lain *Aspergillus* sp, *Fusarium* sp dan *Penicillium* sp yang telah diuji memiliki toleransi terhadap logam berat Zn, Pb, Ni dan Cd. *A. flavus*, *A. niger*, *Fusarium solani*, *Penicillium chrysogenum* resisten terhadap Cr dan Pb (Pan et al. 2009; Iram et al. 2013b), cendawan *Filamentus* yang mampu mengabsorpsi sejumlah logam berat seperti Zn, Cd, Pb, Fe, Ni dan lainnya (Bishnoi & Garima 2005). Fungi dari jenis *A. awamori*, *A. flavus*, *Phanerochaete chrysosporium* dan *Trichoderma viride* mampu toleran Pb, Cd, Cr dan Ni (Joshi et al. 2011). Kelompok *Trichoderma*, yaitu jenis *Trichoderma asperellum*, *Trichoderma harzianum* dan *Trichoderma tomentosum* dapat menurunkan Cd (Mohsenzadeh & Shahrokhi 2014). Selain itu, *A. niger* dan strain *Phanerochaete chrysosporium* mampu menghambat dan mendegradasi *total organic carbons* (TOC) (Maruthi et al. 2013). *Aspergillus fumigatus* dapat meremediasi tanah dari logam berat Fe, Cu dan Cr dengan cara biosorpsi logam tersebut dari tanah yang tercemar (Iram et al. 2013a). *S. cerevisiae* mampu

mengabsorpsi cemaran ion timbal (Pb^{2+}) 67-82% dan ion kadmium (Cd^{2+}) sebanyak 73-79% dalam 30 hari (Damodaran et al. 2011). Proses reduksi Co^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} dan Cd^{2+} menjadi bentuk metaliknya dapat dilakukan oleh *S. cerevisiae* di dalam larutan *buffer* (Rahatgaonkar & Mahore 2008).

Mikoriza dapat mengurangi toksisitas logam berat terhadap tanaman pada tanah tercemar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Endomikoriza* menurunkan kadar Cu dan Pb yang tersedia di dalam tanah. Pada tanaman, pemberian *Endomikoriza* menurunkan serapan Pb (Chairiyah et al. 2013).

Tabel 2. Cendawan mikoremediasi dan logam berat yang diremediasi

Cendawan	Remediasi logam	Sumber
<i>Acrimonium</i> sp	Cd, Cu, Ni	Akhtar et al. (2013)
<i>Aspergillus flavus</i> *	Cr, Pb	Iram et al. (2013b)
<i>Aspergillus fumigatus</i>	Pb, Cu, Cr	Iram et al. (2013a; 2013b)
<i>Aspergillus niger</i>	Cd, Zn	Kumar et al. (2011)
<i>Aspergillus</i> sp*	Zn, Cr, Cu, Ni, Cd	Kumar et al. (2012); Ahmad et al. (2005); Akhtar et al. (2013)
<i>Curvularia</i> sp	Cd, Cu, Ni	Akhtar et al. (2013)
<i>Endomikoriza</i>	Cd, Cu, Pb	Chairiyah et al. (2013)
<i>Fusarium</i> sp	Cd, Cr, Zn	Pan et al. (2009)
<i>Penicillium</i> sp	Cd, Cr, Zn	Pan et al. (2009)
<i>Pithyus</i> sp	Cd, Cu, Ni	Akhtar et al. (2013)
<i>Rhizopus</i> spp	Cd, Cr	Ahmad et al. (2005);
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Pb, Cd	Damodaran et al. (2011)
<i>Trichoderma harzianum</i> , <i>T. virens</i>	Pb, Cu, Ni, Zn	Siddiquee et al. (2013) Mohsenzadeh & Shahrokhi (2014)

*: Sering digunakan

UPAYA PENCEGAHAN DAN PENGENDALIAN CEMARAN LOGAM BERAT PADA LAHAN TERNAK DAN HEWAN

Masuknya logam berat ke dalam tubuh ternak secara alami dapat terjadi melalui perantara rumput atau beberapa jenis leguminosa pakan ternak dan air minum yang tercemar oleh logam berat. Logam berat terserap oleh akar tanaman dan masuk ke dalam jaringan tanaman sehingga terakumulasi dalam pakan ternak. Oleh karena itu, perlu upaya pencegahan dan pengendalian (Widaningrum et al. 2007).

Mikoremediasi biosorpsi dalam rangka detoksikasi limbah industri dapat dilakukan dengan

cara eradikasi. Hal ini sangat ekonomis karena biosorpsi secara teknis dapat diaplikasikan pada berbagai temperatur dan pH (Volesky et al. 2003). Daerah bekas pertambangan dan industri sebaiknya tidak dijadikan sebagai tempat usaha peternakan sebelum diremediasi. Pencegahan kontaminasi air sungai dan danau oleh logam berat hasil buangan dari pabrik atau sampah industri di area irigasi dapat dicegah dengan pengelolaan yang baik. Alternatif pencegahan keracunan akibat mengonsumsi rumput yang tercemar dapat dikembangkan pabrik-pabrik pengolah pakan ternak yang memproduksi protein suplemen. Selain itu juga perlu dilakukan kontrol makanan produk hewani untuk mencegah terjadinya keracunan pada manusia (Kafiar et al. 2013). Teknik mikoremediasi dapat menjadi salah satu instrumen untuk mengembalikan kualitas lingkungan yang bebas dari cemaran logam berat.

KESIMPULAN

Pencemaran logam berat telah menimbulkan kerugian kesehatan bagi ternak dan manusia namun belum mendapat perhatian. Mikoremediasi salah satu pilihan yang tepat pada masa kini dan mendatang untuk mengurangi pencemaran logam berat di lingkungan di daerah industri maupun bekas pertambangan. Metode biosorpsi merupakan metode proses mikoremediasi yang sering dilakukan dan memungkinkan untuk diterapkan di daerah yang tercemar logam berat di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Agunwamba JC, Kelechi OO, Mmonwuba N. 2013. Comparative analysis of bioremediation of heavy metals using plants and microorganisms. *Int J Curr Sci.* 6:153-160.
- Ahemad M, Malik A. 2012. Bioaccumulation of heavy metals by zinc resistant bacteria isolated from agricultural soils irrigated with wastewater. *Bacteriol J.* 2:12-21.
- Ahmad I, Zafar S, Ahmad F. 2005. Heavy metal biosorption potential of *Aspergillus* and *Rhizopus* sp isolated from wastewater treated soil. *J Appl Sci Environ Manag.* 9:123-126.
- Ahmad RZ. 2008. Pemanfaatan cendawan untuk meningkatkan produktivitas dan kesehatan ternak. *J Litbang Pertanian.* 27:84-92.
- Akan JC, Mohmoud S, Yikala BS, Ogugbuaja VO. 2012. Bioaccumulation of some heavy metals in fish samples from River Benue in Vinikilang, Adamawa State, Nigeria. *Am J Anal Chem.* 3:727-736.
- Akhtar S, Mahmood-ul-Hassan M, Ahmad R, Suthor V, Yasin M. 2013. Metal tolerance potential of filamentous fungi isolated from soils irrigated with untreated municipal effluent. *Soil Environ.* 32:55-62.
- Alghobar MA, Suresha S. 2017. Evaluation of metal accumulation in soil and tomatoes irrigated with sewage water from Mysore City, Karnataka, India. *J Saudi Soc Agric Sci.* 16:49-59.
- Anahid S, Yaghmaei S, Ghobadinejad Z. 2011. Heavy metal tolerance of fungi. *Sci Iran.* 18:502-508.
- Arunakumara KKIU, Zhang X. 2007. Heavy metal bioaccumulation and toxicity with special reference to microalgae. *J Ocean Univ China.* 7:60-64.
- Asiriwa OD, Ikhuoria JU, Ilor EG. 2013. Mycoremediation potential of heavy metals from contaminated soil. *Bull Environ Pharmacol Life Sci.* 2:16-22.
- Astiti LGS, Sugianti T. 2014. Dampak penambangan emas tradisional pada lingkungan dan pakan ternak di Pulau Lombok. *Sains Peternakan.* 12:101-106.
- Atafar Z, Mesdaghinia A, Nouri J, Homae M, Yunesian M, Ahmadimoghaddam M, Mahvi AH. 2010. Effect of fertilizer application on soil heavy metal concentration. *Environ Monit Assess.* 160:83-89.
- Balkhair KS, Ashraf MA. 2016. Field accumulation risks of heavy metals in soil and vegetable crop irrigated with sewage water in western region of Saudi Arabia. *Saudi J Biol Sci.* 23:S32-S44.
- Bhatnagar S, Kumari R. 2013. Bioremediation: A sustainable tool for environmental management - A review. *Annu Rev Res Biol.* 3:974-993.
- Bishnoi NR, Garima A. 2005. Fungus - An alternative for bioremediation of heavy metal containing wastewater: A review. *J Sci Ind Res (India).* 64:93-100.
- Blakley, Barry R. 2011. Arsenic poisoning, mercury poisoning. *Merck Manual* [Internet]. Available from: <https://www.merckmanuals.com/PetHealth/Special-Subjects/Poisoning/Arsenic-Poisoning/Mercury-Poisoning>
- BPS. 2016. Statistik Indonesia. Jakarta (Indonesia): Badan Pusat Statistik.
- Chairiyah RR, Guchi H, Rauf A. 2013. Bioremediasi tanah tercemar logam berat Cd, Cu dan Pb dengan menggunakan *Endomikoriza*. *J Online Agroekoteknologi.* 2:348-361.
- Chaturvedi AD, Pal D, Penta S, Kumar A. 2015. Ecotoxic heavy metals transformation by bacteria and fungi in aquatic ecosystem. *World J Microbiol Biotechnol.* 31:1595-1603.
- Chipasa KB. 2003. Accumulation and fate of selected heavy metals in a biological wastewater treatment system. *Waste Manag.* 23:135-143.
- Damodaran D, Suresh G, Mohan BR. 2011. Bioremediation of soil by removing heavy metal using *Saccharomyces cerevisiae*. *Int Conf Environ Sci Technol.* 6:22-27.

- Davis TA, Volesky B, Mucci A. 2003. A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. *Water Res.* 37:4311-4330.
- Dhakal RP, Ghimire KN, Inoue K. 2005. Adsorptive separation of heavy metals from an aquatic environment using orange waste. *Hydrometallurgy.* 79:182-190.
- Dixit R, Wasiullah, Malaviya D, Pandiyan K, Singh UB, Sahu A, Shukla R, Singh BP, Rai JP, Sharma PK, et al. 2015. Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: An overview of principles and criteria of fundamental processes. *Sustainability.* 7:2189-2212.
- Fu F, Wang Q. 2011. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *J Environ Manage.* 92:407-418.
- Gadd GM. 2000. Bioremedial potential of microbial mechanisms of metal mobilization and immobilization. *Curr Opin Biotechnol.* 11:271-279.
- Gadd GM. 2010. Metals, minerals, and microbes: Geomicrobiology and bioremediation. *Microbiology.* 156:609-643.
- Gavrilescu M. 2004. Removal of heavy metals from the environment by biosorption. *Eng Life Sci.* 4:219-232.
- Gelagutashvili E. 2013. Comparative study on heavy metals biosorption by different types of bacteria. *Open J Metal.* 3:62-67.
- Govindasamy C, Arulpriya M, Ruban P, Francisca LJ, Ilayaraja A. 2011. Concentration of heavy metals in seagrasses tissue of the Palk Strait, Bay of Bengal. *Int J Environ Sci.* 2:145-153.
- Gunawan, Priyanto R, Salundik. 2015. Analisis lingkungan sekitar tambang nikel terhadap kualitas ternak sapi pedaging di Kabupaten Halmahera Timur. *J Ilmu Produksi dan Teknologi Hasil Peternakan.* 3:59-64.
- Gupta R, Mohapatra H. 2003. Microbial biomass: An economical alternative for removal of heavy metals from waste water. *Indian J Exp Biol.* 41:945-966.
- Hansda A, Kumar V, Anshumali. 2015. Biosorption of copper by bacterial adsorbents: A review. *Res J Environ Toxicol* 9:45-58.
- Harms H, Schlosser D, Wick LY. 2011. Untapped potential: Exploiting fungi in bioremediation of hazardous chemicals. *Nat Rev Microbiol.* 9:177-192.
- Hidayat B. 2015. Remediasi tanah tercemar logam berat dengan menggunakan *Biochar*. *J Pertan Trop.* 2:31-41.
- Iram S, Uzma, Gul RS, Ara T. 2013a. Bioremediation of heavy metals using isolates of filamentous fungus *Aspergillus fumigatus* collected from polluted soil of Kasur, Pakistan. *Int Res J Biol Sci.* 2:1-6.
- Iram S, Waqar K, Shuja N, Perveen K, Akhtar I, Ahmad I. 2013b. Tolerance potential of different species of *Aspergillus* as bioremediation tool-comparative analysis. *J Biodivers Environ Sci.* 3:1-10.
- Javanbakht V, Alavi SA, Zilouei H. 2014. Mechanisms of heavy metal removal using microorganisms as biosorbent. *Water Sci Technol.* 69:1775-1787.
- Joshi PK, Swarup A, Maheshwari S, Kumar R, Singh N. 2011. Bioremediation of heavy metals in liquid media through fungi isolated from contaminated sources. *Indian J Microbiol.* 51:482-487.
- Kafiar FP, Setyono P, Handono AR. 2013. Analisis pencemaran logam berat (Pb dan Cd) pada sapi potong di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Putri Cempo Surakarta. *J Ekosains.* 5:32-39.
- Kensa VM. 2011. Bioremediation - An overview. *J Ind Pollut Control.* 27:161-168.
- Kihampa C, Wenaty A. 2013. Impact of mining and farming activities on water and sediment quality of the Mara River Basin, Tanzania. *Res J Chem Sci.* 3:15-24.
- Kouba A, Buřič M, Kozák P. 2010. Bioaccumulation and effects of heavy metals in crayfish: A review. *Water Air Soil Pollut.* 211:5-16.
- Kulshreshtha S, Mathur N, Bhatnagar P. 2014. Mushroom as a product and their role in mycoremediation. *AMB Express.* 4:1-7.
- Kumar A, Bisht BS, Joshi VD. 2011. Zinc and cadmium removal by acclimated *Aspergillus niger*: Trained fungus for biosorption. *Int J Environ Sci Res.* 1:27-30.
- Kumar RR, Lee JT, Cho JY. 2012. Toxic cadmium ions removal by isolated fungal strain from e-waste recycling facility. *J Env Appl Biores.* 1:1-4.
- Kurnia U, Suganda H, Saraswati R, Nurjaya. 2009. Teknologi pengendalian pencemaran lahan sawah. Dalam: Lahan sawah dan teknologi pengelolaannya. Bogor (Indonesia): Balittanah. hlm. 249-283.
- Liu Y, Wang H, Li X, Li J. 2015. Heavy metal contamination of agricultural soils in Taiyuan, China. *Pedosphere.* 25:901-909.
- Malik A. 2004. Metal bioremediation through growing cells. *Environ Int.* 30:261-278.
- Martinez RJ, Beazley MJ, TAILLEFERT M, Arakaki AK, Skolnick J, Sobecky PA. 2007. Aerobic uranium (VI) bioprecipitation by metal-resistant bacteria isolated from radionuclide- and metal-contaminated subsurface soils. *Environ Microbiol.* 9:3122-3133.
- Maruthi YA, Hossain K, Thakre S. 2013. *Aspergillus flavus*: A potential bioremediator for oil contaminated soils. *Eur J Sustain Dev.* 2:57-66.
- Mohsenzadeh F, Shahrokhi F. 2014. Biological removing of cadmium from contaminated media by fungal biomass of *Trichoderma* species. *J Environ Heal Sci Eng.* 12:1-7.
- Notodarmojo S. 2005. Pencemaran air dan air tanah. Bandung (Indonesia): ITB.

- Ohimain EI, Olu DS, Abah SO. 2009. Bioleaching of heavy metals from abandoned mangrove dredged spoils in the Niger Delta: A laboratory study. *Delta*. 7:1105-1113.
- Onrizal. 2005. Restorasi lahan terkontaminasi logam berat. Medan (Indonesia): e-USU Repository. Universitas Sumatera Utara.
- Pagnanelli F, Papini MP, Toro L, Trifoni M, Vegliò F. 2000. Biosorption of metal ions on *Arthrobacter* sp: Biomass characterization and biosorption modeling. *Environ Sci Technol*. 34:2773-2778.
- Palar H. 2004. Pencemaran dan toksikologi logam berat. Jakarta (Indonesia): Rineka Cipta.
- Pan R, Cao L, Zhang R. 2009. Combined effects of Cu, Cd, Pb, and Zn on the growth and uptake of consortium of Cu-resistant *Penicillium* sp A1 and Cd-resistant *Fusarium* sp A19. *J Hazard Mater*. 171:761-766.
- Purwantari ND. 2007. Reklamasi area *tailing* di pertambangan dengan tanaman pakan ternak, mungkinkah? *Wartazoa*. 17:101-108.
- Pushkar BK, Sevak PI, Singh A. 2015. Isolation and characterization of potential microbe for bio-remediating heavy metal from Mithi River. *Ann Appl Bio-Sciences*. 2:20-27.
- Rahatgaonkar AM, Mahore NR. 2008. A selective bioreduction of toxic heavy metal ions from aquatic environment by *Saccharomyces cerevisiae*. *E-Journal Chem* [Internet]. 5:918-923. Available from: <http://www.hindawi.com/journals/jchem/2008/568717/>
- Raikwar MK, Kumar P, Singh M, Singh A. 2008. Toxic effect of heavy metals in livestock health. *Vet World*. 1:28-30.
- Ritung S, Suryani E, Subardja D, Sukarman, Nugroho K, Suparto, Hikmatullah, Mulyani A, Tafakresnanto C, Sulaeman Y, et al. 2015. Sumber daya lahan pertanian Indonesia: Luas, penyebaran dan potensi ketersediaan. Jakarta (Indonesia): IAARD Press.
- Salundik, Suryahadi, Mansjoer SS, Sopandie D, Ridwan W. 2012. Cemaran timbal (Pb) dan arsen (As) pada susu sapi perah yang diberi pakan limbah organik pasar di peternakan sapi perah Kebon Pedes Bogor. *J Peternakan Indonesia*. 14:308-317.
- Setyorini D, Saraswati R, Anwar ER. 2009. Pupuk organik dan pupuk hayati. Bogor (Indonesia): Balittanah.
- Siddiquee S, Aishah SN, Azad SA, Shafawati SN, Naher L. 2013. Tolerance and biosorption capacity of Zn^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{3+} , and Cu^{2+} by filamentous fungi (*Trichoderma harzianum*, *T. aureoviride*, and *T. virens*). *Adv Biosci Biotechnol*. 4:570-583.
- Simon F, Mtei KM, Kimanya M. 2016. Heavy metals contamination in agricultural soil and rice in Tanzania: A review. *Int J Environ Prot Policy*. 4:16-23.
- Smical A, Hotea V, Oros V, Juhasz J, Pop E. 2008. Studies on transfer and bioaccumulation of heavy metals from soil into lettuce. *Env Eng Manag*. 7:609-615.
- Sudarmaji, Mukono J, Corie. 2006. Toksikologi logam berat B3 dan dampaknya terhadap kesehatan. *J Kesehat Lingkungan*. 2:129-142.
- Volesky B, Weber J, Park JM. 2003. Continuous-flow metal biosorption in a regenerable *Sargassum column*. *Water Res*. 37:297-306.
- Wani PA, Ayoola OH. 2015. Bioreduction of Cr (VI) by heavy metal resistant *Pseudomonas* species. *J Environ Sci Technol*. 8:122-130.
- Widaningrum, Miskiyah, Suismono. 2007. Bahaya kontaminasi logam berat dalam sayuran dan alternatif pencegahan cemarannya. *Bul Teknol Pascapanen Pertanian*. 3:16-27.
- Widowati W, Sastiono A, Rumampuk RJ. 2008. Efek toksik logam pencegahan dan penanggulangan pencemaran. Yogyakarta: Penerbit Andi.

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 dan hak publikasi.

RUANG LINGKUP

Buletin ilmiah ini memuat tulisan hasil tinjauan, ulasan (*review*), kajian kebijakan dan gagasan serta pemikiran sistematis. 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 10 (sepuluh) 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

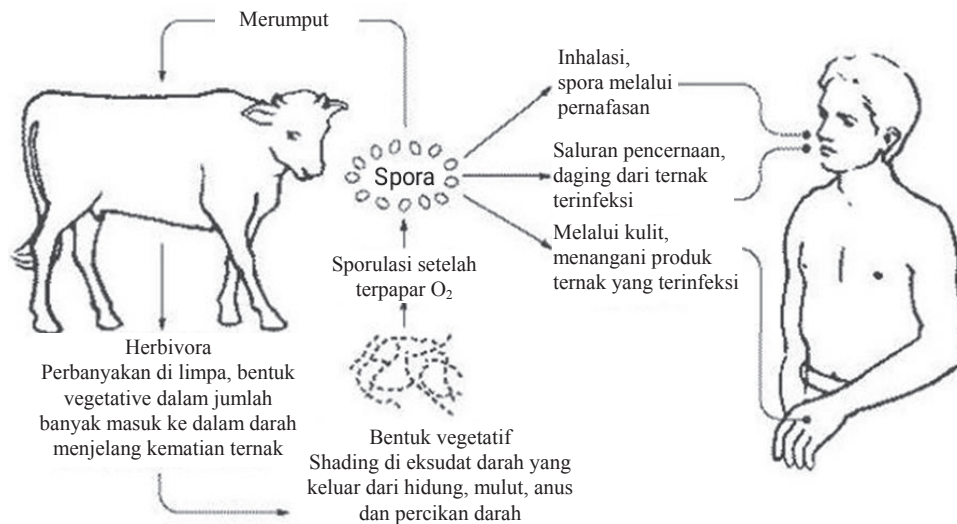
td: Data tidak tersedia; BKLT: Berat kering tanpa lemak

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 diperkenankan.
 - 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:

Stiglitz JE. 2010. Free fall. New York (US): WW Norton and Company Inc.

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 mainly due to ourselves work or formed in a team that:

- ☐ Provide original contents without any fabrication, falsification, plagiarism, duplication, fragmentation and violation of copyrights on the data/contents
- ☐ Agreed 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 truthful and high responsibility based on the decree of Kepala LIPI No. 06/E/2013 on Researchers Ethics Code.

Materai
Rp. 6.000,-

Co-author(s):

Name	Signature



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 copyrights to WARTAZOA when manuscript is accepted for publication by the Editorial Office.

Person(s) listed as author(s) had been contributed significantly to its content and intellectual property along with the 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, and it will not be submitted to other publication in any other journal.

Agreed by,
(Author or First Author)

Co-author(s):

Name	Signature

To:
Editorial Office of WARTAZOA
Pusat Penelitian dan Pengembangan Peternakan
Jl. Raya Pajajaran Kav. E-59, Bogor 16128
Telp.:(0251) 8322185; Fax. (0251) 8380588; E-mail: wartazoa@litbang.pertanian.go.id; wartazoa@yahoo.co.id
Website: <http://medpub.litbang.pertanian.go.id/index.php/wartazoa/index>

Registered in:



