

## CALCIUM ABSORPTION KINETIC ON INDONESIAN RICE

Chatarina Wariyah<sup>1,\*</sup>, Mary Astuti<sup>1</sup>, Supriyadi<sup>1</sup> and Chairil Anwar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Food Science, Faculty of Agricultural Technology,  
Gadjah Mada University, Jl. Sosio Yustisia, Bulaksumur, Yogyakarta 55281, Indonesia

<sup>2</sup>Department of Chemistry, Faculty of Mathematic and Natural Science,  
Gadjah Mada University, Sekip Utara, Yogyakarta 55281, Indonesia

Received 17 March 2008; Accepted 7 April 2008

### ABSTRACT

Calcium absorption kinetic from three varieties rice i.e. low-, medium-, and high amylose content were evaluated. Three calcium salt (calcium acetate, -lactate and - gluconate) were used as a fortifican. Each rice was soaked at the calcium salts at soaking temperatures of 80, 90 and 100 °C, for 30 min and the calcium content was analyzed periodically. Reaction rate constant was determined from slope of curve of the relation of soaking time and absorbed calcium. The activation energy was determined by Arrhenius equation. The research showed that rice calcium absorption follows the first-order kinetic and absorption rate tends to decrease with increasing temperature. Calcium absorptions were affected by calcium salt solubility. Calcium acetate was absorbed easier than calcium lactate and calcium lactate was absorbed easier than calcium gluconate, but the absorption rate constant of calcium acetate was lower than that of calcium lactate, and calcium lactate was lower than calcium gluconate. Based on amylose content of rice, the higher the amylose content, the lower calcium absorption rate. The activation energy of the high amylose rice was higher than that of low amylose content.

**Keywords:** amylose content, calcium absorption, reaction kinetic, calcium salt.

### PENDAHULUAN

Kalsium (Ca) merupakan makromineral esensial dalam tubuh. Dalam tubuh terdapat sekitar 1250 g atau 31 mol kalsium pada orang dengan berat badan 70 kg [1]. Sebanyak 99 % kalsium ada di dalam tulang dan terikat sebagai matriks kristal hidroksi apatit, dan sekitar 1% ada dalam cairan intraseluler dan ekstraseluler.

Kecukupan asupan kalsium penting untuk pembangunan massa tulang maupun kelancaran reaksi metabolisme yang terkait dengan fungsi kalsium. Fungsi utama kalsium adalah sebagai penyusun struktur rangka/tulang dan berperan dalam metabolisme tubuh mengatur keseimbangan asam basa dalam darah [2], kofaktor beberapa enzim [3] dan transmisi impuls syaraf, kontraksi otot, koagulasi darah, sekresi hormon dan adhesi interseluler [1]. Oleh karena itu, kekurangan kalsium dapat mengakibatkan ketidaknormalan tulang seperti osteomalacia (tulang lunak), osteoporosis [4], dan timbulnya penyakit degeneratif seperti hipertensi, diabetes [5,6], dan kanker kolon [7,8].

Asupan kalsium rata-rata masyarakat Indonesia saat ini baru mencapai 254 mg/ hari-orang [9]. Berdasarkan standar internasional angka anjuran kecukupan asupan kalsium adalah 800-1200 mg/hari-orang dewasa. Menurut hasil Widya Karya Nasional Pangan dan Gizi (WKNPG) tahun 2000, anjuran asupan kalsium bagi masyarakat Indonesia adalah 600 mg. Standar yang telah ditetapkan tersebut kemudian direvisi, untuk keperluan pemenuhan minimal standar

internasional. Nilai asupan diperbaiki dan ditingkatkan menjadi 800 mg/hari-orang pada saat WKNPG 2004 [10].

Rendahnya asupan kalsium masyarakat Indonesia disebabkan karena konsumsi makanan kaya kalsium seperti susu hanya 20 g per hari-orang atau dengan kontribusi asupan kalsium 30 mg per hari-orang [11]. Suplemen berkalsium banyak dikonsumsi masyarakat untuk menutupi kekurangan Ca sehari-hari, namun harganya sangat tinggi, yang hanya terjangkau masyarakat tertentu saja. Oleh karena itu, perlu dilakukan fortifikasi kalsium pada bahan pangan yang banyak dikonsumsi masyarakat, antara lain beras yang ada di pasaran yaitu beras dengan amilosa rendah, sedang dan tinggi.

Indonesia yang makanan pokok penduduknya adalah beras, fortifikasi kalsium pada beras berpeluang menanggulangi kekurangan kebutuhan kalsium sejak dini. Selain tidak merubah pola makan, kandungan kalsium beras masih  $\leq 6$  mg/100g [12], sehingga masih berpotensi untuk ditingkatkan. Fortifikasi kalsium pada beras telah dilakukan dengan cara perendaman dalam Ca-laktat 0,5–3% dilanjutkan dengan *steaming* 10 menit, dihasilkan peningkatan kalsium beras sekitar 50-100 mg/100 g beras [13, 14]. Retensi kalsium dalam beras ternyata tinggi meskipun telah dilakukan pencucian, diperkirakan  $\text{Ca}^{2+}$  terperangkap dalam gel yang terbentuk saat *steaming* dan terjadi interaksi  $\text{Ca}^{2+}$  dengan molekul pati. Fortifikasi kalsium pada beras C-4 dilakukan dengan perendaman pada larutan kalsium laktat 3%, dilanjutkan dengan *steaming* dan

\* Corresponding author. Tel/Fax : +62-274-544716  
Email address : pasca\_ftpugm@ugm.ac.id

pengeringan sampai mencapai kadar air 10-11%. Produk fortifikasi beras C-4 mengandung kalsium antara 150 -200 mg/100 g beras [15].

Di Indonesia, beras (*non waxy rice*) yang ada di pasaran dikelompokkan menjadi beras dengan amilosa rendah (kadar amilosa < 20%), sedang (20-25%) dan tinggi (kadar amilosa >25%) [16]. Perbedaan kadar amilosa akan mempengaruhi kemampuan absorpsi air. Beras dengan amilosa rendah relatif lebih mudah menyerap air dari pada beras dengan amilosa tinggi [17-19], sehingga diperkirakan akan lebih mudah menyerap kalsium.

Selain dipengaruhi kandungan amilosa, absorpsi juga ditentukan oleh kelarutan garam kalsium. Garam kalsium yang mempunyai kelarutan tinggi akan lebih mudah diabsorpsi [20]. Pada proses niktamalisasi jagung menggunakan larutan  $\text{Ca(OH)}_2$  0,016 M, pada awal perendaman  $\text{Ca}^{2+}$  akan masuk ke dalam perikarp. Selanjutnya masuk ke bagian endosperm setelah perendaman beberapa jam seiring dengan rusaknya struktur biji [21].

Absorpsi kalsium ke dalam biji beras menggunakan air sebagai media difusi [13, 14]. Air dan zat terlarut di dalamnya akan berinteraksi dengan komponen bahan makanan seperti karbohidrat, protein dan komponen hidrofilik lainnya melalui ikatan hidrogen, dipol-dipol dan ionik-dipol [22]. Beberapa peneliti telah mencoba menurunkan informasi dasar kinetika pada suatu sistem untuk memperkirakan perubahan dalam bahan makanan selama pengolahan dan penyimpanan, termasuk penerapan model kinetika untuk mengevaluasi perubahan kimia dalam bahan makanan [23]. Untuk itu dibutuhkan persamaan matematis untuk memprediksi perubahan kualitas yang disebabkan reaksi tertentu. Persamaan matematis yang dapat digunakan untuk menentukan laju reaksi adalah :

$$v = \frac{-dc}{dt} = k \cdot [c]^n \quad (1)$$

v adalah laju reaksi, k konstanta laju reaksi, c konsentrasi reaktan, t waktu dan n adalah orde reaksi. Apabila persamaan tersebut diintegrasikan akan diperoleh persamaan reaksi untuk orde nol, yaitu :

$$c = c_0 - kt \quad (2)$$

$c_0$  adalah konsentrasi reaktan mula-mula (c pada t = 0). Sedangkan untuk reaksi orde satu persamaannya adalah :

$$c = c_0 \exp(-kt) \text{ atau } \ln c = \ln c_0 - kt \quad (3)$$

Reaksi memiliki orde nol apabila bentuk kurva linear atau laju reaksi tetap, sedangkan reaksi ordennya satu bila bentuk kurva eksponensial atau laju reaksi tidak tetap. Pada proses fortifikasi kalsium, laju absorpsi kalsium dapat digunakan untuk menghitung kadar kalsium target yang diinginkan.

Untuk keperluan pemenuhan kecukupan kalsium oleh masyarakat Indonesia dapat dilakukan melalui fortifikasi beras yang ada di pasaran. Oleh karena itu,

pada penelitian ini dipelajari kinetika absorpsi kalsium dari tiga macam garam yang berbeda pada beras yang diproduksi di Indonesia.

## METODOLOGI

### Bahan

Gabah amilosa rendah, sedang, dan tinggi masing-masing diwakili oleh Memberamo, Ciherang dan IR-42 diperoleh dari Balitpa Sukamandi, Subang. Gabah digiling dan disosoh dua kali dengan penggiling padi *rice polisher* Daichi N50. Beras yang utuh selanjutnya digunakan sebagai bahan penelitian. Garam kalsium yang digunakan adalah kalsium asetat (Merck), kalsium laktat (Sigma) dan kalsium glukonat (Brataco Chemika). *Deionized water* digunakan sebagai pelarut.

### Alat

Peralatan yang digunakan terdiri dari *shaker waterbath* (Kotterman), termokopel (Hanna Instruments HI 92704C K- Thermocouple), oven, seperangkat alat titrasi, dan *Brabender Amilography* (Visco amilograph model RV Wingather V2.5, Brookfield Engineering Laboratories, Inc.).

### Prosedur

#### Absorpsi kalsium pada beras

Pengujian kinetika mengacu pada prosedur penelitian Morales *et al.* [24]. Beras direndam dalam larutan kalsium (kalsium asetat, kalsium laktat, kalsium glukonat) pada suhu 80, 90, dan 100 °C selama 0-30 menit. Perendaman dilakukan dengan cara beras dimasukkan ke dalam gelas beker berisi larutan garam kalsium yang telah dipanaskan sampai mencapai suhu yang diinginkan. Selanjutnya sampel tersebut ditempatkan dalam *shaker waterbath* dan suhu dikontrol dengan termokopel. Setiap interval waktu tertentu diambil satu sampel (satu gelas beker) untuk dianalisa kadar kalsiumnya. Konsentrasi larutan garam yang digunakan bervariasi dari 100 hingga 150 mg Ca/200 mL; sedangkan rasio beras - garam yang dipelajari adalah 1:1 hingga 1:2,5. Laju reaksi ditentukan berdasarkan grafik hubungan antara lama perendaman dan kalsium yang diserap untuk setiap jenis garam yang digunakan, sedangkan energi aktivasi ditentukan dengan persamaan Arrhenius [25] yaitu :

$$k = k_0 \cdot e^{-E_a/RT} \quad (4)$$

k adalah konstanta laju reaksi,  $k_0$  faktor pra-eksponensial, R : tetapan gas, T : temperatur dalam °K dan  $E_a$  : energi aktivasi. Persamaan Arrhenius bila dinyatakan dalam hubungan  $\ln k$  dengan  $1/T$ , maka kurva berbentuk linear (garis lurus) dengan slope  $E_a/R$  dan persamaannya adalah :

$$\ln k = \ln k_0 - E_a/RT \quad (5)$$

### Analisis

Terhadap ketiga jenis beras dilakukan analisa, (1) kadar air dengan metode gravimetri [26], (2) kadar pati dengan *Direct Acid Hydrolysis* [26], (3) amilosa dengan metode pengikatan Iod [27], (4) Ca dengan metode titrasi [28] dan (5) suhu gelatinisasi dengan Brabender Amilography.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Sifat beras

Kandungan amilosa beras Memberamo (amilosa rendah), Ciherang (amilosa sedang) dan IR-42 masing-masing 18,30; 25,96; dan 29,63 %bk; kadar air 12,65; 12,88 dan 12,87 %bk; pati 86,13; 88,00 dan 84,05 %bk serta kadar Ca 4,92; 4,36 dan 5,02 %bk [18].

Kadar air beras hampir sama, namun kandungan pati beras amilosa sedang (Ciherang) paling tinggi, yakni mencapai 88,00 %bk. Kandungan pati yang tinggi akan berpengaruh terhadap kemampuan absorpsi air, struktur granula lebih rapat dan rigid, sehingga kemampuan *swelling* rendah dan suhu gelatinisasi meningkat [17]. Hasil penelitian menunjukkan suhu gelatinisasi beras amilosa rendah, sedang dan tinggi masing-masing 63,00; 72,50 dan 63,40 °C. Secara alamiah, ketiga sampel beras telah mengandung kalsium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) meskipun relatif rendah, yakni  $\leq 5,02$  mg/100 g. Data tersebut selaras dengan pendapat yang menyatakan kandungan Ca rata-rata beras giling adalah kurang 6 mg  $\text{Ca}^{2+}/100$  g bahan [12].

### Pengaruh konsentrasi larutan garam kalsium dan rasio beras/larutan kalsium

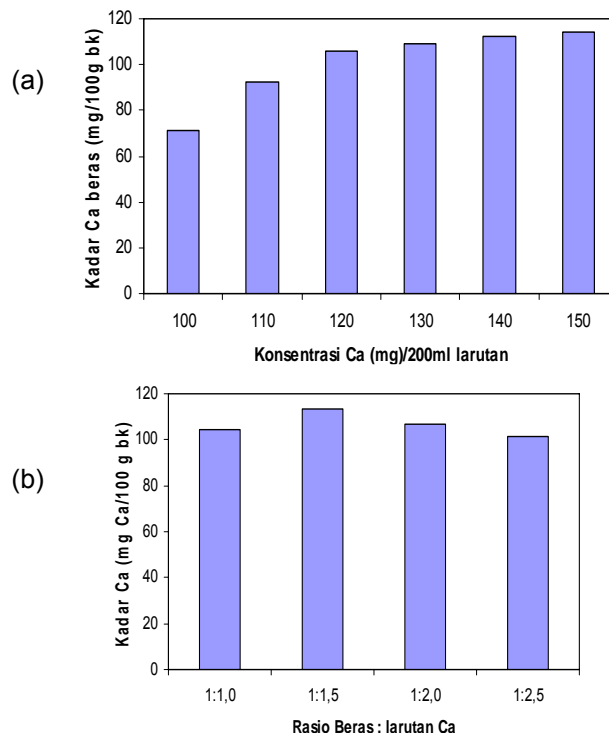
Gambar 1(a) menunjukkan kadar  $\text{Ca}^{2+}$  dalam beras Ciherang (amilosa sedang) yang dapat dicapai pada berbagai konsentrasi larutan Ca-laktat dan suhu perendaman 90 °C selama 20 menit. Rasio beras dan larutan Ca-laktat adalah 1:2. Pada larutan yang mengandung  $\text{Ca}^{2+}$  120 mg sudah diperoleh beras dengan kadar  $\text{Ca}^{2+}$  105,76 mg/100 g bk. Pada Gambar 1(b) menunjukkan kadar  $\text{Ca}^{2+}$  pada rasio beras/larutan Ca-laktat 1:1; 1:1,5; 1:2 dan 1:2,5 masing-masing menghasilkan beras dengan kadar  $\text{Ca}^{2+}$  104,47; 113,34; 106,68 dan 101,15 mg/100 g bk, sedangkan rasio beras: larutan kalsium 1 : 1,5 dihasilkan kadar kalsium 113,34 mg/100 g beras. Oleh karena itu pada konsentrasi dan rasio tersebut dipilih untuk merendam beras. Optimasi konsentrasi dan rasio beras/larutan Ca-laktat pada fortifikasi beras juga telah dilakukan, namun perendaman dilakukan pada suhu kamar [13]. Konsentrasi yang dipakai adalah 0,5, 1,2 dan 3 %, sedang rasio beras/larutan Ca-laktat : 1:0,5, 1: 0,75, 1: 1, 1:1,5 dan 1:2,5 (b/v) dengan lama perendaman antara

0,5 sampai 10 jam. Hasil penelitian menunjukkan perendaman beras selama 3 jam dalam larutan Ca-laktat 3 % dengan rasio beras/larutan Ca-laktat 1:0,75 (b/v) dan ternyata dapat menaikkan kandungan  $\text{Ca}^{2+}$  beras dari 63,60 mg/100 g menjadi 134,40 mg/100 g. Hasil penelitian yang lain menyatakan bahwa perendaman beras dalam larutan Ca-laktat dengan rasio 1:0,75, selama 3 jam pada suhu kamar merupakan kondisi yang tepat untuk fortifikasi, karena tidak menghasilkan sifat indrawi yang tidak dikehendaki serta kenaikan kandungan  $\text{Ca}^{2+}$  dalam beras dari 102,35 menjadi 226,38 mg/100 g [14].

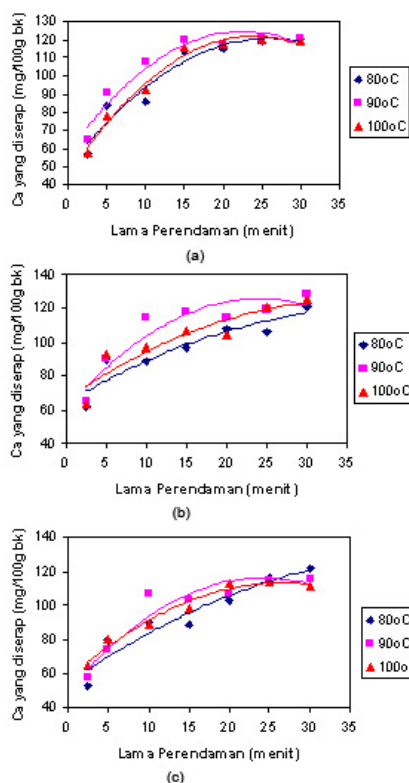
Penetrasi  $\text{Ca}^{2+}$  ke dalam biji pada awal perendaman jumlahnya sangat sedikit dan terbatas pada bagian perikarp, bila perendaman semakin lama jumlah kalsium yang diserap akan semakin banyak sampai ke bagian endosperm seiring dengan rusaknya integritas struktur biji [21].

### Kinetika absorpsi kalsium

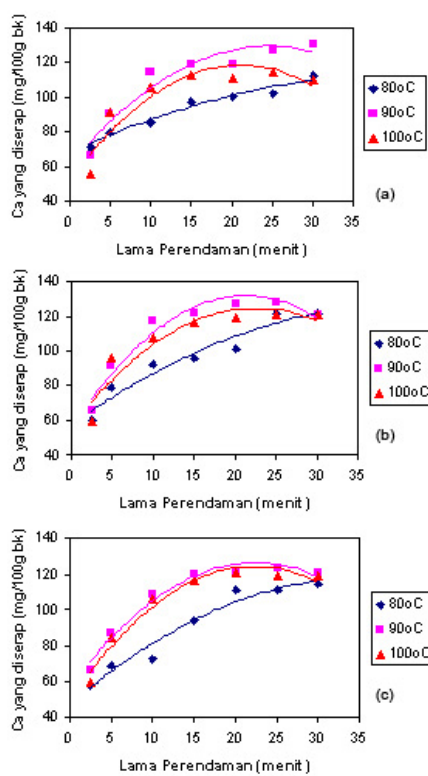
Gambar 2 - 4 menunjukkan pola absorpsi kalsium asetat, kalsium laktat dan kalsium glukonat pada beras amilosa rendah, sedang dan tinggi.



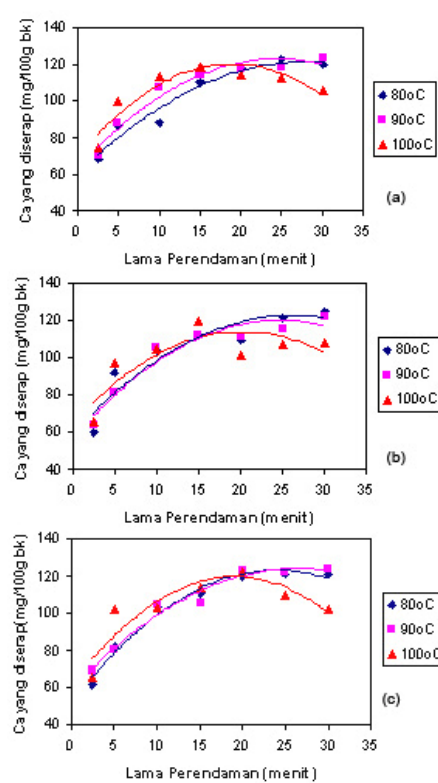
**Gambar 1.** Kadar kalsium pada beras amilosa sedang (Ciherang) yang direndam dengan kalsium laktat. (a) Pengaruh konsentrasi kalsium, perendaman selama 20 menit pada suhu 90 °C. (b) Pengaruh rasio beras dan kalsium laktat.



**Gambar 2.** Pola absorpsi kalsium pada beras amilosa rendah (Memberamo) dengan (a) Ca-asetat, (b) Ca-laktat dan (c) Ca-glukonat.



**Gambar 3.** Pola absorpsi kalsium pada beras amilosa sedang (Ciherang) dengan (a) Ca-asetat, (b) Ca-laktat dan (c) Ca-glukonat.



**Gambar 4.** Pola absorpsi kalsium pada beras amilosa tinggi (IR-42) dengan (a) Ca-asetat, (b) Ca-laktat dan (c) Ca-glukonat.

Tampak bahwa semakin tinggi kadar amilosa maka laju absorpsi semakin turun. Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh laju absorpsi air, karena air digunakan sebagai media difusi. Sesuai hasil penelitian sebelumnya, pada suhu di atas gelatinisasi, makin tinggi kadar amilosa absorpsi air semakin turun [18]. Selain itu beras dengan amilosa tinggi strukturnya lebih rapat. Oleh karena itu semakin tinggi kadar amilosa, penetrasi air ke dalam beras semakin sukar yang mengakibatkan absorpsi kalsium semakin rendah.

Berdasarkan pola absorpsi dan koefisien korelasinya ( $r$ ), maka absorpsi kalsium (asetat, laktat, glukonat) pada beras amilosa rendah, sedang dan tinggi berlangsung dengan laju tidak tetap atau reaksi orde 1. Artinya bahwa semakin lama perendaman absorpsi kalsium semakin tinggi, namun pada periode waktu tertentu lajunya mencapai konstan. Pada penelitian ini didapatkan bahwa absorpsi mencapai puncak pada perendaman 25 menit. Penelitian ini sejalan dengan proses niktamalisasi menggunakan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  pada suhu  $85^\circ\text{C}$  selama 0 - 24 jam, absorpsi  $\text{Ca}^{2+}$  makin meningkat dengan makin lama perendaman dan absorpsi  $\text{Ca}^{2+}$

berlangsung secara eksponensial [21]. Pada proses perendaman paprika merah dalam larutan garam yang mengandung  $\text{CaCl}_2$  0,7 % dan  $\text{NaCl}$  0,84 % pada suhu  $25-55^\circ\text{C}$  selama 0,25-8 jam, peningkatan kadar  $\text{Ca}^{2+}$  berlangsung secara non linear [29].

Pada penelitian ini konstanta laju absorpsi kalsium (asetat, laktat, glukonat) pada tiga varietas beras disajikan pada Tabel 1. Absorpsi kalsium ke dalam beras kurang sejalan dengan absorpsi air yaitu makin tinggi suhu absorpsi makin besar [18]. Pada

**Tabel 1.** Konstanta laju absorpsi kalsium pada beras (mg/100g bk/menit)

Beras	Suhu Perendaman ( $^\circ\text{C}$ )	Ca-asetat	Ca-laktat	Ca-glukonat
Amilosa rendah	80	1,0238	1,0189	1,0250
	90	1,0184	1,0190	1,0216
	100	1,0188	1,0132	1,0192
Amilosa sedang	80	1,0199	1,0229	1,0249
	90	1,0205	1,0187	1,0188
	100	1,0182	1,0193	1,0211
Amilosa tinggi	80	1,0198	1,0204	1,0215
	90	1,0176	1,0197	1,0202
	100	1,0108	1,0102	1,0113

absorpsi kalsium laju absorpsi sampai suhu 100 °C cenderung turun. Menurut Horigane dkk. [30], pada beras yang direndam pada suhu 100 °C terjadi proses gelatinisasi yang menyebabkan granula *swelling*, sehingga dapat menghambat penetrasi air ke dalam beras. Akibatnya absorpsi kalsium ke dalam biji beras juga terhambat. Selain itu juga terjadi pelarutan amilosa dan rusaknya bagian kristalin, apabila pemanasan berlanjut amilosa akan mengalami *leaching* [31,32]. Pada saat *leaching*, kalsium yang sudah terabsorpsi diduga akan ikut keluar dari jaringan.

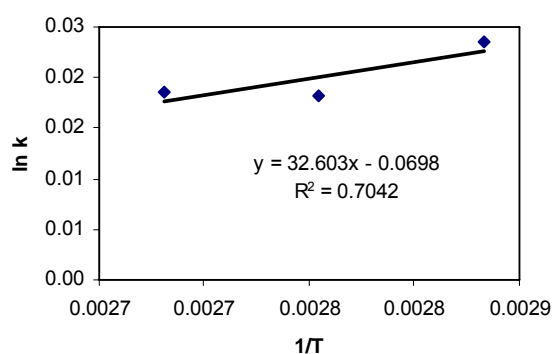
Pengaruh jenis garam kalsium yang digunakan (Ca-asetat, Ca-laktat dan Ca-glukonat) terhadap konstanta laju absorpsi kalsium ternyata sangat kecil. Konstanta laju absorpsi garam kalsium yang digunakan dapat dinyatakan bahwa Ca-asetat < Ca-laktat < Ca-glukonat. Fenomena ini kontradiksi dengan berat molekulnya. Berat molekul kalsium asetat, laktat dan glukonat masing-masing adalah 158,17; 308,32 dan 430,40. Namun garam Ca-asetat menunjukkan lebih mudah diserap pada awal proses (data tidak disampaikan) dan didukung dengan nilai  $E_a$  paling kecil di antara garam yang lain (Tabel 2), akan tetapi selanjutnya konstanta laju absorpsinya paling rendah. Molekul garam ion dengan ukuran kecil akan lebih mudah terdifusi daripada yang berukuran besar [29]. Selain itu pada niktamalisasi biji jagung, absorpsi kalsium ke dalam biji lebih mudah bila kelarutan garam tinggi [21]. Ditemukan pula bahwa pada tahap awal absorpsi  $Ca^{2+}$  ke bagian perikarp biji jagung berlangsung cepat, selanjutnya kecepatannya tergantung pada tingkat kerusakan biji akibat perendaman. Kelarutan kalsium asetat, kalsium laktat dan kalsium glukonat, masing-masing 75, 9 dan 3 g  $Ca^{2+}$ /L air [33]. Oleh karena itu Ca-asetat lebih mudah diserap daripada Ca-laktat dan glukonat.

Untuk menentukan energi aktivasi pada pada tiap jenis beras dan garam kalsium digunakan persamaan Arrhenius ( $k = k_0 \cdot e^{-E_a/RT}$ ). Persamaan tersebut akan memberikan persamaan garis lurus dari hubungan  $\ln k$  ( $\ln$  konstanta laju reaksi) dengan  $1/T$  (°K) dan  $E_a/R$  sebagai slope, R adalah tetapan gas (1,986 kal/mol °K), sehingga energi aktivasi dapat ditentukan. Gambar 5 menunjukkan hubungan  $\ln k$  dengan  $1/T$  pada beras amilosa rendah yang difortifikasi dengan Ca-asetat, yang persamaan garis lurus  $\ln k = k_0 - E_a/R$ .  $1/T$  adalah:  $y = 32,603x - 0,0698$ , ko adalah intersep,  $E_a/R$  adalah slope, sehingga nilai  $E_a$  sama dengan 64,75 kal/mol. Nilai slope berharga positif menunjukkan bahwa bila suhu perendaman makin tinggi, maka absorpsi kalsium makin rendah. Dengan perhitungan yang sama, maka energi aktivasi ( $E_a$ ) tiap jenis beras dan garam kalsium seperti pada terlihat pada Tabel 2.

Pengaruh suhu terhadap nilai  $E_a$  beras menunjukkan bahwa nilai  $E_a$  beras amilosa rendah lebih kecil dibandingkan dengan beras amilosa tinggi. Nilai  $E_a$  tidak berkaitan dengan kandungan amilosa. Hal ini

**Tabel 2.** Energi aktivasi absorpsi kalsium pada beras Indonesia

Varietas beras	Garam kalsium	Persamaan garis ( $\ln k = \ln k_0 - E_a/RT$ )	$E_a$ (kal/mol)
Amilosa rendah	Ca-asetat	$y = 32,603x - 0,0698$	64,75
	Ca-laktat	$y = 36,496x - 0,0837$	72,48
	Ca-glukonat	$y = 37,571x - 0,0819$	74,61
Amilosa sedang	Ca-asetat	$y = 11,071x - 0,0113$	21,99
	Ca-laktat	$y = 23,327x - 0,0442$	46,33
	Ca-glukonat	$y = 31,511x - 0,0652$	62,58
Amilosa tinggi	Ca-asetat	$y = 68,727x - 0,0174$	136,49
	Ca-laktat	$y = 61,369x - 0,1523$	121,88
	Ca-glukonat	$y = 66,008x - 0,8327$	131,09



**Gambar 5.** Hubungan antara  $\ln k$  dengan  $1/T$  pada beras amilosa rendah yang difortifikasi dengan Ca-asetat.

kemungkinan disebabkan karena beras dengan amilosa rendah (amilopektin tinggi) rantai cabangnya lebih banyak, strukturnya lebih porous dibanding beras amilosa tinggi [17], sehingga  $Ca^{2+}$  lebih mudah diikat oleh molekul pati, sedang pada beras amilosa sedang  $E_a$  nya paling rendah, kemungkinan disebabkan tingginya kadar pati, sehingga memudahkan  $Ca^{2+}$  untuk berikatan. Kecenderungan nilai  $E_a$  untuk Ca-asetat lebih kecil dari pada garam lainnya, kecuali pada beras dengan kandungan amilosa tinggi, menunjukkan bahwa garam Ca-asetat yang kelarutannya paling tinggi lebih mudah diserap dibandingkan garam kalsium yang lainnya.

## KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa absorpsi kalsium pada beras mengikuti reaksi orde 1 dan laju absorpsi cenderung turun dengan meningkatnya suhu. Namun pada tahap awal, absorpsi kalsium tinggi dengan meningkatnya suhu. Absorpsi kalsium dipengaruhi oleh kelarutan garam kalsium. Garam kalsium dengan kelarutan tinggi cenderung lebih mudah diserap. Berdasarkan varietasnya, makin tinggi kadar amilosa beras, laju absorpsi kalsium cenderung lebih rendah.

## DAFTAR PUSTAKA

1. McCarthy, J.T. and Kumar, R., 2004 in *Divalent Cation Metabolism : Calcium*, www.kidneyatlas.org.
2. Suitor, C.J. and Kumar, R., 2004 in *Nutrition Principles and Application in Health Promotion*, J.B. Lippincot Co, Philadelphia, p. 250.
3. Walker, A.F. and Rolls, B.A., 1992 in *Nutrition and The Consumer : Issues in Nutrition and Toxicology1*, Elsevier Applied Science, London and New York, p. 69.
4. Guthrie, H.A., 1983 in *Introductory Nutrition*, The C.V. Mosby Company, St. Louis, Toronto, London, p. 146-147.
5. Narayan, K.M.V., Hanson, K.L., Smith, C.J., Nelson, R.G., Gyenizse, S.B., Pettitt D.S. and Knowler, W.C., 1998, *J. Am. College of Nutr.*, 7, 59-64.
6. Grunfeld, B., Gimenez, M., Romo, M., Rabinonch L. and Simsolo, R.B., 1995 in *Adollescent Offspring of Essensial Hypertensive Parents*, Hypertension, American Heart Association Inc., 26, 1070-1073.
7. Baron, J.A., Mandel, J.S., van Stolk, R.U., Haile, R.W., Sandler, R.S., Rothstein, R., Summers, R.W., Snover, D.C., Beck, G.J., Bond J.H. and Green Berg, E.R., 1999, *The New England J. Med.*, 2, 101-107.
8. Wu, K., Willet, W.C., Fuchs, C.S., Colditz G.A. and Giovannucci, E.L., 2002, *J. National Cancer Institute*, 6, 437-447.
9. Anonim, 2004, in *Osteoporosis Keropos Tulang yang makin Populer*, IDI Online.Org.
10. Kartono, D. and Soekarti, M., 2004 in *Angka Kecukupan Gizi Mineral: Kalsium, Fosfor, Magnesium, Besi, Yodium, Seng, Selenium, Mangan dan Flour*, Widya Karya Nasional Pangan dan Gizi VIII, LIPI, Jakarta.
11. Khomsan, A., 2003 in *Budaya Minum Susu dan Peringkat SDM Kita*, Tabloid Senior, 22 Mei 2003.
12. Anonim, 1981 in *Daftar Komposisi Bahan Makanan*, Bhratara Karya Aksara, Jakarta, hal. 16.
13. Lee, M.H., Hettiarachchy, N.S., Gnanasambandam, R. and McNew. R.W., 1995, *Cereal Chem.*, 4, 352-355.
14. Hettiarachchy, N.S., Gnanasambandam, R. and Lee, M.H., 1996, *J.Food Sci.*, 1, 195-197.
15. Suyitno and Wariyah, Ch., 2004 in *Metode Pengolahan Beras Siap Tanak Berkalsium Tinggi untuk Nasi Putih, Nasi Gurih dan Nasi Kuning*, Program Oleh paten, Kementerian Riset dan Teknologi Republik Indonesia, dalam proses pendaftaran ke Departemen Kehakiman Republik Indonesia.
16. Arraullo, E.V., De Padua, D.B. and Graham, M., 1976 in *Rice Postharvest Technology*, International Development Research Centre, Ottawa, p. 16.
17. Lii, Y. C., Tsai, M. L. and Tseng, K.H., 1996, *Cereal Chem.*, 4, 415-420.
18. Wariyah, Ch., Anwar, C., Astuti, M. and Supriyadi, 2008/in press *Agritech*.
19. Yadav, B.K. and Jindal, V.K., 2006 in *Water Uptake and Solid Loss During Cooking of Milled Rice (Oryza sativaL.) in Relation to its Physicochemical Properties*, www.aseanfood.info/Articles., diakses pada tanggal 5 Juni 2007.
20. Bronner, F. and Pansu, D., 1998 in *Nutritional Aspects of Calcium Absorption*, Department of BioStructure and Function, The University of Connecticut Health Center, Farmington, Connecticut.
21. Zazueta, C., Ramos, G., Fernandez-Munoz, J.L., Rodriguez, M.E., Acevedo-Hernandez, G. and Pless, R.C., 2002, *Cereal Chem.*, 4, 500-503.
22. Labuza, T.P., 1984 in *Moisture Sorption : Practical Aspect of Isotherm Measurement and Use*, American Association of Cereal Chemists, St. Paul, Minnesota.
23. Van Boekel, M.A.J.S., 1996. *J. Food Sci.*, 61, 477-485.
24. Morales, A.A., Quintero, A. and Balandran, R., 1996, *J. Food Sci.*, 1, 167 – 170.
25. Labuza, T.P. and Riboh, D., 1982, *Food Technol.* -, 66 -74
26. AOAC, 1990 in *Officials Methods of Analysis of AOAC International*, 16<sup>th</sup> Ed., Agricultural Chemicals, Contaminant, Drug., Washington, D.C.
27. Juliano, B.O., 1971 in *A Simplified Assay for Milled Rice Cereal Science*, The Publishing Co. Inc., Westport, Connecticut.
28. Apriyantono, A., Fardiaz, D., Puspitasari, N.I., Sedarnawati and Budiyanto, S., 1989 in *Analisis Pangan*, PAU Pangan dan Gizi, IPB, Bogor.
29. Leyva, C.A.G., Ramos, A.G., Barnard, J., Quintana, R.R.B., Abbud, R.T. and Castro, J.J., 2007, *J. Food Eng.*, 81, 374-379.
30. Horigane, A.K., Toyoshima, H., Hemmi, H., Nagata, T., Yoshida, M. and Okubo, A., 2001 in *NMR Microimaging of Cooked Rice Grains*, Analytical Sciences, The Japan Society for Analytical Chemistry, p. i1442.
31. Hsu, S., Lu, S. and Huang, C., 2000, *J. Food Sci.*, 2, 215-220.
32. Tester, R.F., Karkalas, J. and Qi, X., 2004, *World's Poultry Science Journal*, 60, 186-195.
33. Anonim, 2004 in *Nature's Life*, www.natureslife.com., diakses 16 April 2006.