

## BAB V MINERAL UNTUK UNGGAS

### 5.1. Pengertian Mineral

Semua mineral dianggap ada dalam tubuh hewan. Pengelompokan mineral-mineral yang dianggap esensial bagi ternak dibagi menjadi tiga, yaitu mineral makro yang dibutuhkan dalam jumlah yang relatif banyak dan karenanya sangat esensial, mineral mikro yang dibagi menjadi dua yaitu esensial dan kemungkinan esensial bagi ternak karena kebutuhannya hanya sedikit dan mineral trace yang dibagi menjadi dua yaitu kemungkinan esensial dan yang fungsinya belum pasti karena mungkin dibutuhkan dalam jumlah sedikit. Mineral yang dibutuhkan hanya dalam jumlah kecil, apabila termakan dalam jumlah besar dapat bersifat racun. Mineral-mineral yang diketahui bersifat toksik apabila termakan dalam jumlah banyak adalah : selenium, fluorin, arsen, timah hitam, perak dan molibdenum. Akan tetapi beberapa di antaranya dalam jumlah sedikit bersifat esensial. Klasifikasi mineral esensial dapat dilihat pada Tabel 5.1.

**Tabel 5.1. Klasifikasi mineral esensial**

No.	Mineral makro	Mineral mikro	Mineral trace
1.	Kalsium (Ca)	Seng (Zn)	Silikon (Si)*
2.	Fosfor (P)	Kobalt (Co)	Vanadium (V)*
3.	Kalium (K)	Tembaga (Cu)	Aluminium (Al)*
4.	Natrium (Na)	Yodium (I)	Perak (Ag)**
5.	Klorida (Cl)	Besi (Fe)	Lithium (Li)**
6.	Magnesium (Mg)	Mangan (Mn)	Barium (Ba)**
7.	Sulfur (S)	Molibdenum (Mo)	
8.		Selenium (Se)	
9.		Kadmium (Cd)*	
10.		Strontium (Sr)*	
11.		Fluorin (F)*	
12.		Nikel (Ni)*	
13.		Kromium (Cr)	

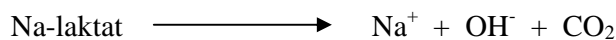
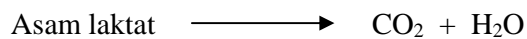
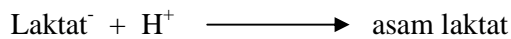
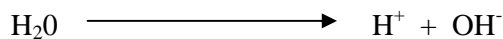
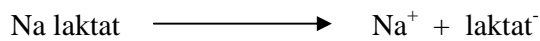
Keterangan : \* Mungkin esensial

\*\* Fungsi belum pasti

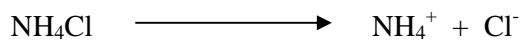
Mineral-mineral esensial dan unsur runutan ditemukan dalam sebagian besar makanan, terutama biji-bijian, buah dan sayuran, produk susu, daging dan

ikan, tetapi unsur-unsur ini biasanya terdapat dalam makanan hanya dalam jumlah sedikit. Karena itu, perlu makanan cukup dari berbagai makanan untuk memenuhi kebutuhan nutrisi. Kekurangan intake semua mineral esensial akhirnya menyebabkan sindrom klinik yang jelas. Sementara kelebihan intake hampir semua mineral menyebabkan gejala toksik.

Secara umum peranan mineral adalah memelihara kondisi ionik dalam tubuh, memelihara keseimbangan asam basa tubuh dalam hal ini bergantung pada ion  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  dan  $\text{SO}_4^{3-}$ . Contoh mekanisme kebiasaannya adalah :



Sehingga terjadi akumulasi  $\text{Na}^+$  dan  $\text{OH}^-$ , sementara  $\text{CO}_2$  terbuang lewat pernafasan. Contoh bahan makanan yang bersifat alkali adalah buah-buahan, sayur-sayuran, kacang-kacangan dan air susu. Sementara contoh mekanisme keasaman adalah :



$\text{NH}_4^+$  membentuk urea. Urea keluar melalui urin sementara  $\text{Cl}^-$  terakumulasi. Contoh bahan makanan yang berefek asam adalah daging, telur dan sereal.

Peranan mineral lain adalah memelihara tekanan osmotik cairan tubuh, menjaga kepekaan otot dan syaraf dengan cara berperan dalam tiga lokasi, yaitu syarafnya pada penghantaran stimuli ( $\text{Na}^+$  dan  $\text{K}^+$ ), pada neuro muskuler ( $\text{Mg}^+$ ) dan pada otot dengan mempengaruhi kontraksinya ( $\text{Ca}^{++}$ ). Selain itu mineral juga berperan mengatur transport zat makanan dalam sel, mengatur permeabilitas membran sel dan kofaktor enzim serta mengatur metabolisme.

Kebutuhan ternak akan mineral merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari kepentingan produksi ternak itu sendiri. Kebutuhan tersebut menyangkut

antara lain untuk perbaikan dan pertumbuhan jaringan seperti dalam paruh dan tulang. Komposisi mineral dari tulang segar adalah kalsium 36%, fosfor 17% dan magnesium 0,8%. Juga untuk perbaikan dan pertumbuhan bulu, tanduk dan kuku, jaringan lunak dan sel darah. Kebutuhan akan mineral juga menyangkut kepentingan untuk regulator tubuh seperti proses regulasi dalam bentuk ion, molekul, komponen vitamin dan pembentukan enzim serta hormon. Selain itu juga untuk kebutuhan produksi seperti produksi telur, daging, susu dan lain-lain.

## **5.2. Pencernaan dan Penyerapan Mineral**

Absorpsi mineral dalam usus biasanya tidak efisien. Kebanyakan mineral (kecuali kalium dan natrium) membentuk garam-garam dan senyawa-senyawa lain yang relatif sukar larut, sehingga sukar diabsorpsi. Sebagian besar mineral yang dimakan diekskresikan dalam feses. Absorpsi mineral sering memerlukan protein karier spesifik (*specific carrier proteins*), sintesis protein ini berperan sebagai mekanisme penting untuk mengatur kadar mineral dalam tubuh. Transport dan penyimpanannya juga memerlukan pengikatan spesifik pada protein karier itu. Ekskresi sebagian besar mineral dilakukan oleh ginjal, tetapi banyak mineral juga disekresikan ke dalam getah pencernaan dan empedu dan hilang dalam feses. Konsentrasi mineral tubuh diatur pada tingkat absorpsi atau ekskresi, oleh sebab itu kadar yang bersirkulasi tidak menggambarkan intake. Sebaliknya, mineral menunjukkan keseimbangan antara jumlah yang diabsorpsi, digunakan, disimpan dan diekskresi.

Absorpsi mineral dapat dipengaruhi oleh zat *chelating* (fitat dan oksalat), protein, lemak, mineral lain, dan serat dalam makanan. Sebagai contoh, besi lebih mudah diserap dari daging dari pada dari sayuran. Vitamin C menambah absorpsi besi tetapi mengurangi absorpsi tembaga. Setelah diabsorpsi, mineral ditransport dalam darah oleh albumin atau protein karier spesifik. Mineral kemudian disimpan dalam hati dan jaringan lain berikatan dengan protein khusus. Hampir semua mineral esensial dapat tertimbun sampai kadar toksik. Metabolisme kebanyakan mineral belum dimengerti secara sempurna.

### **5.3. Mineral Esensial Makro**

Mineral makro terdiri atas kalsium, fosfor, natrium, kalium, magnesium, klorida dan sulfur. Mineral makro selalu diperlukan dalam jumlah banyak oleh tubuh ternak. Gerakan-gerakan ion mineral makro melintasi membran tidak pernah dapat dipisahkan dari gerakan proton dan anion. Terdapat hubungan kompleks antara pH, tekanan listrik lintas membran dan perbedaan kadarnya.

#### **5.3.1. Kalsium**

Kalsium erat sekali hubungannya dengan pembentukan tulang. Sumber utama kebutuhan segera tulang baru, terdapat dalam cairan tubuh dan sel. Kalsium juga sangat penting dalam pengaturan sejumlah besar aktivitas sel yang vital, fungsi syaraf dan otot, kerja hormon, pembekuan darah, motilitas seluler dan khusus pada ayam petelur berguna untuk pembentukan kerabang telur.

Kalsium diabsorpsi dari usus melalui transport aktif yaitu melawan suatu perbedaan konsentrasi dengan suatu proses yang membutuhkan energi. Kalsium diabsorpsi di duodenum dan jejunum proksimal oleh protein pengikat kalsium yang disintesis sebagai respon terhadap kerja 1,25-dihidroksikolekalsiferol. Absorpsi kalsium dihambat oleh senyawa-senyawa yang membentuk garam-garam kalsium yang tidak larut. Sebagian besar kalsium yang dikonsumsi ternyata tidak diserap tetapi dikeluarkan lagi melalui feses. Setelah kalsium diserap, maka jalan ekskresi yang ditempuh adalah melewati ginjal. Sejumlah besar kalsium disekresi ke dalam lumen usus dan hampir semuanya hilang dalam feses. Sementara sejumlah kecil kalsium diekskresikan dalam keringat. Sumber mineral kalsium terutama berasal dari hewan dan sintetis. Beberapa sumber kalsium dan jumlahnya dapat dikemukakan dalam Tabel 5.2.

Sumber lainnya adalah susu yang mengandung lebih dari 115 mg persen. Padi-padian umumnya rendah kalsium. Tepung gandum putih mengandung kira-kira 20 mg. Beras mengandung kurang lebih 6 mg kalsium per 100 g. Daging umumnya merupakan sumber yang miskin akan kalsium dan hanya mengandung 10 - 15 mg persen. Sayuran umumnya merupakan sumber kalsium yang kurang baik.

**Tabel 5.2. Sumber kalsium**

No	Sumber	Kadar (%)
1.	Tepung tulang ( <i>feeding bone meal</i> )	26
2.	Tepung tulang dikukus ( <i>bone meal steamed</i> )	29
3.	<i>Bone char</i>	27
4.	Trikalsium fosfat	13
5.	Dikalsium	24
6.	Monokalsium	16
7.	Ground limestone	26 - 36
8.	Kalsium karbonat	40

Kalsium fosfat tulang disimpan dalam matriks organik yang berserat lunak dan terdiri atas serat-serat kolagen serta sedikit gel mukopolisakarida. Matriks organiknya dapat mengeras karena kapur. Mineral tulang terdiri atas dua sumber kalsium fosfat yang secara fisik dan kimiawi berbeda yaitu sumber fase amorf atau non kristal dan fase kristal minimal. Fase amorf adalah suatu fase campuran yang mengandung trikalsium fosfat terhidrasi dan juga kalsium fosfat sekunder. Bentuk kristalnya mirip dengan hidroksiapatit, tetapi mengandung juga kira-kira 3% karbonat dan 1% sitrat. Ion mineral lainnya diperkirakan terikat terutama pada tempat kristal apatit. Tulang-tulang muda mengandung fase amorf lebih banyak, yang dibuat pertama kali pada pembentukan tulang dan merupakan prekursor fase apatik. Tulang dewasa mengandung apatit lebih banyak.

Kerja kalsium tampaknya melalui reseptor protein intrasel (kalmodulin) yang mengikat ion-ion kalsium bila konsentrasinya meningkat sebagai respon terhadap stimulus. Bila kalsium terikat pada kalmodulin maka dapat mengatur aktivitas sejumlah besar enzim, termasuk berperan dalam metabolisme siklik nukleotida, fosforilasi protein, fungsi sekresi, kontraksi otot, penyusunan mikrotubuli, metabolisme glikogen, dan pengaliran kalsium. Kebutuhan kalsium bervariasi bergantung pada jenis unggas. Kebutuhan mineral pada unggas dapat dilihat pada Tabel 5.3.

**Tabel 5.3. Kebutuhan kalsium pada unggas**

No	Unggas	Kebutuhan (%)
1.	Ayam broiler	
	- <i>Starter</i>	1,00
	- <i>Finisher</i>	0,90
2.	Ayam petelur	
	- <i>Starter</i>	0,80
	- <i>Grower</i>	0,60
	- <i>Layer</i>	3,40
3.	Itik	
	- <i>Starter</i>	0,65
	- <i>Grower</i>	0,60
	- <i>Breeder</i>	2,75
4.	Puyuh	
	- <i>Grower</i>	0,80
	- <i>Breeder</i>	2,50

Kebutuhan kalsium pada ayam yang sedang bertumbuh untuk pertumbuhan badan optimal dan kalsifikasi tulang terjadi dengan level 0,6 - 1,2 persen. Level kalsium 1 persen direkomendasikan oleh NRC sebagai target yang terbaik. Pada ayam petelur, kalsium dibutuhkan untuk pembentukan telur. Pada fase pertama (sampai umur 40 minggu) kandungan kalsium pada telur sebesar 1,5 gram dengan berat telur 45 gram. Setelah berat telur meningkat 56 gram maka kandungan kalsium telur sebesar 2 gram. Oleh sebab itu kebutuhan kalsium per hari pada fase pertama direkomendasikan sebesar 3,3 persen apabila menghendaki produksi telur 100 persen. Setelah memasuki fase ke dua dengan umur di atas 40 minggu, ukuran telur akan meningkat dan kandungan kalsium telur menjadi 2,2 gram. Oleh sebab itu kebutuhan kalsium per hari direkomendasikan sebesar 3,7 persen untuk produksi telur 100 persen. Pada ayam broiler imbangannya kalsium dan fosfor sebesar 2 : 1 merupakan imbangannya yang sangat optimal untuk kelangsungan hidup pokok, dan produksi.

Gejala defisiensi kalsium adalah tetani, gangguan otot dan syaraf. Gejala-gejala ini terjadi paling sering akibat defisiensi vitamin D, hipoparatiroidisme, atau insufisiensi ginjal, tetapi kekurangan kalsium juga sebagai salah satu penyebabnya. Gejala yang lain adalah osteoporosis dan riketsia. Pada ayam petelur gejala yang nampak adalah kulit telur tipis dan mudah pecah.

### 5.3.2. Fosfor

Fosfor berfungsi sebagai pembentuk tulang, persenyawaan organik, metabolisme energi, karbohidrat, asam amino dan lemak, transportasi asam lemak dan bagian koenzim. Sehingga fosfor sebagai fosfat memainkan peranan penting dalam struktur dan fungsi semua sel hidup. Karena itu, kekurangan fosfor akibat defisiensi makanan biasa tidak terjadi. Fosfat terdapat dalam sel-sel sebagai ion bebas pada konsentrasi beberapa miliekuivalen per liter dan juga merupakan bagian penting asam-asam nukleat, nukleotida dan beberapa protein. Dalam ruang ekstraseluler, fosfat bersirkulasi sebagai ion bebas dan terdapat sebagai hidroksiapatit, komponen utama dari tulang. Semua sel mempunyai enzim-enzim yang dapat mengikatkan fosfat dalam ikatan ester atau anhidrida asam ke molekul-molekul lain. Enzim-enzim juga terdapat di dalam dan di luar sel untuk melepaskan fosfat dari molekul-molekul yang mengandung fosfat. Yang termasuk kelompok terakhir enzim-enzim ini adalah beberapa fosfatase yang mempunyai peranan penting dalam pencernaan bahan-bahan makanan dalam usus. Sumber fosfor terutama berasal dari hewan dan sumber sintetis. Beberapa sumber fosfor terdapat dalam Tabel 5.4.

**Tabel 5.4. Sumber fosfor**

No	Sumber	Kadar (%)
1.	Tepung tulang ( <i>bone meal</i> )	14
2.	Fosfat batu ( <i>rock phosphat</i> )	14
3.	Fosfat batu ( <i>difluprinated rock phosphat</i> )	18

Sumber fosfor lainnya adalah susu yang merupakan sumber penting dengan kandungan 93 mg persen. Beras giling mengandung fosfor sebanyak 140 mg persen. Daging dan ikan mengandung fosfor sebanyak 100 - 200 mg persen.

Fosfat bebas diabsorpsi dalam jejunum bagian tengah dan masuk ke dalam aliran darah melalui sirkulasi portal dan transport ini terjadi secara aktif yang membutuhkan natrium, maupun secara difusi. Pengaturan absorpsi fosfat diatur oleh  $1\alpha,25$ -dehidroksikalsiferol. Fosfat ikut serta dalam siklus pengaturan derivat aktif vitamin  $D_3$ . Bila kadar fosfat serum rendah, pembentukan  $1,25$ -

dehidroksikalsiferol dalam tubulus renalis dirangsang yang menyebabkan absorpsi fosfat dari usus.

Ekskresi fosfat terjadi terutama dalam ginjal dan di bawah pengaturan yang rumit. Fosfat plasma dengan jumlah 80 - 90% difiltrasi pada glomerulus ginjal, dan jumlah fosfat yang diekskresi dalam urin menunjukkan perbedaan antara jumlah yang difiltrasi dan yang direabsorpsi oleh tubulus proksimal dan tubulus distal ginjal. 1,25 dehidroksikalsiferol merangsang reabsorpsi fosfat bersama kalsium dalam tubulus proksimal. Tetapi hormon paratiroid mengurangi reabsorpsi fosfat oleh tubulus renalis dan dengan demikian mengurangi efek 1,25-dehidroksikalsiferol pada ekskresi fosfat. Bila tidak ada efek kuat hormon paratiroid, ginjal mampu memberi respon terhadap 1,25-dehidroksikalsiferol dengan pengambilan semua fosfat yang difiltrasi. Kebutuhan fosfor bervariasi bergantung pada jenis unggas. Kebutuhan unggas akan mineral fosfor dapat dilihat pada Tabel 5.5.

**Tabel 5.5. Kebutuhan fosfor pada unggas**

No	Unggas	Kebutuhan (%)
1.	Ayam broiler	
	- <i>Starter</i>	0,45
	- <i>Finisher</i>	0,40
2.	Ayam petelur	
	- <i>Starter</i>	0,40
	- <i>Grower</i>	0,30
	- <i>Layer</i>	0,32
3.	Itik	
	- <i>Starter</i>	0,40
	- <i>Grower</i>	0,35
	- <i>Breeder</i>	0,35
4.	Puyuh	
	- <i>Grower</i>	0,45
	- <i>Breeder</i>	0,55

Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa kebutuhan fosfor yang optimal pada ayam petelur adalah 0,30% dan berkeselimbangan dengan kebutuhan kalsium sebesar 3,50%. Tetapi kebutuhan fosfor ini umumnya terkurangi karena adanya



fosfor yang tingkat ketersediannya rendah terutama yang berasal dari tumbuhan. Umumnya fosfor ini terikat dalam bentuk fosfor fitat.

Defisiensi fosfat terjadi akibat penurunan absorpsi dari usus dan pembuangan berlebihan dari ginjal. Penyebab utama hipofosfatemia adalah ketidaknormalan fungsi tubuli ginjal yang mengakibatkan penurunan reabsorpsi fosfat. Defisiensi fosfat berakibat riketsia, dan pertumbuhan terhambat, selain itu juga terdapat kelainan pada eritrosit, leukosit dan trombosit pada hati. Keracunan fosfat jarang sekali terjadi kecuali bila kegagalan ginjal akut atau kronis menghambat ekskresi fosfat.

### **5.3.3. Natrium**

Natrium adalah kation  $\text{Na}^+$  utama cairan ekstrasel dan sebagian besar berhubungan dengan klorida dan bikarbonat dalam pengaturan keseimbangan asam basa. Ion natrium juga penting dalam mempertahankan tekanan osmotik cairan tubuh dan dengan demikian melindungi tubuh terhadap kehilangan cairan yang berlebihan. Pada bagian empedu, ion natrium dan kalium berfungsi untuk mengemulsi lemak. Walaupun ion natrium banyak ditemukan dalam bahan makanan, sumber utama dalam makanan adalah garam dapur ( $\text{NaCl}$ ).

Pengaturan konsentrasi natrium dan/atau kadar natrium dalam tubuh melibatkan dua proses utama, yaitu kontrol terhadap pengeluaran natrium oleh tubuh dan kontrol terhadap masukan natrium. Konsentrasi natrium di dalam cairan ekstraseluler diusahakan agar relatif konstan dengan suatu mekanisme rumit yang melibatkan kecepatan penyaringan glomerulus ginjal, sel-sel peralatan jukstaglomerulus ginjal, sistem renin-angiotensin-aldosteron, sistem saraf simpatis, konsentrasi katekolamin, natrium dan kalium di dalam peredaran darah dan tekanan darah.

Pengangkutan natrium melalui dinding epitel usus nampaknya bergantung pada suatu sistem "pompa" dan "rembesan" pasif yang terdapat pada membran pembatas dari sel-sel tersebut. Pada duodenum dan jejunum,  $\text{NaCl}$  berpindah dari darah ke usus bila cairan hipotonik memasuki darah. Pada ileum, absorpsi  $\text{NaCl}$

terjadi dari larutan hipotonik. Glukosa di dalam cairan luminal meningkatkan absorpsi natrium di dalam jejunum.

Walaupun ion natrium ekstrasvaskuler berada dalam keseimbangan dengan ion natrium intravaskuler (plasma), konsentrasi natrium intravaskuler mungkin tidak menggambarkan jumlah total natrium dalam tubuh. Sehingga apabila ternak mempunyai ion natrium serum yang rendah (hiponatremia) mungkin tidak kekurangan ion natrium tubuh, tetapi bahkan mungkin kelebihan air intravaskuler (dan mungkin ekstrasvaskuler). Hal yang sama peningkatan ion natrium serum dapat terjadi pada kandungan ion natrium yang rendah atau normal bila terdapat kehilangan air (dehidrasi). Pada penyakit ginjal, kemampuan menghemat ion natrium seringkali hilang dan terjadi gangguan keseimbangan natrium, klorida, kalium dan air yang parah. Defisiensi natrium menyebabkan tulang lunak, hipertropi adrenal dan mengurangi penggunaan protein dan energi. Kebutuhan natrium bervariasi bergantung pada jenis unggasnya. Kebutuhan natrium dapat dilihat pada Tabel 5.6.

**Tabel 5.6. Kebutuhan natrium pada unggas**

No	Unggas	Kebutuhan (%)
1.	Ayam broiler	
	- <i>Starter</i>	0,15
	- <i>Finisher</i>	0,15
2.	Ayam petelur	
	- <i>Starter</i>	0,15
	- <i>Grower</i>	0,15
	- <i>Layer</i>	0,15
3.	Itik	
	- <i>Starter</i>	0,15
	- <i>Grower</i>	0,15
	- <i>Breeder</i>	0,15
4.	Puyuh	
	- <i>Grower</i>	0,15
	- <i>Breeder</i>	0,15

Kebutuhan natrium harus selalu mengikuti keseimbangan dengan klorida. Keseimbangan yang dianjurkan adalah 1 : 1. Kebutuhan minimum natrium untuk menghasilkan pertambahan bobot badan dan efisiensi penggunaan pakan adalah

0,13% selama masa *starter* dan 0,07% setelah berumur 6 minggu. Pada ayam petelur standar minimum dianjurkan kebutuhan natrium sebesar 0,15% untuk *starter* dan 0,1% untuk *layer*.

#### **5.3.4. Kalium**

Kalium adalah unsur teringan yang mengandung isotop radioaktif alami. Secara umum fungsi kalium adalah metabolisme normal, memelihara volume cairan tubuh, konsentrasi pH, hubungan tekanan osmotik, mengaktifkan enzim intraseluler dan pada empedu, bekerja sama dengan natrium berfungsi untuk mengemulsikan lemak. Kalium adalah kation ( $K^+$ ) utama cairan intrasel. Dengan demikian, sumber utama kalium adalah materi seluler dari bahan pakan. Kalium mudah terserap di usus halus, sebanding dengan jumlah yang dimakan dan beredar dalam plasma. Kalium dalam cairan ekstrasel memasuki semua jaringan dalam tubuh dan dapat mempunyai efek yang sangat besar pada fungsi organ, terutama depolarisasi dan kontraksi jantung.

Ginjal tidak dapat menghemat ion kalium seefektif ginjal menghemat ion natrium. Penghematan natrium selalu disertai dengan pembuangan kalium dan ini merupakan efek aldosteron. Bila masukan ion kalium kurang dari kebutuhan minimal, konsentrasi ion kalium serum akan menurun, ion kalium intrasel juga akan menurun dan tubulus renalis bersama-sama sel-sel tubuh mulai menggunakan proton ( $H^+$ ) sebagai pengganti  $K^+$ . Apabila konsentrasi  $H^+$  meningkat maka akan menyebabkan asidosis intraseluler. Kehilangan  $K^+$  obligatorik oleh tubulus renalis diganti dengan kehilangan  $H^+$  obligatorik, karena tubulus renalis menghemat  $Na^+$  dengan membuang  $H^+$ , bukan membuang  $K^+$ . Hal ini akan menyebabkan alkalosis ekstraseluler dan asidosis intraseluler.

Beberapa penelitian pada ayam menunjukkan bahwa kalium akan lebih optimal keberadaannya apabila berkeseimbangan dengan fosfor. Keseimbangan kalium dengan fosfor tersebut bergerak dari 0,2 : 0,6%, 0,24 : 0,35% dan 0,23 : 0,40%. Kebutuhan kalium bervariasi bergantung pada jenis unggasnya. Kebutuhan natrium dapat dilihat pada Tabel 5.7.

**Tabel 5.7. Kebutuhan kalium pada unggas**

No	Unggas	Kebutuhan (%)
1.	Ayam broiler	
	- <i>Starter</i>	0,40
	- <i>Finisher</i>	0,35
2.	Ayam petelur	
	- <i>Starter</i>	0,40
	- <i>Grower</i>	0,25
	- <i>Layer</i>	0,15
3.	Puyuh	
	- <i>Grower</i>	0,40
	- <i>Breeder</i>	0,40

Defisiensi kalium secara umum menyebabkan kelemahan seluruh otot, jantung lemah dan pelemahan otot pernafasan. Pada kegagalan ginjal, kehilangan  $K^+$  obligatorik mungkin lebih jauh dari normal. Keracunan  $K^+$  (hiperkalemia) sering terjadi pada payah ginjal karena ginjal tidak mampu membuang kelebihan  $K^+$ . Efek listrik hiperkalemia dapat dilawan oleh peningkatan konsentrasi kalium serum. Pompa kalium-natrium dalam membran sensitif terhadap penghambatan oleh preparat digitalis yaitu ouabain. Pada hipokalemia, jantung menjadi sensitif terhadap ouabain dan dapat terjadi keracunan ouabain. Toksisitas ouabain dapat dinetralisasikan oleh penambahan konsentrasi kalium serum.

### **5.3.5. Magnesium**

Ion magnesium terdapat pada semua sel. Magnesium berperan sangat penting sebagai ion esensial di dalam berbagai reaksi enzimatik dasar pada metabolisme senyawa antara. Semua reaksi di mana ATP merupakan substrat, substrat sebenarnya adalah  $Mg^{2+}$ -ATP. Hal yang sama,  $Mg^{2+}$  dikhelasi di antara fosfat beta dan gama dan mengurangi sifat kepadatan anionik ATP, sehingga  $Mg^{2+}$  dapat mencapai dan mengikat secara reversibel tempat protein spesifik. Sehingga semua sintesis protein, asam nukleat, nukleotida, lipid dan karbohidrat dan pengaktifan kontraksi otot memerlukan magnesium.

Absorpsi  $Mg^{2+}$  terjadi di seluruh usus halus dan jelas kelihatan lebih bergantung pada banyaknya yang tersedia daripada faktor lain, misalnya vitamin D. Absorpsi  $Mg^{2+}$  bukan proses aktif, dan tidak ada mekanisme bersama untuk transport kalsium dan magnesium melalui dinding usus. Dalam plasma, sebagian besar  $Mg^{2+}$  terdapat dalam bentuk yang dapat difiltrasi oleh glomerulus ginjal. Akan tetapi ginjal mempunyai kemampuan luar biasa untuk mempertahankan  $Mg^{2+}$ .

Secara umum kebutuhan magnesium pada unggas sekitar 500 mg untuk pertumbuhan optimal, produksi dan reproduksi. Kebutuhan magnesium pada unggas terlihat pada Tabel 5.8. berikut ini.

**Tabel 5.8. Kebutuhan magnesium pada unggas**

No	Unggas	Kebutuhan (mg/ekor/hari)
1.	Ayam broiler	
	- <i>Starter</i>	600
	- <i>Finisher</i>	600
2.	Ayam petelur	
	- <i>Starter</i>	600
	- <i>Grower</i>	400
	- <i>Layer</i>	500
3.	Itik	
	- <i>Starter</i>	500
	- <i>Grower</i>	500
	- <i>Breeder</i>	500
4.	Puyuh	
	- <i>Grower</i>	300
	- <i>Breeder</i>	500

Defisiensi magnesium sering terjadi. Defisiensi magnesium pada unggas menyebabkan pertumbuhan lambat, mortalitas meningkat, penurunan produksi telur dan ukuran telur mengecil. Kadar kalsium, protein, dan fosfat yang tinggi dalam makanan akan mengurangi absorpsi  $Mg^{2+}$  dari usus. Malabsorpsi pada diare kronis, malnutrisi pada protein kalori dan kelaparan dapat menyebabkan defisiensi magnesium. Keracunan magnesium jarang terjadi pada fungsi ginjal normal. Efek depresan magnesium pada sistem syaraf biasanya mendominasi

gejala toksisitas hipermagnesemia. Hipermagnesemia pada unggas menyebabkan tebal kerabang telur berkurang dan kotoran basah.

#### **5.4. Mineral Esensial Mikro**

Mineral esensial mikro terdiri atas seng, besi, mangan, tembaga, molibdenum, dan selenium. Mineral mikro tersebut esensial bagi ternak walaupun diperlukan dalam jumlah sedikit.

##### **5.4.1. Seng**

Seng telah dikenal sebagai unsur esensial sejak lebih dari seratus tahun yang lalu. Seng hampir sama melimpahnya dalam tubuh hewan seperti besi. Terdapat sekitar dua puluh empat metaloenzim yang dikenal, termasuk karbonat anhidrase, laktat dehidrogenase, glutamat dehidrogenase, alkali fosfatase, dan timidin kinase. Penelitian akhir-akhir ini memperkirakan bahwa seng mempunyai peranan dalam metabolisme prostaglandin atau proses-proses yang diperantarai oleh prostaglandin.

Dalam lumen usus, berbagai faktor nampaknya berpengaruh pada ketersediaan seng untuk diabsorpsi. Faktor-faktor ini antara lain adalah zat-zat yang diproduksi dan dicerna secara endogen. Zat-zat berbobot molekul rendah seperti metionin, histidin, sistein, sitrat, pikolinat, prostaglandin E<sub>2</sub>, glutation tereduksi dan ligan-ligan kecil lainnya telah terbukti membantu penyerapan seng dalam usus. Dalam lumen usus terdapat faktor pengikat seng yang tampaknya disekresi oleh pankreas dan membantu absorpsi seng. Seng dapat diasingkan dalam sel mukosa oleh protein pengikat seng (*sink binding protein*). Seng kemudian diangkut ke molekul albumin pada sisi serosa membran sel mukosa.

Absorpsi seng oleh mukosa usus bervariasi terbalik dengan jumlah metalotionein mukosa yang ada. Metalotionein mukosa oleh karenanya mengendalikan absorpsi seng sebagai tanggapan terhadap keadaan seng plasma oleh pengasingan seng dalam mukosa. Metalotionein dalam hepatosit juga dimanfaatkan untuk penyimpanan sementara atau detoksifikasi seng, sehingga

baik dalam hati maupun usus, protein ini merupakan ligan kunci untuk mempertahankan homeostasis. Seng hilang dari tubuh oleh pengendapan dalam sel mukosa dan pengelupasan ke dalam feses sebagai Zn-metalotionein.

Tembaga dapat mempengaruhi absorpsi seng dengan mengadakan kompetisi pada tempat pengikatan molekul albumin dalam ruang intravaskuler. Fosfat dan kalsium kadar tinggi memperberat defisiensi seng. Seng disekresi dalam getah pankreas dan dalam jumlah sedikit dalam empedu, jadi feses merupakan jalan utama ekskresi seng. Seng dapat diikat oleh metalotionin hati bila intake seng bertambah.

Setelah diabsorpsi usus, seng mula-mula mengumpul di hati dan kemudian didistribusikan ke jaringan-jaringan. Dalam plasma, kira-kira 2/3 diikat dengan suatu alfa-2 makroglobulin. Sejumlah kecil mengkompleks dengan asam amino dan mungkin dengan ligan lainnya. Seng yang mengkompleks dengan albumin siap diserap oleh jaringan. Walaupun demikian mekanisme penyerapannya oleh jaringan belum diketahui. Penyerapan oleh hati secara positif dipengaruhi oleh mediator endogen leukosit, hormon adrenokortikotropik, dan hormon paratiroid. Kebutuhan unggas akan seng dapat dilihat pada Tabel 5.9.

**Tabel 5.9. Kebutuhan seng pada unggas**

No	Unggas	Kebutuhan (mg/ekor/hari)
1.	Ayam broiler	
	- <i>Starter</i>	40
	- <i>Finisher</i>	40
2.	Ayam petelur	
	- <i>Starter</i>	40
	- <i>Grower</i>	35
	- <i>Layer</i>	50
3.	Itik	
	- <i>Starter</i>	60
	- <i>Grower</i>	60
	- <i>Breeder</i>	60
4.	Puyuh	
	- <i>Grower</i>	25
	- <i>Breeder</i>	50

Pada unggas, seng dibutuhkan untuk pembentukan tulang normal, pertumbuhan bulu, dan mencegah pembesaran tulang siku. Defisiensi dapat terjadi sebagai kelainan primer absorpsi seng pada akrodermatitis enterohepatika, suatu penyakit otomatis resesif yang jarang ditemukan, disertai dengan hambatan pertumbuhan dan hipogonadisme. Defisiensi seng sekunder dapat terjadi akibat malabsorpsi apapun penyebabnya atau peningkatan ekskresi dalam urin. Defisiensi seng juga menyebabkan aktivitas ribonuklease serum nampak meninggi, sedangkan aktivitas karbonik anhidrase eritrosit merendah. Pada unggas defisiensi seng menyebabkan hambatan pertumbuhan tulang dan tulang kaki memendek dan menebal.

#### **5.4.2. Besi**

Besi adalah salah satu dari unsur yang paling banyak pada kerak bumi. Besi juga merupakan mineral esensial mikro yang paling melimpah. Kurang lebih 2/3 dari besi beredar sebagai hemoglobin, 1/10 sebagai mioglobin dan kurang dari 1% terdapat pada transferin dari semua enzim besi dan protein redoks. Sisanya terdiri atas simpanan besi feritin dan hemosiderin yang terdapat terutama pada hati, limpa dan sumsum tulang. Fungsi utama besi adalah untuk transport oksigen oleh hemoglobin. Besi ferro ( $\text{Fe}^{2+}$ ) dan besi ferri ( $\text{Fe}^{3+}$ ) bersifat sangat sukar larut pada pH netral, dan diperlukan sistem khusus untuk transport besi dan memasukkan ion-ion ini ke dalam tempat-tempat fungsional mereka.

Sumber besi utama adalah daging, tumbuhan polong, tetes tebu, dan kerang-kerangan. Sumber sintetis terdiri atas ferrik oksida dengan kandungan besi 35% dan ferrous sulfat dengan kandungan besi sebesar 20%. Besi dalam bahan pakan terutama terdapat dalam bentuk ferri, terikat kuat pada molekul organik. Dalam lambung, di mana pH kurang dari 4, ion ferri dapat berdisosiasi dan bereaksi dengan senyawa-senyawa dengan berat molekul rendah seperti fruktosa, asam askorbat, asam sitrat, dan asam-asam amino untuk membentuk kompleks yang dapat memungkinkan ion ferri tetap larut dalam pH netral cairan usus. Di lambung, besi tidak terlepas dari heme tetapi diangkut ke usus dalam bentuk aslinya (semula).



Dikenal dua macam besi dalam bahan pakan yaitu besi heme dan besi non heme. Besi heme diabsorpsi utuh oleh sel mukosa usus, dan heme kemudian dipecah oleh suatu enzim pemecah heme dan besi dibebaskan dalam sel. Besi yang dibebaskan kemudian dipindahkan ke sisi serosal sel mukosa dengan menggunakan mekanisme pengangkutan intraseluler yang sama seperti yang digunakan oleh besi non heme. Besi non heme diabsorpsi dalam bentuk ion ferro. Ion ferro diabsorpsi ke dalam sel mukosa duodenum dan jejunum proksimal dan segera dioksidasi menjadi ferri. Ion ferri terikat oleh molekul karrier intraseluler. Dalam sel, molekul karrier membawa ion ferri ke mitokondria dan kemudian bergantung pada keadaan metabolisme besi individual.

Besi ditransport ke tempat penyimpanan dalam sumsum tulang dan sampai batas tertentu ke hati dalam bentuk ion ferri, terikat pada transferin plasma. Pada tempat penyimpanan itu, ion ferri diubah lagi menjadi apoferitin sebagai bentuk cadangan yang stabil tetapi mengalami pertukaran. Feritin dalam sistem retikuloendotelial merupakan bentuk cadangan besi yang dapat diambil. Feritin adalah protein dengan kemampuan besar untuk menyimpan besi yang terdapat pada hewan. Feritin bekerja sebagai penyimpan sementara untuk mencegah penambahan toksik kadar besi dan suatu cadangan yang dapat dikerahkan jangka panjang. Akan tetapi feritin dapat mengalami denaturasi, kehilangan subunit apoferitin dan kemudian beragregasi (berkumpul) ke misel-misel hemosiderin. Hemosiderin mengandung lebih banyak besi dibandingkan feritin dan terdapat sebagai partikel-partikel. Besi dalam hemosiderin tersedia untuk pembentukan hemoglobin, tetapi mobilisasi besi jauh lebih lambat dari hemosiderin dibanding dari feritin. Besi yang ditimbun akan disimpan sebagai endapan hemosiderin dalam hati, pankreas, kulit dan sendi yang menyebabkan penyakit.

Transferin adalah  $\beta$ -globulin yang bertanggung jawab untuk pengangkutan besi antara jaringan-jaringan hewan. Senyawa ini mengambil besi yang dilepaskan dalam aliran darah dari mukosa usus, dan dari katabolisme heme dalam sistem retikuloendotelial. Transferin berkaitan dengan protein albumin dari kuning telur, dan laktoferin dari susu dan lain-lain sekresi. Kebutuhan unggas akan besi bervariasi seperti terlihat pada Tabel 5.10.

**Tabel 5.10. Kebutuhan besi pada unggas**

No	Unggas	Kebutuhan (mg/ekor/hari)
1.	Ayam broiler	
	- <i>Starter</i>	80
	- <i>Finisher</i>	80
2.	Ayam petelur	
	- <i>Starter</i>	80
	- <i>Grower</i>	60
	- <i>Layer</i>	50
3.	Puyuh	
	- <i>Grower</i>	100
	- <i>Breeder</i>	60

Pada penelitian ayam petelur dijumpai bahwa kadar besi 55 ppm menyebabkan daya tetas maksimum pada telur fertil. Sementara kebutuhan besi sebesar 35 - 45 ppm menyebabkan terdapatnya hematokrit normal.

Defisiensi besi terjadi apabila kapasitas besi intraseluler bertambah, dan lebih banyak besi akan diabsorpsi bila tersedia dalam makanan. Defisiensi besi menyebabkan kejadian anemia, penurunan volume sel-sel darah merah dan depigmentasi. Pada kelebihan besi (*iron overload*) kapasitas dan kejenuhan karier besi intraseluler berkurang.

### 5.4.3. Mangan

Sifat-sifat dasar mangan pertama kali dilaporkan dari hasil penelitian hewan percobaan pada tahun 1931. Konsentrasi mangan dalam jaringan-jaringan hewan relatif konstan terhadap umur. Mangan banyak terdapat pada kacang-kacangan, biji-bijian utuh, dan sayuran tetapi sedikit terdapat pada daging, ikan dan produk susu. Kebutuhan unggas akan mangan dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Pengaturan homeostatik kadar mangan di dalam jaringan-jaringan hewan terutama dihasilkan melalui ekskresi mangan, bukan melalui pengaturan absorpsinya. Mangan yang diabsorpsi, diekskresikan melalui usus melewati empedu yang merupakan rute pengaturan utama. Dalam kondisi muatan unsur-unsur secara berlebihan, bantuan rute gastrointestinal juga digunakan. Absorpsi juga merupakan faktor penting dalam homeostatis mangan.

**Tabel 5.11. Kebutuhan mangan pada unggas**

No	Unggas	Kebutuhan (mg/ekor/hari)
1.	Ayam broiler	
	- <i>Starter</i>	60
	- <i>Finisher</i>	60
2.	Ayam petelur	
	- <i>Starter</i>	60
	- <i>Grower</i>	30
	- <i>Layer</i>	30
3.	Itik	
	- <i>Starter</i>	40
	- <i>Grower</i>	40
	- <i>Breeder</i>	25
4.	Puyuh	
	- <i>Grower</i>	90
	- <i>Breeder</i>	70

Retensi mangan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor pakan. Penambahan zat besi pada susunan pakan, menekan retensi mangan, tetapi apabila zat besi dihilangkan dari susunan pakan, retensi mangan meningkat. Fitat juga mempunyai pengaruh nyata yang bersifat menghambat retensi dan akumulasi mangan.

Mangan terdapat dalam konsentrasi tinggi dalam mitokondria dan berfungsi sebagai faktor penting untuk pengaktifan glikosiltransferase yang berperan sebagai sintesis oligosakarida, glikoprotein, dan proteoglikan. Mangan diperlukan untuk aktivitas superoksida dismutase. Mangan diserap dengan baik melalui usus halus dengan mekanisme yang serupa dengan besi, termasuk transfer melalui sel mukosa ke dalam darah portal. Pada kenyataannya absorpsi  $Mn^{2+}$  meningkat pada defisiensi besi dan dapat dihambat oleh besi. Adanya etanol dalam usus jelas menambah absorpsi  $Mn^{2+}$ . Ion mangan dikirim ke hati melalui sirkulasi portal dan di sana segera mengadakan keseimbangan dengan  $Mn^{2+}$ .

Salah satu akibat defisiensi mangan adalah ketidaknormalan kerangka. Perosis atau penyakit urat yang terkilir dengan pembesaran dan kesalahan bentuk sendi tibial metatarsal banyak terjadi pada unggas yang sedang tumbuh. Kondrodistrofi gizi terjadi pada embrio ayam yang mendapat susunan pakan

defisien mangan. Pada ayam petelur periode *layer*, defisiensi mangan menyebabkan produksi telur menurun dan kerabang telur tipis. Defisiensi mangan tampaknya juga sangat mengurangi sintesis oligosakarida, pembentukan glikoprotein dan proteoglikan. Selain itu juga mengganggu beberapa metaloenzim  $Mn^{2+}$  seperti hidrolase, kinase, dekarboksilase dan transferase. Keracunan mangan sangat jarang terjadi.

#### **5.4.4. Tembaga**

Tembaga tersebar luas dalam pakan. Tembaga merupakan elemen yang sangat dibutuhkan oleh hewan biarpun dalam komposisi yang relatif sedikit. Absorpsi tembaga dalam traktus gastrointestinal memerlukan mekanisme spesifik, karena sifat alamiah ion kupri ( $Cu^{2+}$ ) yang sangat tidak larut. Dalam sel mukosa usus, tembaga mungkin berikatan dengan protein pengikat metal (banyak mengandung sulfur) dengan berat molekul rendah yaitu metalotionein pada bagian tionein. Biosintesis metalotionein diinduksi dengan pemberian Zn, Cu, Cd dan Hg dan diblokir oleh inhibitor-inhibitor sintesis protein. Meskipun tembaga akan merangsang produksi protein hati yang berikatan dengan tembaga, seng juga diperlukan untuk akumulasi Cu-tionein. Seng akan menstabilkan Cu-tionein terhadap degradasi oksidatif. Tembaga masuk dalam plasma, di mana tembaga terikat pada asam-asam amino, terutama histidin, dan pada albumin serum pada tempat pengikatan tunggal yang kuat. Dalam kurang dari satu jam, tembaga yang baru diserap diambil dari sirkulasi oleh hati.

Hati memproses tembaga melalui dua jalan. Pertama, tembaga diekskresi dalam empedu ke dalam traktus gastrointestinal, di mana tembaga tidak diabsorpsi kembali. Ternyata, homeostasis tembaga dipertahankan hampir seluruhnya oleh ekskresi linier, semakin tinggi dosis tembaga, semakin banyak yang diekskresikan dalam feses. Jalan ke dua metabolisme tembaga dalam hati adalah penggabungan tembaga sebagai bagian integral seruloplasmin, suatu glikoprotein yang sematamata disintesis dalam hati. Seruloplasmin bukan protein pembawa  $Cu^{2+}$ , karena tembaga seruloplasmin tidak bertukar dengan ion tembaga atau tembaga yang terikat dengan molekul-molekul lain. Seruloplasmin mengandung 6 - 8 atom

tembaga, setengah bagian ion kupro ( $\text{Cu}^+$ ) dan setengahnya lagi ion kupri ( $\text{Cu}^{2+}$ ). Kebutuhan unggas akan tembaga dapat dilihat pada Tabel 5.12.

**Tabel 5.12. Kebutuhan tembaga pada unggas**

No	Unggas	Kebutuhan (mg/ekor/hari)
1.	Ayam broiler	
	- <i>Starter</i>	8,00
	- <i>Finisher</i>	8,00
2.	Ayam petelur	
	- <i>Starter</i>	8,00
	- <i>Grower</i>	6,00
	- <i>Layer</i>	6,00
3.	Puyuh	
	- <i>Grower</i>	6,00
	- <i>Breeder</i>	6,00

Gejala defisiensi tembaga meliputi anemia, neutropenia, osteoporosis dan depigmentasi serta gangguan syaraf. Defisiensi tembaga mengganggu proses ikatan silang jaringan ikat protein, kolagen, dan elastin. Gangguan ini dapat berupa kelainan tulang, kerusakan sistem kardiovaskuler atau kelainan struktur paru-paru. Gejala defisiensi tembaga yang paling tragis adalah kematian mendadak akibat pecahnya pembuluh darah utama atau jantungnya. Defisiensi tembaga pada anak ayam menyebabkan aorta pecah. Keracunan tembaga termasuk diare dengan feses biru-hijau, hemolisis akut dan kelainan fungsi ginjal.

#### **5.4.6. Selenium**

Selenium diperkirakan mengganti belerang dalam asam amino protein. Selenium adalah unsur penting glutathion peroksidase, suatu enzim yang peranannya sebagai antioksidan intraseluler yang sangat mirip dengan fungsi vitamin E atau  $\alpha$ -tokoferol. Sebagian besar selenium dalam makanan berbentuk asam amino selenometionin. Suplemen selenium yang ditambahkan ke dalam makanan ternak berbentuk anorganik seperti natrium selenit. Selenometionin dan natrium selenit mempunyai potensi yang sama untuk mencegah kondisi defisiensi selenium dan dapat meningkatkan aktivitas jaringan glutathion peroksidase. Akan

tetapi, selenometionin dapat meningkatkan kadar selenium dalam darah dan jaringan lebih tinggi dibandingkan dengan natrium selenit. Hal ini mungkin disebabkan oleh penggabungan selenometionin ke dalam struktur utama jaringan protein di tempat metionin, sehingga selenium hanya tersedia bagi hewan setelah katabolisme asam amino selenium. Selenium ini berfungsi sebagai simpanan yang tak teratur atau *pool buffer* yang menyediakan selenium dari dalam tubuh apabila penyediaan selenium dari pakan terhenti.

Absorpsi selenium tampaknya berlangsung tanpa pengendalian fisiologis. Absorpsi  $^{75}\text{Se}$  dalam bentuk larutan selenit lebih besar dari 90%. Walaupun demikian, data mengenai absorpsi selenium yang terdapat dalam pakan masih terbatas. Hewan mengeluarkan beberapa senyawa selenium melalui urin dan pernafasan. Produksi metabolit ekskresi tersebut semakin banyak dengan peningkatan konsumsi selenium. Ion trimetil selenomium adalah satu-satunya metabolit urin yang telah teridentifikasi, walaupun dalam urin ada beberapa jenis metabolit lainnya. Dimetil selenida bersifat volatil dan ditemukan dalam nafas bila konsumsi selenium sangat tinggi. Jadi hewan mengatur kandungan selenium melalui proses ekskresi. Jika unsur ini tersedia dalam jumlah terbatas, produk ekskresipun sedikit. Sedangkan bila kebutuhan sudah terpenuhi kelebihan selenium dikurangi dengan mengubahnya menjadi metabolit ekskresi.

Hanya satu fungsi enzimatik selenium yang diketahui. Selenium adalah unsur penting dari glutathion peroksidase. Enzim ini dapat menghancurkan hidrogen peroksida dan hidriperoksida-hidroperoksida organik dengan pengurangan ekuivalen dari glutathion. Peranan fisiologis yang pasti dari glutathion peroksidase yang bergantung pada selenium masih belum jelas karena katalase juga mampu memindahkan hidrogen peroksida dan glutathion peroksida yang tidak bergantung pada selenium juga mampu memindahkan hidroperoksida organik. Jadi selenoenzim mungkin berfungsi sebagai penahan oksidan tetapi fungsi alternatif juga telah ada. Kebutuhan unggas akan selenium dapat dilihat pada Tabel 5.13.

**Tabel 5.13. Kebutuhan selenium pada unggas**

No	Unggas	Kebutuhan (mg/ekor/hari)
1.	Ayam broiler	
	- <i>Starter</i>	0,15
	- <i>Finisher</i>	0,15
2.	Ayam petelur	
	- <i>Starter</i>	0,15
	- <i>Grower</i>	0,10
	- <i>Layer</i>	0,10
3.	Itik	
	- <i>Starter</i>	0,14
	- <i>Grower</i>	0,14
	- <i>Breeder</i>	0,14
4.	Puyuh	
	- <i>Grower</i>	0,20
	- <i>Breeder</i>	0,20

Kebutuhan selenium pada ayam yang sedang bertumbuh, petelur dan bibit direkomendasikan sebesar 0,15 - 0,20 ppm. Sebuah penelitian menunjukkan bahwa penambahan 0,1 ppm selenium pada pakan basal menyebabkan peningkatan kandungan selenium pada telur dari 0,035 ppm menjadi 0,138 ppm. Beberapa penelitian merekomendasikan pentingnya selenium untuk produksi telur dan daya tetas.

Defisiensi selenium menyebabkan dilatasi jantung dan menyebabkan payah jantung kongestif. Defisiensi pada ayam menyebabkan diatesis eksudatif. Vitamin E dapat mencegah kejadian tersebut, di samping faktor III yang mengandung selenium organis. Selenium mempunyai pengaruh penting pada metabolisme merkuri. Hewan yang defisien selenium lebih rentan terhadap keracunan metil merkuri dan merkuri anorganik. Mekanisme keracunan selenium sampai saat ini belum diketahui. Tanda dini keracunan selenium adalah nafas berbau bawang putih akibat pengeluaran dimetilselenida.

#### 5.4.7. Yodium

Yodium merupakan mineral mikro yang terdapat luas di bumi. Yodium kurang larut dalam air, tetapi apabila molekul yodium ( $I_2$ ) berkombinasi dengan yodida membentuk poliyodida akan menyebabkan yodium sangat mudah larut dalam air.

Dalam saluran pencernaan, yodium direduksi menjadi yodida, dan dalam satu jam seluruhnya akan diabsorpsi oleh usus halus. Yodotirosin, yodotironin, beberapa yodopeptida rantai pendek, dan senyawa-senyawa yang diyodinasikan secara radiografi diabsorpsi tanpa deiodinasi. Yodium yang terdapat di dalam semua senyawa anorganik dan banyak senyawa organik tersedia secara biologis. Kebutuhan unggas akan yodium dapat dilihat pada Tabel 5.14.

**Tabel 5.14. Kebutuhan yodium pada unggas**

No	Unggas	Kebutuhan (mg/ekor/hari)
1.	Ayam broiler	
	- <i>Starter</i>	0,35
	- <i>Finisher</i>	0,35
2.	Ayam petelur	
	- <i>Starter</i>	0,35
	- <i>Grower</i>	0,35
	- <i>Layer</i>	0,30
3.	Puyuh	
	- <i>Grower</i>	0,30
	- <i>Breeder</i>	0,30

Kebutuhan yodium untuk ayam yang sedang tumbuh direkomendasikan oleh NRC sebesar 350  $\mu\text{g}/\text{kg}$  pakan. Sedangkan pada ayam petelur, kebutuhan yodium sebesar 300  $\mu\text{g}/\text{kg}$  pakan. Beberapa penelitian menunjukkan pemberian yodium sebesar 75  $\mu\text{g}/\text{kg}$  pakan menyebabkan ayam kurang dapat tumbuh secara optimum sedangkan pemberian yodium di bawah 300  $\mu\text{g}/\text{kg}$  pakan menunjukkan histologi tiroid normal. Hal yang sama juga ditunjukkan pada ayam bibit yang memberikan pertumbuhan embrio normal setelah diberi yodium sebesar 35  $\mu\text{g}/\text{kg}$  pakan.



Pemanfaatan yodium untuk sekresi hormon tiroid berlangsung melalui tiga tahap. Pertama, dari plasma menyeberangi membran sel adalah suatu proses aktif melawan gradien listrik dan massa. Konsentrasi normal yodida di dalam sel tiroid adalah 30 - 40 kali lebih tinggi daripada di dalam serum. Ke dua, pada batas pemisah sel dan koloid, suatu peroksidase menjadi alat pengoksidasi yodida menjadi suatu "senyawa antara yod". Enzim ini juga membantu pembentukan monoyodotirosin dan diyodotirosin dengan menggabungkan yodium ke dalam residu tirosil dari tiroglobulin. Penggabungan oksidatif berikutnya dari yodotirosin ke dalam hormon tiroid, tiroksin ( $T_4$ ) dan triyodotironin ( $T_3$ ), juga dilaksanakan oleh peroksidase yang sama, mungkin bekerja sama dengan enzim lain. Akhirnya, tiroglobulin diterima oleh sitoplasma sel tiroid. Pencernaan tiroglobulin dilakukan melalui proteolisis. Fase sekresi berakhir dengan kejadian difusi hormon-hormon ke dalam kapiler-kapiler melalui ruang ekstraseluler.

Tiroid, suatu kelenjar penyimpan mengandung yodium sebanyak 8,0 - 10,0 mg per 20 g berat kelenjar. Yodium pada tiroid yang terikat pada triglobulin sebesar 95%. Kira-kira 45% yodium pada tiroid terdapat dalam bentuk tiroksin dan 3% dalam bentuk triyodotironin, sedangkan sebesar kira-kira 42% dalam bentuk yodotirosin.

Defisiensi yodium menyebabkan gondok yang kurang dikenal dalam dunia unggas. Awal defisiensi yodium dicirikan oleh suatu peningkatan ekskresi hormon tiroid simpanan yang bersifat kompensasi dan ekskresi normal yodida di dalam urin. Sementara simpanan hormon tiroid terus-menerus habis, pembersihan yodida anorganik plasma di tiroid meningkat dengan suatu penurunan ekskresi yodida di dalam urin yang sebanding. Setelah itu pengambilan yodida stabil oleh tiroid sama dengan jumlah yodida yang diekskresikan dalam bentuk hormon tiroid. Konsentrasi yodida anorganik plasma menurun, sama seperti kandungan yodium tiroid. Pada saat ini, defisiensi yodium dapat diatasi, atau akan berkembang menjadi kronis. Pada ayam, defisiensi yodium menyebabkan pengurangan output dari stimulasi pituitari anterior pada kelenjar tiroid untuk memproduksi dan meningkatkan hormon TSH (*thyroid stimulating hormone*). Pada ayam petelur, defisiensi yodium menyebabkan reduksi kandungan yodium

pada telur, menurunkan daya tetas, memperpanjang waktu tetas dan memperlambat absorpsi kuning telur. Defisiensi yodium juga menyebabkan pembesaran kelenjar tiroid embrio dan menunjukkan hipertropi pada epitelium folikuler. Yodium dalam jumlah besar akan mengganggu semua fungsi tiroid mulai dari pengangkutan yodium dan berlanjut ke sintesis dan sekresi hormon tiroid. Sintesis hormon tiroid pada semua langkah, mulai dari yodinasi residu tirosil sampai ke pembentukan  $T_4$  dan  $T_3$  semakin dihambat oleh konsumsi akut dan kronik sejumlah besar yodium.

#### **5.4.8. Molibdenum**

Molibdenum berfungsi sebagai metaloenzim xantin oksidase, aldehida oksidase, dan sulfit oksidase. Sampai saat ini belum diketahui sistem metabolisme kecuali bentuk heksavalen yang larut dalam air diabsorpsi dengan baik melalui usus. Urin adalah jalan utama ekskresi molibdenum. Terdapat beberapa bukti bahwa molibdenum dapat mempengaruhi metabolisme tembaga dengan mengurangi efisiensi penggunaan tembaga dan bahkan mungkin mobilisasi tembaga dari jaringan. Pemberian pakan dengan defisien molibdenum pada ayam menyebabkan kelambatan pertumbuhan, khususnya ketika pakan mengandung level rendah natrium tungstat.