

Absorpsi dan Metabolisme Kalsium pada Puyuh (*Coturnix-coturnix Japonica*)**The Calcium Absorption and Metabolism of Quail (*Coturnix-coturnix Japonica*)****Tyas Rini Saraswati**

Departemen Biologi Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH Tembalang Semarang

Email : tyasrinis63@gmail.com

Diterima 17 Juni 2017 / Disetujui 28 Agustus 2017

ABSTRAK

Absorpsi dan metabolisme kalsium pada puyuh diregulasi oleh hormon paratiroid, dihidroksikolekalsiferol (Vitamin D), dan kalsitonin. Ketiga hormon tersebut meregulasi kebutuhan kalsium dalam tubuh puyuh. Pada artikel ini juga dibahas mengenai peran hormon tersebut dalam mempertahankan homeostasis kalsium dalam darah melalui peran beberapa organ seperti ginjal, tulang dan usus. Pada puyuh kebutuhan kalsium terutama untuk pembentukan kerabang telur.

Kata kunci : hormon, kalsium, puyuh

ABSTRACT

The Calcium absorption and metabolism of quail are regulated by parathyroid hormone, dihydroxycholecalciferol (Vitamin D), and calcitonin. All of those hormones regulate calcium on quail. In this article discuss the role of those hormones to stabilize the calcium homeostasis on blood through the role of ren, bones, and intestine. The Quail needs calcium primarily in process of eggshell formation.

Keywords : hormones, calcium, quail

PENDAHULUAN

Kalsium merupakan salah satu unsur mineral yang sangat dibutuhkan oleh puyuh, yang berfungsi dalam pembentukan tulang, kerabang telur, kontraksi otot dan sebagai komponen yang mempengaruhi kadar elektrolit serta asam basa dalam darah. Apabila pakan yang dikonsumsi tidak dapat memenuhi kebutuhan, maka tubuh akan mengambil kalsium dari tulang, yang merupakan tempat cadangan kalsium dalam tubuh. Kandungan kalsium dalam darah terdapat dalam batas tertentu. Apabila kadar kalsium dalam darah lebih kecil atau lebih besar dari batas normal, maka akan terjadi gangguan metabolisme tubuh. Hasil penelitian Saraswati (2013) menunjukkan kadar kalsium dalam darah puyuh pada fase bertelur 10.06 mg/dl, kalsium tulang 13.04 mg/dl, kalsium kerabang 40.54mg/dl, kalsium feses 1.32 mg/dl. Menurut Krupakaran (2013) kadar normal

kalsium plasma pada puyuh 8.6 mmol/L. Kadar hormon dalam tubuh puyuh diregulasi oleh hormon.

HASIL DAN DISKUSI**Hormon yang Berperan dalam Metabolisme Kalsium**

Absorpsi dan metabolisme kalsium dalam tubuh puyuh diregulasi oleh hormon. Hormon yang berperan dalam proses tersebut antara lain hormon paratiroid; 1,25 dihidroksikolekalsiferol (Vitamin D3) dan kalsitonin (Scanes 2014). Ketiga hormon ini mengatur metabolisme kalsium dalam tubuh puyuh agar kadar kalsium dalam darah tetap stabil.

Hormon paratiroid

Hormon paratiroid merupakan rantai polipeptida tunggal yang terdiri dari 84 asam

amino, 34 asam amino pertama, merupakan bagian yg penting, karena menentukan aktivitas biologisnya. Hormon paratiroid disintesis dalam chief sel dari kelenjar paratiroid (Standford 2004) sebagai prohormon. Prohormon ini disintesis dalam Retikulum Endoplasma dan bergerak ke Aparatus Golgi dan berubah menjadi hormon paratiroid yang disimpan dalam granula dan setelah mengalami proses pematangan, akan disekresikan.

Sintesis hormon paratiroid dikendalikan oleh kadar kalsium plasma. Apabila kadar kalsium plasma tinggi, maka sintesis hormon paratiroid akan dihambat, sebaliknya apabila kadar kalsium plasma rendah maka akan merangsang sintesis hormon paratiroid. Efek keseluruhan hormon paratiroid adalah meningkatkan konsentrasi kalsium dalam plasma, melalui efeknya pada ginjal, tulang, dan usus.

Pengaruh Hormon paratiroid terhadap Ginjal.

Hormon paratiroid berperan dalam penyerapan kembali kalsium dan merangsang pengeluaran fosfat oleh ginjal. Di bawah pengaruh hormon paratiroid, ginjal mampu mereabsorpsi lebih banyak kalsium yang difiltrasi, sehingga kalsium yang keluar melalui urin berkurang. Efek ini meningkatkan kadar kalsium plasma dan menurunkan pengeluaran kalsium melalui urin. Hormon Paratiroid juga meningkatkan ekskresi fosfat urin melalui penurunan reabsorpsi fosfat. Akibatnya, hormon paratiroid menurunkan kadar fosfat plasma bersamaan dengan saat hormon tersebut meningkatkan konsentrasi kalsium.

Pengaruh Hormon Paratiroid terhadap Tulang

Hormon paratiroid menimbulkan beberapa perubahan besar pada tulang : Merangsang mobilisasi kalsium dan fosfat, setelah hormon ini mengubah osteoklas non-aktif menjadi osteoklas aktif, meningkatkan produksi asam-asam organik dan enzim yang diperlukan untuk penguraian tulang seperti asam sitrat, enzim lisosom, kolagenase dan asam hialuronat, merangsang arus kalsium dari lakuna (lacunae) menuju cairan tulang (bone fluid) dan akhirnya tiba di cairan

ekstraselular, memperbesar arus kalsium ke dalam osteoblas dengan cara menambah permeabilitas membran sel osteoblas.

Hormon paratiroid mempunyai dua efek pada tulang dalam menimbulkan absorpsi kalsium dan fosfat. Efek tersebut antara lain:

a. Absorpsi Kalsium Fase Cepat

Hormon paratiroid dapat menyebabkan pemindahan garam-garam tulang dari dua tempat dalam tulang, yaitu : dari matriks tulang disekitar osteosit yang terletak dalam tulangnya sendiri dan disekitar osteoblas yang terletak disepanjang permukaan tulang.

Osteoblas dan osteosit membentuk suatu sistem sel yang saling berhubungan satu sama lain, yang menyebar diseluruh permukaan tulang kecuali sebagian permukaan yang berdekatan dengan osteoklas. Diantara membran osteositik dan tulang ada sedikit cairan tulang. Membran osteositik nantinya akan memompa ion kalsium dari cairan tulang ke cairan ekstrasel. Bila pompa osteositik sangat aktif, maka konsentrasi kalsium dalam cairan tulang menjadi sangat aktif, sehingga konsentrasi kalsium di dalam cairan tulang menjadi rendah dan kalsium fosfat yang nantinya akan diabsorpsi dari tulang ke cairan ekstra sel. Efek ini disebut osteolisis. Bila pompa menjadi tidak aktif, konsentrasi ion kalsium dalam cairan tulang naik lebih tinggi dan garam-garam kalsium fosfat ditimbun lagi di dalam matriks tulang.

Peran hormon paratiroid dalam proses ini adalah bahwa membran sel osteoblas dan osteosit memiliki protein reseptor untuk mengikat hormon paratiroid. Hormon paratiroid nantinya akan mengaktifkan pompa kalsium dengan kuat sehingga menyebabkan perpindahan garam-garam kalsium fosfat dengan cepat dari kristal tulang amorf yang terletak dekat dengan sel. Hormon paratiroid merangsang pompa ini dengan meningkatkan permeabilitas kalsium pada sisi cairan tulang dari membran osteositik, sehingga mempermudah difusi ion kalsium ke dalam membran sel cairan tulang. Selanjutnya

pompa kalsium di sisi lain dari membran sel memindahkan ion kalsium yang tersisa ke dalam cairan ekstra sel.

b. Absorpsi Kalsium Fase Lambat

Pada fase ini, yang berperan adalah osteoklas. Walaupun pada dasarnya osteoklas tidak memiliki membran reseptor untuk hormon paratiroid. Aktifasi sistem osteoklastik terjadi dalam dua tahap, yaitu: Aktifasi yang berlangsung dengan segera dari osteoklas yang sudah terbentuk dan pembentukan osteoklas baru

Kelebihan hormon paratiroid selama beberapa hari biasanya menyebabkan sistem osteoklas berkembang dengan baik, dan karena pengaruh rangsangan hormon paratiroid yang kuat, maka pertumbuhan akan berlanjut terus-menerus selama beberapa bulan. Hormon paratiroid bekerja langsung pada tulang untuk meningkatkan resorpsi kalsium dari tulang sehingga sejumlah besar kalsium dilepaskan dari tulang ke cairan ekstra seluler untuk mempertahankan keseimbangan kalsium. Bila konsentrasi ion kalsium pada cairan ekstra seluler menurun, maka sekresi hormon paratiroid akan diturunkan pula dan hampir tidak akan terjadi resorpsi. Kalsium yang berlebihan tadi nantinya akan dideposit ke tulang dalam rangka pembentukan tulang yang baru.

Pengaruh Hormon Paratiroid terhadap Usus

Cara kerja lain hormon paratiroid untuk meningkatkan kadar kalsium melalui usus. Di bawah kehadiran hormon paratiroid pada lapisan usus menjadi lebih efisien dalam menyerap kalsium pakan. Hormon paratiroid meningkatkan absorpsi kalsium pada usus halus.

Sebagian besar efek hormon paratiroid pada organ sasarannya diperantarai oleh siklik adenosin monofosfat (cAMP) yang bekerja sebagai mekanisme second messenger. Dalam waktu beberapa menit setelah pemberian hormon paratiroid, konsentrasi cAMP di dalam osteosit, osteoklas, dan sel-sel sasaran lainnya meningkat. Selanjutnya, cAMP mungkin bertanggung jawab terhadap beberapa fungsi osteoklas seperti sekresi enzim dan asam-asam sehingga terjadi reabsorpsi

tulang, pembentukan 1,25-dihidroksikolekalsiferol di dalam ginjal dan sebagainya.

Hormon dihidroksikolekalsiferol (Vitamin D aktif)

Vitamin D merupakan salah satu jenis vitamin yang dapat larut dalam lemak. Ada 5 jenis vitamin D yaitu Vitamin D1, D2 (ergokalsiferol), D3 (kolekalsiferol), D4 (22-dihidroergokalsiferol) dan D5 (sitokalsiferol). Namun penggunaan vitamin D3 pada unggas perlu diperhatikan dibandingkan dengan vitamin D yang lain. Vitamin D3 (kolekalsiferol) berasal dari 7-dehidrokolesterol yang apabila terkena sinar matahari akan membentuk menjadi vitamin D3. Vitamin D tidak larut di dalam air namun larut dalam lemak dan pelarut lemak. Vitamin D berfungsi untuk meregulasi level kalsium dan fosfor dalam darah dengan cara mengatur absorpsi kalsium dan fosfor dari pakan di dalam usus halus, mereabsorpsi kalsium di dalam ginjal dan mineralisasi tulang serta kerabang telur. Vitamin D juga berperan dalam menghambat sekresi hormon paratiroid pada kelenjar paratiroid dan mencegah penyakit hipokalsemia. Vitamin D2 dan D3 yang ada di dalam pakan akan diserap oleh usus halus, kemudian dikirim oleh darah menuju hati yang akan dikonversi menjadi 25-hidroksikolekalsiferol dan akan dikirim ke ginjal untuk diubah menjadi 1,25-dihidroksikolekalsiferol, bentuk aktif dari vitamin D. Senyawa tersebut kemudian diedarkan oleh darah ke seluruh jaringan, saluran pencernaan, tulang dan organ reproduksi. Senyawa 1,25-dihidroksikolekalsiferol bekerja dengan steroid untuk meregulasi transkripsi DNA di dalam vili usus untuk menginduksi sintesis mRNA yang bertanggung jawab terhadap produksi senyawa protein yang berikatan dengan kalsium. Protein akan terlibat dalam absorpsi kalsium di dalam lumen usus. Jumlah 1,25-dihidroksikolekalsiferol yang diproduksi di ginjal diatur oleh hormon paratiroid. Apabila kadar kalsium di dalam darah rendah (hipokalsemia), kelenjar paratiroid akan memproduksi hormon paratiroid lebih banyak. Produksi 1,25-dihidroksikolekalsiferol di dalam ginjal menjadi lebih banyak dengan adanya hormon paratiroid yang banyak sehingga akan

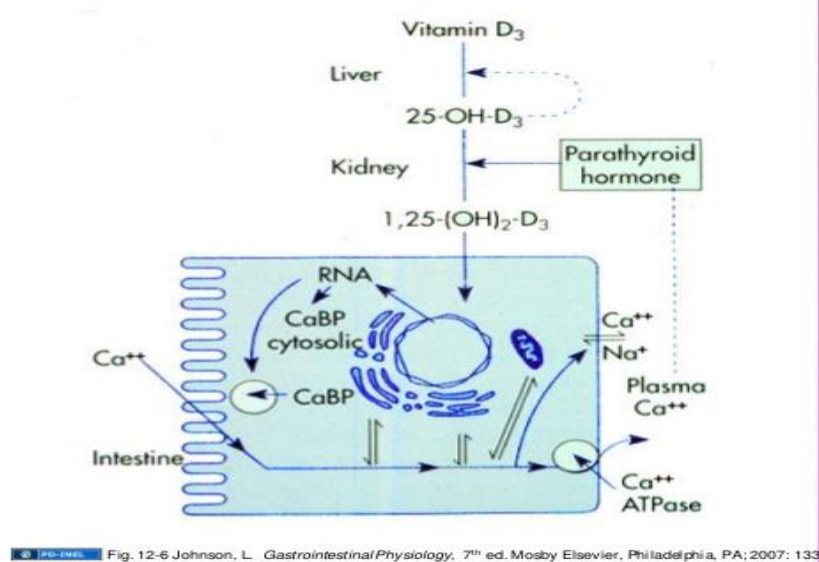
meningkatkan absorpsi kalsium di dalam usus halus.

Pengaruh hormon dihidroksikolekalsiferol (Vitamin D3) terhadap Saluran Pencernaan

Vitamin D dapat meningkatkan absorpsi kalsium dalam usus (Fleet and Schoch 2010). Dalam hal ini vitamin D yang digunakan adalah dalam bentuk aktif yaitu 1,25 dihidroksikolekalsiferol. 1,25-Dihidroksikolekalsiferol berfungsi untuk meningkatkan absorpsi kalsium oleh usus dengan cara meningkatkan

pembentukan protein pengikat kalsium di sel epitel usus. Protein pengikat kalsium ini berfungsi di brush border untuk mengangkut kalsium ke dalam sitoplasma sel dan selanjutnya kalsium bergerak melalui membran basolateral sel dengan cara difusi terfasilitasi. Protein ini akan tetap berada di dalam sel selama beberapa minggu setelah 1,25 hidroksikalsiferol dibuang dari tubuh, sehingga memiliki efek yang berkepanjangan terhadap absorpsi kalsium. Efek lain yang ditimbulkan adalah pembentukan ATPase terstimulasi kalsium di brush border sel epitel dan pembentukan suatu alkaline fosfatase di sel epitel.

Sintesa dan peranan vitamin D



Gambar 2. Peran Vitamin D dalam Absorpsi Kalsium

Pengaruh hormon dihidroksikolekalsiferol terhadap tulang

Kekurangan vitamin D menimbulkan kelainan tulang yang disebut "rickets" pada puyuh muda dan osteomalasia pada puyuh dewasa. Ciri-ciri fisiologis dari penyakit ini adalah berkurangnya aliran kalsium dari tulang ke medium (in vitro), menurunnya kadar kalsium darah serta tulang yang rapuh. Pemberian dihidroksikolekalsiferol meningkatkan kalsifikasi pada tulang, meningkatkan mobilisasi kalsium dari tulang sehingga kadar kalsium dan tulang kembali normal (Guyton 2006).

Hormon kalsitonin

Kalsitonin adalah hormon polipeptida terdiri dari residu 32 asam amino yg membentuk rantai tunggal lurus. Sekresi dan biosintesis kalsitonin dipengaruhi oleh kadar ion kalsium plasma. Bila kadar ion kalsium tinggi maka kadar hormon pun meningkat, dan sebaliknya. Hormon kalsitonin kerjanya berlawanan dengan hormon paratiroid, berperan menurunkan kadar kalsium darah pada puyuh. Hormon kalsitonin dikeluarkan oleh kelenjar ultimobranchial apabila kadar kalsium darah terlalu tinggi (Johnston and Ivey, 2002). Hormon kalsitonin menurunkan kadar kalsium dan fosfat dalam darah dengan jalan mengurangi

perombakan tulang. Pengambilan kelenjar ultimobranchial (ultimobranchialectomy) tidak mengakibatkan dampak yang nyata baik terhadap kalsium dalam tulang maupun dalam darah. Namun demikian, bahwa daerah "ruffled borders" pada osteoklas tulang medular menurun setelah pemberian hormon kalsitonin, yang berarti menurunnya perombakan kalsium pada tulang tersebut. Dengan berkurangnya perombakan kalsium, maka menurun pula kadar kalsium dalam darah (Dacke *et al*, 1993).

Adapun kerja kalsitonin di dalam tubuh adalah memberikan efek pengurangan kerja absorpsi osteoklas dan mungkin efek osteolitik dari membran osteositik di seluruh tulang, sehingga dapat menggeser keseimbangan penimbunan kalsium sesuai dengan cepatnya pertukaran garam-garam kalsium. Kalsitonin memberikan efek penurunan pembentukan osteoklas yang baru. Adapun fungsi kalsitonin terhadap tulang adalah :

- a. Menurunkan kadar kalsium dengan menghambat resorpsi tulang.
- b. Menghambat pelepasan kalsium dari tulang
- c. Mempertahankan kepadatan tulang
- d. Menjaga keseimbangan kalsium dalam darah. Bila kadar ion kalsium dalam darah meningkat, kadar kalsitonin akan naik dan mengendapkannya dalam tulang
- e. Kalsitonin memastikan bahwa kalsium di dalam tulang dipertahankan dan tulang mempercepat penyerapan kalsium.

Absorpsi Kalsium

Beberapa hormon seperti glukokortikoid, prolaktin dan estrogen juga berperan sebagai regulator absorpsi kalsium di usus halus. Kecepatan absorpsi lebih tinggi pada duodenum diikuti jejunum dan ileum (Perez *et al*, 2008). Absorpsi kalsium di usus halus dapat melalui 2 mekanisme, yaitu transport aktif dan transport pasif. Transpor aktif kalsium terjadi terutama di duodenum dan proximal jejunum, sementara transpor pasif terjadi pada seluruh usus halus. Duodenum adalah tempat absorpsi kalsium yang paling efisien karena dapat mengambil kalsium bahkan pada keadaan diet sangat rendah kalsium

melalui mekanisme aktif, juga memiliki seluruh komponen bagi transpor kalsium melalui jalur transeleler dan paraseluler..

Apabila kadar kalsium dari pakan dalam usus cukup tinggi, penyerapan kalsium oleh usus terjadi secara pasif, namun apabila kadar kalsium tersebut rendah, maka diperlukan penyerapan kalsium secara aktif dengan bantuan 1,25-dihidroksikolekalsiferol, suatu metabolit dari vitamin D. 1,25-dihydroxycholecalciferol sendiri terbentuk di dalam ginjal di bawah pengaruh hormon Paratiroid. Mekanisme ini penting sekali untuk mempertahankan kadar kalsium darah pada tingkat yang diperlukan oleh tubuh. Beberapa peneliti juga melaporkan bahwa 1,25-dihydroxycholecalciferol berfungsi pula sebagai penghambat balik (feedback inhibitor) terhadap sekresi hormon paratiroid oleh kelenjar ultimobranchia.

Mekanisme Transpor Kalsium dalam Duodenum

Bronner (2003); Perez *et al* (2008) menyatakan transport kalsium dalam duodenum meliputi:

1. Transcellular Calcium Transport

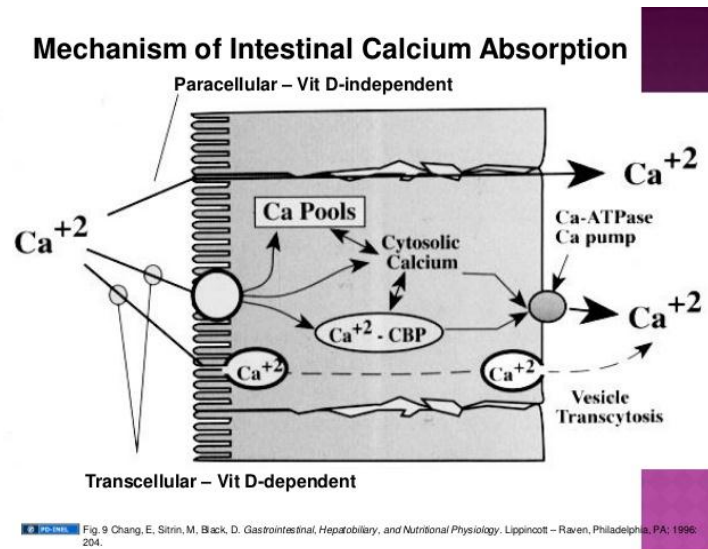
Transcellular transport merupakan transpor aktif yang hanya terjadi di duodenum. Transpor ini memicu pergerakan kalsium melalui 3 tahap, yaitu : *apical calcium entry*, *cytoplasmic calcium translocation* dalam bentuk terikat dengan calbindin-D9k dan *basolateral calcium extrusion*. Kalsium luminal melewati membran melalui *transient receptor potential vanilloid family calcium channel* (TRPV)5 dan 6. Ca^{2+} -ATPase (PMCA1b) yang terdapat membran plasma pada membrane basolateral akan mengeluarkan kalsium sitoplasma ke dalam plasma. Kalsium sitoplasma dapat juga dikeluarkan oleh transporter lain, yaitu Na^{+}/Ca^{2+} exchanger 1 (NCX1) namun kemampuannya hanya 20% dibandingkan dengan PMCA1b (80%). Transpor kalsium melalui jalur transcellular digunakan dalam kondisi fisiologis dan jalur ini semakin penting ketika terjadi peningkatan kebutuhan kalsium,

misalnya ketika pembentukan kerabang telur. Jalur ini distimulasi langsung oleh 1,25-(OH)₂D₃.

2. Paracellular Calcium Transport

Paracellular transport merupakan mekanisme aktif (cellular energy dependent) dan pasif (calcium gradient dependent). Komponen pada paracellular calcium transport, yaitu: passive paracellular, solvent-drag induced, dan voltage-dependent transport. Transport ini penting terutama ketika terdapat

konsentrasi kalsium luminal yang tinggi akibat asupan kalsium yang tinggi. *Solvent-drag induced* dan *voltage-dependent transport* merupakan proses aktif yang tergantung dari aktivitas Na⁺/K⁺-ATPase yang terjadi akibat lingkungan paracellular yang hiperosmotik dan perbedaan potensial di transepithelial. Lingkungan hiperosmotik akan menginduksi aliran air yang membawa ion kalsium melewati ruang paracellular. *Solvent drag-induced paracellular calcium transport* merupakan 80% dari total transport kalsium aktif.



Gambar3. Mekanisme absorpsi kalsium pada duodenum

Kalsium bergerak melewati epitel melalui mekanisme transcellular atau paracellular. Paracellular transport tergantung pada transport aktif sodium yang menciptakan gradien osmotik dalam ruang paracellular dan perbedaan potensial transepithelial melewati lapisan epitel. Sodium terutama memasuki sel-sel absorptif bersama-sama glukosa melalui *sodium-dependent glucose transporter 1* (SGLT1). Perbedaan potensial sebesar 5 mV dengan sisi mukosa lebih negatif daripada sisi serosal.

Transcellular calcium transport aktif, dimulai dengan masuknya kalsium secara pasif dibagian apikal melalui *transient receptor potential vanilloid family calcium channel* (TRPV). Kalsium kemudian ditranslokasi melewati sitoplasma, sebagian besar dalam bentuk

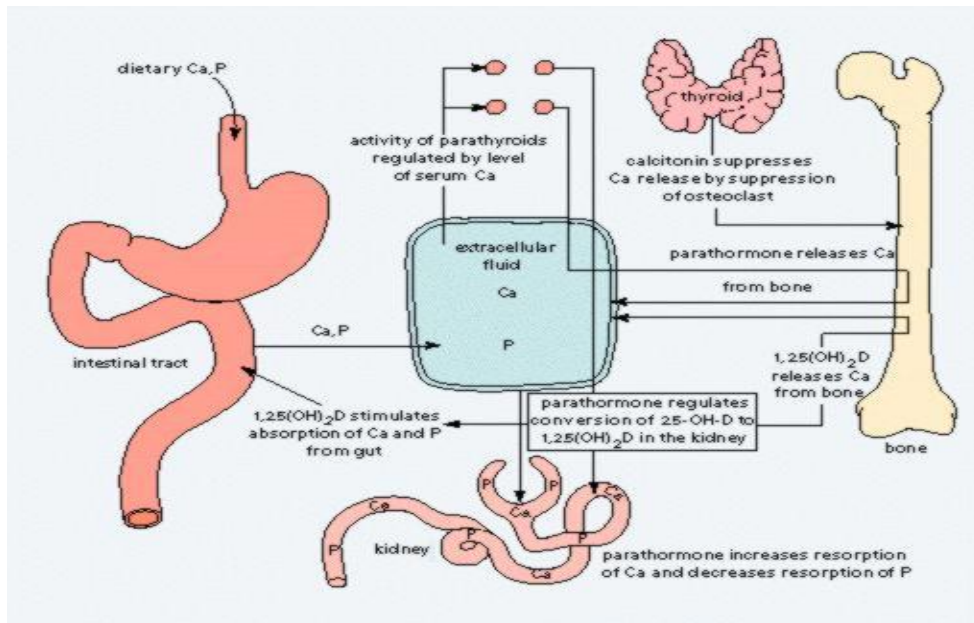
terikat dengan calbindin-D9K, menuju basolateral membran dan akhirnya dikeluarkan dari sel oleh Na⁺/K⁺-ATPase dan Na⁺/Ca²⁺ exchanger (NCX1).

Metabolisme Kalsium

Kurang lebih 99% kalsium terdapat pada tulang rangka dalam bentuk kristal. Sisanya (1%) dalam bentuk ion pada cairan intraseluler dan ekstraseluler, terikat dengan protein dan membentuk kompleks dengan ion organik, seperti sitrat, fosfat dan bikarbonat. Sistem gastrointestinal menjaga homeostasis kalsium dengan mengatur absorpsi kalsium melalui sel-sel gastrointestinal. Jumlah absorpsi tergantung dari asupan, umur, hormon, vitamin D, kebutuhan tubuh akan kalsium, diet tinggi protein dan karbohidrat serta derajat keasaman yang tinggi (pH

rendah). Absorpsi kalsium bervariasi, antara 10-60%. Jumlah ini menurun seiring dengan peningkatan umur dan meningkat ketika kebutuhan akan kalsium meningkat sementara asupan sedikit. Absorpsi terjadi dalam usus halus melalui mekanisme yang terutama dikontrol oleh *calcitropic hormone (1.25-dihydroxycolecalciferol vitamin D₃ (1.25(OH)₂D₃ dan Parathyroid hormone (PTH)*. Untuk mempertahankan keseimbangan kalsium, ginjal harus mengekskresikan kalsium dalam jumlah yang sama dengan kalsium yang diabsorpsi dalam usus halus.

Tulang tidak hanya berfungsi sebagai penopang tubuh namun juga menyediakan sistem pertukaran kalsium untuk menyesuaikan kadar kalsium dalam plasma dan cairan ekstraseluler. Metabolisme kalsium dan tulang berkaitan erat satu sama lain dan terintegrasi. Defisiensi kalsium yang disebabkan oleh defisiensi vitamin D dan peningkatan paratiroid hormon, mengakibatkan tulang akan melepaskan kalsium (resorpsi tulang meningkat) untuk dapat mengembalikan kalsium serum kembali normal. Secara skematis metabolisme kalsium dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 4. Metabolisme kalsium

Metabolisme Kalsium dalam Pembentukan Kerabang Telur

Sebelum terjadi kalsifikasi kerabang telur, kalsium (Ca) tidak disimpan dalam uterus, tetapi terdapat dalam plasma darah dalam bentuk ion kalsium (Jonchere *et al*, 2012). Deposisi kalsium plasma darah dalam kerabang telur ini terjadi sangat cepat terutama pada saat mineralisasi kerabang telur.

Analisis sampel kalsium darah yang diperoleh selama siklus oviposisi :

- a. Konsentrasi ion kalsium dalam darah meningkat pada tahap awal setelah oviposisi karena pengambilan makanan kaya kalsium pada periode tersebut. Selama tahap selanjutnya, jumlah ion kalsium dalam darah

menurun secara signifikan, saat kalsifikasi telur.

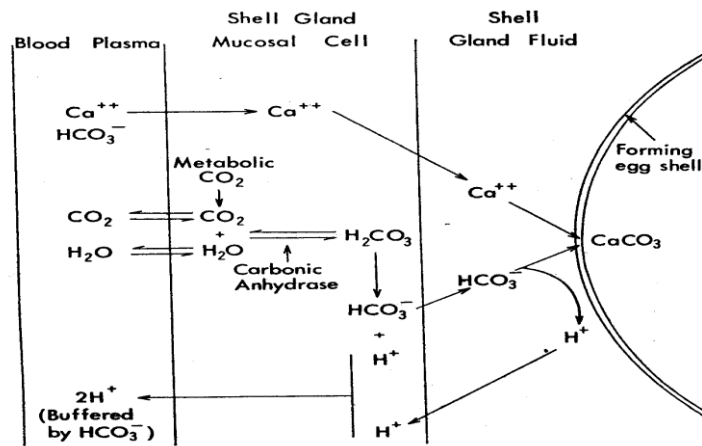
- b. Konsentrasi fosfor dalam darah meningkat secara signifikan selama tahap selanjutnya, yang menunjukkan bahwa bahan tulang meduler diserap untuk produksi kerabang telur. Kalsium kemudian diangkut ke uterus untuk membentuk kerabang telur yang terdiri dari kalsium karbonat. Namun, sisa fosfor (tidak digunakan untuk produksi kerabang telur) tetap ada di dalam darah.
- c. Konsentrasi hormon paratiroid (PTH), yang merupakan penanda untuk remodeling tulang secara signifikan menurun selama tahap terakhir (fase istirahat) siklus oviposisi (Kerschnitzki *et al* 2014).

Mobilisasi kalsium dari tulang meduler terjadi apabila kekurangan kalsium dalam pakan. Mobilisasi kalsium dari tulang meduler dibawah kontrol estrogen dan testosteron. Saat terjadi absorpsi kalsium, permukaan sel tulang meduler mengembang 9 kali. Namun, dengan adanya aktivitas osteoblastik, maka rekonstruksi tulang meduler akan terjadi kembali sehingga tetap menjadi tulang yang kompak.

Pada tubuh puyuh yang sedang dalam masa produksi telur, hormon estrogen merangsang pembentukan tulang medular (medullary bones) yang merupakan target utama kerja hormon paratiroid. Enzim-enzim penghidrolisis yang diperlukan untuk penguraian tulang (osteolisis) dikeluarkan pada suatu bagian berlipat-lipat ("ruffled borders") pada osteoklas yang berdampingan dengan tulang-tulang medular. Di bawah pengaruh hormon paratiroid, "ruffled borders" ini bertambah banyak, dan kejadian ini bersamaan dengan naiknya kadar kalsium dalam darah. Kalsium ini kelak dipergunakan untuk pembentukan kerabang telur di dalam saluran telur

(oviduct) atau untuk mengganti kalsium darah yang telah dipergunakan bagi pembuatan kerabang telur tersebut. Hormon paratiroid sendiri dikeluarkan oleh kelenjar paratiroid apabila kadar kalsium darah menurun. sekresi kalsium oleh uterus hanya dapat terjadi di bawah pengaruh hormon paratiroid.

Kandungan kalsium pakan juga memegang peranan penting pada proses kalsifikasi kerabang telur. Peningkatan sekresi asam dan air melalui proventrikulus meningkatkan solubilitas kalsium karbonat pakan dan meningkatkan retensi kalsium intestinum selama kalsifikasi kerabang telur. Kapasitas absorpsi kalsium meningkat pada puyuh dewasa. Penetrasi kalsium pada uterus bersifat aktif. Transfer kalsium berasosiasi dengan sintesis protein sitosolik; calbindin (calcium binding protein) merupakan afinitas dari sintesis ini. Calbindin ditemukan dalam glandula tubuler yang menjadi terjadinya transport kalsium bersama dengan kehadiran enzim Ca-ATP-ase di uterus. Enzim ini merupakan fasilitator dalam absorpsi kalsium dalam cairan uterus.



Gambar 5: Metabolisme kalsium dalam uterus (Saraswati 2015)

Kalsifikasi kerabang telur dimulai sebelum telur masuk ke uterus. Telur tersebut berupa *yolk* yang telah mengalami pembungkusan oleh putih telur di magnum serta membran cangkang di isthmus. Sekelompok kecil kalsium telah terlihat pada membran kerabang bagian luar (*outer shell membrane*) sebelum telur meninggalkan isthmus. Kerabang pertama yang dibentuk yaitu *inner shell* berupa *mammillary layer* yang tersusun atas kristal kalsit, diikuti

dengan *outer shell* yang dua kali lebih tebal daripada *inner shell*. Kerabang tersusun dari timbunan kalsium karbonat ($CaCO_3$) dalam suatu matriks protein dan mukopolisakarida. Lapisan terakhir dari kerabang adalah lapisan kutikula, yaitu material organik yang melindungi telur dari mikroorganisme patogen dan meminimalkan penguapan air.

Formasi terbentuknya kerabang telur dengan adanya ketersediaan ion kalsium dan ion karbonat

di dalam cairan uterus yang akan membentuk kalsium karbonat. Sumber utama ion karbonat terbentuk karena adanya CO₂ dalam darah hasil metabolisme dari sel yang terdapat pada uterus, dan dengan adanya H₂O, keduanya dirombak oleh enzim *carbonic anhydrase* (dihasilkan pada sel mukosa uterus) menjadi ion bikarbonat yang akhirnya menjadi ion karbonat setelah ion hidrogen terlepas. Beberapa hubungan antara kalsium dalam darah, CO₂ dan ion bikarbonat di dalam uterus dalam peristiwa pembentukan kerabang telur dapat dilihat pada gambar 5.

KESIMPULAN

Untuk mempertahankan kadar kalsium dalam keadaan normal, diperlukan interaksi beberapa proses antara lain : Absorpsi kalsium pada saluran pencernaan, pengeluaran melalui ekskresi urin dan feses, keseimbangan formasi dan resorpsi kalsium pada tulang. Untuk menjamin keseimbangan proses-proses diatas dengan baik diperlukan pengaturan secara hormonal yaitu : hormon paratiroid, dihidroksikolekalsiferol (Vitamin D), dan kalsitonin.

DAFTAR PUSTAKA

- Bronner F. 2003. Mechanisms of intestinal calcium absorption. *J Cell Biochem.* 88(2):387-93.
- Dacke C.G, Arkle S, Cook D.J, Womstone I.M, Jones S, Zaidi M, and Bascal Z.A. 1993. Medullary Bone and Avian Calcium Regulation. *J.exp.Biol.* 184:63-68.
- Fleet J and Schoch R.D. 2010. Molecular Mechanisms for Regulation of Intestinal Calcium Absorption by Vitamin D and Other Factors. *Crit Rev Cln Lab Sci.* 47(4): 181-195.
- Guyton, A.C & Hall, J.E. 2006. Buku Ajar Fisiologi Kedokteran. Edisi 11. Philadelphia: Elsevier-Saunders:389-391, 1029-1044.
- Johnston M.S and Ivey S.E. 2002. Parathyroid and ultimobranchial glands : Calcium metabolism in birds. *Journal of Exotic Pet Medicine* 11 (2): 84-93.
- Jonchere V, Brionne A, Gautron J and Nys Y. 2012. Identification of uterie iontransporters for mineralisation precursors of the avian eggshell. *BMC Physiol.*12 :10
- Kerschnitzki M, Zander T, Zaslansky P, Fratzl P, Shahar R, Wagermaier W. 2014. Rapid alterations of Avian medullary bone material during the daily egg-laying cycle. 69:109-117.
- Krupakaran R.P 2013. Serum Biochemical Profile of Japanese quails (*Coturnix coturnix japonica*). *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences ISSN: 2231-6345 (Online) An Online International Journal Available at <http://www.cibtech.org/jls.htm> Vol. 3 (1) :182-18.*
- Matos R. 2008. Calcium Metabolism in Birds. *Veterinary Clinic: Exotic Animal Practice* 11(1): 59-82.
- Perez A.V, Picotto G, Carpentieri A.R, Rivoira M.A, Lopez M.E.P and Talamni N.G.T.2008. Minireview on Regulation of Intestinal Calcium Absorption. *Digestion* 77:22-34.
- Saraswati T.R. 2013. Optialisasi Kndisi Fisiologis Puyuh Jepang (*Coturnix japonica*) dengan Suplemen Serbuk Kunyit. *repository.ipb.ac.id /jspui/bitstream/123456789/66834/1/2013trs.pdf.*
- Scanes C.G. 2014. *Sturkie's Avian Physiology.* Sixth edition. Department of Biological Sciences. University of Wisconsin, Milwaukee,WI, USA:554-565.
- Stanford M. 2004. Calcium Metabolism. *Clinical Avian Medicine.*1: 142-143.