

Kecernaan Kalsium dan Fosfor, pH *gizzard*, Kadar Air Ekskreta dan Digesta pada Ayam Petelur yang Diberi Ukuran Partikel Batu Kapur Berbeda dan Enzim Fitase

Digestibility of Calcium and Phosphorus, Gizzard PH, Excreta and Digesta Moisture Content in Laying Hens on Different Limestone Particle Size and Phytase

YW Rushafarani^{1,2*}, Sumiati¹, Nahrowi¹

Corresponding email:

yuridawahyu@apps.ipb.ac.id,

¹Departemen Ilmu Nutrisi dan Teknologi Pakan, Fakultas Peternakan, IPB University, Jalan Agatis, Kampus IPB Dramaga Bogor, Jawa Barat, Indonesia

²PT Nugen Bioscience Indonesia Jalan Raya Cikupa Pasar Keis KM 3,5 Pasir Gedung, Cikupa Tangerang, Indonesia 15710

Submitted: May 14, 2023

Accepted: August 28, 2023

ABSTRACT

This study aimed to determine the coefficient of total calcium and phosphorus digestibility effects from limestone as a source of calcium and the effect of phytase enzymes on laying hens. This study used 180 Hy-line Brown laying hens aged 75 weeks. The experimental design used was a 2x2 factorial complete randomized design (CRD) with 9 replications. The first factor was limestone particle size, i.e., P1 = limestone flour and P2 = limestone granules, and the second factor was phytase enzyme dose, i.e., Q1 = 0 FTU and Q2 = 1000 FTU. The observed variables were gizzard pH, excreta moisture content (MC), digesta MC, calcium and phosphorus digestibility using two samples and ileal digestibility. The results showed that the digestibility of calcium from limestone flour was significantly different compared to limestone granules at $P < 0.05$. The phytase addition and the interaction with limestone particle size did not affect gizzard pH, total and ileal digestibility of calcium and phosphorus. Excreta and digesta MC had a significant effect on the particle size of limestone, the highest MC was limestone granules compared to flour ($P < 0.001$). The addition of phytase had an effect on reducing excreta MC ($P < 0.001$). There was interaction between limestone size and phytase in excreta and digesta MC. The conclusion of the research was that laying hens were more efficient in digesting calcium from limestone flour compared to limestone granules. Phytase could reduce excreta and digesta MC.

Key words: calcium, digestibility, limestone, particle size, phytase

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh koefisien kecernaan total kalsium dan fosfor dari batu kapur sebagai sumber kalsium dan pengaruh enzim fitase untuk ayam petelur. Penelitian ini menggunakan 180 ekor ayam petelur umur 75 minggu. Rancangan percobaan yang digunakan yaitu rancangan acak lengkap (RAL) faktorial 2x2 dan 9 ulangan. Faktor pertama (ukuran partikel batu kapur) adalah P1 = Tepung batu kapur dan P2 = Biji batu kapur dan faktor kedua (dosis enzim fitase) adalah Q1 = 0 FTU dan Q2 = 1000 FTU. Peubah yang diamati adalah, pH *gizzard*, kadar air ekskreta, kadar air digesta, kecernaan kalsium dan fosfor menggunakan dua jenis sampel, ekskreta dan digesta *ileal*. Hasil penelitian ini menunjukkan kecernaan kalsium dari tepung batu kapur berbeda nyata dibandingkan dengan biji batu kapur pada ($p < 0,05$). Penambahan enzim fitase dan interaksi dengan ukuran partikel batu kapur tidak mempengaruhi pH *gizzard*, kecernaan total, ileal dari kalsium dan fosfor. Kadar air ekskreta dan digesta berpengaruh signifikan terhadap ukuran partikel batu kapur, kadar air tertinggi adalah biji batu kapur dibandingkan dengan tepung batu kapur ($p < 0,001$). Penambahan enzim fitase berpengaruh terhadap penurunan kadar air ekskreta ($p < 0,001$). Terdapat interaksi antara ukuran batu kapur dengan fitase terhadap kadar air ekskreta dan digesta. Simpulan hasil penelitian yaitu ayam petelur lebih efisien dalam mencerna kalsium dari tepung batu kapur, dibandingkan dengan biji batu kapur. Enzim fitase dapat menurunkan kadar air ekskreta dan digesta.

Kata kunci: batu kapur, fitase, kalsium, kecernaan, ukuran partikel

PENDAHULUAN

Kalsium adalah mineral utama yang bertanggung jawab atas kualitas internal dan eksternal telur pada ayam petelur (Sahin *et al.* 2018). Metabolisme kalsium berhubungan dengan ketersediaan fosfor (P) dan vitamin D (Proszkowiec-Weglarz & Angel, 2013) sehingga setiap kekurangan atau kelebihan kalsium dapat secara signifikan mempengaruhi metabolisme yang lain. Pemanfaatan kalsium dan fosfor tergantung pada konsentrasi dan ketersediaannya dalam pakan dan dimodulasi melalui mekanisme saluran cerna, ginjal dan kerangka (Li *et al.* 2017). Kalsium karbonat, dalam bentuk batu kapur, menjadi sumber kalsium yang paling sering digunakan dalam pakan unggas, sekitar 80% larut dan dapat diserap dalam media asam saluran pencernaan (Walk *et al.* 2012). Kecernaan kalsium dapat bervariasi sesuai dengan ukuran partikel batu kapur (Diana *et al.* 2021). Konsentrasi batu kapur dalam pakan ayam petelur lebih tinggi dari pada ayam broiler (Adedokun *et al.* 2018), yang dapat menghambat pencernaan biji batu kapur dibandingkan dengan tepung batu kapur. Penentuan pencernaan kalsium mendapat sedikit perhatian, terutama karena biayanya yang rendah dan ketersediaan yang melimpah. Baru-baru ini, inisiatif menentukan fosfor yang dapat dicerna dalam pakan telah menyebabkan perhatian lebih lanjut mengenai pencernaan kalsium (David *et al.* 2019). Pengumpulan dan analisis ileal digesta dan total excreta adalah metode yang paling banyak digunakan untuk menentukan pencernaan nutrisi pada ayam, namun hasil dari metode ini bervariasi (An *et al.* 2020). Di sisi lain, pengumpulan ekskreta total lebih murah dan tidak memerlukan pengorbanan hewan (Diana *et al.* 2021).

Batu kapur dapat bertindak sebagai antasida di bagian distal rempela dan ileum. Phytate, phytase, dan kalsium memiliki pengaruh besar pada pH gastrointestinal. Dosis tinggi fitase menghidrolisis fitat, yang mungkin bersifat *acidogenic*, sehingga meningkatkan pH lambung lebih dekat dengan pH optima pepsin, meningkatkan kemanjuran pepsin, mengurangi sekresi pepsin endogen (Abd El-Hack *et al.* 2018). Peningkatan pH *gizzard* berhubungan dengan interaksi Ca-phytate di saluran pencernaan. Sumber kalsium lebih terlarut ketika pH rempela rendah. seperti yang ditinjau oleh Truong *et al.* (2017). pH *gizzard* dipengaruhi oleh jenis ayam, ayam petelur memiliki pH lebih tinggi daripada ayam pedaging, karena kandungan batu kapur yang lebih tinggi dalam pakan ayam petelur (David *et al.* 2021).

Suplementasi fitase dapat meningkatkan pemanfaatan nutrisi lainnya. Pada pakan ayam petelur telah terbukti meningkatkan ketersediaan fitat P dan mineral lainnya termasuk Ca, Mn dan Zn (Ghosh *et al.* 2016), sehingga meningkatkan ketersediaannya untuk dapat diserap dan dimanfaatkan oleh ayam (Lalpanmawia *et al.* 2014). Kecernaan fosfor dipengaruhi oleh enzim fitase yang biasanya ditambahkan ke dalam pakan ayam untuk meningkatkan ketersediaan fosfor yang terikat fitat dan mengurangi ekskresi yang tidak diinginkan

pada lingkungan (Dersjant-Li *et al.* 2018). Akumulasi fosfor yang disebabkan ketidakseimbangan antara aplikasi pupuk kandang pada tanaman tidak berkelanjutan secara lingkungan dan dapat menyebabkan masalah kualitas air (van Dijk *et al.* 2016). Peningkatan kadar air ekskreta karena rasio Ca:AvP dan penggunaan dosis fitase yang tidak tepat dapat berdampak negatif terhadap asupan air dan retensi air. Fakta ini menunjukkan bahwa kandungan mineral atau aktivitas fitase dalam pakan harus dimanipulasi dengan tepat untuk menghindari kotoran basah yang dapat berdampak buruk pada kesejahteraan hewan (Nusairat *et al.* 2017). Kondisi kandang, strain ayam, komposisi bahan pakan, dan mineral adalah faktor lain yang dapat mempengaruhi kadar air ekskreta ayam petelur (Arguelles *et al.* 2020).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pencernaan kalsium dan fosfor dari batu kapur sebagai sumber kalsium pada metode pengambilan sampel yang berbeda, pH *gizzard*, kadar air ekskreta, kadar air digesta dan pengaruh enzim fitase untuk ayam petelur serta interaksinya

METODE

Metode Pernyataan Etik

Prosedur penelitian ini telah disetujui oleh Komisi Etik Hewan Fakultas Kedokteran Hewan Institut Pertanian Bogor Nomor 035/KEH/SKE/X/2022. Pemeliharaan dilakukan sesuai dengan kode etik kedokteran hewan Institut Pertanian Bogor dan penggunaan hewan untuk tujuan ilmiah.

Materi Penelitian

Penelitian ini menggunakan 180 ekor ayam petelur Hy-line Brown umur 75 minggu, didistribusikan ke dalam rancangan acak lengkap pola faktorial, = 2 x 2 terdiri dari 4 perlakuan dengan faktor A adalah ukuran partikel dan faktor B adalah dosis enzim fitase. Faktor A adalah K1 = Tepung batu kapur (<2 mm) dan P2 = Biji batu kapur (2-3,35 mm) dan faktor kedua (level enzim fitase) adalah F1 = 0 FTU dan Q2 = 1000 FTU. Ransum sesuai dengan kebutuhannya yang direkomendasikan oleh Hy-Line International (2019) dan pakan bentuk *mash*. Acid insoluble ash (AIA) dimasukkan pada semua diet sebagai indikator yang tidak dapat dicerna. Setiap perlakuan pakan terdiri atas 45 ekor ayam (9 ulangan dengan 5 ekor/ulangan). Kandang dilengkapi dengan *feeder trough* dan dua tempat air minum tipe nipple, ukuran petak kandang; lebar 55 cm, panjang 60 cm, dan tinggi 38 cm, dengan tipe kandang tertutup. Suhu lingkungan (°C) dipantau melalui termometer maksimum dan minimum digital. Foto periode 16 jam terang dan 8 jam gelap diterapkan pada penelitian ini. Pakan dan air minum disediakan *ad libitum*. Tepung dan biji batu kapur yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan 2 ukuran

yaitu tepung batu kapur (<2 mm) dan biji batu kapur (2-3,35 mm), dibeli dari sumber komersial lokal dengan batu kapur yang sama.

Prosedur Penelitian

Pakan diberikan ad-libitum, sehari 2 kali pada pagi jam 08.00 WIB dan sore jam 15.00 WIB. Penelitian dilaksanakan tiga hari untuk adaptasi dan empat hari untuk pengumpulan total ekskreta. Kotoran semua ayam dikumpulkan dua kali sehari. Pada hari terakhir semua ayam disembelih. Isi digesta bagian ileum (20 cm) dekat bagian sekum (5 cm di atas persimpangan ileocecal) dikumpulkan. Sampel ekskreta dan digesta disimpan dalam kantong plastik pada suhu -18 °C hingga akhir periode pengumpulan (empat hari). Sampel dihomogenkan dan di oven 60°C selama 48 jam. Selanjutnya sampel ekskreta dan digesta masing-masing digiling (partikel 0,5 mm) dan disimpan dalam plastik untuk analisis kimia.

Pengukuran pH gizzard

Setelah ayam dibedah, ampela diambil dan diukur pH menggunakan pH meter digital dengan memasukkan pH meter ke dalam digesta dalam lumen *gizzard* bagian atas (*proventrikulus* terbuka), sambil memastikan *probe* pH tidak menyentuh dinding *gizzard* dan terbaca *stable* pada alat pH meter.

Analisis kadar air ekskreta (AOAC 2019)

Wadah yang digunakan adalah cawan aluminium yang diukur berat nya. Ekskreta ayam (sampel) 50 gram dimasukkan dalam wadah dan ditimbang. Selanjutnya, wadah yang berisi sampel dimasukkan dalam oven 60°C selama 48 jam, kemudian ditimbang. Setelah pengeringan pada oven 60°C, dilanjutkan dengan pengeringan dengan oven 105°C. Cawan berisi sampel dimasukkan dalam oven 105°C selama 3 jam. Setelah 3 jam sampel diambil, kemudian diletakkan ke dalam desikator selama setengah jam kemudian ditimbang. KA total adalah KA 60°C dan KA 105°C.

Analisis kimia

Sampel yang representatif digunakan untuk mengevaluasi granulometri dan kelarutan in vitro dari masing-masing batu kapur. Kelarutan kalsium in vitro dari batu kapur ditentukan dengan menggunakan metode Zhang & Coon (1997). Diameter geometrik rata-rata (GMD) dan simpangan baku geometrik (GSD) batu kapur dilakukan. Sampel representatif dari pakan, ekskreta, dan digesta dianalisis untuk bahan kering (DM), Ca, P (AOAC 2016). AIA (Van Keulenand Young, 1977).

Perhitungan pencernaan kalsium

Koefisien pencernaan dari kalsium dihitung menggunakan rasio indikator (AIA) pada pakan dan *ileum* digesta (David et al. 2021) seperti yang ditunjukkan di bawah ini: $AIDC = 1 - [(AIAI/AIAO) \times (CaO/CaI)]$

Keterangan: AIDC adalah koefisien pencernaan ileal

kalsium atau fosfor, AIAI konsentrasi *Acid insoluble ash* dalam pakan, AIAO konsentrasi *Acid insoluble ash* dalam *ileum* digesta, CaO konsentrasi kalsium atau fosfor dalam *ileum* digesta dan CaI konsentrasi kalsium atau fosfor dalam pakan.

Koefisien ATTR kalsium dan fosfor dihitung menggunakan rasio indikator dalam pakan dan ekskreta seperti di bawah ini:

$$ATTR = 1 - [(AIAI/AIAE) \times (CaE/CaI)],$$

Keterangan: ATTR adalah koefisien pencernaan total dari kalsium atau fosfor, AIAI adalah konsentrasi indikator dalam pakan, AIAE adalah konsentrasi indikator dalam ekskreta, CaE adalah konsentrasi kalsium atau fosfor dalam ekskreta, dan CaI adalah konsentrasi kalsium dalam pakan.

Rancangan Percobaan dan Analisis Data

Rancangan percobaan adalah RAL faktorial 2 × 2 adalah T1 = Tepung batu kapur (<2 mm) dan T2 = Biji batu kapur (2-3,35 mm), dan faktor kedua (level enzim fitase) adalah Q1 = 0 FTU dan Q2 = 1000 FTU, menggunakan GLM prosedur SAS (SAS Inst. inc., Cary, NC) untuk menentukan pengaruh ukuran partikel batu kapur, enzim fitase dan interaksi mereka pada ayam petelur. Perbedaan dianggap signifikan pada p<0,05 dan perbedaan signifikan antara rata-rata dipisahkan dengan uji Beda Nyata Terkecil. Peubah yang diamati adalah pencernaan kalsium dan fosfor pada metode pencernaan total saluran pencernaan dan pencernaan ileal, pH *gizzard*, kadar air ekskreta, kadar air digesta pada ayam petelur umur 75 minggu.

Tabel 1 Formulasi dan kandungan pakan penelitian

Bahan pakan (%)	Perlakuan			
	P1Q1	P1Q2	P2Q1	P2Q2
Jagung	57,85	57,85	57,85	57,85
Bungkil Kedelai	27,80	27,80	27,80	27,80
CPO+STQN	2,50	2,50	2,50	2,50
Salt (L)	0,26	0,26	0,26	0,26
DL-Methionine 99%	0,17	0,17	0,17	0,17
Mineral Premiks ¹	0,20	0,20	0,20	0,20
Vitamin Premiks ²	0,06	0,06	0,06	0,06
Cairan CC 75%	0,08	0,08	0,08	0,08
Sodium Bikarbonat	0,08	0,08	0,08	0,08
Bentonit	2,00	2,00	2,00	2,00
Tepung Batu Kapur	9,00	9,00		
Biji Batu Kapur			9,00	9,00
Total	100	100	100	100
Fitase (FTU)		1000		1000
Kandungan nutrisi				
Protein kasar (%)	17,27	17,27	17,27	17,27
Energi (kkal kg ⁻¹)	2800	2800	2800	2800
Lemak kasar (%)	5,23	5,23	5,23	5,23
Serat kasar (%)	2,35	2,35	2,35	2,35
Kalsium (%)	3,53	3,53	3,53	3,53
Fosfor (%)	0,29	0,29	0,29	0,29
P. avl (%)	0,16	0,16	0,16	0,16

Tabel 2 Analisis kimia dan geometrik rata-rata batu kapur

Analisis	Tepung batu kapur	Biji batu kapur
	(<2 mm)	(2-3,35 mm)
Kandungan kalsium (%)	39,15	39,05
GMD (µm)	530	2730
GSD	1,48	1,34
Solubilitas		
5 menit (%)	63,79	16,70
15 menit (%)	91,78	43,98
30 menit (%)	93,96	71,92
Rata-rata	83,18	44,20

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ukuran dan Kandungan Kalsium Batu Kapur

Pada Tabel 2 terlihat kandungan kalsium yang dianalisis pada penelitian ini adalah, tepung batu kapur (39,15 %) dan biji batu kapur (39,50 %) dengan rata-rata kandungan kalsium sebesar 39,10 % mendekati yang ditentukan oleh Rostagno *et al.* (2017) yaitu 37,70 % dan oleh NRC (1994) yaitu 38 %. Hasil ini serupa dengan penelitian Wilkinson *et al.* (2013) dan oleh Browning *et al.* (2013) yaitu konsentrasi kalsium batu kapur yang digunakan berkisar antara 36 % dan 41,50 %. Diameter geometris rata-rata tepung batu kapur dan biji batu kapur pada penelitian ini masing-masing 530 µm dan 2730 µm, dengan simpangan baku geometris masing-masing 1,48 µm dan 1,34 µm. Rata-rata kelarutan in vitro tepung batu kapur dan biji batu kapur masing-masing adalah 83,18% dan 44,20%.

Kecernaan Kalsium dan Fosfor

Pada penelitian ini ukuran partikel mempengaruhi kecernaan kalsium pada total saluran pencernaan, lebih tinggi pada batu kapur dengan ukuran partikel <2mm sebesar 0,82 % daripada batu kapur ukuran besar yaitu 0,39 % ($p < 0,05$) (Tabel 3). Hasil tertinggi kecernaan kalsium pada ukuran partikel <2mm dengan enzim 0 FTU dan 1000 FTU yaitu 0,80 % dan 0,84 %, dibandingkan pada ukuran partikel batu kapur yang lebih besar (2-3,35 mm) dengan enzim 0 FTU dan 1000 FTU sebesar 0,37 % dan 0,40 %.

Ukuran partikel batu kapur tidak mempengaruhi kecernaan fosfor pada metode total koleksi saluran pencernaan. Sejalan dengan penelitian Diana *et al.* (2023) menggunakan batu kapur dengan nilai yang sedikit berbeda, diameter rata-rata geometris biji batu kapur 1998 µm dan tepung batu kapur 558 µm, pada ayam petelur umur 70 minggu, kecernaan kalsium pada total saluran pencernaan tepung batu kapur dan biji batu kapur masing-masing 0,65 % dan 0,48 %.

Tabel 3 Kecernaan total saluran pencernaan kalsium dan fosfor

Ukuran partikel	Perlakuan		Kalsium	Fosfor
	Enzim			
<2 mm	0 FTU		0,80 ± 0,07 ^a	0,19 ± 0,07
	1000 FTU		0,84 ± 0,03 ^a	0,20 ± 0,12
2-3,35 mm	0 FTU		0,37 ± 0,10 ^b	0,20 ± 0,12
	1000 FTU		0,40 ± 0,12 ^b	0,23 ± 0,10
Efek utama				
Ukuran Partikel:	<2 mm		0,82 ± 0,06 ^a	0,20 ± 0,07
	2-3,35 mm		0,39 ± 0,11 ^b	0,21 ± 0,11
Enzim:	0 FTU		0,59 ± 0,23	0,19 ± 0,10
	1000 FTU		0,62 ± 0,24	0,22 ± 0,09

^{ab}Superskrip berbeda pada kolom yang sama menunjukkan berbeda nyata ($p < 0,05$). Berdasarkan Tukey HSD

Kecernaan kalsium *ileal* lebih tinggi kecernaan tepung batu kapur (0,80 %) daripada biji batu kapur adalah 0,40 % ($p < 0,05$) (Tabel 4). Ukuran partikel batu kapur signifikan mempengaruhi kecernaan fosfor pada batu kapur 0,50 % dan biji batu kapur 0,20 % ($p < 0,05$) pada kecernaan fosfor *ileal*. Berbeda dengan penelitian David *et al.* (2021) dimana kecernaan kalsium dengan metode kecernaan *ileal* tepung batu kapur adalah 0,59 % dan biji batu kapur 0,58 % dengan diameter rata-rata geometric masing-masing 462 dan 1301 µm.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ayam petelur lebih efisien mencerna kalsium dari tepung batu kapur, dibandingkan dengan biji batu kapur. Tepung batu kapur menunjukkan nilai GMD yang lebih rendah, hal ini dapat mempengaruhi fungsi usus dan proses pencernaan, karena proses pencernaan partikel batu kapur pada ayam petelur mungkin berbeda dengan ayam broiler, mengingat proporsi batu kapur yang lebih tinggi dalam pakan ayam petelur (Liu *et al.* 2015). Ukuran partikel yang lebih halus meningkatkan luas permukaan kontak partikel per satuan volume, yang dapat meningkatkan efisiensi pencernaan dan penyerapan nutrisi (Diana *et al.* 2021).

Tabel 4 Kecernaan ileal kalsium dan fosfor

Ukuran partikel	Perlakuan		Kalsium	Fosfor
	Enzim			
<2 mm	0 FTU		0,76 ± 0,13 ^a	0,50 ± 0,20 ^a
	1000 FTU		0,85 ± 0,09 ^a	0,54 ± 0,23 ^a
2-3,35 mm	0 FTU		0,43 ± 0,20 ^b	0,20 ± 0,15 ^b
	1000 FTU		0,33 ± 0,12 ^b	0,31 ± 0,11 ^b
Efek utama				
Ukuran Partikel:	<2 mm		0,80 ± 0,12 ^a	0,52 ± 0,21 ^a
	2-3,35 mm		0,40 ± 0,18 ^b	0,26 ± 0,14 ^b
Enzim:	0 FTU		0,62 ± 0,23	0,35 ± 0,23
	1000 FTU		0,75 ± 0,23	0,42 ± 0,21

^{ab}Superskrip berbeda pada kolom yang sama menunjukkan berbeda nyata ($P < 0,05$). Berdasarkan Tukey HSD.

Partikel biji batu kapur lebih banyak diekskresikan, menjelaskan pencernaan kalsium yang rendah. Namun demikian, kurangnya korelasi yang jelas antara in vivo ukuran partikel dan enzim menunjukkan bahwa faktor-faktor lain seperti asal geologi, karakteristik kimia dan fisik serta distribusi ukuran partikel berpotensi juga penting untuk ketersediaan kalsium dari batu kapur dan dampaknya terhadap pencernaan fosfor. (Kim et al. 2019; Diana et al. 2021).

Pada penelitian ini penambahan enzim fitase pada ukuran batu kapur yang berbeda tidak meningkatkan pencernaan kalsium dan fosfor. Berbeda dengan penelitian sebelumnya oleh Kim et al. (2019) melaporkan peningkatan yang signifikan pada pencernaan dari batu kapur dengan 1000 FTU kg⁻¹ enzim fitase dalam pakan dan lokasi geologis dan komposisi kimia batu kapur akan berdampak pada koefisien pencernaan kalsium yang ditentukan. Sebuah studi sebelumnya oleh Kim et al. (2018) melaporkan bahwa pencernaan fosfor yang ditambah fitase (1000 FTU kg⁻¹ *Buttiauxella spp.* fitase) dipengaruhi oleh peningkatan konsentrasi kalsium tepung batu kapur, tetapi tidak pada biji batu kapur. Hal ini menunjukkan bahwa degradasi fitat maksimum dapat dicapai jika dosis fitase dapat digunakan sesuai berdasarkan sifat sumber kalsium dan konsentrasi fitat pada pakan (Kim et al. 2018). Gilani et al. (2022) menyarankan bahwa pengaruh ukuran partikel dan kelarutan pada kemanjuran fitase dalam hal pencernaan kalsium dan fosfor dapat bervariasi untuk sumber batu kapur yang berbeda dan mungkin tergantung pada faktor-faktor lain, seperti kandungan kalsium dan fosfor pada pakan.

Meningkatnya konsentrasi kalsium akan menurunkan pencernaan fosfor dan suplementasi fitase mampu membuat pencernaan meningkat (Bougouin et al. 2014). Enzim fitase meningkatkan pencernaan dan penyerapan dari energi dan mineral lain, termasuk kalsium, asam amino atau protein, dan serat (Truong et al. 2015), meningkatkan performa pertumbuhan ternak. Peningkatan pencernaan suatu nutrisi dengan penambahan fitase dapat memungkinkan penggunaan ransum dengan kandungan nutrisi yang dikurangi,

pengurangan nutrisi tanpa terjadi pengurangan kinerja bisa menjadi potensi untuk penghematan biaya bagi peternak, hal ini mampu menjadi jawaban tantangan dalam mengurangi biaya pakan dengan memaksimalkan pemanfaatan pakan (Dersjant Li et al. 2020). Fosfor yang lebih banyak diserap akan menurunkan jumlah fosfor yang terbuang melalui kotoran ternak juga akan mengurangi pencemaran lingkungan seperti *blooming algae*, pencemaran pada perairan dan pencemaran fosfat pada tanah yang akan menurunkan tingkat kesuburan tanah.

Pada pengumpulan sampel metode ileal menunjukkan ukuran partikel batu kapur berpengaruh terhadap pencernaan fosfor daripada metode total koleksi saluran pencernaan, hal ini dimungkinkan pada metode pengumpulan ekskreta total dapat menimbulkan hambatan dalam mengukur retensi nutrisi, karena peningkatan risiko kontaminasi sampel sehingga hasil pencernaan menjadi tidak aktual (Mutucumarana et al. 2014).

pH Gizzard

Ukuran partikel batu kapur terpengaruh terhadap pH gizzard (Tabel 5). pH lebih tinggi diperoleh pada batu kapur ukuran besar tanpa penambahan enzim 4,71 dan dengan penambahan enzim 4,66, dibandingkan dengan batu kapur berpartikel halus tanpa penambahan enzim 4,34 dan dengan penambahan enzim 4,33. Ege et al. (2019) melaporkan bahwa ketika ayam petelur diberi pakan dengan ukuran besar, pH *gizzard* lebih tinggi daripada ayam yang diberi makan pakan partikel halus. Sebaliknya pada penelitian Lee et al. (2021) pakan dengan kalsium ukuran batu kapur lebih kecil memiliki pH *gizzard* lebih tinggi daripada ayam yang diberi biji batu kapur pada ayam pedaging.

Pengurangan ukuran partikel menyebabkan peningkatan luas permukaan bahan, yang mengarah ke interaksi yang lebih erat dengan asam pencernaan dan enzim dalam saluran pencernaan. Kelarutan kalsium meningkat di lingkungan asam saluran pencernaan (Walk et al. 2012). Kelebihan kalsium mudah membentuk kompleks yang tidak larut dengan fitat

Tabel 5 pH *gizzard*, kadar air ekskreta, dan kadar air digesta ayam

Perlakuan		pH gizzard	Kadar air ekskreta	Kadar air digesta
Ukuran partikel	Enzim			
<2 mm	0 FTU	4,34 ± 0,34 ^{bc}	94,66 ± 0,39 ^{bc}	94,01 ± 0,26 ^b
	1000 FTU	4,33 ± 0,25 ^c	93,97 ± 0,98 ^c	93,98 ± 0,34 ^b
2-3,35 mm	0 FTU	4,71 ± 0,21 ^a	95,57 ± 0,44 ^a	94,73 ± 0,91 ^{ab}
	1000 FTU	4,66 ± 0,22 ^{ab}	95,21 ± 0,84 ^{ab}	94,83 ± 0,61 ^a
Efek utama Ukuran Partikel:	<2 mm	4,34 ± 0,29 ^b	94,32 ± 0,81 ^b	93,99 ± 0,28 ^b
	2-3,35 mm	4,69 ± 0,21 ^a	95,39 ± 0,68 ^a	94,78 ± 0,75 ^a
Enzim:	0 FTU	4,53 ± 0,33	95,12 ± 0,62 ^a	94,37 ± 0,75
	1000 FTU	4,50 ± 0,28	94,59 ± 1,09 ^b	94,40 ± 0,64

^{ab}Superskrip berbeda pada kolom yang sama menunjukkan berbeda nyata (P < 0,05). Berdasarkan Tukey HSD

mengakibatkan pH *gizzard* meningkat dan bahkan dapat mengendap dengan fosfor. Pada penelitian ini konsentrasi kalsium tinggi dari sampel digesta dan ekskreta pada perlakuan biji batu kapur. Sesuai dengan penelitian David *et al.* (2023) dimana konsentrasi kalsium pada pakan tinggi (bila disediakan dalam bentuk batu kapur) meningkatkan pH *gizzard*.

Kadar Air Ekskreta dan Digesta

Kadar air ekskreta tertinggi adalah pada ukuran partikel batu kapur 2-3,35 mm dengan enzim 0 FTU sebesar 95,57 % dan terendah pada ukuran partikel batu kapur <2mm dengan enzim 1000 FTU sebesar 93,97 %. Kadar air ekskreta yang tinggi pada perlakuan batu kapur tanpa penambahan enzim dimungkinkan masih tinggi kandungan fitat dalam saluran pencernaan ayam. Diketahui bahwa fitat memiliki kapasitas untuk mengkelat kation bermuatan positif, dan membentuk kompleks dengan pati dan protein atau asam amino. Sebagai konsekuensinya, fitase dapat melepaskan higroskopis yang berpotensi makromolekul organik berkontribusi terhadap meningkatkan kadar air ekskreta (Arguelles *et al.* 2020).

Ukuran partikel batu kapur digesta berpengaruh signifikan terhadap kadar air. Kadar air digesta tertinggi adalah biji batu kapur (94,83 %) dengan enzim 1000 FTU dibandingkan dengan tepung batu kapur dengan enzim 1000 FTU sebesar 93,98 % ($p < 0,001$). Penambahan enzim fitase dalam penelitian tidak berpengaruh terhadap kadar air digesta ($p < 0,001$). Pada penelitian ini tidak ada interaksi antara ukuran batu kapur dan enzim fitase terhadap kadar air digesta.

Kandungan kalsium pada ekskreta dan digesta perlakuan biji batu kapur lebih tinggi dibandingkan tepung batu kapur sehingga pencernaan tepung batu kapur pada penelitian ini signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan biji batu kapur. Sesuai dengan pernyataan Kaswarjono *et al.* (2016), bahwa konsentrasi kalsium yang tinggi dapat meningkatkan pH dalam usus sehingga mengakibatkan turunnya aktivitas fitase dan mengganggu kualitas litter dengan meningkatkan kadar air ekskreta. Selain itu, kualitas litter yang buruk sering dikaitkan dengan insiden dermatitis alas kaki (FPD), yang semakin mendapat perhatian pada industri ayam broiler. Selain ukuran partikel pakan, enzim dapat mempengaruhi ekskresi air sehingga mengurangi kadar air ekskreta (Świątkiewicz *et al.* 2017).

SIMPULAN

Ayam petelur lebih efisien dalam mencerna kalsium dari tepung batu kapur ukuran <2 mm, dibandingkan dengan biji batu kapur (2-3,35 mm). Partikel biji batu kapur lebih banyak diekskresikan. Fitase dan interaksi dengan ukuran tidak berpengaruh terhadap pencernaan kalsium dan fosfor, pH *gizzard*. Ukuran batu kapur 2-3,35 mm

berpengaruh terhadap peningkatan kadar air ekskreta dan digesta. Enzim fitase 1000 FTU dapat menurunkan kadar air ekskreta dan digesta.

DAFTAR PUSTAKA

- Abd El-Hack M, Alagawany M, Arif M, Emam M, Saeed M, Arain M, Siyal F, Patra A, Elnesr S, & Khan R. 2018. The uses of microbial phytase as a feed additive in poultry nutrition – a review. *Annals of Animal Science*. 18(3): 639-658.
- Adedokun SA, Peskalsiumtore AJ, Ford MJ Ao T, & Jacob JP. 2018. Investigating the effect of dietary calcium levels on ileal endogenous amino acid losses and standardized ileal amino acid digestibility in broilers and laying hens. *Poultry Science*. 97(1): 131-139. <https://doi.org/10.3382/ps/pex271>
- AOAC. 2016. Official Methods of Analysis. 20th ed. Washington DC(1D): Association of Official Analytical Chemists.
- An SH, Sung JY, & Kong, C. 2020. Ileal digestibility and total tract retention of phosphorus in inorganic phosphates fed to broiler chickens using the direct method. *Animals* 10(11): 2167.
- Anwar MN, Ravindran V, Morel C.H, Ravindran G, & Cowieson, AJ. 2016. Effect of limestone particle size and calcium to non-phytate phosphorus ratio on true ileal calcium digestibility of limestone for broiler chickens. *British Poultry Science*, 57(5): 707-713.
- Arguelles M, Nusairat B, Qudsieh R, & Brake J. 2020. Effects of phytase inclusion in broiler breeder diets during early lay on their fecal and egg characteristics. *Brazilian Journal of Poultry Science*. 22(1): 1-6
- Bougouin A, Appuhamy JADRN, Kebreab E, Dijkstra J, Kwakkel RP, & France J. 2014. Effects of phytase supplementation on phosphorus retention in broilers and layers: a meta-analysis *Poultry Science*, 93(8): 1981-1992.
- Browning LC, & Cowieson AJ. 2013. The concentration of strontium and other minerals in animal feed ingredients. *Journal of Applied Animal Nutrition* 2: 1-6.
- David LS, Abdollahi MR, Ravindran G, Walk CL, & Ravindran V. 2019. Studies on the measurement of ileal calcium digestibility of calcium sources in broiler chickens. *Poultry Science* 98 (11): 5582-5589.
- David LS, Abdollahi MR, Bedford MR, & Ravindran V. 2021. Comparison of the apparent ileal calcium digestibility of limestone in broilers and layers, *British Poultry Science* 62(6): 852-857
- David LS, Anwar MN, Abdollahi MR, Bedford MR & Ravindran V. 2023. Calcium nutrition of broilers: current perspectives and challenges. *Animals*. 13(10):1590.
- Dersjant-Li Y, Archer G, Stiewert AM, Brown AA, Sobotik EB, Jasek A, Marchal L, Bello A, Sorg RA, Christensen T, Kim HS, Mejdal R, Nikolaev I, Pricelius I, Haaning S, Sorensen JF, DeKreij A, & Sewalt V. 2020. Functionality of a next generation biosynthetic bacterial 6-phytase in enhancing phosphorus availability to broilers fed a corn-soybean meal-based diet. *Animal Feed Science and Technology*. 264: 1-7.
- Dersjant-Li Y, Millan C, Casabuena O, Quiles A, Romero LF, & Gracia MI. 2018. Supplementation of *Buttiauxella* sp. 6-phytase to commercial laying hen diets with reduced nutrient density on productive performance and egg quality. *Journal of Applied Animal Nutrition* 6 (e4):1-8.
- Diana TF, Calderano AA, Tavernari FC, Rostagno HS, Teixeira AO, & Albino LFT. 2021. Age and calcium sources in laying hen feed affect calcium digestibility. *Open Journal of Animal Sciences* 11(3): 501-513.
- Diana TF, Calderano AA, Rostagno HS, Rita M, Marques DL, De F, Tavernari C, Veroneze R, Fernando L, & Albino T. 2023. Apparent calcium retention and digestibility coefficients of limestone with different particle sizes in laying hens. *Animal Science and Pastures, Scientia Agricola*. (Piracicaba, Braz.) 80 : 1- 6
- Ege G, Bozkurt M, Koçer B, Tüzün AE, Uygun M & Alkan G. 2019. Influence of feed particle size and feed form on productive performance, egg quality, gastrointestinal tract traits, digestive enzymes, intestinal morphology, and nutrient digestibility of laying hens reared in enriched cages. *Poultry Science* 98(9):3787-3801.

- Świątkiewicz S, Arczewska-Włosek A, & Józefiak D. 2017. The nutrition of poultry as a factor affecting litter quality and foot pad dermatitis – an updated review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 101: e14–e20.
- Gilani, S, Mereu A, Li W, Plumstead PW, Angel R, Wilks G, & Y. Dersjant-Li Y. 2022. "Global survey of limestone used in poultry diets: Calcium content, particle size and solubility. *Journal of Applied Animal Nutrition* 10 (1): 19–30.
- Kaswarjono, YY, Nururrozi, A, Soedarmanto, Indarjulianto S. 2016. Fitat dan fitase: dampak pada hewan ternak. *Jurnal Ilmu-Ilmu Peternakan*. 26 (3): 59-78.
- Kim SW, Li W, Angel R, & Proszkowiec-Weglarz M. 2018. Effects of limestone particle size and dietary Ca concentration on apparent P and Ca digestibility in the presence or absence of phytase. *Poultry Science* 97 (12): 4306-4314.
- Kim SW, Li W, Angel R & Plumstead PW. 2019. Modification of a limestone solubility method and potential to correlate with in vivo limestone calcium digestibility. *Poultry Science* 98 (12): 6837-6848.
- Lalpanmawia H, Elangovan AV, Sridhar M, Shet D, Ajit h SP & al DT. 2014. Efficacy of phytase on growth performance, nutrient utilization and bone mineralization in broiler chicken. *Animal Feed Science and Technology* 192: 81–89.
- Lee SA, Febery E, Mottram T & Bedford MR. 2021. Growth performance, real-time gizzard pH and calcium solubility in the gut of broiler chickens is dependent on the interaction between dietary calcium concentration and limestone particle size. *British Poultry Science*. 62(6):827-834.
- Li X, Zhang D & Bryden WL. 2017. Calcium and phosphorus metabolism and nutrition of poultry: Are current diets formulated in excess?. *Animal Production Science* 57 (11) : 2304-2310
- Liu SY, Truong HH, & Selle, PH. 2015. Whole-Grain Feeding for Chicken-Meat Production: Possible Mechanisms Driving Enhanced Energy Utilisation and Feed Conversion. *Animal Production Science*, 55(5): 559-572.
- Mutucumarana RK, Ravindran V, Ravindran G & Cowieson AJ. 2014. Measurement of true ileal digestibility and total tract retention of phosphorus in corn and canola meal for broiler chickens. *Poultry Science* 93(2): 412-419.
- Nusairat B, Arguelles M & Brake, J. 2017. Effect of the phytase inclusion in broiler breeder diets on fecal and egg characteristics. *International Journal of Poultry Science*. 17(1): 1-7.
- NRC. 1994. Nutrient Requirements of Poultry, 9th rev. ed. Washington, DC (US): *National Academy Press*,
- Proszkowiec-Weglarz M & Angel R. 2013. Calcium and phosphorus metabolism in broilers: effect of homeostatic mechanism on calcium and phosphorus digestibility. *Journal of Applied Poultry Research* 22(3) : 609–627.
- Rostagno HS, Albino LFT, Hannas MI, Donzele JL, Sakomura NK, Perazzo FG & Brito, CO. 2017. Brazilian Tables for Poultry and Swine: Feed Composition and Nutritional Requirements. Santiago (CL) :Department of Animal Science-UFV, Viçosa, 488 p.
- Sahin K, Orhan C, Tuzcu M, Hayirli A, Komorowski JR & Sahin N. 2018. Effects of dietary supplementation of argininesilicate-inositol complex on absorption and metabolism of calcium of laying hens. *PLoS One* 13(1): e0189329.
- Shin S, Ha NC, Oh BC, Oh TK, & Oh BH. 2001. Enzyme mechanism and catalytic property of beta propeller phytase. *Structure*. 9(9): 851-858.
- Truong HH, Bold RM, Liu SY, & Selle PH. 2015. Standard phytase inclusion in maize-based broiler diet enhances digestibility coefficient of starch, amino acids, and sodium in four small intestinal segments and digestive dynamics of starch and protein. *Animal Feed Science and Technology*. 209: 240-248.
- Truong HH, Moss AF, Liu, SY, & Selle, P.H. 2017. Pre- and post-pellet whole grain inclusions enhance feed conversion efficiency, energy utilisation and gut integrity in broiler chickens offered wheat-based diets. *Animal Feed Science and Technology*, 224:115-123.
- Van Dijk KC, Lesschen JP & Oenema O. 2016. Phosphorus flows and balances of the European union member states. *Science of The Total Environment*. 542 (2): 1078-1093
- Walk C L, Bedford MR & Mcelroy AP. 2012. Influence of limestone and phytase on broiler performance, gastrointestinal pH, and apparent ileal nutrient digestibility. *Poultry Science* 91(6): 1371–1378.
- Wilkinson SJ, Ruth B, & Cowieson AJ. 2013. Mineral Composition of Calcium Sources Used by the Australian Poultry Feed Industry. *24th Annual Australian Poultry Science Symposium*, 24: 45-47.