

# Akumulasi Timbal dalam Cakar Ayam Kampung

## LEAD ACCUMULATION IN DOMESTIC CHICKEN FEET

Djohan<sup>1</sup>, Charles Rangga Tabbu<sup>2</sup>

Fakultas Biologi Universitas Kristen Duta Wacana Jl. Dr. Wahidin Yogyakarta 55224

Telepon: 0274-563929; Email: djohan@ukdw.ac.id

<sup>2</sup>Lab Patologi Fakultas Kedokteran Hewan,  
Universitas Gadjah Mada, Bulaksumur, Yogyakarta

### ABSTRACT

Domestic chickens tend to consume lead (Pb) from their contaminated environment especially in free-ranging chickens. Feet of domestic chickens are commonly consumed by many people, making them good bioindicator to be analyzed for environmental monitoring and food safety purposes. Accumulation of lead in feet and parts of feet (tarsometatarsus bones, digiti, and skin-muscles) were investigated in this study. The average concentrations of lead in whole feet, tarsometatarsal bones, digiti, and skin-muscles were 3.4, 3.8, 3.3, and 1.9  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}\text{d.m.}$ , respectively. The average amount of Pb accumulated in chicken feet ranges from 25.5 to 74.7  $\mu\text{g}$ . Consumption of 0.5 – 2 chicken feet. A day<sup>-1</sup> (low – high intake) results in the exposure of 4,8 to 111,5  $\mu\text{g}\cdot\text{individual}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$ , which was much higher than the daily exposure standar of 1  $\mu\text{g}\cdot\text{individual}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$ . However, very low intake ( $< 0.1$  chicken feet.day<sup>-1</sup>) results in exposure lower than the recommended exposure standard. More frequent monitoring and exposure assessment combined with the awareness of general public on lead contamination in the environment are important for minimizing the risk of lead exposure to human through chicken feet consumption.

Key words : domestic chicken, chicken feet, lead, accumulation, exposure asesment.

### PENDAHULUAN

Ayam kampung (*Gallus domesticus*) umumnya dipelihara masyarakat secara bebas sehingga dimungkinkan tercemar oleh logam berat timbal (Pb) yang terdapat dalam tanah, air, udara, mau pun tanaman dan hewan yang menjadi makanan ayam kampung. Cakar merupakan salah satu organ ayam kampung yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat. Meskipun demikian, cakar ayam umumnya kurang mendapat perhatian dalam pengawasan keamanan pangan sebagaimana halnya dengan daging atau telur ayam. Dengan dilakukannya pengukuran kadar Pb pada cakar ayam kampung, maka akan diperoleh manfaat ganda yaitu penggunaan cakar ayam untuk memantau pencemaran Pb di lingkungan dan untuk memantau keamanan pangan.

Burung digunakan sebagai bioindikator alami untuk pencemaran lingkungan (Furness dan Greenwood, 1994). Salah satu contoh studi monitoring keamanan pangan adalah dengan mengukur kadar Pb dalam daging ayam yang dikonsumsi masyarakat (Gonzalez-Weller *et al.*,

2006). Pengukuran kadar Pb pada jaringan tubuh ayam dan burung adalah indikator terbaik karena bermanfaat untuk menentukan derajat dan jenis paparan dalam pencemaran lingkungan (Garcia-Fernandez *et al.*, 1996).

Analisis residu Pb pada bagian-bagian tulang burung yaitu pada femur, tibia, radius, humerus, dan ulna telah dilakukan oleh Ethier *et al.*, (2006), tetapi belum termasuk tulang pada cakar (*tarsometatarsus*) dan digiti. Tulang merupakan reservoir utama untuk Pb teringesti, yang kemudian menjadi satu dengan matriks tulang selama proses kalsifikasi (Hicks *et al.*, 1996). Pb berinteraksi dengan metabolisme kalsium dan protein pada sel tulang (Skerving dan Bengdahl, 2007). Kadar kalsium dan protein pada cakar ayam segar (per 100 gram berat basah) masing-masing adalah 2,1% dan 18%, selain itu terdapat 67% air, 7,6% lemak, 0,8% P, 0,1% Na dan sisanya terdiri atas mineral-mineral lain dan vitamin-vitamin (Ruessheim, 2001).

Salah satu contoh studi kadar Pb dalam tulang manusia sebagai biomarker untuk keperluan kesehatan masyarakat telah

dilakukan oleh Hu (1998), yang mengkaji relevansinya pemaparan Pb melalui berbagai media lingkungan. Waktu paruh Pb dalam darah dan jaringan lunak pada tubuh manusia relatif singkat 28-36 hari (WHO, 2000) namun waktu paruh Pb pada tulang yang sangat lama, dapat mencapai 25 tahun (Rabinowitz, 1991) dapat menjadi faktor pertimbangan dalam perlindungan kesehatan konsumen dari pemaparan Pb termasuk yang berasal dari cakar ayam kampung.

Memperhatikan keperluan perlindungan kesehatan manusia, maka diperlukan suatu penelitian yang mencakup analisis kadar Pb pada cakar dan bagian-bagiannya; penggunaannya dalam *monitoring* pencemaran lingkungan dan keamanan pangan, dan pemaparan Pb pada manusia melalui konsumsi cakar ayam. Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan (a) mengetahui berat bagian-bagian cakar ayam kampung (b) mengetahui konsentrasi Pb pada bagian-bagian cakar ayam kampung (c) mengetahui akumulasi Pb pada bagian-bagian cakar ayam kampung, (d) memperkirakan probabilitas diperolehnya konsentrasi Pb yang tertentu pada cakar dan bagian-bagian cakar ayam kampung (e) memperkirakan proporsi cakar ayam kampung yang dikonsumsi dan (f) memperkirakan pemaparan Pb pada manusia yang mengonsumsi cakar ayam kampung.

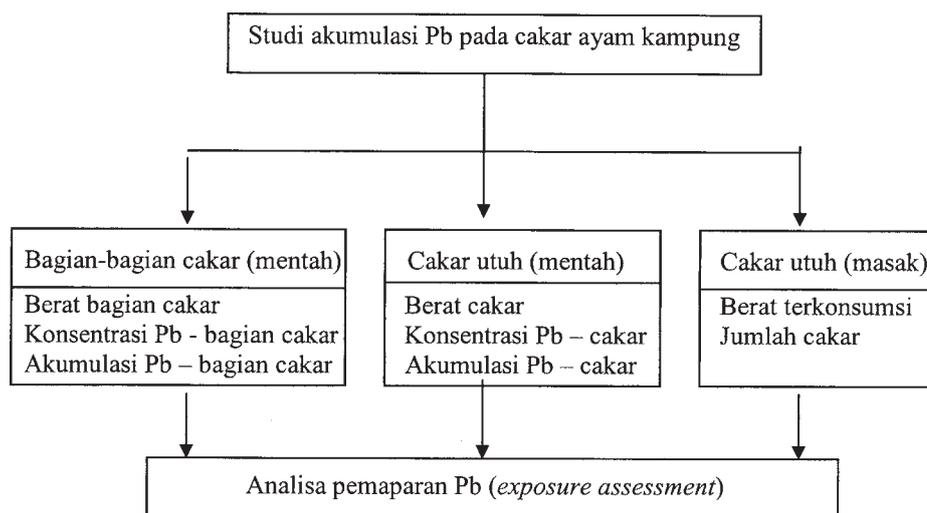
## METODE PENELITIAN

### Koleksi Sampel Cakar Ayam Kampung

Cakar ayam yang diuji dalam studi ini ialah cakar kanan dari ayam kampung betina. Jumlah cakar ayam yang digunakan adalah masing-masing 20 cakar mentah (untuk dianalisis Pb pada total cakar); 20 cakar mentah (untuk dianalisis Pb pada bagian-bagian cakar yaitu tarsometatarsus, digiti, dan kulit-daging; serta 33 cakar masak yaitu untuk menguji proporsi cakar yang dikonsumsi. Bagian kulit-daging selain terdiri atas kulit dan otot daging juga termasuk jaringan tendo dan jaringan subkutis. Kuku pada ujung digiti tidak termasuk pada salah satu bagian cakar yang dianalisis. Sampel cakar mentah dan cakar masak diperoleh dari suatu pasar tradisional di kota Yogyakarta.

### Ekstraksi Cakar Ayam dan Analisis Kadar Pb

Pemisahan sampel cakar ayam menjadi 3 bagian dan ekstraksi sampel dilakukan di Laboratorium Biologi Universitas Kristen Duta Wacana Yogyakarta. Cakar ayam mentah yang baru dibeli (segar) ditimbang berat basah (b.b) lalu dikeringkan dalam oven (105°C, 24 jam) untuk selanjutnya ditimbang untuk memperoleh berat bahan kering (b.k) dan kadar air. Tulang rawan yang terdapat pada tarsometatarsus dan digiti disertakan pada



Gambar 1. Kerangka penelitian akumulasi Pb pada cakar ayam kampung

bagian masing-masing dan tidak dipisahkan tersendiri. Selanjutnya 2 gram sampel cakar atau bagian-bagian cakar ayam yang telah dikeringkan diekstraksi dengan campuran HCl/HNO<sub>3</sub> (3:1, v/v). Analisis Pb dalam ekstrak dari sampel dilakukan dengan menggunakan AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) Perkin Elmer 3110 di laboratorium Kimia FMIPA Universitas Gajah Mada. Setiap sampel ekstrak dianalisis dengan menggunakan 3 replikat pengukuran (triplikat).

**Uji Konsumsi Cakar Ayam**

Untuk mengetahui proporsi cakar yang terkonsumsi, maka dilakukan uji mengkonsumsi 33 cakar ayam kampung masak oleh 11 konsumen (3 cakar per konsumen) yang tinggal di suatu area pemukiman di Yogyakarta. Berat cakar masak yang terkonsumsi dihitung dari selisih berat awal dengan berat akhir. Gabungan antara data yang dihasilkan pada pengukuran konsentrasi Pb pada cakar dan bagian-bagiannya serta proporsi cakar terkonsumsi selanjutnya digunakan untuk memperkirakan pemaparan Pb bagi masyarakat yang mengkonsumsi cakar ayam kampung (Gambar 1).

**Analisis Data**

Uji korelasi dilakukan untuk konsentrasi dan akumulasi Pb pada cakar, tarsometatarsus, digiti, serta kulit-daging. Uji t-berpasangan dilakukan untuk pasangan data konsentrasi Pb pada cakar, tarsometatarsus, digiti, serta kulit-daging. Proses pengolahan data dilakukan dengan SPSS 15.0.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Berat Cakar dan Bagian-bagian Cakar Ayam Kampung**

Berat cakar dan bagian-bagian cakar ayam kampung disertakan dalam Tabel 1. Rataan

berat basah, berat bahan kering, dan kadar air untuk cakar adalah 21,5 g; 11,1 g; dan 56,7%. Bagian dengan berat kering yang terbesar ialah tarsometatarsus (4,8 g) yang juga merupakan bagian dengan kadar air terendah (28,2 %). Menurut proporsi berat kering, cakar terdiri atas 40% tarsometatarsus, 33% digiti, dan 27% kulit - daging. Kadar air pada kulit - daging dan jaringan lain pada studi ini (62,2 %) relatif sebanding dengan kadar air pada daging ayam masak (61%) dan daging ayam mentah (69%) sebagaimana yang dilaporkan oleh USDA (2008).

**Konsentrasi Pb pada Cakar dan Bagian-bagian Cakar Ayam Kampung**

Data konsentrasi Pb pada cakar dan bagian-bagian cakar ditampilkan dalam Tabel 2, dengan semua sampel memiliki konsentrasi Pb yang lebih besar dari limit deteksi 0,025 µg.g<sup>-1</sup>. Bagian cakar yang memiliki konsentrasi Pb tertinggi ialah tarsometatarsus (3,8 µg.g<sup>-1</sup> b.k), yang kemudian diikuti oleh digiti (3,3 µg.g<sup>-1</sup> b.k) dan kulit - daging (1,9 µg.g<sup>-1</sup> b.k). Nilai rerata konsentrasi Pb yang lebih rendah dari nilai median, menunjukkan sebagian data terdistribusi pada konsentrasi yang relatif tinggi. Hal ini juga dapat diamati berdasarkan nilai maksimum konsentrasi Pb pada tarsometatarsus dan digiti yang lebih besar dari 6 µg.g<sup>-1</sup> b.k. Konsentrasi Pb pada kulit-daging memiliki koefisien keragaman (KK) tertinggi yaitu sebesar 55% dan hal ini dapat terjadi karena kulit merupakan bagian luar cakar yang kontak langsung dengan lingkungan (tanah). Jaringan tubuh ayam seperti tulang, otak, hati, dan ginjal yang memiliki konsentrasi 3–6 µg.g<sup>-1</sup> atau lebih dikategorikan memiliki konsentrasi logam berat yang relatif tinggi (USDA, 2008). Konsentrasi Pb pada bagian-bagian cakar ayam kampung dalam studi ini (Tabel 2) sebanding dengan konsentrasi Pb pada bulu burung *Magpie* (*Gymnorhina tibicen*) sebesar 4,86 µg.g<sup>-1</sup> (Burger dan Gochfeld, 1995).

Tabel 1. Rataan dan standar deviasi berat cakar dan bagian-bagian pada cakar ayam kampung (n=20)

Parameter	Cakar (C)	Tarsometatarsus (T)	Digiti (D)	Kulit - Daging (K)
Berat basah B <sup>b</sup> (g)	21,5 ± 2,8	6,7 ± 0,7	9,0 ± 1,1	8,4 ± 1,2
Proporsi berat basah (%)	100	27,6 ± 1,3	37,3 ± 2,1	35,1 ± 2,0
Berat bahan kering B (g)	11,1 ± 1,2	4,8 ± 0,4	3,9 ± 0,5	3,2 ± 0,3
Kadar air (%)	56,7 ± 3,2	28,2 ± 4,4	57,0 ± 2,3	62,2 ± 5,3
Proporsi berat kering (%)	100	40,4 ± 2,0	32,8 ± 2,3	26,9 ± 1,8

Tabel 2. Konsentrasi Pb pada cakar dan bagian-bagian cakar ayam (n=20)

Jenis konsentrasi Pb	Konsentrasi Pb ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ b.k)				KK(%)	Maks Min
	Rataan $\pm$ SD	Median	Min.	Maks.		
Cakar ( $K_C$ )	3,4 $\pm$ 1,1	3,0	2,1	5,9	32	2,9
Tarsometatarsus ( $K_T$ )	3,8 $\pm$ 1,0	3,6	2,6	6,1	26	2,4
Digiti ( $K_D$ )	3,3 $\pm$ 1,1	3,2	1,7	6,6	33	4,0
Kulit–daging ( $K_K$ )	1,9 $\pm$ 0,9	1,6	0,9	3,5	55	3,9

SD = standar deviasi (rentangan); KK = koefisien keragaman = (rerata/SD) X 100%

Tabel 3. Koefisien korelasi antara konsentrasi Pb pada cakar dan bagian-bagian cakar

Jenis konsentrasi Pb	Cakar ( $K_C$ )	Tarsometatarsus ( $K_T$ )	Digiti ( $K_D$ )	Kulit–daging ( $K_K$ )
Cakar ( $K_C$ )	1,00	0,73	0,72	0,70
Tarsometatarsus ( $K_T$ )	-	1,00	0,79	0,77
Digiti ( $K_D$ )	-	-	1,00	0,83
Kulit–daging ( $K_K$ )	-	-	-	1,00

Nilai  $K_T$  dan  $K_D$  yang diperoleh dalam penelitian ini (3,8 dan 3,3  $\mu\text{g.g}^{-1}$  b.k.) (Tabel 2) relatif sebanding dengan nilai residu yang dilaporkan dalam pustaka. Sebagai perbandingan adalah konsentrasi Pb pada tulang burung Flamingo (3,31  $\mu\text{g.g}^{-1}$  b.k.) yang memakan sisa peluru di tanah rawa yang digunakan sebagai area berburu. Keberadaan selongsong peluru pada lambung burung Flamingo menunjukkan pemaparan abnormal dari burung yang secara normal mengkonsumsi biota akuatik sebagai sumber pakan dengan cara memfiltrasi (*filter-feeder*) (Ancora *et al.*, 2008).

Perbandingan lain adalah dengan konsentrasi Pb pada tulang-tulang (tibia, femur, radius, humerus, ulna) dari itik laut *Somateria mollissima* yang berkisar antara 0,66–1,09  $\mu\text{g.g}^{-1}$  b.k. Nilai konsentrasi Pb pada tulang, yang jauh lebih besar dibandingkan dengan data yang diperoleh dalam penelitian ini ialah sebesar 7–445  $\mu\text{g.g}^{-1}$  b.k. pada burung merak (*pheasant*) akibat ingesti sisa selongsong peluru yang mengandung Pb (Butler *et al.*, 2005). Contoh lain ialah konsentrasi Pb dalam daging ayam sebesar 0,007  $\mu\text{g.g}^{-1}$  (Gonzales-Weller *et al.*, 2006) yang jauh lebih rendah dibandingkan jika dengan konsentrasi pada kulit-daging yang ditemukan dalam penelitian ini (1,9  $\pm$  0,9  $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) (b.k.).

Selain nilai  $K_T$  dan  $K_D$ , koefisien keragaman (KK) dari  $K_T$  dan  $K_D$  yang diperoleh dalam penelitian ini sebesar 26 dan 33% (Tabel 2). Nilai

KK yang dilaporkan oleh Ethier *et al.*, (2007) untuk tibia–ulna adalah sebesar 36 %. Dua dari banyak faktor yang dapat mempengaruhi konsentrasi Pb pada tulang ialah ikatan Pb dengan mineral (Ca) dan protein (Ethier *et al.*, 2007), dan keberadaan jaringan tulang rawan yang mengikat logam berat lebih kuat dibandingkan dengan ikatan logam berat dengan jaringan tulang keras (Kalisinska *et al.*, 2007).

Koefisien korelasi antara 4 jenis konsentrasi Pb pada cakar dan bagian-bagian cakar ditampilkan dalam Tabel 3. Koefisien korelasi kuat (>0,80) ditemukan antara  $K_D$  dengan  $K_K$ . Koefisien korelasi antara konsentrasi Pb pada cakar ( $K_C$ ) dengan konsentrasi Pb pada bagian-bagian cakar memiliki kekuatan sedang (0,60–0,79). Hasil uji t-berpasangan untuk 3 pasangan data yang berhubungan dengan  $K_K$  ( $K_C$ - $K_K$ ,  $K_T$ - $K_K$ , dan  $K_D$ - $K_K$ ). menunjukkan hasil signifikan ( $p < 0,05$ ). Hal ini sesuai dengan kisaran nilai  $K_K$  yang lebih rendah dibandingkan dengan 3 jenis konsentrasi lainnya (Tabel 2). Perbedaan komposisi yang didominasi matriks jaringan tulang ( $K_T$  dan  $K_D$ ) dengan yang bukan jaringan tulang tetapi jaringan ikat/otot ( $K_K$ ) diperkirakan mempengaruhi hasil yang signifikan pada 3 pasangan data tersebut. Sedangkan hasil uji t-berpasangan 3 pasangan data untuk konsentrasi Pb pada matriks yang didominasi jaringan tulang ( $K_C$ - $K_T$ ,  $K_C$ - $K_D$ , dan

Tabel 4. Akumulasi Pb pada bagian-bagian cakar (n=20)

Bagian cakar	Akumulasi (µg)				KK (%)	Maks/Min.
	Rataan± SD	Median	Min.	Maks.		
Cakar (C)	38,7 ±13,3	36,0	25,5	74,7	34	2,9
Tarsometatarsus (T)	15,0 ± 5,9	15,1	11,2	25,6	39	2,3
Digiti (D)	11,4 ± 4,3	10,0	6,4	22,4	38	3,5
Kulit – daging (K)	6,0 ± 2,5	5,6	3,2	10,9	42	3,4

$K_T-K_D$ ) menunjukkan perbedaan non-signifikan ( $p<0,05$ ). Kesamaan matriks jaringan tulang dan tulang rawan antara 3 jenis konsentrasi diperkirakan mengakibatkan tidak adanya perbedaan yang signifikan antara ketiga jenis konsentrasi tersebut.

**Akumulasi Pb pada Cakar dan Bagian-bagian Cakar Ayam Kampung**

Akumulasi Pb pada cakar dan bagian-bagian cakar ayam kampung dihitung berdasarkan Persamaan 1.

$A_i = B_i \times K_i$  (Persamaan 1)  
 dengan  $A_i$  adalah akumulasi massa Pb pada cakar atau bagian cakar (µg),  $B_i$  adalah berat kering cakar atau bagian cakar (g) (b.k) dan  $K_i$  adalah konsentrasi Pb pada cakar atau bagian cakar per satuan berat kering (µg.g<sup>-1</sup> b.k). Nilai akumulasi Pb dalam cakar dan bagian-bagiannya ditampilkan dalam Tabel 4.

Akumulasi Pb pada cakar ( $A_C$ ) berkisar antara 25,5 hingga 74,7 µg.dengan rerata sebesar 38,7 µg. Rataan akumulasi Pb pada tarsometatarsus ( $A_T$ ) lebih besar jika dibandingkan dengan akumulasi Pb pada digiti ( $A_D$ ) dan pada kulit-daging ( $A_K$ ). Rasio antara akumulasi maksimum dengan akumulasi minimum yang terendah terdapat untuk tarsometatarsus, sedangkan koefisien variasi tertinggi adalah untuk akumulasi Pb pada kulit-daging (Tabel 4). Uji statistik (*paired t-test*) antara  $A_T$  dan  $A_D$ ,  $A_T$  dan  $A_K$ , dan antara  $A_D$  dan  $A_K$  untuk akumulasi Pb memberikan hasil perbedaan yang signifikan ( $P < 0,05$ ).

Berdasarkan akumulasi Pb pada 3 bagian cakar, maka akumulasi massa Pb secara relatif untuk setiap bagian cakar dapat dihitung sebagai

$$a_i = \left( \frac{A_i}{A_T + A_D + A_K} \right) \times 100\% \quad \text{(Persamaan 2)}$$

dengan  $a_i$  adalah akumulasi relatif pada salah satu bagian cakar,  $A_i$  adalah akumulasi pada

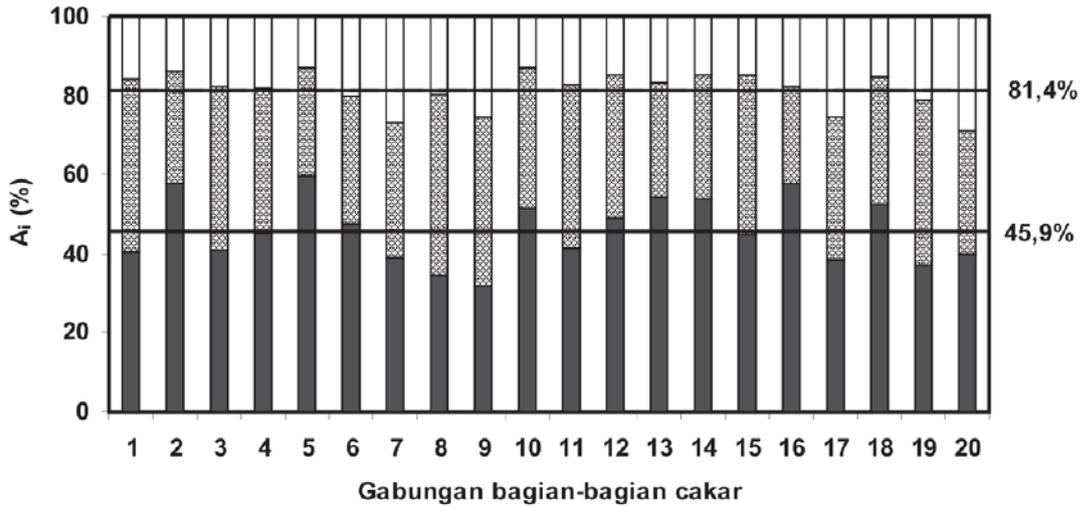
salah satu bagian cakar, serta  $A_T$ ,  $A_D$ , dan  $A_K$  masing-masing adalah akumulasi Pb pada tarsometatarsus, digiti, dan kulit-daging. Berdasarkan penghitungan ini maka dapat ditentukan akumulasi massa Pb secara relatif pada masing-masing bagian cakar untuk setiap cakar, yang secara grafikal ditampilkan pada Gambar 2. Rataan akumulasi relatif Pb ialah sebesar 45,9% ( $a_T$ ), 35,5% ( $a_D$ ) dan 18,6% ( $a_K$ ). Berdasarkan Gambar 2 dapat diketahui bahwa 9 dari 20 sampel tarsometatarsus ( $P = 0,45$ ) lebih besar dari  $a_T$  45,9% dan 8 dari 20 sampel kulit-daging ( $P = 0,40$ ) memiliki akumulasi yang lebih besar dari  $a_K$  18,6%. Pada 20 sampel di Gambar 2 dapat diamati bahwa rata-rata akumulasi pada jaringan tulang ( $a_T + a_D$ ) adalah sebesar 81,4%. Nilai 81,4% tersebut relatif sebanding dengan proporsi akumulasi Pb pada tulang yang umumnya sekitar 90% dari total massa Pb pada seluruh jaringan tubuh (Skerfving dan Bergdahl, 2007), menjadikan tulang sebagai organ utama dalam hal akumulasi Pb.

**Probabilitas Diperolehnya Konsentrasi Pb Tertentu pada Cakar Ayam Kampung**

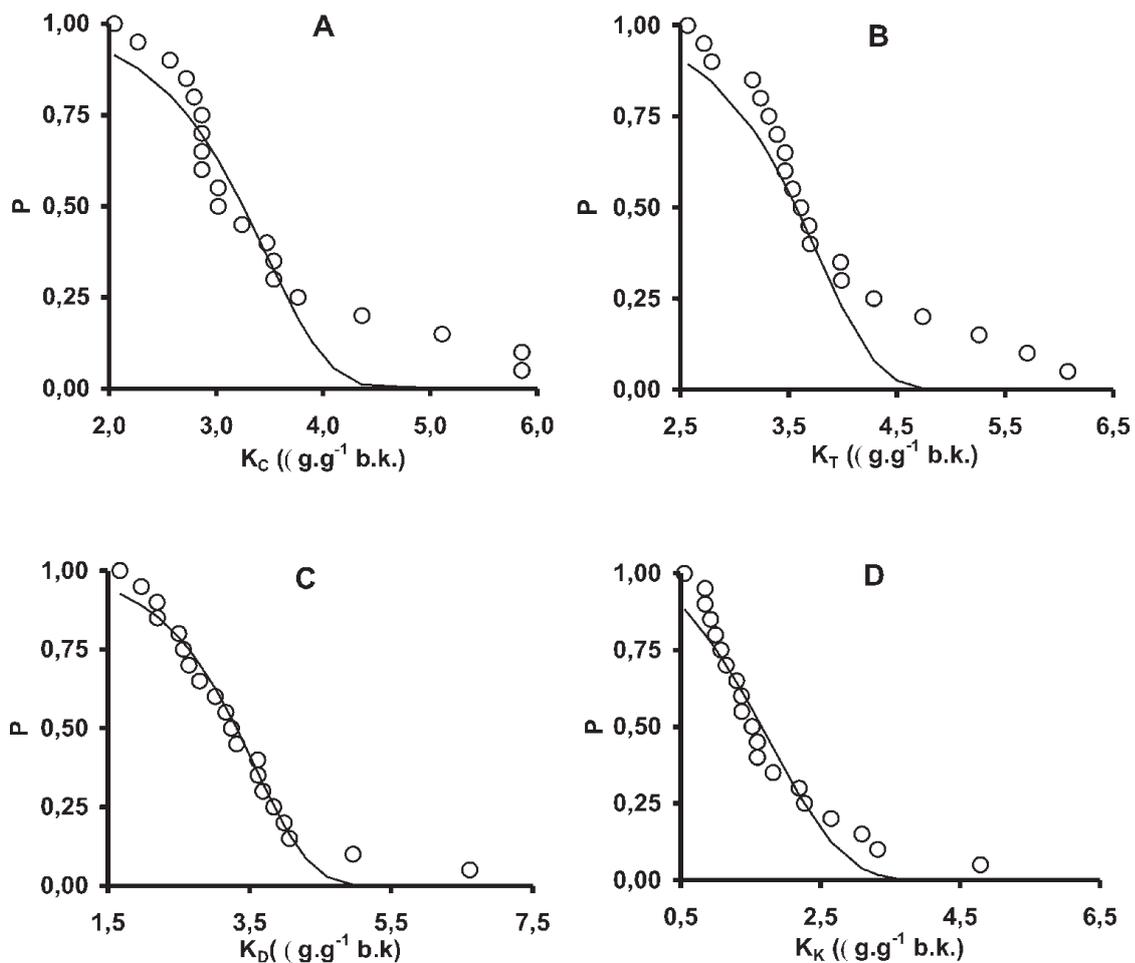
Probabilitas diperolehnya konsentrasi Pb tertentu pada cakar dan bagian-bagian cakar dapat dinyatakan dalam suatu persamaan fungsi Gompertz (Persamaan 3),

$$P(K_i) = \exp\left\{ \left( \frac{R_0}{\alpha} \right) [1 - \exp(\alpha \times K_i)] \right\} \quad \text{(Persamaan 3)}$$

dengan P adalah probabilitas;  $K_i$  adalah konsentrasi Pb dalam berat kering, dan  $R_0$  dan  $\alpha$  adalah parameter Gompertz sebagaimana yang digunakan oleh Perez-Benito (2006). Nilai konsentrasi  $K_i$  diperoleh dari pengukuran sampel, dan nilai probabilitas P dihitung sebagai probabilitas kumulatif untuk konsentrasi Pb pada 20 sampel cakar. Berdasarkan nilai dua



Gambar 2. Akumulasi massa Pb secara relatif ( $a_i$ ) (%) pada tiga bagian cakar yaitu tarsometatarsus ( $a_T$ , gelap); digiti ( $a_D$ , abu-abu); dan kulit-daging ( $a_K$ , terang), dilengkapi dengan garis akumulasi rata-ran  $a_T$  (45,9%), serta subtotal  $a_T + a_D$  (81,4%), pada 20 gabungan dari bagian-bagian cakar.



Gambar 3. Probabilitas (P) terukurnya konsentrasi Pb yang tertentu pada cakar (A), tarsometatarsus (B), digiti (C), dan kulit-daging (D) (n=20).

variabel yang tersedia, program komputer SPSS 15.0 menghitung nilai  $R_0$  dan  $\alpha$  dengan hasil sebagaimana yang ditampilkan dalam Tabel 5, dan selanjutnya diolah menjadi grafik sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.

Plot secara grafikal distribusi data konsentrasi Pb pada cakar dan bagian-bagian cakar yang memuat data pengukuran dan garis prediksi plot ditampilkan dalam Gambar 3. Kurva dari model Gompertz menunjukkan perubahan kecil nilai P (ordinat) pada nilai  $K_1$  yang rendah dan yang tinggi (absis). Model Gompertz umumnya digunakan pada analisis dampak pada pertumbuhan atau mortalitas seperti yang digunakan oleh Perez-Benito (2006). Koefisien regresi non-linear dari 4 kurva berkisar antara 0,89 (baik) hingga 0,98 (sangat baik) (Tabel 5), yang menunjukkan kesesuaian antara nilai probabilitas data eksperimen dengan nilai probabilitas yang terprediksi menurut model Gompertz. Sebagai salah satu contoh aplikasi, dengan menggunakan konsentrasi Pb sebesar  $3 \mu\text{g.g}^{-1}$  b.k, dan fungsi Gompertz maka dapat diperkirakan probabilitas untuk diperolehnya cakar atau bagian-bagian cakar dengan konsentrasi lebih besar dari konsentrasi tersebut (Tabel 5). Konsentrasi  $3 \mu\text{g.g}^{-1}$  dipilih dengan memperhatikan sebagai batas minimum konsentrasi logam berat yang dapat dikategorikan sebagai konsentrasi yang relatif tinggi (USDA, 2008). Hasil penghitungan menunjukkan bahwa probabilitas tertinggi ditemukan untuk tarsometatarsus (0,78) dan probabilitas terendah untuk kulit-daging (0,05) (Tabel 5).

**Proporsi Berat Cakar Ayam Kampung yang Terkonsumsi**

Rataan proporsi cakar ayam kampung (masak) yang terkonsumsi ( $f_s$ ) dihitung sebagai

$$f_s = \frac{B_o^b - B_t^b}{B_o^b} \tag{Persamaan 4}$$

dengan  $B_o^b$  adalah berat basah (awal) cakar masak (g) dan  $B_t^b$  adalah berat basah (akhir) cakar masak setelah dikonsumsi (g). Berdasarkan data konsumsi 33 cakar masak oleh 11 individu (3 cakar per individu) maka diperoleh nilai  $f_s$  rata-rata sebesar  $0,63 \pm 0,07$ , nilai  $f_s$  minimum adalah 0,52 dan  $f_s$  maksimum adalah 0,69 (Tabel 6). Sebanyak 3 dari 11 individu ( $P = 0,27$ ) mengkonsumsi cakar pada  $f_s < 0,60$ . Dengan menggunakan nilai  $f_s$  dan akumulasi massa Pb pada cakar ( $A_C$ ) maka massa Pb yang terkonsumsi ( $A_{C^*}$ ) dalam setiap cakar dapat dihitung sebagai

$$A_{C^*} = f_s \times A_C \tag{Persamaan 5}$$

Perbandingan antara berat cakar (awal) dan berat cakar terkonsumsi serta akumulasi massa Pb dalam cakar (awal) dan perkiraan akumulasi massa Pb yang terkonsumsi, ditunjukkan secara grafikal (Gambar 4). Pada gambar tersebut dapat diamati bahwa tidak ada *overlap* antara standar deviasi (rentangan) berat basah cakar pada tahap awal dengan rentangan berat basah cakar setelah terkonsumsi (Gambar 4.A), sementara ditemukan *overlap* antara rentangan akumulasi massa Pb pada tahap awal dengan rentangan perkiraan massa Pb setelah terkonsumsi. (Gambar 4.B).

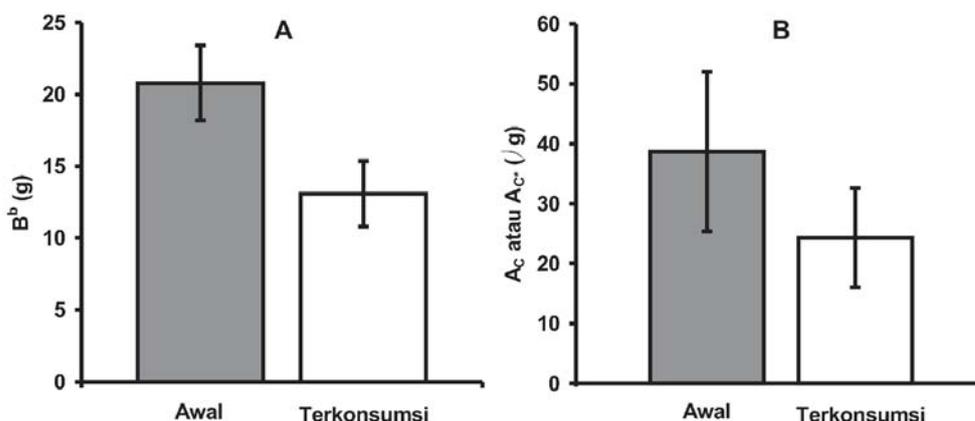
**Perkiraan Tingkat Paparan Pb pada Konsumen Cakar Ayam Kampung**

Perkiraan paparan Pb pada konsumen cakar ayam kampung dapat dinyatakan sebagai Paparan Harian (PH) ( $\mu\text{g.kapita}^{-1}.\text{hari}^{-1}$ ) yang dinyatakan sebagai,

$$PH = n_C \times f_s \times B_C \times K_C \tag{Persamaan 6}$$

Tabel 5. Nilai parameter Gompertz dan probabilitas diperolehnya konsentrasi Pb >  $3 \mu\text{g.g}^{-1}$  b.k pada cakar dan bagian-bagiannya

Parameter	Cakar (C)	Tarso-metatarus (T)	Digit (D)	Kulit-Daging (K)
Parameter Gompertz ( $R_0$ )	0,005	0,002	0,013	0,175
Parameter Gompertz (a)	1,677	1,803	1,277	0,608
Koefisien Regresi Non-linear ( $R^2$ )	0,91	0,92	0,98	0,89
Probabilitas diperolehnya konsentrasi > $3 \mu\text{g.g}^{-1}$ b.k (P)	0,64	0,78	0,63	0,05



Gambar 4 Berat cakar awal dan terkonsumsi (A) serta akumulasi dan perkiraan pemaparan Pb per konsumsi satu cakar (B)

Tabel 6. Pemaparan konsumen terhadap Pb dalam cakar ayam kampung

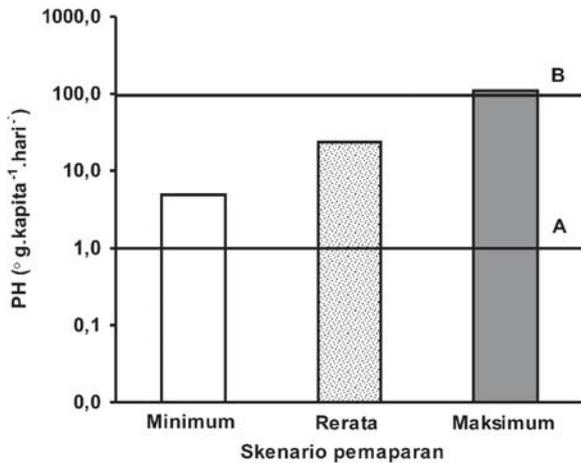
Skenario Pemaparan	$n_c$ cakar. kapita <sup>-1</sup> .hari <sup>-1</sup>	$f_s$	$B_c$ (g) b.k	PH( $\mu$ g.kapita <sup>-1</sup> hari <sup>-1</sup> )
Minimum	0,5	0,52	8,8	4,8
Rataan	1,0	0,63	11,1	23,8
Maksimum	2,0	0,69	13,7	111,5

dengan  $n_c$  adalah jumlah cakar terkonsumsi,  $B_c$  adalah berat kering cakar (g) (Tabel 1),  $f_s$  adalah proporsi cakar terkonsumsi,  $K_c$  adalah konsentrasi Pb pada cakar (Tabel 2). Setiap parameter dari 4 parameter tersebut memiliki nilai minimum, rata-rata, dan maksimum sehingga dapat digunakan sebagai skenario pemaparan minimum, rata-rata, dan maksimum (Tabel 6). Tolak ukur nilai  $n_c$  dalam skenario ditentukan dengan memperhatikan bahwa tingkat konsumsi daging ayam untuk penduduk Indonesia adalah 4,4 kg. kapita<sup>-1</sup>. tahun<sup>-1</sup> (PHP-Nuke, 2008) atau sama dengan 12 g. kapita<sup>-1</sup>.hari<sup>-1</sup>. Jika diasumsikan konsumen hanya mengkonsumsi cakar ayam, maka dengan memperhatikan data berat basah rerata cakar ayam sebesar 21,5 g (Tabel 1) maka konsumsi 12 g (daging).kapita<sup>-1</sup>.hari<sup>-1</sup> ekuivalen dengan konsumsi 0,5 cakar. kapita<sup>-1</sup>.hari<sup>-1</sup>. Selanjutnya pada skenario konsumsi rerata dan maksimum digunakan kelipatan 2 dan 4 kali, sehingga menghasilkan masing-masing skenario pemaparan 1 cakar. kapita<sup>-1</sup>.hari<sup>-1</sup> dan 2 cakar. kapita<sup>-1</sup>.hari<sup>-1</sup>.

Nilai pemaparan harian (PH) konsumen terhadap Pb dalam cakar ayam kampung menurut 3 skenario pemaparan ditampilkan

dalam Tabel 6, dan secara grafis ditunjukkan dalam Gambar 5. Ketiga skenario pemaparan lalu dibandingkan dengan tingkat pemaparan Pb dalam total diet bagi populasi di Cina yang sebesar 10,1  $\mu$ g.kg<sup>-1</sup> berat badan. minggu<sup>-1</sup> dan juga dibandingkan dengan pemaparan Pb melalui daging ayam bagi masyarakat Asia Timur yang sebesar 1  $\mu$ g. kapita<sup>-1</sup>. hari<sup>-1</sup> (WHO, 2000). Dengan mengasumsikan berat rata-rata orang Asia sebesar 60 kg, maka pemaparan dalam total diet adalah 660  $\mu$ g dalam waktu 7 hari atau 94  $\mu$ g.kapita<sup>-1</sup> hari<sup>-1</sup>

Ketiga skenario pemaparan (minimum, rata-rata, maksimum) memiliki tingkat pemaparan harian yang lebih besar dari 1  $\mu$ g.kapita<sup>-1</sup>.hari<sup>-1</sup>, atau masing-masing dengan faktor kelipatan 5, 24 dan 110 kali. Skenario minimum masih mendekati kisaran (*magnitude*) standar 1  $\mu$ g.kapita<sup>-1</sup>.hari<sup>-1</sup> (Gambar 5) sedangkan kedua skenario yang lain jauh lebih besar dibandingkan dengan kisaran standar aman konsumsi. Tingkat pemaparan harian Pb melalui konsumsi cakar ayam kampung pada skenario maksimum pada penelitian ini sebanding dengan total diet 94  $\mu$ g.kapita<sup>-1</sup> hari<sup>-1</sup>. Dengan pengertian lain, pemaparan melalui konsumsi 2 cakar.kapita<sup>-1</sup>.



Gambar 5. Perkiraan pemaparan harian (PH) Pb pada manusia yang mengkonsumsi cakar ayam pada 3 skenario pemaparan, dibandingkan dengan pemaparan 1 µg.kapita<sup>-1</sup>.hari<sup>-1</sup> (Garis A) dan 94 µg.kapita<sup>-1</sup>.hari<sup>-1</sup> (Garis B).

hari<sup>-1</sup> ekuivalen dengan total pemaparan Pb per hari melalui semua media lingkungan.

Untuk mencapai pemaparan harian yang aman, maka perlu dilakukan upaya penurunan PH skenario minimum dari 4,8 µg.kapita<sup>-1</sup>.hari<sup>-1</sup> ke PH yang lebih rendah dari 1 µg.kapita<sup>-1</sup>.hari<sup>-1</sup> (penurunan ≥ 80%) Dengan menggunakan asumsi bahwa nilai-nilai parameter n<sub>c</sub>, f<sub>s</sub>, dan B<sub>c</sub> adalah relatif tetap, maka diperlukan penurunan K<sub>c</sub> dari 2,1 µg.g<sup>-1</sup> b.k menjadi K<sub>c</sub> £ 0,4 µg.g<sup>-1</sup> b.k. Dalam hal inilah aktivitas biomonitoring pemaparan Pb pada ayam kampung, termasuk pada cakar ayam kampung, bermanfaat untuk perlindungan kesehatan konsumen (*veterinary public health*) pada jangka panjang.

**SIMPULAN**

Semua bagian cakar ayam kampung mengakumulasi Pb dalam kadar yang relatif tinggi, yaitu masing-masing ialah 3,8; 3,3; dan 1,9 µg.g<sup>-1</sup> b.k. untuk tarsometatarsus, digiti, dan kulit-daging. Probabilitas untuk mengalami pemaparan Pb dalam cakar ayam dalam konsentrasi relatif tinggi (> 3 µg.g<sup>-1</sup> b.k) juga cukup tinggi yaitu 0,64. Konsumen yang cukup sering hingga sangat sering memakan cakar ayam kampung (0,5 - 2 cakar.hari<sup>-1</sup>) mengalami pemaparan Pb 4,8-111,5 µg.kapita<sup>-1</sup>.hari<sup>-1</sup>, yang lebih besar dari standar pemaparan menurut

WHO 1 µg.kapita<sup>-1</sup>.hari<sup>-1</sup>, sehingga perlu untuk mengurangi tingkat konsumsi cakar ayam kampung. Konsumen yang jarang mengkonsumsi cakar ayam kampung (< 0,1 cakar.hari<sup>-1</sup>) diperkirakan memiliki resiko yang relatif rendah terhadap pemaparan Pb dalam cakar ayam kampung.

**SARAN**

Pemantauan konsentrasi Pb pada cakar ayam dengan frekuensi teratur dan analisis pemaparan Pb secara berkala dilengkapi dengan peningkatan kesadaran masyarakat tentang pemaparan Pb di lingkungan sangat penting untuk mengurangi pemaparan Pb pada manusia melalui konsumsi cakar ayam kampung.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Biologi Universitas Kristen Duta Wacana yang telah mendukung pendanaan penelitian ini. Terima kasih juga penulis haturkan kepada Pusat Statistik UGM yang telah membantu dalam analisis data fungsi Gompertz.

**DAFTAR PUSTAKA**

Ancora S, Bianchi N, Leonzio C, Renzoni A. 2008. Heavy metals in flamingos (*Phoenicopterus ruber*) from Italian wetlands: The problem of ingestion of lead shot. *Environ Res* 107: 229-236.

Burger J, Gochfeld M. 1995. Biomonitoring of heavy metals in the Pacific Basin using Avian feathers. *Environ. Toxicol. Chem.* 14: 1233 – 1240.

Butler DA, Sage RB, Draycott RAH, Carroll JP, Potts D. 2005. Lead exposure in ring-necked pheasants on shooting estates in Great Britain. *Wildlife Soc Bull* 33 : 583–589.

Either ALM, Braune BM, Scheuhammer AM, Bond DE. 2006. Comparison of lead residues among avian bones. *Environ Pollut* 145: 915-919.

Furness RW, Greenwood JJD. 1994. *Birds as Monitors of Environmental Change*. London. Chapman and Hall, pp.118-120.

- García-Fernández AJ, Motas-Guzmán M, Maria P, Gómez-Zapata M, Luna A, Sánchez-García JA. 1996. Determination of lead and cadmium in blood and tissues by anodic stripping voltammetry. *Toxicol Letters* 80: 85-86.
- Gonzalez-Weller D, Karlsson L, Caballero A, Hernandez F, Gutierrez A, Gonzalez-Iglesias T, Marino M, Hardisson A. 2006. Lead and cadmium in meat and meat products consumed by the population in Tenerife Island, Spain. *Food Add Contam* 23 : 757-763.
- Hicks DG, O'Keefe RJ, Reynolds KJ, Cory-Slechta DA, Puzas JE, Judkins A, Rosier RN. 1996. Effects of lead on growth plate chondrocyte phenotype. *Toxicol Appl Pharmacol* 149: 164-172.
- Hu H. 1998. Bone lead as a new biologic marker of lead dose: recent findings and implications for public health. *Environ Health Perspect Suppl* 106: 961-967.
- Jones MP. 2006. Heavy metal toxicoses in pet birds: Watch for combination of gastrointestinal and nervous systems. <http://www.veterinarynews.dvm360.com>. Downloaded on Sep 15, 2008.
- Kalisińska E, Salicki W, Kavetska KM, Ligocki, M. 2007. Trace metal concentrations are higher in cartilage than in bones of scaup and pochard wintering in Poland *SciTot Environ* 388 : 90-103.
- Perez-Bonito F J. 2006. Effects of chromium (VI) and vanadium (V) on the lifespan of fish. *J Trace Elem Med Biol* 20: 161-170.
- PHP-Nuke. 2008. Manfaat Cakar Ayam. <http://www.poultryindonesia.com/modules.php>. Downloaded on Sep 15, 2008.
- Rabinowitz MB. 1991. Toxicokinetics of bone lead. *Environ. Health Perspect.* 91: 33 – 37.
- Ruessheim CM. 2001. Nutrient Composition of Fresh Chicken Feet. <http://www.serve.com/BatonRouge/nutrition/chickenfeet.htm>. Downloaded on Sep 20, 2008.
- Skerfving S, Bergdahl IA. 2007. Lead. Handbook on the Toxicology of Metals 3E Chapter 31: 599-643.
- SPSS Inc. 2006. SPSS 15.0 Command Syntax Reference, Chicago, USA.
- USDA. 2008. Meat preparation: water in meat and poultry. Food and Safety Inspection Service. [http://www.fsis.usda.gov/Fact\\_Sheets/Water\\_in\\_Meats/index.asp](http://www.fsis.usda.gov/Fact_Sheets/Water_in_Meats/index.asp). Downloaded on Sep 20, 2008.
- WHO (World Health Organization). 2000. Safety Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants. WHO Food Additives Series: 44. WHO, Geneva.