

Efektivitas Penggunaan Nanomineral pada Pakan terhadap Peningkatan Performa Ayam: Review

The Effectiveness of Using Nanominerals in Feed to Improve Chicken Performance: Review

Cecep Hidayat*

Pusat Riset Peternakan, Organisasi Riset Pertanian dan Pangan, Badan Riset dan Inovasi Nasional
(BRIN), Cibinong Science Center, Bogor, Indonesia - 16915

*Corresponding E-mail: hidayat_c2p@yahoo.com

(Diterima: 24 Juni 2022; Disetujui: 12 September 2022)

ABSTRAK

Penelitian dalam bidang pakan ternak terus banyak dilakukan untuk semakin meningkatkan efisiensi penggunaan pakan, salah satunya melalui penerapan nanoteknologi. Mineral berpartisipasi dalam beberapa proses biokimia dan merupakan bagian dari banyak enzim yang diperlukan untuk reaksi biokimia normal. Tujuan dari penulisan review ini adalah untuk mengulas aplikasi penggunaan nano mineral pada pakan ayam dan hubungannya terhadap performa ternak ayam. Hasil kajian menunjukkan bahwa salah satu permasalahan utama penggunaan bahan pakan sumber mineral konvensional adalah rendahnya bioavailabilitasnya, sehingga mineral dalam pakan masih cukup tinggi yang tidak dapat dicerna dan diserap dalam saluran pencernaan ternak ayam, yang menyebabkan mineral yang tidak dicerna tersebut kemudian dibuang melalui ekskreta, sehingga menimbulkan polusi bagi lingkungan. Nanomineral mencoba menjadi solusi hal tersebut. Nanomineral memiliki bioavailabilitas yang tinggi, sehingga penggunaan dosisnya jauh lebih rendah dan lebih efisien dalam pakan. Hasil pengujian beberapa jenis mineral (Ca, Zn, Se, Cr, Fe, Ag, Cu) dalam bentuk nanopartikel dalam pakan ayam memberikan dampak positif bagi peningkatan produktivitas dan efisiensi penggunaan pakan untuk ternak ayam. Nanomineral menyebabkan penggunaan mineral lebih efisien dalam pakan serta menekan terjadinya pembuangan mineral melalui ekskreta, sehingga dapat menekan polusi lingkungan. Hasil *review* ini disimpulkan bahwa pada dosis yang tepat nanomineral memberikan dampak positif bagi peningkatan produktivitas ternak ayam.

Kata kunci: nanoteknologi, mineral, pakan, ayam, produktivitas

ABSTRACT

The application of nanotechnology in the chicken diet is mainly related to nano-minerals. Minerals participate in several biochemical processes and are part of many enzymes required for normal biochemical reactions. This review aimed to discuss the application of nano minerals in the chicken diet and their relationship to the performance of chickens. The results of the study indicate that one of the main problems using conventional mineral sources in the feed was their low bioavailability, so many minerals in the diet were cannot be digested and absorbed in the digestive tract of chickens and then excreted through manure that causing environmental pollution. Minerals nanoparticles NP has a smaller size (<100 nm) and high bioavailability, so the dose was much lower and more efficient in the chicken diet. The results of several studies of dietary minerals (Ca, Zn, Se, Cr, Fe, Ag, Cu) NP supplementation in the chicken diet improved productivity and feed efficiency. Mineral NP made minerals more efficient in the feed and suppressed mineral disposal through manure, reducing the environmental pollution. It concluded that minerals NP improved the productivity of chickens (broilers and layers).

Keywords: nanotechnology, minerals, feed, chicken, productivity

PENDAHULUAN

Nanoteknologi merupakan salah satu teknologi yang banyak didiskusikan saat ini, karena keuntungannya yang dapat digunakan dalam berbagai disiplin ilmu (Larsson *et al.*, 2019). Nano-partikel (NP) didefinisikan sebagai partikel yang memiliki dimensi lebih kecil dari 100 nm (Jeevanandam *et al.*, 2018). Pakan merupakan biaya terbesar dalam input sistem produksi peternakan, termasuk peternakan ayam (Dal Bosco *et al.*, 2021). Penelitian dalam bidang pakan ternak terus banyak dilakukan untuk semakin meningkatkan efisiensi penggunaan pakan, agar tercapai efisiensi produksi. Salah satu arah penelitian dalam bidang pakan ternak, salah satunya adalah aplikasi penggunaan nano teknologi pada bidang pakan ternak. Nanopartikel dilaporkan telah mulai banyak dicoba digunakan dalam pakan ayam untuk meningkatkan penyerapan dan efisiensi penggunaan pakan (Gopi *et al.*, 2017).

Peternakan ayam merupakan salah satu industri dengan pertumbuhan sangat cepat, dengan minat besar pada penelitian dan pengembangan penggunaan pakan yang berfokus pada peningkatan produktivitas, kesehatan, dan ketahanan terhadap penyakit (Hafez dan Attia, 2020). Aplikasi penggunaan nanoteknologi pada pakan ayam, banyak terkait dengan penggunaan nano-mineral (Uniyal *et al.*, 2017). Mineral berpartisipasi dalam beberapa proses biokimia dan merupakan bagian dari banyak enzim yang diperlukan untuk reaksi biokimia normal (Alagawany *et al.*, 2021).

Penggunaan mineral dalam ukuran nano dapat meningkatkan luas permukaan yang dapat meningkatkan penyerapan sehingga meningkatkan pemanfaatan mineral yang mengarah pada pengurangan jumlah dosis penggunaannya dan pada akhirnya mengurangi biaya pakan (Fesseha *et al.*, 2020). Selain itu, mineral dalam ukuran nanopartikel juga akan membantu dalam mengurangi ekskresi mineral yang tidak digunakan sehingga dapat meminimalisasi pencemaran

lingkungan terutama pada peternakan skala besar (Vinus dan Sheoran, 2017).

Pemberian mineral dalam bentuk nanopartikel ke dalam pakan diperuntukkan utamanya untuk memenuhi kebutuhan mineral ayam sesuai fase fisiologisnya (Hidayat *et al.*, 2021a). Bentuknya dalam ukuran nano diharapkan memiliki keunggulan bioavailabilitas yang lebih baik, penggunaan dosis yang lebih rendah, dan interaksi yang stabil dengan komponen lain (Gopi *et al.*, 2017). Sehubungan penggunaannya dalam dosis rendah, maka akan mengurangi pencemaran lingkungan dan menghasilkan produk hewani yang bebas polusi (Bedford, 2000). Beberapa hasil penelitian melaporkan bahwa penggunaan nanomineral berdampak positif terhadap performa produksi dan mampu menekan pengeluaran mineral melalui ekskreta, seperti yang dilaporkan oleh Hassan *et al.* (2016) untuk nano Dicalcium Phosphate (DCP), Kumar *et al.* (2021) untuk nano zink, El-Deep *et al.* (2014) untuk nano selenium, Sizova *et al.* (2016) untuk nano Fe. Tujuan dari penulisan review ini adalah untuk mengulas aplikasi penggunaan nano mineral pada pakan ayam dan hubungannya terhadap performa ternak ayam.

NANO TEKNOLOGI

Nanoteknologi dapat disebut sebagai bidang ilmu pengetahuan dan teknologi yang berfokus pada studi pembuatan dan pengukuran material berukuran nano (Bayda *et al.*, 2020; Jeevanandam *et al.*, 2018; Bayda *et al.*, 2020). Skala nano mengacu pada materi dengan ukuran 1-100 nm, tetapi sering diperluas untuk mencakup bahan di bawah ukuran 1 μm (Jeevanandam *et al.*, 2018). Mura *et al.* (2014) menjelaskan bahwa nanoteknologi telah mulai diterapkan secara tidak sadar sejak abad ke-4 sebelum masehi, ketika nanopartikel emas digunakan dalam pembuatan porselen di Cina dan Mesir dan untuk tujuan medis (seperti pengobatan radang sendi).

Nano partikel memiliki sifat fisik, kimia dan biologi yang unik dan baru yang berbeda secara mendasar dari bentuk bukan nano-nya (Khan *et al.*, 2019). Nanomaterial dapat diproduksi melalui dua pendekatan yaitu *top-down* dan *bottom-up* (Baig *et al.*, 2021). Khan *et al.*, (2019) menjelaskan bahwa pendekatan *top-down* dilakukan dengan memecah partikel berukuran besar menjadi berukuran nanometer. Pendekatan ini banyak digunakan untuk pengolahan bahan anorganik melalui metode tradisional seperti penggilingan, pengayakan, dan reaksi kimia. Sementara itu, pendekatan *bottom-up* yaitu dibuat dengan dimulai dari atom-atom atau molekul molekul yang membentuk partikel berukuran nano. Pendekatan ini melibatkan perakitan material nano melalui proses sintesis secara kimiawi dari sejumlah material awal (*precursor*).

Nanomaterial dibagi menjadi dua jenis, organik dan non organik (Khalid *et al.*, 2020). Selanjutnya, Fesseha *et al.* (2020) mengatakan bahwa nanomaterial organik sering disebut sebagai nanokapsul saat digunakan sebagai “kendaraan” untuk pengiriman nutrisi penting atau obat-obatan dan juga digunakan untuk meningkatkan nilai nutrisi pakan. Nanopartikel tersebut membawa nutrisi melalui saluran pencernaan ke dalam aliran darah untuk meningkatkan bioavailabilitasnya. Contoh nanomaterial organik adalah protein, lemak, dan molekul gula. Kedua, nanomaterial anorganik, umumnya digunakan untuk bahan pakan sumber mineral dalam ukuran nano.

Keunggulan partikel dalam ukuran nano, selain luas permukaannya meningkat. Khan *et al.* (2019) menyatakan bahwa partikel juga menjadi lebih stabil pada ukuran 100 nm. Serta diperlukan energi yang lebih kecil untuk memisahkan partikel nano. Partikel nano juga memiliki karakteristik fisik dan kimia dengan reaktivitas dan kelarutan yang lebih baik (Martinez-Ballesta *et al.*, 2019). Hal ini disebabkan bahan aktif nanopartikel telah meningkat stabilitasnya.

ABSORPSI NANOPARTIKEL

Nanopartikel sangat berbeda dalam sifat fisik dari bahan konvensional, sehingga memberikan kontribusi untuk berbagai aplikasi baru. Karena ukuran partikel yang jauh berkurang, mereka menunjukkan aktivitas fisik, kimia, dan biologis yang baru dan lebih baik yang berbeda dari partikel konvensional (Hidayat *et al.*, 2021c). Nanopartikel (NP) menunjukkan tingkat penyerapan yang lebih tinggi pada tubuh ayam (Hassan *et al.*, 2019). Sabourian *et al.* (2020) menjelaskan bahwa cara kerja nanopartikel bergantung pada banyak faktor seperti ukuran partikel, di mana ukuran partikel yang kurang dari 300 nm dapat menyebar dalam darah, tetapi partikel yang lebih kecil dari 100 nm dapat mencapai jaringan. Mikropartikel dan NP keduanya mampu menembus melalui usus halus dan barrier mukosa dalam tubuh dimana penyerapan NP adalah 15 – 250 kali lebih tinggi dari mikropartikel (Sabourian *et al.*, 2020).

Lebih tingginya penyerapan partikel dalam bentuk nanopartikel karena nanopartikel memiliki luas permukaan yang lebih luas untuk dapat interaksi yang lebih baik, memperpanjang waktu tinggal di usus, mengurangi mekanisme pembersihan usus, meningkatkan penetrasi ke dalam jaringan, meningkatkan penetrasi ke dalam lapisan epitel, yang menyebabkan penyerapan sel yang lebih efisien (Cao *et al.*, 2019; Abd El-Hack *et al.*, 2017; 2018). Peningkatan luas permukaan NP memfasilitasi interaksi biologis yang lebih baik, meningkatkan waktu retensi di usus, serta meningkatkan bioavailabilitas dan fungsionalitas yang lebih baik (Chen *et al.*, 2006).

Sehubungan ukurannya yang kecil, penyerapan NP oleh epitel usus halus jauh lebih mudah (Feng *et al.*, 2009). Penyerapan NP melalui lapisan mukosa tergantung pada muatan pada permukaannya dan pH dari lingkungan yang berdekatan. Perubahan pH mengubah muatan permukaan dan dengan demikian menyebabkan aglomerasi dan

perubahan ukuran (Gangadoo *et al.*, 2016). Nanopartikel diserap melalui epitel vili ke dalam sirkulasi darah dan kemudian diangkut ke hati dan limpa (Feng *et al.*, 2009). Nano-mineral berpotensi masuk ke dalam darah, otak, paru-paru, jantung, ginjal, limpa, hati, usus dan lambung setelah melewati usus halus. Tapi tingkat serapan di epitel usus dan jaringan tubuh lainnya secara substansial berbeda, tergantung ukuran nanopartikel (Janer *et al.*, 2014).

Ukuran mineral nanopartikel harus kurang dari 100 nanometer untuk digunakan sebagai feed additive dan hal ini memungkinkan molekul untuk dengan mudah melewati dinding lambung dan masuk ke dalam sel tubuh lebih cepat daripada mineral biasa dengan ukuran partikel yang lebih besar (Abdelnour *et al.*, 2021). Nanopartikel akan efektif digunakan untuk memenuhi kebutuhan mineral dalam pakan unggas dalam dosis kecil sehingga dapat meningkatkan kinerja produksinya.

APLIKASI NANO MINERAL PADA PAKAN AYAM

Secara konvensional, mineral digunakan dalam pakan dalam bentuk garam anorganik, tetapi ketersediaan hayati (bioavailabilitas) yang rendah dari garam mineral anorganik mengharuskan penggunaan pada dosis yang lebih tinggi untuk memenuhi kebutuhan ternak, yang secara tidak langsung menghasilkan dampak polusi dari mineral yang tidak dicerna dan dibuang melalui feces. Melalui nanoteknologi, mineral berukuran nano dianggap memiliki bioavailabilitas yang lebih besar pada hewan sebagai akibat peningkatan luas permukaan, yang cenderung menghasilkan respons biologis yang lebih baik (Hidayat *et al.*, 2021a). Mineral sangat penting untuk semua fungsi biokimia dalam tubuh serta diperlukan dalam pembentukan kerangka tubuh, keseimbangan elektrolit dan homeostasis. Kurnia *et al.* (2012) mengatakan bahwa mineral terbagi menjadi dua, mineral esensial dan non esensial. Mineral esensial

(Ca, Zn, Cu, Fe, dan Se) merupakan mineral yang sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup untuk menunjang proses fisiologis dalam tubuh. Sementara itu, mineral non esensial (Pb, Cd, Hg) merupakan mineral yang belum diketahui fungsi dan manfaatnya untuk makhluk hidup. Beberapa mineral esensial khususnya Zn, Se, Cu, dan Mn berperan penting dalam sistem anti-oksidan, baik sebagai komponen metallo-enzim antioksidan maupun secara tidak langsung dengan mengatur aktivitas enzim. Enzim ini bertindak sebagai indikator kesejahteraan hewan dan mereka meningkat atau menurun tergantung pada tingkat suplai mineral dari pakan. Oleh karena itu, ketersediaan hayati yang lebih baik dari sumber mineral dapat ditentukan dengan memantau kadar enzim yang aktivitasnya spesifik didukung oleh mineral tertentu. Mikro mineral diatas juga bertindak sebagai stimulan imun pada ternak unggas. Oleh karena itu, campuran mineral yang seimbang sangat diprioritaskan untuk memaksimalkan produktivitas ternak unggas dan meminimalkan stres (biotik maupun abiotik) pada ternak unggas (Patra dan Lalhriatpuii, 2020).

Kebutuhan kalsium (Ca) dan fosfor (P) menjadi mineral yang paling banyak dibutuhkan oleh ternak unggas dibandingkan mineral lainnya. Kalsium dan fosfor terutama dibutuhkan untuk perkembangan tulang (Suttle, 2010). Pengurangan Ca dan P dalam pakan unggas dapat menyebabkan patah tulang (Chen dan Moran, 1995). Seng (Zn) sangat penting untuk beberapa proses fisiologis dan biokimia seperti pertumbuhan normal, reproduksi, penyembuhan luka, sintesis DNA, pembelahan sel dan ekspresi gen, proses fotokimia penglihatan, dan meningkatkan sistem kekebalan tubuh melalui replikasi limfosit dan produksi antibodi (Patra dan Lalhriatpuii, 2020). Selenium (Se) sangat penting untuk produksi ternak yang optimal, kesuburan, dan pencegahan penyakit (Suttle, 2010). Tembaga (Cu) sangat penting untuk pertumbuhan normal, perkembangan tulang, respon imun, perkembangan janin, fungsi

saraf, dan dalam sistem antioksidan sebagai bagian atau kofaktor dari beberapa enzim (Patra dan Lalhriatpuii, 2020). Mangan (Mn) adalah mineral penting yang diperlukan untuk antioksidan, sistem kekebalan tubuh serta komponen penting pada beberapa enzim (Swain *et al.*, 2016). Demikian juga, zat besi (Fe) diperlukan untuk sintesis hemoglobin, yang mengangkut oksigen dalam tubuh dan mioglobin, dan juga terkait dengan enzim, misalnya peroksidase, hidrosilase, dan katalase. Kromium (Cr) sangat penting untuk menjaga fungsi kekebalan dan antioksidan serta metabolisme lipid dan protein (Farg *et al.*, 2017).

Mineral terdapat dalam semua bahan pakan karena menjadi komponen yang ada dalam setiap bahan pakan, tetapi ketersediaan mineral dalam bahan pakan masih belum cukup untuk mendukung produktivitas ternak, akibat tidak terpenuhinya kebutuhan mineral melalui sumber pakan (Hidayat *et al.*, 2021b). Selain itu, komponen mineral dari tumbuhan kurang mampu diserap oleh ternak unggas karena mereka membentuk senyawa kompleks dengan komponen lain. Sebagai contoh, bahan pakan mengandung fosfor yang bersumber dari tanaman, fosfor yang tersedia dalam bahan pakan tersebut ada yang tersimpan dalam bentuk fitat, sehingga menyebabkan hampir 60-80% dari total P tidak dapat diserap oleh unggas karena sedikitnya keberadaan enzim fitase dalam saluran pencernaan unggas (Abd El-Hack *et al.*, 2018). Hal tersebut menyebabkan bioavailabilitas mineral dari sumber anorganik menjadi rendah, sedangkan kebutuhan untuk ternak agar dapat berproduksi tinggi, kebutuhannya juga tinggi (Świątkiewicz *et al.*, 2014). Hal ini menyebabkan diperlukan penambahan mineral kedalam ransum dari bahan pakan sumber mineral (Patra dan Lalhriatpuii, 2020). Secara konvensional, sumber mineral ditambahkan dalam pakan dalam bentuk garam anorganik — oksida, sulfat, atau karbonat — misalnya, Zn oksida, Zn sulfat, natrium selenit, Ca karbonat, dan dikalsium fosfat (DCP). Umumnya garam

mineral anorganik memiliki bioavailabilitas rendah, sehingga ditambahkan pada dosis yang lebih tinggi untuk memenuhi kebutuhan ternak, secara tidak langsung menciptakan lebih banyak polusi mineral (Patra dan Lalhriatpuii, 2020). Masalah ini perlu dicari solusi dengan mencari sumber mineral yang memiliki bioavailabilitas yang lebih tinggi. Sumber mineral organik kemudian banyak digunakan karena dianggap memiliki bioavailabilitas yang lebih tinggi dibandingkan anorganik (Ao dan Pierce, 2014). Meskipun bioavailabilitas mineral organik lebih baik daripada mineral anorganik, sumber mineral organik kurang digunakan karena biayanya yang lebih mahal (Zhao *et al.*, 2014). Kemunculan nano mineral dianggap memiliki bioavailabilitas yang lebih baik pada ternak (Hidayat *et al.*, 2021a).

Nano-mineral memiliki aktivitas fisik dan netralitas kimia yang lebih tinggi, yang menjadi penyebab penyerapan yang lebih baik dalam sistem pencernaan ternak (Hassan *et al.*, 2020; Hidayat *et al.*, 2021a) dan dilaporkan stabil di bawah suhu dan tekanan tinggi (Stoimenov *et al.*, 2002). Penggunaan nano-mineral dalam pakan dapat meningkatkan efisiensi pakan, mengurangi biaya pakan dengan mengurangi dosis penggunaan mineral (Grodzik *et al.*, 2013). Sifat fungsional nanomineral, seperti kimia, katalitik atau efek biologis, sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel, bentuk, komposisi, struktur kristal, ion permukaan, dan morfologi (Hidayat *et al.*, 2021c; Rosi dan Mirkin, 2005).

Kelebihan lain dari nanomineral adalah dapat berfungsi sebagai antimikroba. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengeksplorasi aksi antimikroba dari nano mineral (Patra, 2019). Aksi bakterisida nano mineral adalah melalui pembentukan spesies oksigen reaktif (ROS) di dalam sel bakteri (misalnya radikal hidroksil, hidroperoksida, dan superoksida) yang dapat merusak membran lipid sel dan organel bakteri (Sirelkhathim *et al.*, 2015) atau nano mineral tersebut mengubah permeabilitas bakteri setelah nano mineral memasuki membran

Tabel 1. Penggunaan nano mineral dalam pakan ayam pedaging dan pengaruhnya terhadap performa produksi.

No	Jenis Mineral	Dosis optimal dan pengaruhnya	Pustaka
1	<i>Dicalcium Phosphate</i> (DCP)	Penggunaan nano DCP vs DCP (konvensional) pada dosis 1,75% dalam ransum ayam pedaging meningkatkan bobot hidup ayam pedaging umur 26 hari (1309 vs 1143 g/ekor); FCR (1,33 vs 1,48), menurunkan eksresi Ca dan P sebesar 0,74 dan 4,05%.	Hassan <i>et al.</i> , 2016
2	<i>Calcium phosphate</i>	Penggunaan nano <i>calcium phosphate</i> vs <i>dicalcium phosphate</i> (konvensional) pada dosis 1.7% dalam ransum ayam pedaging meningkatkan bobot hidup umur 4 minggu (983 vs 891 g/ekor), memperbaiki FCR (1,60 vs 1,64)	Vijayakumar dan Balakrishnan, 2014
3	<i>Nano-hydroxyapatite</i> (NHA) mengandung 31% calcium dan 18.5% phosphor tersedia	Penggunaan 10% NHA pada pakan ayam pedaging menghasilkan performa umur 4 minggu lebih tinggi dibandingkan perlakuan kontrol (tanpa NHA); meningkatkan bobot hidup (1412 vs 1350 g/ekor), memperbaiki FCR (1,70 vs 1,73).	Sohair <i>et al.</i> , 2017
4	<i>Zinc</i> (Zn)	Penambahan 110 mg/kg nano Zn pada ransum ayam pedaging meningkatkan bobot hidup umur 35 minggu dibandingkan perlakuan kontrol (tanpa penambahan) (1990 vs 1882 g/ekor) dan memperbaiki FCR (1,51 vs 1,61).	Kumar <i>et al.</i> , 2021
5	<i>Zinc</i> (Zn)	Penambahan 60 mg/kg Zn dari nano ZnO dan ZnO konvensional pada ransum ayam pedaging menghasilkan peningkatan pertambahan bobot hidup sampai umur 42 mg (2571 vs 2533 g/ekor) dan memperbaiki FCR (1,77 vs 1,87)	Ramiah <i>et al.</i> , 2019
6	<i>Zinc</i> (Zn)	Penggunaan 100 mg/kg ZnO dalam bentuk nano pada ransum ayam pedaging meningkatkan bobot hidup (2654 vs 2607 gr/ekor) dan memperbaiki FCR (1,45 vs 1,48 umur 6 minggu dibandingkan dengan bentuk konvensional.	Abd El Haliem <i>et al.</i> , 2020
7	<i>Zinc</i> (Zn)	Penggunaan nano Zink Fitogenik (NZF) yang mengandung 6.12% zink pada dosis 90 mg Zn/kg meningkatkan bobot badan umur 33 hari dibandingkan dengan perlakuan tanpa penggunaan NZF (1357 vs 1307 gram/ekor) dan memperbaiki FCR (1,58 vs 1,67)	Hidayat <i>et al.</i> , 2021a

8	<i>Selenium</i> (Se)	Suplementasi pakan dengan nano-Se pada dosis 0,3 mg/kg dapat meningkatkan kinerja pertumbuhan ayam pedaging dengan meningkatkan sifat antioksidan atau kekebalan pada ayam pedaging yang dipelihara di bawah suhu lingkungan yang tinggi.	El-Deep <i>et al.</i> , 2014
9	<i>Selenium</i> (Se)	Penggunaan nano Se pada dosis 0,5 mg/kg pada ransum ayam pedaging meningkatkan bobot hidup dan memperbaiki FCR	Saleh dan Ebeid, 2019
10	<i>Argentum</i> (Ag) atau Perak	Penggunaan nano Ag pada pakan ayam pedaging pada dosis 4 mg/kg dibandingkan perlakuan tanpa nano perak mampu meningkatkan bobot hidup umur 35 hari (1982 vs 1736 g/ekor) dan memperbaiki FCR (1,50 vs 1,66)	Elkloub <i>et al.</i> , 2015
11	<i>Copper</i> (Cu) atau tembaga	Penggunaan nano Cu pada pakan ayam pada dosis 7,5 mg/kg mampu memperbaiki FCR dari 1,66 menjadi 1,55 dibandingkan dengan penggunaan Cu (konvensional) pada dosis yang sama.	Sawosz <i>et al.</i> , 2018
12	<i>Chromium</i> (Cr)	Suplementasi nano Chromium pada dosis 0.5 mg/kg dalam pakan ayam pedaging meningkatkan kandungan protein otot dada dan paha, penambahan bobot hidup, dan memperbaiki FCR, serta menurunkan kolesterol dan lemak pada otot paha ayam pedaging.	Zha <i>et al.</i> , 2009
13	<i>Ferrum</i> (Fe) atau zat Besi	Suplementasi nano Fe pada pakan ayam pedaging meningkatkan bobot badan dan memperbaiki FCR.	Sizova <i>et al.</i> 2016

plasma sel yang mengakibatkan kematian sel (Auffan *et al.*, 2009). Nanomineral dapat merusak sel bakteri setelah berinteraksi dengan belerang dan fosfor yang terkandung pada DNA (Deoxyribonucleic Acid) (Arabi *et al.*, 2012). Penjelasan lain tentang aksi antimikroba dari nano mineral yang mengandung oksida logam adalah bahwa mikroorganisme yang membawa muatan negatif secara elektromagnetik akan tertarik ke arah oksida logam yang membawa muatan positif, kemudian menyebabkan oksidasi dan kematian mikroba (Arabi *et al.*, 2012). Aktivitas antibakteri dari nanomineral tergantung pada ukuran, semakin kecil ukuran

aktivitas antimikrobanya semakin baik (Shrivastava *et al.*, 2007).

Penggunaan nanomineral pada pakan ayam telah banyak dilakukan, baik itu pada pakan ayam pedaging maupun pada pakan ayam petelur. Sebagian besar penggunaan nanomineral pada pakan ayam pedaging dan petelur memberikan dampak positif terhadap peningkatan produktivitas dan efisiensi penggunaan pakan. Beberapa hasil percobaan penggunaan nano mineral dalam pakan ayam dan hubungannya terhadap produktivitas disajikan pada Tabel 1 (ayam pedaging) dan Tabel 2 (ayam petelur).

Tabel 2. Penggunaan nano mineral dalam pakan ayam petelur dan pengaruhnya terhadap performa produksi.

No	Jenis mineral	Dosis optimal dan pengaruhnya	Pustaka
1	Kalsium (Ca)	Penggantian <i>calcium carbonate</i> dengan <i>nano calcium carbonate</i> (NCC) pada level 0.126–2.015% pada ransum ayam petelur tidak memberikan dampak negatif terhadap performa produksi telur dan kualitas telur pada ayam petelur.	Ganjigohari <i>et al.</i> , 2017
2	Kalsium (Ca)	Penambahan 1 g/L nano Ca karbonat dalam air, menghasilkan cangkang telur yang lebih kuat dan indeks kesegaran telur yang lebih baik dibandingkan dengan tanpa suplementasi.	Wang <i>et al.</i> , 2014
2	Zink (Zn)	Produksi telur meningkat pada ayam yang pakannya diberi tambahan 80 Mg/kg Nano-ZnO dibandingkan dengan grup control (tanpa penambahan sumber Zink). Selain itu juga meningkatkan konsentrasi Zn pada kuning telur,	Abedini <i>et al.</i> , 2018
3	Zink (Zn)	Penambahan 20 mg/kg Zn dalam bentuk nanopartikel pada pakan ayam petelur dapat mempertahankan kinerja produksi telur, kualitas kulit telur, mengurangi ekskresi Zn dan pencemaran tanah.	Cufadar <i>et al.</i> , 2019
4	Selenium (Se)	Penambahan 0.25 mg/kg nano selenium mampu meningkatkan produksi telur ayam petelur dan menghasilkan telur kaya selenium	Radwan <i>et al.</i> , 2015
5	Selenium (Se)	Penambahan 0.20 mg/kg nano selenium pada pakan ayam petelur mampu meningkatkan kinerja produksi telur ayam petelur	Gebriel <i>et al.</i> , 2020
6	Kromium (Cr)	Penambahan nano-Cr-picolinate pada dosis 0.5 dan 3 mg/kg Cr dalam pakan ayam petelur mampu meningkatkan kualitas telur	Sirirat <i>et al.</i> , 2013

TOKSISITAS NANOMINERAL

Beberapa hasil studi menunjukkan bahwa perubahan ukuran partikel menjadikan mineral memiliki bioavailabilitas yang tinggi sehingga pada dosis yang tinggi dapat mengakibatkan efek toksik dan mengakibatkan akumulasi senyawa di dalam organ (Hendrickson *et al.*, 2016). Mekanisme efek

toksik yang ditimbulkan oleh nano mineral pada dosis tinggi terkait dengan efek oksidatif stres, peroksidasi lipid, kerusakan membran sel, dan kerusakan DNA (Najafzadeh *et al.*, 2013). Matuszewski *et al.* (2021) melaporkan bahwa pemberian kalsium karbonat nanopartikel pada konsentrasi 500 g/mL pada air minum ayam broiler tidak berbahaya bagi embrio ayam dan tidak tidak berpengaruh

negatif terhadap hasil produksi dan kesehatan ayam pedaging dari hari ke 1 sampai hari ke 42 pemeliharaan. Xia *et al.*, (2008) melaporkan bahwa penggunaan nanopartikel seng oksida menyebabkan akumulasi Zn dalam jaringan dan organ. Intensitas akumulasi menjadi meningkat dengan penurunan ukuran nanopartikel perak (22-71 nm). Pemberian tunggal dan berulang nanopartikel perak 12 nm mengakibatkan akumulasi perak di hati, ginjal, limpa, lambung, dan usus halus (Hendrickson *et al.*, 2016). Sementara itu, penggunaan nanopartikel ZnO pada ukuran 120 nm menginduksi perubahan patologis di lambung, hati, jantung, dan limpa, sedangkan ukuran 20 nm nanopartikel menyebabkan perubahan yang merugikan pada hati, limpa, dan pankreas (Bakowski *et al.*, 2018).

Toksisitas Zn dilaporkan terkait dengan konsentrasi ion bebas (Kool *et al.*, 2019). Tapi partikel nano ZnO cenderung tetap stabil sebagai partikel nano untuk durasi yang lebih lama dan dengan demikian kurang beracun daripada zink dalam bentuk garam anorganik ZnCl₂ (Hooper *et al.*, 2011). Sawosz *et al.* (2009) melaporkan bahwa tidak menemukan toksisitas pada embrio ayam pedaging setelah menyuntikkan larutan yang mengandung 50 ppm nano-Ag. Wang *et al.*, (2014) menjelaskan bahwa partikel nano tembaga menyebabkan efek toksik sistemik dengan perubahan morfologi dan fungsional pada hati, limpa, dan ginjal. Buzea *et al.* (2007) mengatakan bahwa efek toksik nano-Fe karena peningkatan produksi radikal bebas karena luas permukaan yang lebih tinggi (Fotakis dan Timbrell, 2006). Patel *et al.* (2017) melaporkan bahwa terjadi 100% kematian setelah injeksi 200 g/ml nano-Fe pada embrio ayam. Keracunan akibat nano Cr terutama disebabkan oleh senyawa heksavalen (Zhu dan Richards, 2017). Toksikologi Cr karena kelarutannya, mobilitasnya, dan pengoksidasinya yang tinggi (Zhu dan Richards, 2017). Nano-Mn juga meningkatkan kandungan serum Mn tanpa mempengaruhi pertumbuhan dan kekebalan pada kalkun (Singh *et al.*, 2013). Selain itu, peningkatan yang signifikan dalam

kerusakan DNA pada leukosit, mikronukleus, dan aberasi kromosom di sumsum tulang sel diamati setelah paparan nano-Mn pada 300 dan 1000 ppm (Singh *et al.*, 2013).

KESIMPULAN

Aplikasi nanoteknologi sudah banyak diteliti untuk digunakan pada bidang pakan ternak, termasuk digunakan dalam pakan ayam. Penerapan nanoteknologi untuk pakan ternak, salah satunya digunakan untuk memperkecil ukuran partikel mineral. Salah satu permasalahan utama penggunaan bahan pakan sumber mineral konvensional adalah rendahnya bioavailabilitasnya, sehingga mineral dalam pakan masih cukup tinggi yang tidak dapat dicerna dan diserap dalam saluran pencernaan ternak ayam, menyebabkan mineral yang tidak dicerna tersebut kemudian dibuang melalui ekskreta, sehingga menimbulkan polusi bagi lingkungan. Nanomineral mencoba menjadi solusi hal tersebut. Ukurannya yang lebih kecil (<100 nm) menyebabkan bioavailabilitasnya menjadi tinggi, sehingga penggunaan dosisnya jauh lebih rendah dan lebih efisien dalam pakan. Hasil pengujian beberapa jenis mineral (Ca, Zn, Se, Cr, Fe, Ag, Cu) dalam bentuk nanopartikel dalam pakan ayam memberikan dampak positif bagi peningkatan produktivitas dan efisiensi penggunaan pakan untuk ternak ayam. Kehadiran nanomineral menjadikan penggunaan mineral lebih efisien dalam pakan serta menekan terjadinya pembuangan mineral melalui ekskreta, sehingga dapat menekan polusi bagi lingkungan. Perlu diperhatikan, bahwa karena bioavailabilitas nanomineral yang tinggi, pada dosis yang tinggi, penggunaan nanomineral dapat menimbulkan efek racun bagi ternak ayam, sehingga penggunaan dosisnya dalam pakan harus tepat.

DAFTAR PUSTAKA

Abd El-Hack, M.E., M. Alagawany., M.

- R. Farag., M. Emam., K. Dhama., M. Sarwar and M. Sayab. 2017. Nutritional and pharmaceutical applications of nanotechnology: Trends and advances. *International Journal of Pharmacology*. 13: 340-350.
- Abd El-Hack, M.E., M. Alagawany., M. Arif., M. Emam., M. Saeed., M. A. Arain., F.A. Siyal., A. Patra., S.S. Elnesr and R.U. Khan. 2018. The uses of microbial phytases as a feed additive in poultry nutrition—a review. *Annals of Animal Science*. 18:639-658.
- Abd El-Haliem, H.S., A. M. Faten., H.S. Attia., Saber and I.H. Hermes. 2020. Impacts of zinc oxide nano-particles supplementation in broiler diets on growth performance, some carcass characteristics and immune organs. *Egyptian Journal Nutrition and Feeds*. 23 (1): 113-122.
- Abdelnour, S.A., M. Alagawany., N. M. Hashem., M.R. Farag., E.S. Alghamdi., F.U. Hassan., R.M. Bilal., S.S. Elnesr., M.A.O. Dawood and S.A. Nagadi. 2021. Nanominerals: fabrication methods, benefits and hazards, and their applications in ruminants with special reference to selenium and zinc nanoparticles. *Animals*. 11: 1916.
- Abedini, M., F. Shariatmadari., M.A. Karimi Torshizi and H. Ahmadi. 2018. Effects of zinc oxide nanoparticles on the egg quality, immune response, zinc retention, and blood parameters of laying hens in the late phase of production. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 1–10.
- Alagawany, M., S.S. Elnesr., M.R. Farag., R. Tiwari., M.I. Yattoo., M. Karthik., I. Michalak and K. Dhama. 2021. Nutritional significance of amino acids, vitamins and minerals as nutraceuticals in poultry production and health – a comprehensive review. *Veterinary Quarterly*. 41 (1): 1–29.
- Ao, T and J. Pierce. 2013. The replacement of inorganic mineral salts with mineral proteinates in poultry diets. *World's Poultry Science Journal*. 3:69:5-16.
- Arabi, F., M. Imandar., M. Negahdary., M. Imandar., M.T. Noughabi., H. Akbaridastjerdi and M. Fazilati. 2012. Investigation anti-bacterial effect of zinc oxide nanoparticles upon life of *Listeria monocytogenes*. *Annals of Biological Research*. 3:3679-3685.
- Auffan, M., J. Rose., J.Y. Bottero., G.V. Lowry., J.P. Jolivet and M.R. Wiesner. 2009. Towards a definition of inorganic nanoparticles from an environmental, health and safety perspective. *Nature Nanotechnology*. 4:634e41.
- Bąkowski, M., B. Kiczorowska., W. Samolińska., R. Klebaniuk and A., Lipiec. 2018. Silver and zinc nanoparticles in animal nutrition – a review. *Annals Animal Science*. 18(4): 879–898.
- Baig, N., I. Kammakam and W. Falath. 2021. Nanomaterials: a review of synthesis methods, properties, recent progress, and challenges. *Material Advances*. 2:1821-1871.
- Bayda S., M. Adeel., T. Tuccinardi., M. Cordani and F. Rizzolio. 2020. The History of Nanoscience and Nanotechnology: From Chemical–Physical Applications to Nanomedicine. *Molecules*. 25(112):1-15.
- Bedford, M. 2000. Removal of antibiotic growth promoters from poultry diets: implications and strategies to minimise subsequent problems. *World's Poultry Science Journal*. 56:347-365.
- Bunglavan, S.J., A.K. Garg., R.S. Dass and S Shrivastava. 2014. Use of nanoparticles as feed additives to improve digestion and absorption in livestock. *Livestock Research International*. 2(3):36-47.
- Buzea, C., I. Ivan., P. Blandino and K. Robbie. 2007. Nanomaterials and nanoparticles: sources and toxicity. *Biointerphases*. 2(4):17–71.

- Cao, S.J., S. Xu., H.M. Wang., Y. Ling., J. Dong., R.D. Xia and H.H. Sun. 2019. Nanoparticles: Oral Delivery for Protein and Peptide Drugs. *Pharmaceutical Science and Technology*. 20(190):1-11.
- Chen, H., J. Weiss and F. Shahidi. 2006. Nanotechnology in nutraceuticals and functional foods. *Food Technology*. 3:30-36.
- Chen, X., E.T. Moran. 1995. The withdrawal feed of broilers: Carcass responses to dietary phosphorus. *The Journal of Applied Poultry Research*. 4: 69-82
- Cufadar, Y., R. Gocmen., G. Kanbur and B. Yildirim. 2019. Effects of dietary different levels of nano, organic and inorganic zinc sources on performance, eggshell quality, bone mechanical parameters and mineral contents of the tibia, liver, serum and excreta in laying hens. *Biological Trace Element Research*. <https://doi.org/10.1007/s12011-019-01698-3>.
- Dal Bosco, A., S. Mattioli., A. Cartoni Mancinelli., E. Cotozzolo and C. Castellini. 2021. Extensive rearing systems in poultry production: the right chicken for the right farming system. A review of twenty years of scientific research in perugia university, Italy. *Animals*. 11(1281):1-25.
- El-Deep, M.H., D. Ijiri., T.A. Ebeid and A. Ohtsuka. 2014. Effects of dietary nano-selenium supplementation on growth performance, antioxidative status, and immunity in broiler chickens under thermoneutral and high ambient temperature conditions. *Journal of Poultry Science*. 53: 274-283.
- Elkloub, K., M.E. Moustafa., A.A., Ghazalah and A.A.A. Rehan. 2015. Effect dietary nanosilver on broiler performance. *International Journal of Poultry Science*. 14(3):177-182.
- Farag, M.R., M. Alagawany., M.E. Abd El-Hack., M. Arif., T. Ayasan., K. Dhama., A. Patra and K. Karthik. 2017. Role of chromium in poultry nutrition and health: beneficial applications and toxic effects. *International Journal of Pharmacology*. 13:907-915.
- Fawaz, M.A., K.H. Südekum., H.A. Hassan and A.A.A. Abdel-Wareth. 2019. Effects of nanoparticles of zinc oxide on productive performance of laying hens. – a review. *International Journal of Agricultural Science*. 1 (1): 13-20.
- Feng, M., Z.S. Wang., A.G. Zhou and D.W. Ai. 2009. The effects of different sizes of nanometer zinc oxide on the proliferation and cell integrity of mice duodenum- epithelial cells in primary culture. *Pakistan Journal of Nutrition*. 8:1164-1166.
- Fesseha, H., T. Degu and Y. Getachew. 2020. Nanotechnology and its application in animal production: a review. *Veterinary Medicine*. 5(2): 43-50.
- Fotakis, G and J.A. Timbrell. 2006. In vitro cytotoxicity assays: comparison of LDH, neutral red, MTT and protein assay in hepatoma cell lines following exposure to cadmium chloride. *Toxicology Letters*. 160:171–177.
- Gangadoo, S., D. Stanley., R.J. Hughes., R.J. Moore and J. Chapman. 2016. Nanoparticles in feed: progress and prospects in poultry research. *Trends in Food Science and Technology*. 58:115-126.
- Ganjigohari, S., N. Ziaei., A.R. Ghara and S. Tasharofi. 2017. Effects of nanocalcium carbonate on egg production performance and plasma calcium of laying hens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 1–8. DOI: 10.1111/jpn.12731.
- Gebriel, G.M., A.A. El-Fiky., S.M.S. Siam., E.M. Abou-Elwesa and A.M. Hassan. 2020. Application of nano-selenium in layer diets to improve the productive performance, egg quality and immunological traits in chickens. *Menoufia of Journal Animal, Poultry*

- and Fish Production*. 4: 43 – 58.
- Gopi, M., B. Pearlina., R.D. Kuma., M. Shanmathy and G. Prabakar. 2017. Role of nanoparticles in animal and poultry nutrition: Modes of action and applications in formulating feed additives and food processing. *International Journal of Pharmacology*. 13: 724-731.
- Grodzik, M., F. Sawosz., E. Sawosz., A. Hotowy., M. Wierzbicki., M. Kutwin., S. Jaworski and A. Chwalibog. 2013. Nanonutrition of chicken embryos. The effect of in ovo administration of diamond nanoparticles and L-glutamine on molecular responses in chicken embryo pectoral muscles. *International Journal of Molecular Sciences*. 14:23033-23044.
- Hafez, H.M and Y.A. Attia. 2020. Challenges to the poultry industry: current perspectives and strategic future after the COVID-19 outbreak. *Frontier in Veterinary Science*. 7(516):1-16.
- Hassan, H.M.A., A. Samy., A.E. El-Sherbiny., M.A. Mohamed and M.O. Abd-Elsamee. 2016. Application of nano-dicalcium phosphate in broiler nutrition: performance and excreted calcium and phosphorus. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*. 11: 477-483.
- Hassan, S., F. Hassan and M.S. Rehman. 2019. Nano-particles of trace minerals in poultry nutrition: potential applications and future prospects. *Biological Trace Element Research*. 195:591–612.
- Hassan, S., F.U. Hassan and M.S.U. Rehman. 2020. Nano-particles of trace minerals in poultry nutrition: potential applications and future prospects. *Biological Trace Element Research*. 195:591-612.
- Hendrickson, O.D., S.G. Klochkov., O.V. Novikova., L.M. Bravova., E.F. Shevtsova., L.V. Safenkova., A.V. Zherdev., S.O. Bachurin and B.B. Dzantiev. 2016. Toxicity of nanosilver in intragastric studies: biodistribution and metabolic effects. *Toxicology Letters*. 241: 184–192.
- Hett, A. 2004. Nanotechnology: Small Matter, Many Unknowns. Swiss Reinsurance Co. Zurich. 55 p.
- Hidayat, C., Sumiati., E. Wina and A. Jayanegara, A. 2021a. Supplementation of dietary nano zinc phytogetic on performance, antioxidant activity, and population intestinal pathogenic bacteria in broiler chickens. *Tropical Animal Science Journal*. 44(1):90-99.
- Hidayat, C., Sumiati., E. Wina and A. Jayanegara. 2021b. The effect of nano Zn fitogenik addition on broiler diet to carcass traits, relative organ weights and haematological response. The 3rd International Conference of Animal Science and Technology. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 788 (2021) 012036. 11pp. doi:10.1088/1755-1315/788/1/012036.
- Hidayat, C., Sumiati., E. Wina and A. Jayanegara. 2021c. Characteristics of Nano Zn-Fitogenik (NZF) made by green synthesis process using guava leaves (*Psidium guajava*) for feed additives. 2nd International Conference on Animal Production for Food Sustainability 2021. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 888 (2021) 012056. 11 pp. doi:10.1088/1755-1315/888/1/012056.
- Hooper, H.L., K. Jurkschat., A.J. Morgan., J. Bailey., A.J. Lawlor and D.J. Spurgeon. 2011. Comparative chronic toxicity of nanoparticulate and ionic zinc to the earthworm *Eisenia veneta* in a soil matrix. *Environment International*. 37:1111–1117.
- Janer, G., E. Mas del Molino., E. Fernandez-Rosas., A. Fernandez, S. Vazquez-Campos. 2014. Cell uptake and oral absorption of titanium dioxide nanoparticles. *Toxicology Letters*.

- 228:103-110.
- Jeevanandam, J., A. Barhoum., Y.S. Chan., A. Duresne and M. Danquah. 2018. Review on nanoparticles and nanostructured materials: history, sources, toxicity and regulations. *Beilstein Journal of Nanotechnology*. 9: 1050–1074.
- Khalid, K., X. Tan., H.F.M. Zaid., Y. Tao., C.L. Chew., D.T. Chu., M.K. Lam., Y.C. Ho., J.W. Lim and L.C. Wei. 2020. Advanced in developmental organic and inorganic nanomaterial: a review. *Bioengineered*. 11(1) : 328-355.
- Khan, I., K. Saeed and I. Khan. 2019. Nanoparticles: Properties, applications and toxicities Ibrahim. *Arabian Journal of chemistry*. 12(7):908-931.
- Kool, P.L., M.D. Ortiz and C.A. Gestel. 2011. Chronic toxicity of ZnO nanoparticles, non-nano ZnO and ZnCl₂ to *Folsomia Candida* (Collembola) in relation to bioavailability in soil. *Environmental Pollution*. 159:2713–2719.
- Kumar, K., A. Hosseindoust., M. Kim., K.Y. Kim., Y. Choi., S. Lee., S.Y. Lee., J.H. Lee., H.J. Cho., W.S. Kang and B. Chae. 2021. Nano-sized zinc in broiler chickens: effects on growth performance, zinc concentration in organs, and intestinal morphology. *Journal of Poultry Science*. 58: 21-29.
- Kurnia, F., M. Suhardiman., L. Stephani and T. Purwadaria. 2012. Peranan nanomineral sebagai bahan imbuhan pakan untuk meningkatkan produktivitas dan kualitas produk ternak. *Wartazoa*. 22(4): 187-193.
- Larsson, S., M. Jansson and A. Boholm. 2019. Expert stakeholders' perception of nanotechnology: risk, benefit, knowledge, and regulation. *Journal of Nanoparticle Research*. 21(57):1-17.
- Martínez-Ballesta, M., A. Gil-Izquierdo., C. García-Viguera and R. Domínguez-Perles. 2018. Nanoparticles and controlled delivery for bioactive compounds: outlining challenges for new “smart-foods” for health. *Foods*. 7(72): 1-29.
- Matuszewski, A., M. Łukasiewicz., J. Niemiec., M. Kamaszewski., S. Jaworski., M. Domino., T. Jasinski., A. Chwalibog and E. Sawosz. 2021. Calcium carbonate nanoparticles— toxicity and effect of in ovo inoculation on chicken embryo development, broiler performance and bone status. *Animals*. 11(932):1-22.
- Mura, S., D. Carta., P.P. Roggero., F. Cheli and G.F. Greppi. 2014. Nanotechnology and its applications in food and animal science. *Italian Journal of Food Science*. 26:91-102.
- Najafzadeh, H., S.M. Ghoreishi., B. Mohammadian., E. Rahimi., M.R. Afzalzadeh., M. Kazemivarnamkhasti and H. Ganjealidaran. 2013. Serum biochemical and histopathological changes in liver and kidney in lambs after zinc oxide nanoparticles administration. *Veterinary World*. 6: 534-537.
- Patel, S., S. Jana., R. Chetty., S. Thakore., M. Singh and R. Devkar. 2017. Toxicity evaluation of magnetic iron oxide nanoparticles reveals neuronal loss in chicken embryo. *Drug and Chemical Toxicology*. 42:1–8.
- Patra, A and M. Lalhriatpuii. 2020. Progress and prospect of essential mineral nanoparticles in poultry nutrition and feeding—a review. *Biological Trace Element Research*. 197:233-253.
- Patra, A.K. 2019. Are nanomaterials potential new generation antimicrobial feed additives in livestock ?. *Indian Journal of Animal Health*. 58(Special 2):105-120.
- Radwan, N.L., T.A. Salah Eldin., A.A. El-Zaiat and M.A.S.A. Mostafa. 2015. Effect of dietary nano selenium supplementation on selenium content and oxidative stability in Table eggs and productive performance of laying

- hens. *International Journal of Poultry Science*. 14(3): 161-176.
- Ramiah, S.K., E.A. Awad., S. Mookiah and Z. Idrus. 2019. Effects of zinc oxide nanoparticles on growth performance and concentrations of malondialdehyde, zinc in tissues, and corticosterone in broiler chickens under heat stress conditions. *Poultry Science*. 98:3828–3838.
- Rosi, N.L and C.A. Mirkin. 2005. Nanostructures in biodiagnostics. *Chemical Reviews*. 105:1547-1562.
- Sabourian, P., G. Yazdani., S.S. Ashraf., M. Frounchi., S. Mashayekhan., S. Kiani and A. Kakkar. 2020. Effect of physico-chemical properties of nanoparticles on their intracellular uptake. *International Journal of Molecular Science*. 21(8019):1-20.
- Saleh, A.A and T.A. Ebeid. 2019. Feeding sodium selenite and nano-selenium stimulates growth and oxidation resistance in broilers. *South African Journal of Animal Science*. 49 (1):176-184.
- Sawosz, E., M. Grodzik., M. Zieliska., T. Niemiec., B. Olszaska and A. Chwalibog. 2009. Nanoparticles of silver do not affect growth, development and DNA oxidative damage in chicken embryos. *European Poultry Science*. 73(3):208–213.
- Sawosz, E., M. Łukasiewicz., A. Łozicki., M. Sosnowska., S. Jaworski., J. Niemiec., A., Scott., J. Jankowski., D. Józefiak and A. Chwalibog. 2018. Effect of copper nanoparticles on the mineral content of tissues and droppings, and growth of chickens. *Archives of Animal Nutrition*. 1-11. DOI: 10.1080/1745039X.2018.1505146.
- Shrivastava, S., T. Bera., A. Roy., G. Singh., P. Ramachandrarao and D. Dash. 2007. Characterization of enhanced antibacterial effects of novel silver nanoparticles. *Nanotechnology*. 18:225103.
- Singh, S.P., M. Kumari., S.I. Kumari., M.F. Rahman., M. Mahboob and P. Grover. 2013. Toxicity assessment of manganese oxide micro and nanoparticles in wistar rats after 28 days of repeated oral exposure. *Journal of Applied Toxicology*. 33(10):1165–1179.
- Sirelkhatim, A., S. Mahmud., A. Seeni., N.H.M. Kaus., L.C. Ann., S.K.M. Bakhori., H. Hasan and D. Mohamad. 2015. Review on zinc oxide nanoparticles: antibacterial activity and toxicity mechanism. *Nano Letters*. 7:219-242.
- Sirirat, N., J. Lu., T. Hung and T. Lien. 2013. Effect of different levels of nanoparticles chromium picolinate supplementation on performance, egg quality, mineral retention, and tissues minerals accumulation in layer chickens. *Journal of Agricultural Science (Toronto)*. 5:150-159.
- Sizova, E.A., S.A. Miroshnikov., S.V. Lebedev., A.V. Kudasheva and N.I. Ryabov. 2016. To the development of innovative mineral additives based on alloy of Fe and Co antagonists as an example. *Agricultural Biology*. 51:553-562.
- Sohair, A.A., M.A. El-Manyawi., M. Bakr and A.A. Ali. 2017. Use of nano-calcium and phosphors in broiler feeding. *Egypt Poultry Science*. 37(II):637-650.
- Stoimenov, P.K., R.L. Klinger., G.L. Marchin and K.J. Klabunde. 2002. Metal oxide nanoparticles as bactericidal agents. *Langmuir*. 18:6679-6686.
- Suttle, N.F. 2010. The mineral nutrition of livestock 4th ed. CABI Publishing, Oxfordshire.
- Swain, P.S., S.B.N. Rao., D. Rajendran., G. Dominic and S. Selvaraju. 2016. Nano zinc, an alternative to conventional zinc as animal feed supplement: A review. *Animal Nutrition*. 2:134-141.

- Świątkiewicz, S., A. Arczewska Włosek and D. Jozefiak. 2014. The efficacy of organic minerals in poultry nutrition: review and implications of recent studies. *World's Poultry Science Journal*. 70:475-486
- Uniyal, S., N. Dutta., M. Raza., S.K. Jaiswal., J.K. Sahoo and K. Ashwin. 2017. Application of nano minerals in the field of animal nutrition: A Review. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*. 6[4] : 04-08.
- Vijayakumar, M.P and V. Balakrishnan. 2014. Effect of calcium phosphate nanoparticles supplementation on growth performance of broiler chicken. *Indian Journal of Science and Technology*. 7(8): 1149–1154.
- Vinus and N. Sheoran. 2017. Role of nanotechnology in poultry nutrition. *International Journal of Pure and Applied Bioscience*. 5(5): 1237-1245.
- Wang, T., X. Long., Y. Cheng., Z. Liu and S. Yan. 2014. The potential toxicity of copper nanoparticles and copper sulphate on juvenile epinephelus coioides. *Aquatic Toxicology*. 152:96–104.
- Xia, T., M. Kovoichich., M. Liang., L. Madler., B. Gilbert., H. Shi., J.I. Yeh., J.I. Zink and A.E. Nel. 2008. Comparison of the mechanism of toxicity of zinc oxide and cerium oxide nanoparticles based on dissolution and oxidative stress properties. *American Chemical Society Nano*. 2: 2121–2134.
- Zha, L.Y., J.W. Zeng., X.W. Chu., L.M. Mao., H.J. Luo. 2009. Efficacy of trivalent chromium on growth performance, carcass characteristics and tissue chromium in heat-stressed broiler chicks. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 89:1782-1786.
- Zhao, C.Y., S.X. Tan., X.Y. Xiao., S.X. Qiu., J.Q. Pan and Z.X. Tang. 2014. Effects of dietary zinc oxide nanoparticles on growth performance and antioxidative status in broilers. *Biological Trace Element Research*. 160:361-367.
- Zhu, W and N.G. Richards. 2017. Biological functions controlled by manganese redox changes in mononuclear Mn-dependent enzymes. *Essays Biochemistry*. 61:259–270.