

SENG ORGANIK SEBAGAI IMBUHAN PAKAN RUMINANSIA

Suprijati

*Balai Penelitian Ternak, PO Box 221, Bogor 16002
skompiang@yahoo.co.id*

(Makalah masuk 16 Juni 2013 – Diterima 3 September 2013)

ABSTRAK

Seng (Zn) adalah mikro mineral esensial yang diperlukan ternak ruminansia dan merupakan komponen lebih dari 300 macam enzim yang berperan dalam metabolisme karbohidrat, protein dan lemak. Proses kimia maupun teknobio akhir-akhir ini banyak dikembangkan untuk sintesis Zn organik. Seng organik adalah hasil dari proses kelasi garam Zn terlarut dengan asam-amino atau protein yang terhidrolisat. Pemanfaatan Zn organik sebagai imbuhan pakan pada ternak ruminansia cenderung meningkat, karena absorpsi Zn dalam bentuk organik lebih efektif daripada dalam bentuk anorganik. Makalah ini mengulas hasil penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti tentang komparatif studi suplementasi Zn organik dan anorganik terhadap kinerja pertumbuhan, produksi maupun reproduksi ternak ruminansia. Hasil utama menunjukkan bahwa suplementasi Zn organik meningkatkan pencernaan nutrisi, pertumbuhan, efisiensi pakan, produksi susu, retensi dan absorpsi Zn, kinerja produksi serta reproduksi ternak. Namun sebagian kecil dari hasil tersebut masih ditemukan adanya variasi yang disebabkan perbedaan derajat kelasi pada inkorporasi Zn dengan asam amino atau protein terhidrolisat.

Kata kunci: Zn organik, karakteristik, suplementasi, kinerja, ruminansia

ABSTRACT

ORGANIC ZINC AS FEED ADDITIVE FOR RUMINANTS

Zinc is an essential micro mineral required by ruminants and is a component of over 300 enzymes which play important role in the metabolisms of carbohydrates, proteins and fats. Recently, the chemical and biotechnology processes have been developed for synthesizing organic Zn. Organic Zn is the product of a chelating process of dissolved Zn anorganic salts with amino acids or hydrolyzed protein. The utilization of organic Zn as feed additive in ruminants diets tends to increase, due to the absorption of Zn in the organic form is more effective than the inorganic form. This paper reviews the research from comparative studies of inorganic and organic Zn on the growth, production and reproduction in ruminants. The studies found that the supplementation of organic Zn improved nutrient digestibility, growth, feed efficiency, milk production, Zn retention and absorption, production and reproductive performances of ruminants. However, a little variation response was found due to different degrees of chelating on Zn incorporation of amino acids or hydrolyzed protein.

Key words: Organic Zn, characteristic, supplementation, performance, ruminants

PENDAHULUAN

Pada peternakan, pakan merupakan salah satu faktor yang penting. Oleh karenanya, ketersediaannya baik dalam kuantitas maupun kualitas akan sangat menentukan keberhasilan dari usaha peternakan. Pakan yang diberikan ke ternak ruminansia terdiri dari hijauan dan konsentrat. Bahan pakan baik konsentrat maupun hijauan yang tersedia kebanyakan merupakan hasil ikutan dari kegiatan pertanian yang kualitasnya rendah. Untuk itu, perlu diupayakan bahan pakan yang mempunyai nilai nutrisi tinggi, meningkatkan mutu/nilai gizi bahan baku yang berkualitas rendah atau memberikan suplementasi bahan-bahan mikro sehingga dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan pakan. Pada ternak ruminansia dimana pakan berserat merupakan sumber utama energi yang sukar dicerna perlu

dikembangkan cara-cara untuk meningkatkan nilai degradasi komponen serat tersebut. Degradasi dan fermentasi komponen serat ini dipengaruhi oleh sifat fisika bahan pakan tersebut, aktivitas enzimatik mikroba rumen, serta kondisi lingkungan mikro di dalam rumen, yang antara lain mencakup ketersediaan mineral untuk pertumbuhan mikroba rumen, pH, konsentrasi amonia dan asam lemak terbang. Mineral yang dibutuhkan untuk perkembangan mikroba rumen antara lain adalah seng (Zn).

Kandungan Zn pada hijauan pakan dilaporkan berkisar antara 20-30 mg/kg, sedangkan kebutuhan Zn untuk ternak ruminansia adalah 33-50 mg/kg. Apabila terjadi status defisiensi Zn, maka aktivitas mikroba rumen tidak berlangsung optimal sehingga tingkat pemanfaatan pakan menjadi lebih rendah yang pada gilirannya akan menurunkan produktivitas ternak

(Little et al. 1989; McDowell 1992), reproduktivitas dan kesehatan ternak (Darmono 2007). Defisiensi seng pada ruminansia mengakibatkan terjadinya penurunan bobot hidup, hilangnya nafsu makan, kerontokan rambut, lesi kulit di kaki, leher, kepala dan sekitar hidung, berlebihnya air liur, dan reproduksi terganggu. Kekurangan Zn pada ternak jantan berakibat menurunnya perkembangan testis dan produksi sperma, sedangkan pada ternak betina mengakibatkan siklus dan laju konsepsi terganggu (Spears 1995; Darmono 2007). Kasus kekurangan mikro mineral Zn dan Cu di Indonesia, ditemukan pada sapi di daerah transmigrasi Kalimantan Selatan dan daerah pesisir Kalimantan Tengah (Darmono 2007). Disamping rendahnya kandungan Zn dalam pakan, sering pula terjadi defisiensi sekunder. Walaupun kandungan Zn dalam pakan sudah mencukupi dengan suplementasi Zn anorganik, namun kandungan mineral antagonistik terhadap Zn yang tinggi, seperti tingginya logam Cu, akan memberikan respon seperti kekurangan Zn (Davies dan Merzt 1987; Puchala et al. 1999). Hal ini dapat dicegah ataupun diminimalkan dengan penggunaan Zn organik.

Dengan demikian melalui ulasan pada makalah ini diharapkan dapat memberikan informasi maupun pertimbangan tentang pemanfaatan Zn organik sebagai pakan imbuhan ternak ruminansia, yang meliputi nomenklatur Zn organik, proses pembentukan Zn organik, karakteristik dan fungsi Zn organik. Selain itu diulas pula komparatif studi suplementasi Zn organik dan anorganik terhadap derajat pencernaan nutrisi, pertumbuhan, absorpsi dan retensi Zn, produksi dan reproduksi ternak ruminansia.

NOMENKLATUR Zn ORGANIK

Menurut Merck Index elemen seng (Zn) merupakan unsur logam dalam tabel periodik dengan berat atom sebesar 65,38; nomor atom 30 dan bervalensi 2 pada kelompok elemen 2b (Windholz et al. 1976). Senyawa Zn yang umum didapat di pasaran berupa Zn anorganik (antara lain Zn oksida, Zn sulfat, Zn klorida) dan Zn organik (antara lain Zn proteinat, Zn asam amino, Zn pikolinat, Zn metionin).

Mineral organik adalah mineral yang berasal dari kelompok logam transisi pada tabel periodik yang berikatan dengan asam-asam amino dan satu peptida kecil, dengan membentuk struktur cincin terbuka, mempunyai pH stabil dan bermuatan netral (Vandergrift 1992). Lyons (1983) mendefinisikan bahwa Zn organik adalah hasil dari proses kelasi garam Zn terlarut dengan asam-asam amino atau protein terhidrolisat. Definisi yang diberikan oleh *Association of American Feed Control Officials* (AAFCO 2000) untuk berbagai jenis produk mineral organik dapat dilihat pada Tabel 1. Kelasi mengacu

pada kompleks yang terbentuk antara ligan dan ion logam. Untuk diklasifikasikan sebagai kelating ligan atau *chelating agen* harus: 1) mengandung minimal dua kelompok fungsional (oksigen, nitrogen, amino, hidroksil) yang masing-masing mampu menyumbangkan sepasang elektron untuk menggabungkan (melalui ikatan kovalen koordinat) dengan logam; dan 2) membentuk struktur heterosiklik cincin dengan logam (Kratzer dan Vohra 1986). Tidak semua logam dapat membentuk kompleks kelat, hanya logam dari kelompok transisi pada tabel periodik unsur kimia (Vandergrift 1992).

Mineral organik yang tersedia secara komersial bervariasi berdasarkan dengan jenis ligan atau ligan yang digunakan untuk membentuk kompleks logam atau kelat logam. Sebagian besar mineral organik yang dipasarkan diklasifikasikan sebagai kompleks, kelat asam amino atau proteinat.

Tabel 1. Definisi bermacam produk mineral organik menurut AAFCO

No.	Nama logam organik	Definisi
57.150	Logam kompleks asam amino	Produk yang dihasilkan dari kompleks larutan garam logam dengan asam amino
57.142	Logam kelat asam amino	Produk yang dihasilkan dari reaksi ion logam suatu larutan garam logam dengan asam amino, dengan rasio 1 sampai 3 molekul logam (sebaiknya dua) terhadap 1 molekul asam amino untuk membentuk ikatan kovalen koordinasi Rataan bobot molekul dari asam amino terhidrolisat harus sekitar 150 dan berat molekul yang dihasilkan dari kelat tidak boleh melebihi 800
57.23	Logam proteinat	Produk yang dihasilkan dari kelasi suatu larutan garam dengan asam amino dan atau sebagian protein terhidrolisat
57.29	Logam kompleks polisakarida	Produk yang dihasilkan dari kompleks suatu larutan dengan larutan polisakarida

Sumber: Spears (1996)

SINTESIS Zn ORGANIK

Sintesis Zn organik dilakukan melalui proses kimiawi maupun teknobio. Proses kimiawi melibatkan reaksi kimia antara Zn dalam bentuk oksida maupun garam Zn anorganik dengan asam amino atau protein terhidrolisat. Proses teknobio melibatkan reaksi Zn

dalam bentuk oksida maupun garam Zn anorganik dengan asam amino atau protein terhidrolisat, dimana protein terhidrolisat dihasilkan melalui proses fermentasi menggunakan bantuan kapang ataupun bakteri sebagai inokulum pada media yang kandungan proteinnya tinggi. Asam amino yang umum digunakan adalah metionin dan lisin, sedangkan media yang kandungan proteinnya tinggi antara lain kedelai, bungkil kedelai dan *corn gluten meal*. Terbentuknya inkorporasi Zn dengan protein disebabkan terikatnya Zn dengan protein melalui ikatan sulfida, Zn dapat berikatan molekul dengan protein melalui fraksi 11-Sulfur dan 7-Sulfur pada grup imidazol (Appu Rao dan Narasinga Rao 1976).

Sintesis Zn organik secara kimiawi telah banyak dipatenkan seperti dilaporkan oleh Meyer (1987). Seng organik yang disintesis dengan protein atau bahan yang mengandung protein membentuk senyawa kompleks Zn metionin (US. Pat. No. 4,021,569), kompleks/kelat metal asam amino/protein terhidrolisat (US. Pat. No. 4,167,564). Selain direaksikan dengan asam amino, garam Zn dapat direaksikan pula dengan asam pikolinat membentuk kompleks Zn pikolinat (US. Pat. No. 4,315,927). Demikian pula, ion Zn yang berasal dari garam anorganik direaksikan dengan tepung yang mengandung protein tinggi, dan membentuk pelet campuran sebagai protein terproteksi untuk pakan ruminan (US. Patent 704287) (Meyer 1987).

Haryanto et al. (2001) memproduksi Zn metionin dengan mereaksikan ion Zn yang berasal dari Zn sulfat dengan asam amino metionin, kemudian larutan yang terbentuk diimobilisasi dengan tepung *cassava*. Supriyati (2008) mensintesis Zn metionin dengan mereaksikan larutan $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ dengan asam amino metionin pada kondisi pH 7,2-7,4. Sedangkan PT Alltech Inc. USA memproduksi Zn proteinat dengan cara *chelating* garam metal terlarut dengan asam amino atau terhidrolisat protein (Lyons 1983).

Proses teknobio akhir-akhir ini banyak dikembangkan untuk sintesis Zn organik. Dikarenakan produk yang digunakan banyak untuk pakan imbuhan ternak maka bahan baku yang digunakan adalah bahan baku pakan yang kandungan proteinnya tinggi seperti kedelai dan *corn gluten meal*. Proses pembentukan Zn organik dengan menggunakan kapang *Saccharomyces cerevisiae* dan media kedelai-jagung telah dilaporkan oleh PT Alltech Inc. USA (Lyons 1983). Supriyati dan Haryanto (2007) menyiapkan Zn-biokomplek melalui proses fermentasi menggunakan kapang *Saccharomyces cerevisiae* sebagai inokulum dan media *corn gluten meal* dan larutan garam $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$.

KARAKTERISTIK KIMIA Zn ORGANIK

Cao et al. (2000) membandingkan karakteristik kimia beberapa Zn organik komersial yang beredar di pasaran,

antara lain dua produk Zn metionin, Zn polikasarida, Zn asam amino, tiga produk Zn proteinat, Zn lisin dan sebagai pembanding adalah Zn sulfat. Karakteristik kimia yang dibandingkan meliputi kandungan Zn dan nitrogen (N), derajat keasaman, keefektifan kelasi, kelarutan Zn pada air deion dan larutan buffer pH 2, dan kapasitas Zn terkelasi seperti ditampilkan pada Tabel 2. Kandungan Zn dan nitrogen dari 8 produk komersial Zn organik dan anorganik $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ (Zn sulfat) bervariasi, mulai dari 3,78 sampai 19,02% dan 0,45 sampai 7,19%, masing-masing untuk Zn dan N. Derajat keasaman dari delapan macam produk Zn organik yang dipreparasi dalam air deion yang selanjutnya diuji secara elektrokimia menggunakan polarografi menunjukkan perbedaan derajat keasaman, yaitu berkisar antara 4,51 dan 6,73. Zn asam amino, Zn proteinat B dan Zn proteinat C adalah yang paling bersifat asam, dan Zn lisin dan Zn proteinat A bersifat sedikit lebih asam. Efektivitas kelasi dari delapan sumber Zn organik bervariasi dengan persamaan formasi kelasi mulai 1,5-180. Zn metionin A, Zn metionin B, Zn polisakarida, dan Zn lisin berefektivitas kelasi relatif lemah, dengan nilai Qf (kuantitatif efektivitas) di bawah 10. Zn asam amino dan Zn proteinat, terkandung Zn yang sangat terkelasi, dengan persamaan kelasi lebih besar dari 100. Nilai Qf cukup kuat (nilai 10 sampai 100) ditunjukkan oleh Zn proteinat A, Zn proteinat B, Zn proteinat C dan Zn asam amino. Seng dari delapan produk Zn organik hampir semua larut dalam air namun derajat kelarutannya berbeda diantara produk Zn organik, yaitu sekitar 6-34,8%. Pada buffer pH 2,0, produk Zn organik hampir semua larut sedikitnya 80%, dengan daya larut terendah pada Zn proteinat A, yaitu 84% dan tertinggi 97,4% pada Zn proteinat C. Elemen Zn yang terlarut dalam buffer pH 2 diuji kapasitas kelasinya melalui gel kolom kromatografi, hasil kromatogramnya mengungkapkan bahwa semua Zn dari produk organik dielusikan dalam kisaran yang sama dari fraksi seperti Zn dari Zn sulfat. Persentase ion Zn bebas terhadap Zn total pada filtrat berkisar antara 2,2 dan 12,6%. Persentase ion Zn bebas terhadap Zn total dari Zn metionin, Zn lisin dan Zn polisakarida lebih rendah dari pada persentase kelat Zn terhadap Zn total dari Zn proteinat, dan yang tertinggi diperoleh pada Zn asam amino (Cao et al. 2000). Dari hasil perbandingan karakteristik di atas ternyata sumber Zn organik dibedakan oleh efektivitas kelasi dan kelarutan Zn dalam buffer pH 2.

Berdasarkan karakteristik kimia Zn organik seperti diuraikan oleh Cao et al. (2000) di atas, yang berhubungan dengan fungsi fisiologis ternak adalah sifat kelarutan Zn dalam air maupun larutan buffer pH 2 dan persentase Zn kelat dalam total Zn di filtrat. Besarnya kelarutan Zn dalam air mengindikasikan bahwa adanya Zn dalam Zn organik yang terlarut

Tabel 2. Karakteristik Zn dari berbagai Zn organik

Sumber Zn	Kadar (%)		pH	Keefektifan kelas	Kelarutan Zn dalam (%)		Zn terkelasi/total Zn (%) ¹⁾
	Zn	N			Air	pH 2	
Zn Metionin A ²⁾	3,78	0,97	5,83	1,9	6,0	98,2	2,5
Zn Metionin B ²⁾	9,29	1,81	5,44	1,5	16,4	95,6	2,2
Zn Polisakarida	19,02	0,45	5,49	3,8	34,8	97,6	4,1
Zn Lisin	9,43	3,10	6,37	4,4	12,7	95,6	5,7
Zn Asam Amino	9,42	5,79	4,51	180,0	14,9	96,4	12,2
Zn Proteinat A ²⁾	13,63	7,19	6,73	13,0	4,1	84,7	10,2
Zn Proteinat B ²⁾	13,65	1,79	4,64	91,0	20,0	94,2	11,3
Zn Proteinat C ²⁾	13,01	4,14	4,61	120,0	21,6	97,8	11,7
Zn Sulfat	20,80	-	-	-	42,3	98,6	-

Qf: kuantitatif efektivitas; ¹⁾Persentase Zn kelat dalam total Zn di filtrat; ²⁾Huruf A, B dan C menunjukkan perbedaan merek dagang

Sumber: Cao et al. (2000)

dalam cairan rumen, dimana pH rumen berkisar antara 6-7. Demikian pula besarnya kelarutan Zn dalam buffer pH 2 menunjukkan besarnya Zn yang diabsorpsi di abomasum dan usus halus, dimana pH cairan di abomasum dan usus halus berkisar 2. Besarnya persentase Zn kelat dalam total Zn di filtrat menunjukkan bahwa masih ada Zn yang tetap terkelasi pada kondisi pH 2. Hal ini mengindikasikan sejauh mana ligan organik tetap terikat dengan Zn dalam kondisi fisiologis ternak. Nilai ini merupakan faktor terpenting untuk menentukan fungsi fisiologis Zn kelat maupun kompleks pada ternak ruminansia.

FUNGSI SENG (Zn)

Seng merupakan mikro mineral esensial yang diperlukan ternak ruminansia yang berperan pada sejumlah fungsi biokimia. Kekurangan Zn dapat mempengaruhi pertumbuhan, reproduksi, sistem kekebalan tubuh dan ekspresi gen pada ternak ruminansia. Zn berperan lebih dari 300 proses enzim, yang sebagian besar berhubungan dengan kinerja dan kesehatan ternak (Underwood dan Suttle 1999; Darmono 2007; Arifin 2008). Zn berperan pula pada metabolisme ternak dan melibatkan regenerasi keratin dan integritas jaringan epitel, metabolisme tulang, sintesis asam nukleat dan pembelahan sel, sintesis protein, ion katalitik, struktural dan regulator untuk enzim dan faktor-faktor transkripsi, berpartisipasi dalam metabolisme karbohidrat, lemak dan protein, perkembangan seksual dan spermatogenesis, fungsi kekebalan, serta kontrol nafsu makan melalui bekerjanya pada sistem saraf pusat. Mikro mineral Zn berpartisipasi pula dalam struktur, atau dalam katalitik dan regulator pada sebagian besar spesies. Misalnya,

Zn memainkan peran penting dalam pertahanan anti oksidan sebagai bagian integral dari superoxide dismutase (SOD). Zn juga terlibat dalam sekresi dan fungsi hormon, antara lain somatomedin-c, osteocalcin, testosteron, hormon tiroid, insulin dan hormon pertumbuhan (Underwood dan Suttle 1999).

KOMPARATIF STUDI SUPLEMENTASI Zn ORGANIK DAN ANORGANIK PADA RUMINANSIA

Pengaruh suplementasi Zn organik terhadap pencernaan nutrisi secara *in vitro*

Suplementasi Zn dalam bentuk organik secara *in vitro* meningkatkan pencernaan bahan kering (KCBK) rumput. (Supriyati et al. 2000) melaporkan bahwa suplementasi beberapa mineral tunggal seperti Zn, Cu, Mn terhadap pencernaan rumput Gajah secara *in vitro* ternyata yang memberikan respon terbaik adalah Zn. Dilaporkan pula bahwa penambahan Zn organik dalam bentuk proteinat/biokompleks meningkatkan KCBK rumput *Panicum maximum* secara *in vitro* sebesar 15,35% (dari 56,74 menjadi 65,45%). Penambahan 35 mg Zn kg⁻¹ dalam bentuk Zn proteinat dapat meningkatkan KCBK lebih nyata dibandingkan dengan penambahan Zn dalam bentuk ZnSO₄ (Supriyati et al. 2000; Haryanto et al. 2005) menggunakan Zn metionin untuk meningkatkan pencernaan komponen serat kasar tinggi secara *in vitro*, sehingga berpengaruh positif bagi proses fermentasi rumen dalam menghasilkan asam-asam lemak mudah terbang (VFA). Lama inkubasi mempengaruhi tingkat pencernaan serat deterjen netral (SDN) dan serat deterjen asam (SDA), semakin lama waktu inkubasi semakin banyak komponen serat yang

terdegradasi. Nagalaksmi et al. (2013) melaporkan bahwa perbedaan sumber Zn organik memberikan pengaruh yang berbeda pula terhadap pencernaan secara *in vitro*. Zn metionin dan Zn asam amino memberikan pengaruh terbaik terhadap pencernaan bahan kering, pencernaan bahan organik, pencernaan selulosa dan produksi gas secara *in vitro*. Peningkatan pencernaan nutrisi disebabkan meningkatnya aktivitas mikroba rumen yang diakibatkan oleh meningkatnya metabolisme karbohidrat, protein dan lemak.

Pengaruh suplementasi Zn organik terhadap kinerja domba dan kambing

Beberapa hasil penelitian tentang suplementasi Zn organik pada domba (Kardaya et al. 2001; Haryanto et al. 2005; Supriyati dan Haryanto 2007; Supriyati 2008) menunjukkan terjadinya peningkatan kinerja baik berupa pertambahan bobot hidup harian (PBHH) maupun efisiensi penggunaan pakan ataupun rasio konversi pakan (RKP) seperti terlihat pada Tabel 3. Kardaya et al. (2001) melaporkan bahwa penambahan Zn proteinat pada ransum domba dapat meningkatkan PBHH dan memperbaiki RKP dibandingkan dengan kontrol. Haryanto et al. (2005) melaporkan bahwa penambahan 60 mg Zn kg⁻¹ sebagai Zn metionin dalam konsentrat, peningkatan PBHH domba yang diberikan pakan dasar jerami terfermentasi lebih besar bila dibandingkan dengan domba yang mendapatkan pakan tanpa tambahan maupun penambahan 30 mg Zn kg⁻¹ dalam bentuk Zn metionin. Level 50 mg Zn kg⁻¹ memberikan respon PBHH domba jantan muda yang lebih besar dibandingkan dengan level 100 dan 200 mg Zn kg⁻¹ dalam bentuk Zn biokompleks (Supriyati dan Haryanto 2007). Penambahan 50 mg Zn kg⁻¹ sebagai Zn biokompleks meningkatkan kecepatan PBHH dari 57,60 g/ekor/hari menjadi 85,47 g/ekor/hari, dengan rasio konversi pakan masing-masing 11,9 dan 8,0. Selanjutnya Supriyati (2008) melaporkan bahwa suplementasi Zn organik dalam bentuk biokompleks dan metionat memberikan respon yang tidak berbeda terhadap kinerja pertumbuhan domba jantan muda. Toharmat et al. (2007) menambahkan Zn dalam ransum bentuk *mash* yang mengandung 50% pakan sumber serat untuk memenuhi kebutuhan nutrisi kambing PE muda, ternyata penambahan Zn mempengaruhi konsumsi pakan dan pencernaan serat. Fadayifar et al. (2012) melaporkan bahwa penambahan Zn proteinat maupun Zn sulfat meningkatkan PBHH dan memperbaiki RKP domba induk dibandingkan dengan kontrol, namun penambahan Zn dalam bentuk sulfat maupun proteinat tidak menunjukkan perbedaan terhadap PBHH domba.

Demikian pula hasil penelitian tentang suplementasi Zn organik pada kambing menunjukkan terjadinya peningkatan kinerja baik berupa

pertambahan bobot hidup harian (PBHH) maupun efisiensi penggunaan pakan ataupun rasio konversi pakan (RKP) seperti terlihat pada Tabel 3. Jia et al. (2009) menyatakan bahwa penambahan Zn dalam bentuk organik maupun anorganik (sulfat) dapat meningkatkan kinerja kambing Kasmir dibandingkan dengan kontrol, namun suplementasi Zn dalam bentuk organik maupun anorganik tidak memberikan perbedaan terhadap kinerja ternak. Puchala et al. (1999) menambahkan mikro mineral Zn organik dan Cu organik ke dalam pakan kambing untuk mengurangi terjadinya interaksi antara Zn dan Cu. Dilaporkan pula bahwa suplementasi pakan dengan Zn metionin, peningkatan BH lebih besar dibandingkan dengan kontrol (67 vs 55,9 g/hari). Peningkatan BH untuk kambing yang mendapatkan suplementasi Zn anorganik (ZnO) lebih rendah daripada kambing yang diberi suplementasi Zn metionin (50,5 vs 67 g/hari). Devi et al. (2011) menambahkan Zn organik pada kambing jantan lokal ternyata PBHH lebih besar pada kambing yang diberi Zn organik dibandingkan dengan Zn anorganik. Supriyati et al. (2012) melaporkan bahwa suplementasi Zn biokompleks maupun yang dikombinasikan dengan Comin+ (*complete mineral* yang diperkaya dengan protein terproteksi) meningkatkan kinerja pertumbuhan dan memperbaiki RKP kambing.

Suplementasi Zn organik selain dapat meningkatkan PBHH juga memperbaiki nilai RKP (Tabel 3). Perbaikan efisiensi penggunaan ransum dimungkinkan karena terjadi peningkatan aktivitas mikroba pada rumen (Haryanto et al. 2001; Kardaya et al. 2001). Selain itu, disebabkan adanya perbedaan metabolisme antara Zn organik dan Zn anorganik pada tubuh ternak (Puchala et al. 1999).

Pengaruh suplementasi Zn organik terhadap kinerja ternak ruminansia besar

Suplementasi Zn organik pada ternak ruminansia besar sebagian besar menunjukkan terjadinya peningkatan kinerja baik berupa pertambahan bobot hidup (PBH) maupun efisiensi penggunaan pakan ataupun rasio konversi pakan (RKP) seperti terlihat pada Tabel 4. Spears (1996) melaporkan bahwa suplementasi Zn metionin yang dilakukan pada sedikitnya 19 *feedlot*, dimana perlakuan terdiri dari pakan kontrol yang diformulasi memenuhi atau melebihi kebutuhan Zn menurut NRC dan pakan yang disuplementasi dengan Zn metionin, ternyata 17 dari 19 percobaan menunjukkan pengaruh nyata terhadap respon performans, nilai pertambahan bobot hidup (PBH) dan efisiensi pakan umumnya lebih besar dari pada perlakuan kontrol. Suplementasi Zn organik (Zn proteinat) dan Zn anorganik (ZnO) meningkatkan PBH dan efisiensi penggunaan ransum (EPR) sapi jantan

Tabel 3. Pengaruh suplementasi Zn organik terhadap performans ternak domba dan kambing

Ternak	Perlakuan	Level Zn mg/kg	PBHH gr/ekor	RKP	Sumber
Domba lokal muda	Kontrol	0	63,14	10,20	Kardaya et al. (2001)
	Zn Proteinat	35	83,74	8,49	
Domba lokal muda	Kontrol	0	45,70	15,10	Haryanto et al. (2005)
	Zn metionin	30	45,00	12,80	
	Zn metionin	60	55,00	11,00	
Domba lokal muda	Kontrol	0	57,60	11,90	Supriyati dan Haryanto (2007)
	Zn biokompleks	50	85,47	8,05	
	Zn biokompleks	100	72,14	9,60	
	Zn biokompleks	200	67,86	10,50	
Domba lokal muda	Kontrol	0	52,65	10,96	Supriyati (2008)
	Zn biokompleks	50	71,28	8,44	
	Zn metionin	50	71,30	8,75	
Domba muda	Kontrol	0	212,00	6,64	Fadayifar et al. (2012)
	Zn sulfat	40	276,00	5,24	
	Zn proteinat	20	276,00	5,24	
Kambing Kasmir	Kontrol	0	35,70	19,66	Jia et al. (2009)
	Zn sulfat	20	41,30	17,09	
	Zn metionin	20	42,70	16,56	
Kambing Angora	Kontrol	0	55,90	13,95	Puchala et al. (1999)
	Zn metionin	50	67,00	13,76	
	Zn oksida	50	50,50	15,84	
Kambing PE muda	Kontrol	0	65,18	10,51	Supriyati et al. (2012)
	Zn biokompleks	25	83,04	8,36	
	Zn biokompleks dan Comin+	25	90,71	9,46	

PBHH: Pertambahan bobot hidup harian; RKP: Rasio konversi pakan

pada periode pertumbuhan, namun tidak mempengaruhi konsumsi ransum Pada sapi periode akhir (*finishing phase*) yang mendapatkan suplementasi Zn organik (Zn proteinat), nilai PBH dan EPR lebih besar daripada yang mendapatkan Zn anorganik (ZnO) masing-masing 1,47 vs 1,32 kg/hari dan 0,162 vs 0,149 kg/hari (Spears dan Kegley 2002).

Kincaid dan Socha (2004) membandingkan pemberian campuran mineral mikro dalam bentuk organik dan anorganik pada sapi perah ternyata ternak yang diberi pakan campuran mineral mikro organik penurunan BH nya pada periode laktasi lebih rendah daripada ternak yang mendapatkan campuran mineral mikro anorganik. Namun tidak terdapat perbedaan dalam indeks kondisi tubuh ternak (3,12 vs 3,08) dan efisiensi pakannya (1,74 vs 1,91). Mondal et al. (2008) melaporkan bahwa suplementasi mikro mineral organik (Zn, Cu, Mn, Fe biokompleks) meningkatkan PBHH sapi jantan anak masing-masing sebesar 34,85 dan

7,49% dibandingkan dengan kontrol dan suplementasi mikro mineral anorganik (Zn, Cu, Mn, Fe sulfat).

Pengaruh suplementasi Zn organik terhadap daya cerna pakan secara in vivo

Pengaruh suplementasi Zn organik terhadap peningkatan kinerja (PBHH dan RKP) ternak merupakan cerminan dari peningkatan kecernaan pakan. Pada Tabel 5 terlihat bahwa kecernaan bahan kering (KCBK), kecernaan protein kasar (KCPK), kecernaan serat deterjen netral (KCSDN) dan kecernaan serat deterjen asam (KCSDA) pada pakan yang mendapatkan penambahan Zn organik meningkat.

Kardaya et al. (2001) menambahkan Zn proteinat dalam pakan domba untuk meningkatkan daya cerna BK dan PK. Kecernaan SK meningkat dari 62,50 (kontrol) menjadi 67,85% (penambahan Zn proteinat). Haryanto et al. (2005) melaporkan bahwa penambahan

Tabel 4. Pengaruh suplementasi Zn organik terhadap performans ternak ruminansia besar

Ternak	Perlakuan	Level Zn mg/kg	PBHH kg/ekor/hari	Konsumsi kg/hari	EPR	Sumber
Sapi potong	Kontrol	0,0	1,38	-	7,040 ⁺	Spears (1996)
	Zn metionin	20,0	1,43	-	6,750 ⁺	
Sapi jantan fase pertumbuhan	Kontrol	0,0	0,97	6,58	0,149	Spears dan Kegley (2002)
	ZnO	25,0	1,06	6,96	0,155	
	Zn Proteinat A	25,0	1,08	6,72	0,160	
	Zn Proteinat B	25,0	1,07	6,74	0,160	
Sapi jantan fase akhir	Kontrol	0,0	1,38	8,92	0,156	Spears dan Kegley (2002)
	ZnO	25,0	1,32	8,89	0,149	
	Zn Proteinat A	25,0	1,38	8,73	0,159	
	Zn Proteinat B	25,0	1,47	9,21	0,162	
Sapi jantan	Kontrol	0,0	1,18	7,80	0,153	Spears dan Kegley (2002)
	ZnO	25,0	1,19	7,88	0,152	
	Zn Proteinat A	25,0	1,24	7,78	0,159	
	Zn Proteinat B	25,0	1,28	8,11	0,160	
Sapi perah	Mineral mikro anorganik	75,0	-54,70*	26,00	1,910**	Kincaid dan Socha (2004)
	Mineral mikro organik	75,0	-23,30*	26,40	1,740**	
Sapi perah jantan	Kontrol	0,0	307,00	-	-	Mondal et al. (2008)
	Mineral mikro anorganik	59,2	414,00	-	-	
	Mineral mikro organik	59,2	445,00	-	-	

EPR = PBHH/Kons; *Perubahan BH selama menyusui; **Efisiensi pakan = produksi susu terkoreksi lemak/konsumsi; ⁺: Kons/PBBH

Zn dalam bentuk Zn metionin dalam pakan domba meningkatkan nilai KCBK, KCPK, KCSDN dan KCSDA. Demikian pula Garg et al. (2008) melaporkan bahwa pencernaan BK, BO, PK, LK, SDN dan hemiselulosa tidak berbeda diantara kontrol dan perlakuan. Namun, nilai pencernaan selulosa dan SDA lebih besar pada kelompok Zn metionin dibandingkan dengan kontrol pada domba.

Hasil pengamatan yang dilakukan oleh Salama et al. (2003) penambahan Zn organik pada pakan kambing meningkatkan daya cerna nutrien. Namun hasil pengamatan yang dilakukan oleh Jia et al. (2009) dan Supriyati et al. (2012) ternyata penambahan Zn organik pada kambing tidak mempengaruhi nilai KCBK dan KCSDN, tetapi mempengaruhi nilai KCPK dan KCSDA. Pencernaan BK, PK, SK, abu, LK, AIA, dan BETN meningkat secara nyata pada sapi muda yang mendapatkan suplementasi campuran mineral mikro anorganik maupun organik dibandingkan dengan kontrol (Mondal et al. 2008).

Peningkatan KCPK pada pakan yang mendapatkan perlakuan Zn organik sesuai dengan yang

dilaporkan oleh Underwood dan Suttle (1999), dimana Zn berfungsi untuk meningkatkan metabolisme protein. Demikian pula derajat pencernaan serat baik dalam bentuk SDN maupun SDA meningkat dengan penambahan Zn. Peningkatan daya cerna serat kemungkinan disebabkan meningkatnya aktivitas fermentatif mikroba rumen (Tabel 6) yang diikuti dengan meningkatnya produksi enzim pemecah serat, seperti dijelaskan oleh Underwood dan Suttle (1999) bahwa Zn meregulasi sintesis enzim.

Pengaruh suplementasi Zn organik terhadap aktivitas fermentatif mikroba rumen

Suplementasi Zn organik berpengaruh terhadap meningkatnya aktivitas fermentatif mikroba rumen (Tabel 6). Nilai pH rumen bervariasi namun masih pada kondisi netral dan nilai NH₃ rumen dalam kisaran normal. Konsentrasi total VFA dan jumlah bakteri rumen meningkat, sedangkan jumlah protozoa menurun pada ternak perlakuan dibandingkan dengan kontrol.

Perubahan nilai pH rumen bervariasi namun masih pada kondisi netral, nilai NH_3 rumen bervariasi tergantung pada bentuk Zn organiknya. Namun total VFA rumen meningkat pada ternak yang mendapatkan suplementasi Zn organik. Nilai pH cairan rumen yang mendapat perlakuan Zn proteinat hampir sama dengan kontrol yaitu 6,68 dan 6,59 (Kardaya et al. 2001). Namun nilai pH cairan rumen yang mendapatkan perlakuan Zn metionin cenderung menurun (Haryanto et al. 2005). Perbedaan pengaruh suplementasi Zn terhadap nilai pH cairan rumen disebabkan karena perbedaan karakteristik Zn organik, dimana Zn metionin bersifat asam lemah, sedangkan Zn proteinat/Zn biokompleks bersifat netral (Cao et al. 2000). Cairan rumen pH nya sangat dipengaruhi oleh pemberian pakan setiap harinya dan waktu pengambilan rumen, dimana dalam pemberian konsentrat yang mengandung pati dan gula yang tinggi, biasanya akan menurunkan nilai pH. Nilai pH cairan rumen yang normal berkisar antara 5,94-7,33 karena dalam pakannya ditambahkan konsentrat.

Nilai pH ini memiliki hubungan langsung dengan produksi total VFA dan NH_3 , fluktuasi total VFA terjadi akibat aktivitas mikroba pada rumen. Namun dengan ditambahkan Zn organik berupa Zn

proteinat pada pakan dapat menstabilkan nilai pH sehingga aktivitas mikroba meningkat, dengan demikian aktivitas bakteri selulolitik dapat dijaga (tidak menurun). Pertumbuhan bakteri selulolitik terhambat pada pH di bawah 6,2, sedangkan pertumbuhan bakteri amilolitik tidak dipengaruhi oleh penurunan pH. Tingginya pH cairan rumen memberikan peluang bagi mikroba rumen untuk meningkatkan populasinya, selain itu berpengaruh terhadap kelarutan bahan pakan.

Penambahan Zn proteinat (Kardaya et al. 2001) maupun Zn metionin (Haryanto et al. 2005) meningkatkan kadar amonia (NH_3). Peningkatan kadar NH_3 ini menunjukkan terjadinya aktivitas enzim protease dalam mendegradasi (proses deaminasi) protein pakan dalam rumen. Sumber protein di dalam rumen dipengaruhi oleh mutu pakan, untuk itu maka diperlukan makanan yang cukup protein. Protein atau nitrogen bukan protein yang diberikan ke ruminansia, akan diubah sebagian atau seluruhnya menjadi amonia untuk membentuk asam-asam amino atau sel mikroba protein. Peningkatan produksi amonia baru terjadi akibat peningkatan ketersediaan enzim-enzim proteolitik dan aminatif atau pengaruh langsung dari enzim-enzim protease dan aminase.

Tabel 5. Pengaruh suplementasi Zn organik terhadap daya cerna pakan

Ternak	Perlakuan	Level Zn mg/kg	KCBK %	KCPK %	KCSDN %	KCSDA %	Sumber
Domba muda	Kontrol	0	64,69	71,86	62,50 ¹⁾	-	Kardaya et al. (2001)
	Zn proteinat	35	67,67	81,02	67,85 ¹⁾	-	
Domba	Kontrol	0	64,72	-	66,05	54,62	Haryanto et al. (2005)
	Zn metionin	30	69,09	-	68,23	57,63	
	Zn metionin	60	63,81	-	62,34	49,46	
Domba muda	Kontrol	0	64,00	78,00	54,00	44,00	Garg et al. (2008)
	Zn sulfat	20	63,00	81,00	51,00	45,00	
	Zn metionin	20	65,00	78,00	56,00	52,00	
Kambing perah	Kontrol	447	67,30	71,30	50,50	-	Salama et al. (2003)
	Zn metionin	684	70,40	75,60	53,40	-	
Kambing Kasmir	Kontrol	0	63,50	66,60	53,30	51,40	Jia et al. (2009)
	Zn sulfat	20	63,60	63,00	52,50	50,90	
	Zn metionin	20	62,60	65,90	51,40	54,60	
Kambing PE	Kontrol	0	72,65	75,40	62,48	57,82	Supriyati et al. (2012)
	Zn biokompleks	25	71,69	80,26	65,41	68,63	
	Zn biokompleks dan Comin+	25	73,69	81,60	66,56	66,56	
Sapi perah	Kontrol	0	52,92	45,24	56,15 ¹⁾	-	Mondal et al. (2008)
	Mineral mikro anorganik	35	57,47	52,17	62,71 ¹⁾	-	
	Mineral makro organik	35	58,40	53,05	63,02 ¹⁾	-	

¹⁾Kecernaan serat kasar

Tabel 6. Pengaruh suplementasi Zn organik terhadap aktivitas fermentatif mikroba rumen

Ternak	Perlakuan	Level Zn mg/kg	pH	NH ₃ (mM)	Total VFA (mM)	Populasi mikroba	Sumber
Domba muda	Kontrol	0	6,68	10,20	36,04	-	Kardaya et al. (2001)
	Zn proteinat	35	6,59	12,80	61,52	-	
Domba	Kontrol	0	6,20	19,38	62,44	-	Haryanto et al. (2005)
	Zn metionin	60	5,98	14,96	67,22	-	
Domba	Kontrol	0	-	8,00	95,00	1,71 ¹⁾ 1,04 ²⁾	Adawiah et al. (2007)
	Zn-minyak ikan	110	-	7,00	113,00	4,63 ¹⁾ 0,76 ²⁾	
	Zn-minyak jagung	110	-	4,00	114,00	2,52 ¹⁾ 0,68 ²⁾	
Sapi jantan	Kontrol	0	-	-	115,20	-	Spears et al. (2004)
	Zn sulfat	20	-	-	118,20	-	
	Zn metionin	20	-	-	97,00	-	
	Zn glisin	20	-	-	96,00	-	

¹⁾total bakteri dalam 10⁹ koloni/ml; ²⁾total protozoa dalam 10⁵ sel/ml

Demikian pula penambahan Zn dalam bentuk Zn metionin (Haryanto et al. 2001), Zn proteinat (Kardaya et al. 2001), Zn minyak ikan/Zn minyak jagung (Adawiah et al. 2007) meningkatkan asam lemak mudah terbang (VFA). Suplementasi Zn organik meningkatkan aktivitas mikroba rumen, yang ditunjukkan dengan meningkatnya aktivitas enzim selulase dari 0,059 µ/ml (kontrol) menjadi 0,134 µ/ml (perlakuan) (Kardaya et al. 2001), meningkatkan jumlah bakteri sedangkan jumlah protozoa menurun (Adawiah et al. 2007). Peningkatan ini disebabkan oleh elemen Zn yang berperan menstimulasi pertumbuhan mikroba rumen, selain itu Zn berperan dalam proses metabolisme karbohidrat, sehingga menghasilkan asam-asam lemak mudah terbang (Underwood dan Suttle 1999; Haryanto et al. 2005). Namun Spears et al. (2004) melaporkan bahwa penambahan Zn organik (bentuk metionin, glisin) total VFA dalam rumen sapi jantan lebih rendah dibandingkan dengan kontrol dan penambahan Zn sulfat. Hal ini dikarenakan absorpsi Zn pada ternak ruminansia besar ditambah lagi jenis kelaminnya jantan sehingga penyerapannya lambat dan diperlukan level Zn yang lebih besar (Mondal et al. 2008).

Pengaruh suplementasi Zn organik terhadap status Zn pada ternak

Suplementasi Zn organik pada pakan ruminansia meningkatkan status Zn pada ternak domba (Kardaya et al. 2001), kambing Angora (Puchala et al. 1999), kambing Kasmir (Jia et al. 2009). Hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya kandungan Zn dalam plasma/serum seperti terlihat pada Tabel 7. Kardaya et

al. (2001) melaporkan bahwa kadar Zn dalam plasma pada awal penelitian berkisar antara 0,90 mg/l dan pada akhir penelitian (16 minggu setelah pemberian Zn organik) terjadi peningkatan kadar Zn. Peningkatan kadar Zn pada kontrol sebesar 15,74% (dari 0,91 menjadi 1,08 mg/l), sedangkan pada perlakuan Zn proteinat dan anorganik masing-masing sebesar 38,13% (dari 0,86 menjadi 1,39 mg/l) dan 26,01% (dari 0,91 menjadi 1,23 mg/l. Puchala et al. (1999) dan Jia et al. (2009) melaporkan pula bahwa penambahan Zn dalam bentuk organik lebih baik absorpsi Zn nya dibandingkan dari pada bentuk anorganik ataupun tanpa penambahan Zn (kontrol) pada pakan kambing. Eren et al. (2013) melaporkan bahwa kadar Zn dalam serum awal penelitian berkisar 106 µg/dl, dan pada akhir penelitian terjadi peningkatan kadar Zn, untuk Zn anorganik (20 mg Zn kg⁻¹ sebagai Zn sulfat) sebesar 10,44% (dari 105,3 menjadi 116,3 µg/dl), sedangkan pada perlakuan Zn organik (20 mg Zn kg⁻¹ sebagai Zn-2-hidroksi-4metiltiobutirat), sebesar 14,06% (dari 107,4 menjadi 122,5 µg/dl). Namun pemberian Zn organik (bentuk laktat dan kelasi) dan Zn anorganik (Zn oksida) yang terus menerus selama 3 bulan pada kambing tidak menunjukkan perbedaan yang nyata terhadap kandungan Zn dalam plasma (Pavlata et al. 2011). Kandungan Zn dalam serum darah kambing yang kekurangan Zn dalam pakannya sebesar 1,00 mg/l, sedangkan untuk ternak yang normal kandungan Zn dalam serum darahnya sebesar 1,10 mg/l (Haenlein dan Anke 2011).

Penambahan Zn dalam bentuk organik maupun anorganik tidak berpengaruh terhadap kadar Zn dalam plasma sapi jantan seperti dilaporkan oleh Spears dan Kegley (2002), namun lebih baik penyerapan Zn nya

dibandingkan dengan kontrol pada sapi pejantan fase pertumbuhan. Sedangkan pada fase akhir tidak ada pengaruh Zn terhadap status Zn dalam plasma. Selanjutnya Spears et al. (2004) melaporkan bahwa penambahan Zn organik (Zn metionin dan Zn glisin) meningkatkan kadar Zn dalam plasma dibandingkan dengan ternak yang mendapat perlakuan kontrol dan Zn sulfat. Kincaid dan Socha (2004) melaporkan pula bahwa penambahan Zn metionin yang dicampur dengan mineral mikro metionin lainnya dibandingkan dengan campuran mineral mikro anorganik pada pakan sapi perah, tidak terdapat perbedaan kandungan Zn dalam serumnya. Namun Ahola et al. (2004) melaporkan bahwa suplementasi mineral organik meningkatkan status mineral pada sapi potong. Demikian pula Mondal et al. (2008) melaporkan bahwa suplementasi mineral mikro organik pada anak sapi jantan meningkatkan kadar Zn dalam serum dibandingkan dengan perlakuan mineral mikro anorganik dan kontrol.

Peningkatan kadar Zn dalam serum ataupun plasma disebabkan oleh pengaruh suplementasi mineral mikro yang berdampak pada meningkatnya absorpsi dan retensi Zn dalam jaringan. Ketersediaan biologis Zn pada hati, ginjal, pankreas dan metalotionin hati pada domba induk yang diberi pakan mengandung Zn proteinat, Zn asam amino, atau Zn metionin selama 21 hari terjadi peningkatan masing-masing sebesar 130, 110 dan 113% dibandingkan dengan Zn sulfat (100%) (Cao et al. 2000). Rojas et al. (1995) membandingkan penggunaan Zn lisin, Zn metionin dan Zn sulfat pada domba ternyata Zn lisin terserap lebih banyak dibandingkan dengan perlakuan lainnya yang digambarkan dengan kandungan Zn yang tinggi pada ginjal, hati dan pankreas. Spears et al. (2004) melaporkan kadar Zn dalam hati lebih besar pada sapi jantan yang mendapatkan suplementasi Zn glisin (114,0 mg/kg BK) dibandingkan dengan ternak kontrol (90,5 mg/kg BK) maupun yang disuplementasi dengan Zn sulfat (89,7 mg/kg BK) ataupun Zn metionin (92,2 mg/kg BK). Demikian pula Hatfield et al. (2001) melaporkan bahwa kadar Zn dalam hati lebih besar pada ternak yang mendapatkan suplementasi Zn organik dibandingkan dengan ternak kontrol, masing-masing yaitu 139 dan 121,5 mg/kg.

Namun Vilela et al. (2012) melaporkan bahwa suplementasi ZnO, Zn asam amino dan Zn proteinat pada pakan domba tidak menunjukkan perbedaan yang nyata terhadap kandungan Zn pada hati. Pada ternak dengan kondisi normal (tidak terjadi defisiensi) kandungan Zn dalam hati kambing, domba dan sapi masing-masing sebesar 118, 104 dan 100 mg/kg BK (Haenlein dan Anke 2011). Peningkatan kandungan Zn dalam plasma maupun ketersediaan biologis Zn menunjukkan bahwa pemberian Zn dalam bentuk

organik lebih baik penyerapannya dibandingkan dengan suplementasi dalam bentuk anorganik.

Pengaruh suplementasi Zn organik terhadap absorpsi dan retensi Zn

Absorpsi Zn relatif rendah, tempat utama penyerapan Zn pada ruminansia adalah di rumen dan usus halus, namun penyerapan di rumen lebih besar dibanding di usus halus (McDowell 1992). Ternak ruminansia dapat mengabsorpsi 20-40% Zn dari yang terkandung pada pakan, namun pada ternak muda absorpsinya relatif lebih tinggi. Absorpsi Zn dipengaruhi oleh jumlah dan imbalanced mineral lain serta kandungan Zn dalam ransum dan bentuk Zn yang diserap (Underwood dan Suttle 1999). Selain itu, kebutuhan ternak akan Zn tidak dapat dipisahkan dari kadar mineral dan zat lain dalam rumen.

Absorpsi Zn lebih merupakan refleksi kebutuhan fisiologis tubuh akan Zn baik pada anak maupun induk ternak. Ternak yang kekurangan Zn akan mengabsorpsi sebagian besar Zn yang diberikan dalam pakan. Anak sapi yang kekurangan Zn akan mengabsorpsi 80% Zn yang diberikan per oral (Miller 1970). Selanjutnya dinyatakan bahwa apabila ruminansia muda mendapat ransum dengan kandungan Zn rendah, maka kadar Zn dalam beberapa jaringan akan turun sedangkan di tempat lain sedikit berubah atau tetap. Tetapi apabila kekurangan Zn nya demikian besar, mengakibatkan turunnya kandungan Zn pada rambut, tulang, hati, paru-paru, ginjal, pankreas dan plasma darah. Church (1984) melaporkan bahwa urutan absorpsi Zn yaitu setelah pankreas mengeluarkan ligan pengikat Zn ke dalam lumen usus, di dalam lumen Zn akan berikatan dengan ligan. Dalam ikatannya dengan ligan, Zn diangkut menembus mikrovilli usus masuk ke dalam sel epitel dan kemudian ikatan Zn dibawa ke membran plasma membawa Zn dari sisi reseptor. (Miller 1970) dalam penelitiannya tentang pengaruh berbagai taraf Zn terhadap absorpsi Zn menyatakan bahwa ruminansia mempunyai mekanisme kontrol homeostatis yang mengatur absorpsi Zn dan reekskresi endogen ke dalam saluran pencernaannya.

Absorpsi Zn dan retensi dalam bentuk Zn organik pada kambing dilaporkan oleh Salama et al. (2003) dan Jia et al. (2009) seperti tercantum pada Tabel 8. Retensi dan absorpsi Zn serta metabolisme protein cenderung lebih baik pada kambing perah yang mendapat perlakuan Zn baik sebagai Zn anorganik maupun organik (Salama et al. 2003). Namun Jia et al. (2009) melaporkan bahwa perlakuan Zn sulfat dan Zn metionin tidak menunjukkan adanya perbedaan pada retensi maupun absorpsi Zn. Eren et al. (2013) melaporkan bahwa penambahan Zn organik pada pakan anak kambing betina meningkatkan retensi dan

Tabel 7. Pengaruh suplementasi Zn terhadap kadar plasma/serum Zn pada ruminansia

Ternak	Perlakuan	Level Zn mg/kg	Kadar Zn mg/l	Sumber
Domba	Kontrol	0,0	1,08	Kardaya et al. (2001)
	Zn proteinat	35,0	1,39	
	Zn anorganik	35,0	1,23	
Kambing Angora	Kontrol	0,0	0,72	Puchala et al. (1999)
	Zn metionin	40,0	0,95	
	Zn anorganik (ZnO)	120,0	0,87	
Kambing Kasmir	Kontrol	0,0	0,87	Jia et al. (2009)
	Zn metionin	20,0	1,17	
	Zn sulfat	20,0	1,14	
Kambing	Kontrol	0,0	11,30 ¹⁾	Pavlata et al. (2011)
	Zn oksida	60,0	10,30 ¹⁾	
	Zn laktat	60,0	9,90 ¹⁾	
	Zn bioplex	60,0	9,10 ¹⁾	
Anak kambing	Zn anorganik	20,0	1,12	Eren et al. (2013)
	Zn organik	15,0	1,23	
Sapi jantan fase pertumbuhan	Kontrol	0,0	0,89	Spears dan Kegley (2002)
	Zn anorganik	25,0	0,93	
	Zn proteinat	25,0	0,94	
Sapi jantan fase akhir	Kontrol	0,0	1,06	Spears dan Kegley (2002)
	Zn anorganik	25,0	1,07	
	Zn proteinat	25,0	1,07	
Sapi perah	Mineral (Zn, Mn, Cu, Co) anorganik	75,0	0,75	Kincaid dan Socha (2004)
	Mineral (Zn, Mn, Cu, Co) metionin	75,0	0,76	
Sapi potong jantan	Kontrol	0,0	0,78	Spears et al. (2004)
	Zn sulfat	20,0	0,91	
	Zn metionin	20,0	1,00	
	Zn glisin	20,0	1,07	
Anak jantan sapi perah	Kontrol	0,0	0,78	Mondal et al. (2008)
	Campuran mineral mikro anorganik	59,2	1,02	
	Campuran mineral mikro organik	59,2	1,30	

¹⁾Kadar Zn dalam $\mu\text{mol/l}$

absorpsi Zn yang diindikasikan terjadinya penurunan kadar Zn dalam feses dibandingkan dengan perlakuan penambahan Zn anorganik.

Spears et al. (2004) melaporkan bahwa absorpsi dan retensi Zn cenderung lebih besar pada sapi jantan yang diberi Zn glisin dibandingkan yang mendapatkan perlakuan Zn sulfat, Zn metionin ataupun kontrol. Mondal et al. (2008) melaporkan bahwa penambahan Zn proteinat pada pakan anak jantan sapi perah

meningkatkan absorpsi Zn namun tidak berpengaruh pada retensi Zn.

Absorpsi Zn dalam bentuk Zn organik lebih baik dibandingkan dengan bentuk anorganik. Hal tersebut dikarenakan Zn organik merupakan Zn terkelasi menggunakan mekanisme penyerapan protein atau asam amino dibandingkan dengan menggunakan ion Zn dalam usus halus, dengan demikian akan mencegah terjadinya kompetisi diantara mineral yang mempunyai

mekanisme absorpsi yang sama. Tidak hanya saja ketersediaan Zn nya lebih besar, tapi mineral dalam bentuk asam amino mudah ditransportasikan dan diserap di usus halus. Mineral anorganik terpecah di sistem pencernaan membentuk ion-ion bebas dan diserap, juga membentuk kompleks dengan molekul dalam pakan dan menjadi senyawa kompleks yang susah diabsorpsi, sehingga tidak tersedia untuk ternak (Boland 2003).

Pengaruh suplementasi Zn organik terhadap produksi dan kualitas susu

Suplementasi Zn organik pada pakan cenderung meningkatkan produksi dan kualitas susu pada kambing perah (Salama et al. 2003) dan sapi perah (Spears 1996; Ashmead dan Samford 2004), namun suplementasi Zn metionin yang dicampur dengan mineral mikro lainnya produksi susunya tidak berbeda (Kincaid dan Socha 2004) seperti terlihat pada Tabel 9. Suplementasi Zn metionin pada pakan mempengaruhi kandungan lemak pada susu kambing dan sapi perah, demikian pula kandungan protein pada susu lebih besar pada kambing dan sapi perah yang mendapatkan Zn metionin. Sedangkan kandungan lemak dan protein pada susu sapi perah tidak dipengaruhi oleh penambahan kelat mineral asam amino. Suplementasi Zn metionin cenderung mempengaruhi ketahanan ternak terhadap stres dan meningkatkan kualitas susu yang diekspresikan dengan rendahnya jumlah sel somatik (*somatic cell count*) dibandingkan dengan kontrol (Spears 1996; Salama et al. 2003). Namun Kinal et al. (2005) melaporkan bahwa suplementasi mikro mineral (Zn, Cu dan Mn) kelat meningkatkan produksi susu sapi 6,5% dibandingkan dengan sapi yang mendapatkan mineral mikro (Zn, Cu dan Mn)

sulfat. Suplementasi mineral organik juga menurunkan jumlah sel somatik (34%) pada susu dan mempengaruhi jumlah imunoglobulin pada kolostrum dibandingkan dengan kontrol (tanpa suplementasi), suplementasi kompleks Zn, Cu, Mn dan Co asam amino pada pakan sapi perah, meningkatkan produksi susu (17,5 vs 16,6 kg/hari), energi susu (58,6 vs 55,3 MJ/hari), lemak susu (0,78 vs 0,73 kg/hari), protein susu (0,63 vs 0,58 kg/hari) dan padatan susu (1,39 vs 1,31 kg/hari), serta mengurangi terjadinya mastitis (23,8 vs 29,9 kejadian/100 ternak) (Griffiths et al. 2007). Namun Uchida et al. (2001) melaporkan bahwa pemberian kombinasi Zn asam amino, Mn asam amino dan Cu asam amino kompleks dan Co-glucoheptonat pada awal laktasi sapi perah Holstein tidak berpengaruh pada produksi susu, kandungan lemak susu dan protein dan jumlah sel somatik (SCC).

Pemberian Zn organik baik sebagai kelat mineral asam amino maupun Zn metionin seperti diuraikan di atas meningkatkan produksi susu. Hal ini kemungkinan disebabkan lebih besarnya ketersediaan mineral dari kelat mineral asam amino dan metionin, yang mengakibatkan meningkatnya penggunaan nutrien. Lebih besarnya absorpsi mineral dan simpanan tisu dari kelat mineral asam amino dan metionin tidak hanya saja berperan dalam peningkatan produksi susu (Ashmead dan Samford 2004) namun juga dapat meningkatkan skor kondisi tubuh (Kincaid dan Socha 2004).

Pengaruh suplementasi Zn organik terhadap fungsi reproduksi dan reproduktivitas

Unsur Zn berpengaruh pada fungsi reproduksi, antara lain memberikan efek pada berbagai hormon seperti berdampak pada ekskresi gonadotropin,

Tabel 8. Pengaruh suplemetasi Zn organik terhadap absorpsi dan retensi

Ternak	Perlakuan	Level Zn mg/kg	Retensi mg/h	Absorpsi %	Sumber
Kambing perah	Kontrol	447,0	21,40	12,10	Salama et al. (2003)
	Zn metionin	684,0	52,50	19,10	
Kambing Kasmir	Kontrol	0,0	3,41	24,40	Jia et al. (2009)
	Zn sulfat	20,0	4,96	18,03	
	Zn metionin	20,0	4,88	17,65	
Sapi perah	Kontrol	0,0	21,55	22,68	Mondal et al. (2008)
	Mineral mikro anorganik	59,2	20,22	24,99	
	Mineral mikro organik	59,2	20,42	28,81	
Sapi potong jantan	Kontrol	0,0	16,70	11,80	Spears et al. (2004)
	Zn sulfat	20,0	20,70	7,20	
	Zn metionin	20,0	19,80	6,70	
	Zn glisin	20,0	44,30	13,00	

Zn retensi = Zn asupan – Zn dalam feses – Zn dalam urin; Zn absorpsi = $\{(Zn \text{ asupan} - Zn \text{ dalam feses})/Zn \text{ asupan}\} \times 100\%$

Tabel 9. Pengaruh suplementasi Zn organik terhadap produksi susu ternak perah

Ternak	Perlakuan	Level Zn mg/kg	Produksi (kg)	Lemak (%)	Protein (%)	SCC (%)	Sumber
Kambing perah	Kontrol	447	2,00 ¹⁾	4,67	3,58	-	Salama et al. (2003)
	Zn metionin	684	2,05 ¹⁾	5,12	3,65	-	
Sapi perah	Kontrol	0	30,28	-	-	346	Spears (1996)
	Zn metionin	20	31,73	-	-	246	
Sapi perah	Mineral mikro anorganik	860	36,00	3,54	3,01	-	Ashmead dan Samford (2004)
	Mikro mineral asam amino	860	40,10	3,60	2,97	-	
Sapi perah	Mineral mikro anorganik	75	42,20	3,51	2,74	-	Kincaid dan Socha (2004)
	Mineral mikro metionin	75	41,70	3,61	2,87	-	
Sapi perah	Kontrol	0	16,60	0,73 ³⁾	0,58 ³⁾	-	Griffiths et al. (2007)
	Mineral mikro asam amino	360 ²⁾	17,50	0,78 ³⁾	0,62 ³⁾	-	

SCC: *somatic cell count*; ¹⁾dalam liter; ²⁾Asupan Zn per hari; ³⁾dalam kg

androgen dan prostaglandin, membantu pelepasan prolaktin, berperan dalam kontraksi myometrium saat kelahiran, mempengaruhi motilitas sperma dan kemampuan penetrasi sel telur dan berfungsi sebagai antioksidan. Ternak jantan membutuhkan Zn lebih besar daripada ternak betina, hal ini dikarenakan Zn diperlukan pada sekresi prostat. Pemberian Zn berdampak pada fungsi reproduksi pada ternak jantan, Zn berperan pada pertumbuhan dan perkembangan testis. Zn berfungsi pula pada metabolisme tiroid (Hosnedlová et al. 2007). Devi et al. (2011) melaporkan bahwa pemberian Zn organik (Zn proteinat) selama tujuh bulan percobaan dibandingkan dengan Zn anorganik (sulfat) dan kontrol, ternyata dapat meningkatkan ukuran testis (panjang, lebar, tebal dan keadaan skrotal) anak kambing Assam jantan.

Peningkatan hormon reproduksi pada kambing yang mendapatkan suplementasi 40 mg Zn kg⁻¹ sebagai Zn metionin selama tiga bulan diamati pula oleh El-Sisy et al. (2008). Konsentrasi hormon testosteron pada darah meningkat dari 1,52 menjadi 4,00 ng/ml dan hormon triiodothyronine (T3) meningkat dari 0,78 menjadi 0,80 ng/ml. Peningkatan kadar hormon testosteron pada domba jantan kemungkinan disebabkan berfungsi kembali mekanisme *lutening hormone* (LH) reseptor yang mengontrol dan melepas testosteron. Peningkatan kadar hormon triiodothyronine (T3) disebabkan Zn membantu metabolisme tiroid dan protein sehingga hormon proteinnya pada darah meningkat.

Ahola et al. (2004) melaporkan bahwa suplementasi kompleks mineral mikro (Zn, Cu dan Mn) organik meningkatkan bobot sapih dan tingkat

kebuntingan sapi potong. Demikian pula Balianline et al. (2002) melaporkan bahwa suplementasi 360 mg Zn (sebagai Zn asam amino) dan mineral mikro (Cu, Mn dan Co) organik menurunkan *day open*, meningkatkan persentase kebuntingan dan *first service conception rate* (27,4 vs 18,4%) pada sapi perah. Peningkatan kinerja reproduksi disebabkan efek dari penambahan Zn organik yang meningkatkan perbaikan organ uterus setelah melahirkan. Griffiths et al. (2007) melaporkan bahwa suplementasi mikro mineral (Zn, Cu, Mn dan Co) organik pada sapi perah yang digembalakan secara intensif cenderung menurunkan tingkat ketidaktungtungan atau meningkatkan fertilitas ternak. Demikian pula Uchida et al. (2001) melaporkan bahwa pemberian kombinasi kompleks Zn asam amino, Mn asam amino dan Cu asam amino dan Co glukohexonat pada awal laktasi sapi perah Holstein meningkatkan laju konsepsi.

Supriyati et al. (2007) melaporkan bahwa penambahan Zn organik pada mineral blok, dibandingkan dengan kontrol (mineral blok tanpa Zn organik) ternyata dapat meningkatkan produktivitas kambing Peranakan Etawah (Tabel 10). Jumlah induk melahirkan, jumlah anak sekelahiran, rataan bobot lahir dan bobot sapih untuk ternak suplementasi lebih besar dari pada ternak kontrol. Jumlah anak sekelahiran seekor ternak tergantung pada jumlah ovum yang diovolasikan, pembuahan dan kemampuan hidup embrio. Peningkatan rataan bobot lahir anak yang lebih besar pada suplementasi Zn biokompleks mungkin ada hubungannya dengan perubahan biokimiawi darah sebagai pemasok kebutuhan nutrisi fetus selama kebuntingan. Bobot lahir anak yang cenderung lebih

besar pada kelompok perlakuan kemungkinan dipengaruhi pula oleh kemampuan induk untuk memberi nutrisi kepada fetus lebih efisien. Nutrien yang diberikan selama kebuntingan lebih banyak digunakan untuk perkembangan fetus dan terlihat juga lebih berpengaruh banyak terhadap pertumbuhan induk selama bunting. Seng berperan dalam membantu metabolisme karbohidrat, protein dan lemak sehingga efisiensi pencernaan pakan lebih tinggi. Adanya perbedaan bobot badan sapih disebabkan adanya suplementasi mineral pada ternak. Diduga produksi susu pada ternak yang memperoleh suplementasi mineral meningkat, sehingga jumlah susu yang dikonsumsi oleh anak lebih banyak.

Tabel 10. Pengaruh suplementasi Zn organik terhadap produktivitas kambing PE

Parameter	Kontrol	Perlakuan
Jumlah induk (n)	10,00	20,00
Jumlah induk melahirkan (%)	80,00	100,00
Jumlah anak (ekor)	12,00	29,00
Tingkat kelahiran	1,20	1,45
Rataan bobot lahir (kg)	3,15	3,38
Rataan bobot sapih (kg)	11,50	12,80

Sumber: Suprijati et al. (2007)

KESIMPULAN

Seng organik adalah hasil dari proses kelasi garam Zn terlarut dengan asam-asam amino atau protein yang terhidrolisat. Karakteristik kimia Zn organik yang meliputi besarnya kandungan Zn dan nitrogen, kelarutan dalam air dan buffer pH 2 dan derajat kelasi Zn, berpengaruh pada ketersediaan dan respon Zn terhadap kinerja produksi dan reproduksi ternak ruminansia. Mikro mineral Zn merupakan komponen lebih dari 300 macam enzim dan berperan dalam metabolisme karbohidrat, protein dan lemak. Komparatif studi suplementasi Zn organik dan anorganik menunjukkan bahwa suplementasi, sumber dan level Zn mempengaruhi kinerja ternak, status Zn, produksi dan reproduksi ternak serta produksi dan kualitas susu. Secara garis besar hasil studi ternyata suplementasi Zn dalam bentuk organik meningkatkan pencernaan nutrien, pertumbuhan, efisiensi pakan, produksi dan kualitas susu, retensi dan absorpsi Zn, kinerja produksi dan reproduksi ternak. Namun sebagian kecil dari hasil tersebut masih ditemukan adanya variasi yang disebabkan perbedaan derajat kelasi pada inkorporasi Zn dengan asam amino atau protein terhidrolisat.

DAFTAR PUSTAKA

- AAFCO. 2000. Official publication. Oxford (IN): Assoc Am Feed Control Officials, Inc.
- Adawiah, Sutardi T, Toharmat T, Manalu W, Ramli N, Tanuwiria UH. 2007. Respon terhadap suplementasi sabun mineral dan mineral organik serta kacang kedelai sangrai pada indikator fermentabilitas ransum dalam rumen domba. *Media Peternakan*. 30:63-70.
- Ahola JK, Baker DS, Burns PD, Mortimer RG, Enns RM, Whittier JC, Geary TW, Egle TE. 2004. Effects of copper, zinc and manganese supplementations and source on reproduction, mineral status, and performance in grazing beef cattle over a two-year period. *J Anim Sci*. 82:2375-2383.
- Appu Rao AG, Narasinga Rao MS. 1976. Binding of Zn (II) by the 11 S fraction of soybeans proteins. *J Agric Food Chem*. 24:487-490.
- Arifin Z. 2008. Some micromineral which are essential for biological systems and its analysis methods. *J Litbang Pertanian*. 27:99-105.
- Ashmead HD, Samford RA. 2004. Effects of metal amino acid chelates or inorganic minerals on three successive lactation in dairy cows. *Intern J Appl Res Vet Med*. 2:181-188.
- Baliantine HT, Socha MT, Tomlinson DJ, Johnson AB, Fielding AS, Shearer JK, Van Amstel SR. 2002. Effects of feeding complexed zinc, manganese, copper, and cobalt to late gestation and lactating cows on claw integrity, reproduction, and lactation performance. *Prof Anim Sci*. 80:211-218.
- Boland PM. 2003. Trace minerals in production and reproduction in dairy cows. *Adv Dairy Tech*. 15:323-324.
- Cao J, Henry PR, Guo R, Holwerda RA, Toth JP, Littell RC, Miles RD, Ammerman CB. 2000. Chemical characteristics and relative bioavailability of supplemental organic zinc sources for poultry and ruminants. *J Anim Sci*. 78:2039-2054.
- Church DC. 1984. *Livestock feeds and feeding*. 2nd ed. Corvallis Oregon (USA): O & B Books Inc.
- Darmono. 2007. Mineral deficiency disease in ruminants and its prevention. *J Litbang Pertanian*. 26:104-108.
- Davies GK, Merzt W. 1987. *In trace element in human and animal nutrition Vol 1*. 5th ed. Mertz W, editor. London (UK): Academic press Inc.
- Devi J, Goswami J, Sarmah BC, Chakravarty P, Sarma K. 2011. Effect of zinc supplementation on testicular biometry in Assam local male goat. *Indian J Anim Sci*. 81:9-11.
- El-Sisy GA, Abdul Razek AMA, Younis AA, Gallah AM, Abdou MSS. 2008. Effects of dietary zinc and selenium supplementation on some reproductive hormone levels in male Baladi goats. *Glob Vet*. 2:46-50.

- Eren V, Gokdal O, Aksit H, Atay O, Ozugur AK. 2013. The effects of additional organic copper and organic zinc trace minerals on accumulation and elimination levels in female kids. *Ankara Univ Vet Fak Derg.* 60:89-92.
- Fadayifar A, Aliarabi H, Tabatabaei MM, Zamani P, Bahari A, Malecki M, Dezfoulian AH. 2012. Improvement in lamb performance on barley based diet supplemented with zinc. *Livest Sci.* 144:285-289.
- Garg AK, Mudgal V, Dass RS. 2008. Effect of organic zinc supplementation on growth, nutrient utilization and mineral profile in lambs. *Anim Feed Sci Technol.* 144:82-96.
- Griffiths LM, Loeffler SH, Socha MT, Tomlinson DJ, Johnson AB. 2007. Effects of supplementing complexed zinc, manganese, copper and cobalt on lactation and reproductive performance of intensively grazed lactating dairy cattle on the South Island of New Zealand. *Anim Feed Sci Technol.* 137:69-83.
- Haenlein G, Anke M. 2011. Mineral and trace element research in goats: a review. *Small Rum Res.* 95:2-19.
- Haryanto B, Supriyati, Askar S. 2001. Zinc-metionin untuk meningkatkan degradasi serat pakan. 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. Inovasi 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): Puslitbang Peternakan. hlm. 203-207.
- Haryanto B, Supriyati, Thalib A, Jarmani SN. 2005. Peningkatan nilai hayati jerami padi melalui bioproses fermentatif dan penambahan zinc organik. Dalam: Mathius IW, Bahri S, Tarmudji, Prasetyo LH, Triwulanningsih E, Tiesnamurti B, Sendow I, Suhardono, penyunting. Inovasi teknologi peternakan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat dalam mewujudkan kemandirian dan ketahanan pangan nasional. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner. Bogor, 12-13 September 2005. Bogor (Indonesia): Puslitbang Peternakan. hlm. 473-478.
- Hatfield PG, Swenson CK, Kott RW, Ansotegui RP, Roth NJ, Robinson BL. 2001. Zinc and copper status in ewes supplemented with sulfate and amino acid-complexed forms of zinc and copper. *J Anim Sci.* 79:261-266.
- Hosnedlová B, Trávníček J, Šoch M. 2007. Current view of the significance of zinc for ruminants: a review. *Agric Trop Subtrop.* 40:57-64.
- Jia W, Zhu X, Zhang W, Cheng J, Guo C, Jia Z. 2009. Effects of source of supplemental zinc on performance, nutrient digestibility and plasma mineral profile in Cashmere goats. *Asian-Aust J Anim Sci.* 22:1648-1653.
- Kardaya D, Supriyati, Suryahadi, Toharmat T. 2001. Pengaruh suplementasi Zn-proteinat, Cu-proteinat dan amonium molibdat terhadap performans domba lokal. *Media Peternakan.* 24:1-9.
- Kinal S, Korniewisc A, Jamroz D, Zieminski R, Stupczynska M. 2005. Dietary effects of zinc, copper and manganese chelates and sulphates on dairy cows. *J Food Agric Env.* 3:168-172.
- Kincaid RL, Socha MT. 2004. Inorganic versus complexed trace mineral supplements on performance of dairy cows. *Prof Anim Sci.* 20:66-73.
- Kratzer FH, Vohra P. 1986. Chelation in nutrition. Florida (USA): CRC Press Inc.
- Little DA, Kompiani S, Peterham RJ. 1989. Mineral composition of Indonesian ruminant forages. *Trop Agric.* 66:33-37.
- Lyons TP. 1983. Protected minerals, an expensive luxury or a cost effective necessity. In: biotechnology the use of scientifically proven natural products to increase practical value. In: Proceeding Asia Pasific Lecture of Alltech. 22 Agustus 1983. Jakarta (Indonesia): Alltech In. p. 23-33.
- McDowell LR. 1992. Minerals in animal and human nutrition. London (UK): Academic Press.
- Meyer EW. 1987. Protein-protected ruminant feeds.
- Miller WJ. 1970. Zinc nutrition of cattle: a review. *J Dairy Sci.* 53:1123-1135.
- Mondal S, Paul SK, Bairagi B, Pakhira MC, Biswas P. 2008. Comparative studies of reducing level of organic with inorganic trace minerals supplementation on the performance, nutrient digestibility and mineral balance in cross-bred male calves. *Livest Res Rural Dev.* 20.
- Nagalaksmi D, Parashuramulu S, Shrinivasa Rao D, Vikram L. 2013. Effect of inorganic and various organic sources of zinc and their combinations on *in vitro* gas production and *in vitro* digestibilities. *Int J Pharm Biol Sci.* 3:462-466.
- Pavlata L, Chomat M, Pechova A, Misurova L, Dvorak R. 2011. Impact of long-term supplementation of zinc and selenium on their content in blood and hair in goats. *Vet Med.* 56:63-74.
- Puchala R, Sahlul T, Davis JJ. 1999. Effects of zinc-methionine on performance of Angora goats. *Small Rum Res.* 33:1-8.
- Rojas LX, McDowell LR, Cousins RJ, Martin FG, Wilkinson NS, Johnson AB, Velasquez JB. 1995. Relative bioavailability of two organic and two inorganic zinc sources fed to sheep. *J Anim Sci.* 73:1202-1207.
- Salama AAK, Caja G, Albanell E, Such X, Casals R, Plaixats J. 2003. Effects of dietary supplements of zinc-methionine on milk production, udder health and zinc metabolism in dairy goats. *J Dairy Res.* 70:9-17.
- Spears JW. 1995. Improving cattle health through trace mineral supplementation. In: Proceedings the Range Beef Cow Symposium XIV. Gering Nebraska (USA).

- Spears JW. 1996. Organic trace minerals in ruminant nutrition. *Anim Feed Sci Technol.* 58:151-163.
- Spears JW, Kegley EB. 2002. Effect of zinc source (zinc oxide vs zinc proteinate) and level on performance, carcass characteristics, and immune response of growing and finishing steers. *J Anim Sci.* 80:2747-2752.
- Spears JW, Schlegel P, Seal MC, Lloyd KE. 2004. Bioavailability of zinc from zinc sulfate and different organic zinc sources and their effects on ruminal volatile fatty acid proportions. *Livest Prod Sci.* 90:211-217.
- Supriyati, Budiarsana IGM, Puastuti W, Utama IK. 2012. Effect of supplementation of Comin+ and Zn biocomplex on performance goats. *JITV* 17:290-296.
- Supriyati, Budiarsana IGM, Utama IK. 2007. Pengaruh suplementasi mineral blok terhadap produktivitas kambing perah Peranakan Etawah di tingkat peternak. Dalam: Darmono, Wina E, Nurhayati, Sani Y, Prasetyo LH, Triwulanningsih E, Sendow I, Natalia L, Priyanto D, Indraningsih, Herawati T, penyunting. Akselerasi agribisnis peternakan nasional melalui pengembangan dan penerapan IPTEK. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner. Bogor, 21-22 Agustus 2007. Bogor (Indonesia): Puslitbang Peternakan. hlm. 387-393.
- Supriyati, Haryanto B. 2007. Pengaruh suplementasi Zn-biokompleks dalam ransum terhadap pertumbuhan domba muda. *JITV* 12:268-273.
- Supriyati, Yulistiani D, Wina E, Hamid H, Haryanto B. 2000. Pengaruh suplementasi Zn, Cu dan Mo anorganik dan organik terhadap pencernaan rumput secara *in vitro*. *JITV* 5:32-37.
- Supriyati. 2008. Pengaruh suplementasi Zn biokompleks dan zink metionat dalam ransum domba. *JITV* 13:89-94.
- Toharmat T, Hotimah N, Nursasih E, Nazillah R, Nurzihad TQ, Sigit NA, Retnani Y. 2007. Status Ca, Mg dan Zn pada kambing Peranakan Etawah muda yang diberi ransum bentuk *mash* dengan pakan sumber serat berbeda. *Media Peternakan.* 30:71-78.
- Uchida K, Mandebvu P, Ballard CS, Sniffen CJ, Carter MP. 2001. Effect of feeding a combination of zinc, manganese and copper amino acid complexes, and cobalt glucoheptonate on performance of early lactation high producing dairy cows. *Anim Feed Sci Tech.* 93:193-203.
- Underwood EJ, Suttle NF. 1999. The mineral nutrition of livestock. 3rd ed. Oxon (UK): CABI Publishing.
- Vandergrift B. 1992. The theory and practice of mineral proteinates in the animal feed industry. In: *Improv Util while reducing Pollut New Dimens through Biotechnol.* Jakarta, 25 Agustus 1992. Jakarta (Indonesia): Asia Pasific Lecture Tour. p. 133-146.
- Vilela FG, Zanetti MA, Netto AS, de Freitas Júnior JE, Rennó FP, Venturelli BC, Canaes TS. 2012. Supplementation of diets for Santa Ines sheep with organic and inorganic zinc sources. *R Bras Zootec.* 41:2134-2138.
- Windholz M, Budavari S, Stroumtsos LY, Fertig MN. 1976. The merck index an encyclopedia of chemicals and drugs. 9th ed. NJ (USA): Merck & Co Inc.