

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Zeolit Beramonium

Zeolit pertama kali ditemukan pada 1756 oleh Cronstedt, seorang ahli mineralogi Swedia. Zeolit berasal dari dua kata Yunani yaitu Zein berarti mendidih dan lithos yang artinya mengembang jika dipanaskan. Zeolit merupakan mineral alumina silikat terhidrat yang tersusun atas tetrahedral-tetrahedral alumina (AlO_4^{5-}) dan silika (SiO_4^{4-}) yang membentuk struktur bermuatan negatif dan berongga terbuka/berpori. Muatan negatif pada kerangka zeolit dinetralkan oleh kation yang terikat lemah. Selain kation, rongga zeolit juga terisi oleh molekul air yang berkoordinasi dengan kation. Zeolit pada umumnya dapat dibedakan menjadi dua, yaitu zeolit alam dan zeolit sintetik. Zeolit alam biasanya mengandung kation-kation K^+ , Na^+ , Ca^{2+} atau Mg^{2+} sedangkan zeolit sintetik biasanya hanya mengandung kation-kation K^+ atau Na^+ . Pada zeolit alam, adanya molekul air dalam pori dan oksida bebas di permukaan seperti Al_2O_3 , SiO_2 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O dapat menutupi pori-pori atau situs aktif dari zeolit sehingga dapat menurunkan kapasitas adsorpsi maupun sifat katalisis dari zeolit tersebut. Inilah alasan mengapa zeolit alam perlu diaktivasi terlebih dahulu sebelum digunakan. Aktivasi zeolit alam dapat dilakukan secara fisika maupun kimia. Secara fisika, aktivasi dapat dilakukan dengan pemanasan pada suhu

300—400 °C dengan udara panas atau dengan sistem vakum untuk melepaskan molekul air. Sedangkan aktivasi secara kimia dilakukan melalui pencucian zeolit dengan larutan Na₂EDTA atau asam-asam anorganik seperti HF, HCl dan H₂SO₄ untuk menghilangkan oksida-oksida pengotor yang menutupi permukaan pori. Struktur ini menunjukkan zeolit mampu menyerap dan melepas air secara *reversible* dan menukar kation yang ada di dalamnya, tanpa perubahan yang berarti pada strukturnya (Mumpton dan Fishman, 1977). Zeolit terbentuk dari reaksi antara batuan *tufa* asam berbutirat halus dan bersifat riolistis dengan air pori atau air meteorik.

Struktur zeolit tersusun dari kerangka tetrahedra AlO₄ dan SiO₄ yang sangat terbuka serta banyak terdapat saluran atau ruang. Berat jenisnya berkisar 2,0—2,4 (Hurlburt and Klein, 1977). Dalam struktur zeolit sebagian Si digantikan oleh Al. Untuk setiap Si yang digantikan oleh Al dalam kisi kristal akan terbentuk muatan negatif. Muatan negatif ini akan dinetralkan terutama oleh kation monovalen dan divalen dari golongan alkali dan alkali tanah (Anwar *et al.*, 1985).

Di alam zeolit terdapat dalam deposit-deposit sebagai hasil reaksi abu vulkanis atau bahan-bahan aluminosilikat lain. Dengan waktu yang cukup dan lingkungan kimia yang cocok hampir semua rektan yang kaya silicon dapat berubah menjadi zeolit. Sampai saat ini dikenal sekitar 50 jenis zeolit alam. Lima jenis diantaranya banyak digunakan dalam pertanian yaitu klipnotilolit, kabazit, fillipsit, erionit, dan mordenit. Karena terbentuk secara bertahap, batuan zeolit biasanya mengandung 50%—95% zeolit murni, sisanya berupa bahan-bahan vulkanis yang bersifat lembab (Mumpton, 1984). Batuan zeolit berkualitas tinggi idealnya mengandung

90%—95% zeolit murni. Akan tetapi kemurnian seperti ini jarang ditemukan (Mumpton, 1984).

Sehubungan dengan komposisi kimia dan struktur fisiknya zeolit mempunyai sifat-sifat yang unik antara lain dapat mempertukarkan kation, menyerap molekul secara selektif dan mengalami hidrasi atau dehidrasi tanpa menimbulkan perubahan yang nyata pada strukturnya (Mumpton and fishman, 1977; Mumpton 1984). Aplikasi zeolit dalam bidang pertanian terutama melibatkan sifat menukar kation dan menyerap molekul. Kation-kation logam yang digunakan untuk menetralkan kekurangan muatan positif akibat penggantian sebagian Si_{4+} dengan Al_{3+} , terikat secara longgar pada kerangka tektosilikat zeolit. Keadaan ini membuatnya mudah dipertukarkan dengan kation-kation lain (Mumpton, 1984)

Kerangka tektosilikat zeolit tersusun dalam struktur tiga dimensi sehingga menghasilkan pori-pori dan rongga-rongga kosong yang tersebar di seluruh tubuh Kristal. Diameter pori-pori zeolit alam umumnya berkisar antara 3—10 amstrong. Sedangkan volume rongga-rongga kosong dapat mencapai 30%—50% dari volume total zeolit (Mumpton and Fishman,1977). Rongga-rongga kosong ini biasanya diisi oleh molekul air yang membentuk bidang hidrasi sekitar kation-kation mobil. Bila dehidrasi, zeolit akan membentuk struktur yang microporous dengan luas permukaan internal dapat mencapai beberapa ratus ribu m^2/kg zeolit. Sifat inilah yang membuat zeolit dapat menyerap molekul gas atau cairan secara selektif (Mumpton, 1984). Unit dasar pembentukan zeolit adalah SiO_4 dan AlO_4 yang memiliki kemampuan absorbs yang besar dengan rumus molekul $\text{Na}_4 \text{K}_4 \text{Al}_8 \text{Si}_{40} \text{O}_{96} 24\text{H}_2 \text{O}$. Kandungan mineral dari zeolit adalah SiO_2

(55,47%), Al_2O_3 (20,48%), Fe_2O_3 (2,36%), TiO_2 (0,67%), CaO (1,04%), MgO (0,60%), K_2O (4,03%), Na_2O (1,01%), MnO_2 (0,11%), dan *loss on ignition* (14,17%).

Penambahan zeolit ke dalam ransum ternak menyebabkan kelebihan ion NH_4^+ yang terdapat dalam ransum diikat oleh zeolit. Zeolit yang telah dijenuhi oleh ion amonium ini selanjutnya disebut sebagai zeolit beramonium. Di dalam rumen, zeolit beramonium dapat berperan sebagai pemasok amonia, yaitu dengan melepaskan NH_4^+ melalui proses pertukaran dengan kation-kation yang masuk dari saliva, terutama Na^+ dan K^+ . Proses pelepasan NH_4^+ dari zeolit diperkirakan terjadi secara berkelanjutan dan perlahan-lahan, karena pasokan kation-kation secara bertahap. Peristiwa pelepasan amonia secara bertahap dapat memungkinkan pengendalian konsentrasi amonia dalam rumen, sehingga dapat berada dalam kisaran konsentrasi yang cukup dan tidak terlalu fluktuatif dan dapat meningkatkan pertumbuhan dan produksi ternak

B. Mineral Organik

Mineral digolongkan menjadi dua yaitu mineral makro dan mineral mikro. Bioproses dalam rumen dan pascarumen harus didukung oleh kecukupan mineral makro dan mikro. Mineral-mineral ini berperan dalam optimalisasi bioproses dalam rumen dan metabolisme zat-zat makanan. Mineral mikro dan makro di dalam alat pencernaan ternak dapat saling berinteraksi positif atau negatif dan faktor lainnya seperti asam fitat, serat kasar, dan zat-zat lainnya dapat menurunkan ketersediaan (*availability*) mineral. Pemberian mineral dalam bentuk

organik dapat meningkatkan ketersediaan mineral sehingga dapat lebih tinggi diserap dalam tubuh ternak (Muhtarudin, 2003). Mineral dalam bentuk *chelates* dapat lebih tersedia diserap dalam proses pencernaan. Agen *Chelating* dapat berupa karbohidrat, lipid, asam amino, fosfat, dan vitamin. Dalam proses pencernaan *chelates* dalam ransum memfasilitasi menembus dinding sel usus. Secara teoritis, *chelates* meningkatkan penyerapan mineral. Mineral-mineral ini merupakan mineral pembentuk mineral organik yang berperan dalam optimalisasi bioproses dalam rumen dan metabolisme zat-zat makanan. Dalam bentuk bebas mineral makro dan mikro dapat saling berinteraksi positif dan negatif seperti asam fitat, serat kasar, dan zat-zat lainnya dapat menurunkan ketersediaan mineral. Pemberian mineral dalam bentuk organik dapat meningkatkan ketersediaan sehingga dapat lebih tinggi diserap dalam tubuh ternak. Pembuatan mineral organik dapat dilakukan dengan berbagai cara misalnya cara biologis dan cara kimiawi. Penggunaan suplementasi mineral organik (Ca, Mg (Mineral makro) dan Zn, Cu, Cr, Se (Mineral mikro)) diharapkan dapat meningkatkan penyerapan bioproses rumen, pascarumen dan metabolisme zat makanan dalam upaya meningkatkan produksi ternak ruminansia.

1. Mineral Zn

Jumlah mineral Zn yang harus ada dalam bahan kering ransum sapi dianjurkan berkadar 40 mg/kg ransum (NRC, 1988), sedangkan yang tersedia dalam pakan ruminansia di Indonesia hanya sekitar setengahnya (Little, 1986). Mineral Zn memiliki tingkat absorpsi yang rendah. Reaksi antara Zn dengan lisin akan

terbentuk mineral organik yang memiliki absorpsitabilitas yang tinggi dan lolos degradasi rumen sehingga langsung terdeposisi ke dalam organ yang memerlukan (Prihandono, 2001). Mineral Zn sangat berperan dalam sintesa protein oleh mikroba dengan cara mengaktifkan enzim-enzim mikroba. Selain itu mineral Zn juga berfungsi sebagai aktivator dan komponen dari beberapa dehidrogenase, peptidase dan fosfatase yang berperan dalam metabolisme asam nukleat, sintesis proteindan metabolisme karbohidrat (Parakkasi, 1998). Defisiensi mineral ini sangat merugikan bagi ternak ruminan karena dapat mengakibatkan penurunan fungsi rumen sehingga produksi VFA akan menurun (Parakkasi, 1998) yang pada akhirnya akan dapat menurunkan pertumbuhan ternak tersebut (Tillman *et al.*, 1998).

2. Mineral Cu

Bahan kering ransum sapi dianjurkan berkadar Cu 10 mg/kg ransum (NRC, 1988). Jumlah Cu yang terdapat dalam tubuh dan, pakan biasa tidak dapat mencukupi kebutuhan Cu ternak. Analisis mineral tanah, pakan, darah dan organ tubuh ternak sapi yang dipotong di Jawa Tengah pada tahun 1983 memperlihatkan status Cu yang berkisar dari defisien sampai marjinal (Sutardi, 2002)

Mineral Cu berfungsi sebagai katalisator enzim metallo-protein (Tillman *et al.*, 1998) karena Cu merupakan salah satu unsur enzim tersebut. Penambahan mineral Co bersama dengan Cu dapat meningkatkan pencernaan serat kasar pada ternak ruminansia. Defisiensi Cu akan mengakibatkan ternak mengalami anemia karena seruplasmin dalam tubuh akan rendah sebagai imbas dari rendahnya mineral Cu (Tillman *et al.*, 1998).

Kemampuan ternak ruminansia dalam menyerap mineral Cu sangat rendah. Hanya sekitar 1—3% Cu dari ransum yang dapat diserap oleh tubuh ternak dan diatur oleh metallothionein yang sekaligus tempat berlangsungnya interaksi antara Cu dan Zn dalam usus. Jumlah Zn yang tinggi dapat menyebabkan daya absorpsi Cu rendah karena adanya sifat antagonis Cu terhadap Zn (Sutardi, 2002).

3. Mineral Se

Ransum sapi perah dianjurkan agar mengandung Se 0,3 mg/ton bahan kering ransum (NRC, 1988). Selenium dalam jumlah yang normal dapat menstimulir sintesa protein mikroba namun sebaliknya, jika berlebih akan menghambat sintesa protein mikroba. Mineral ini mungkin juga diperlukan dalam mekanisme penyerapan lipid di saluran pencernaan atau pengangkutan lemak melalui dinding usus (Parakkasi, 1998). Kombinasi mineral Se dengan vitamin E berperan dalam sistem imun dan dapat mencegah keracunan logam berat (McDonald, 1995).

Defisiensi Se pada unggas dapat menyebabkan diatesis eksudatif (udema yang parah) sedangkan pada domba defisiensi mineral Se akan menyebabkan penyakit daging putih (*white muscle disease*) serta kemandulan pada sapi betina (Sutardi, 2002). Defisiensi Se dapat dicegah dengan suplementasi vitamin E (McDonald, 1995). Konsumsi Se dalam jumlah yang berlebih (3—4 ppm) dalam ransum akan menyebabkan gangguan reproduksi pada sapi, babi, domba dan ayam (Tillman *et al.*, 1998).

4. Mineral Cr

Mineral Cr termasuk mineral mikro yang harus tersedia dalam tubuh dalam jumlah yang sedikit. Kromium berperan dalam sintesis lemak, metabolisme protein dan asam nukleat (McDonald, 1995). Selanjutnya McDonald (1995) menyatakan bahwa defisiensi mineral Cr dapat mengakibatkan penurunan kolesterol darah dan peningkatan HDL (*High Density Lipoprotein*) dalam plasma darah. Selain itu mineral Cr esensial untuk kerja optimum hormon insulin dan jaringan mamalia serta terlibat dalam kegiatan lipase.

Mineral Cr erat kaitannya dalam produksi susu. Susu mengandung karbohidrat (laktosa) yang membutuhkan *precursor*, yaitu propionat hasil fermentasi rumen. Propionat tersebut masuk kedalam sel susu dalam bentuk glukosa dan Cr dapat meningkatkan pemasukan glukosa kedalam sel alveolus untuk pembentukan laktosa susu.

5. Mineral Ca

Mineral kalsium termasuk mineral makro yang harus tersedia dalam tubuh dalam jumlah yang relatif banyak. Kebutuhan kalsium sapi yang tidak sedang laktasi sebesar 58 g/hari. Kalsium merupakan unsur utama dalam pembentukan tulang. Menurut Parakkasi (1998), sekitar 99% kalsium terdapat dalam jaringan tulang dan gigi. Kalsium esensial untuk pembentukan tulang, pembekuan darah, dibutuhkan bersama Natrium dan Kalium untuk denyut jantung yang normal dan berhubungan erat dengan pemeliharaan keseimbangan asam basa (Anggorodi, 1990). Menurut Anggorodi (1990), sumber utama kalsium adalah susu, leguminosa, tepung tulang, kalsium pospat dan kulit kerang. Oleh karena itu,

suplementasi Ca dibutuhkan dalam pakan yang rendah leguminosa dan tinggi jumlah konsentratnya.

6. Mineral Mg

Magnesium tergolong mineral makro. Magnesium terlibat dalam metabolisme karbohidrat dan lemak yakni sebagai katalisator enzim. Selain itu magnesium juga dibutuhkan dalam oksidasi dalam sel dan mempengaruhi aktivator *neuromuscular* (Parakkasi, 1998). Mineral ini diperlukan dalam oksidasi fosforilasi untuk pembentukan ATP dan merupakan aktivator untuk semua reaksi enzim yang membutuhkan tiaminpiropospat (TPP), yaitu, oksidasi piruvat, perubahan alfa-ketoglutarat menjadi suksinil Co-A, dan reaksi transketolase (Tillman *et al.*, 1998). Sumber utama Magnesium adalah hijauan dan biji-bijian. Kekurangan Mg pada ternak ruminant dapat menyebabkan gangguan nafsu makan, populasi mikroba rumen, dan pencernaan pada rumen (Parakkasi, 1998)

C. Kecernaan

Kecernaan merupakan bagian zat makanan yang tidak diekskresikan dalam feses. Anggorodi (1990), menyatakan bahwa pada dasarnya tingkat kecernaan adalah suatu usaha untuk mengetahui banyaknya zat makanan yang diserap oleh saluran pencernaan. Salah satu faktor yang harus dipenuhi dalam bahan makanan adalah tingginya daya cerna bahan makanan tersebut, dalam arti bahwa makanan itu harus mengandung zat-zat makanan yang dapat diserap dalam saluran pencernaan.

Zat makanan yang terkandung di dalam bahan makanan tidak seluruhnya tersedia untuk tubuh ternak, sebagian besar akan dikeluarkan lagi melalui feses karena

tidak tercerna dalam saluran pencernaan. Pengukuran daya cerna adalah suatu usaha untuk mengetahui jumlah zat makanan dari bahan makanan yang diserap di dalam saluran pencernaan (Anggorodi, 1990). Selisih antara zat makanan yang dikandung dalam bahan makanan dengan zat makanan yang akan ada dalam feses merupakan bagian yang dicerna.

Kecernaan bahan makanan bergantung pada gerak laju makanan di dalam saluran pencernaan, sedangkan laju makanan dipengaruhi oleh jumlah makanan yang dikonsumsi, yaitu jika jumlah makanan yang dimakan per unit bobot tubuh ditingkatkan maka pencernaan makanan tersebut akan turun karena gerak laju makan meningkat. Sifat fisik dan sifaat kimia juga merupakan faktor utama yang mempengaruhi laju dan tingkat pencernaan komponen serat. Nilai pencernaan dihitung dengan cara pengurangan antara jumlah zat yang dikonsumsi (g) dan jumlah zat yang terdapat dalam feses (g), kemudian dibagi jumlah zat yang dikonsumsi (g) dan dikalikan dengan 100% (Tillman, *et al.*, 1998)

D. Metabolisme

Metabolisme adalah sejumlah proses yang meliputi sintesa (anabolisme) dari protoplasma dan perombakannya (katabolisme) dalam organisme hidup, sehingga menyagkut perubahan-perubahan kimia dalam sel hidup di mana energi disediakan untuk fungsi-fungsi penting, dan bahan-bahan baru diasimilasikan untuk perbaikan dan sintesa jaringan-jaringan baru atau produksi. Hasil-hasil sisa metabolisme harus dirubah dan diekskresikan.

Protein dicerna menjadi asam-asam amino yang diabsorpsi ke dalam vena porta dan kemudian diangkut ke hati untuk disimpan menjadi cadangan asam-asam amino, yang dapat dipergunakan untuk sintesa protein jaringan dan senyawa nitrogen penting lainnya. Asam-asam amino hasil metabolisme jaringan juga terdapat dalam darah. Asam amino yang berlebihan akan di-deaminasi oleh hati menjadi amonia dan asam-asam alfa-keto. Ammonia dapat dipergunakan untuk mengaminasi asam-asam keto menjadi asam-asam amino, tetapi kebanyakan dirubah menjadi urea dan dikeluarkan melalui urine atau dikembalikan ke traktus alimentarius melalui air liur. Amonia mungkin juga diabsorpsi dari retikulo-rumen ruminansia ke vena porta dan diubah hati menjadi urea.

Lipide makanan sebagian besar masuk vena porta melalui sistema limfatika. Namun, sebagian kecil diabsorpsi langsung ke vena porta. Trigliseride dibawa ke hati dan mengalami hidrolisis lagi dan asam-asam lemak digunakan untuk membentuk glukose. Glukose adalah hasil akhir utama pencernaan karbohidrat pada non- ruminansia. Glukose diabsorpsi masuk vena porta ke hati, dirubah menjadi glikogen dan disimpan di situ atau untuk sintesa lemak. Glukose yang tersisa masuk sirkulasi darah dan digunakan untuk kerangka karbon bagi sintesa asam amino.

Pada ruminansia, karbohidrat makanan dirubah menjadi asam-asam asetat, propionate dan butirrat. Asam propionat diabsorpsi dari rumen ke sirkulasi portal dan dibawa ke hati yang merubahnya menjadi glukose dan jadi bagian cadangan glukose hati. Asam-asam asetat dan butirrat diabsorpsi seperti halnya asam propionat hanya dalam hal ini asam butirrat dirubah menjadi asam beta-hidroksi-

butirat (BHBA) oleh jaringan dinding rumen. Asam asetat dan BHBA dari hati disalurkan ke sistem sirkulasi dan dipakai oleh jaringan sebagai sumber energi untuk sintesa lemak (Tillman, *et al.*, 1998).