

Pola Pewarisan Kaki Rengket Secara Autosomal Resesif dan Koefisien *Inbreeding* pada Ayam Pelung di Cianjur

(*THE AUTOSOMAL RECESSIVE IN CROOPER TOES INHERITANCE PATTERN AND INBREEDING COEFFICIENT IN PELUNG CHICKEN AT CIANJUR*)

Budi Setiadi Daryono¹, Miftahul Mushlih²

¹Laboratorium Genetika dan Pemuliaan, Fakultas Biologi,
Universitas Gadjah Mada.

Jln Teknik Selatan, Kampus UGM, Yogyakarta 55281

²Prodi D-IV Teknologi Laboratorium Medik,
STIKes Perintis, Sumatera Barat, Indonesia

Telpon. 0751-481992; Email: bs_daryono@mail.ugm.ac.id

ABSTRAK

Ayam pelung merupakan ayam asli Indonesia yang digolongkan sebagai ayam dwiguna (pedaging dan penyanyi). Ketidaknormalan fisik dapat berpengaruh terhadap harga jual. Salah satu kelainan fisik yang sering ditemui adalah *rengket*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pola pewarisan kelainan *rengket* dan nilai koefisien *inbreeding*nya pada ayam pelung. Metode dalam penelitian ini adalah deskriptif eksploratif dengan pengambilan sampel *purposive sampling*. Penelitian dilakukan di Kec. Cibeber, Kab. Cianjur, Jawa Barat. Penghitungan koefisien *inbreeding* (KI) menggunakan rumus $F = \frac{1}{2}^{n+1} (1+F_c)$ dan penentuan pola pewarisan *rengket* berdasarkan rekonstruksi *pedigree* dan uji *chi-square test goodness of fit*. Hasil penelitian menunjukkan kelainan *rengket* pada ayam pelung diturunkan secara *autosomal* resesif dengan KI mencapai 0,6. Nilai KI yang tinggi meningkatkan peluang terjadinya *rengket*.

Kata-kata kunci: ayam pelung, *rengket*, pola pewarisan, koefisien *inbreeding*

ABSTRACT

Pelung Chicken is classified as dual-purpose chicken (meat and singer). Physical abnormalities affect the selling price. One of the common physical abnormalities is crooked toes. The aims of this study were to determine the crooked toes inheritance pattern and the value of inbreeding coefficient (IC) in Pelung chicken. The method that used in this study is descriptive-explorative and samples were taken using purposive sampling analysis. The research was conducted at Cibeber, Cianjur district, West Java. Inbreeding coefficient was determined using $F = \frac{1}{2}^{n+1} (1+F_c)$ formula and inheritance pattern was determined by the pedigree resulted and chi-square test goodness of fit test. The results show that a Creeper abnormality is inherited as autosomal recessive with the IC value reaches 0.6. The highest value of IC shows highest risk probability of crooked toes in pelung chicken.

Key words: pelung chicken, crooked toes, inheritance pattern, inbreeding coefficient.

PENDAHULUAN

Ayam pelung (*Gallus gallus domesticus*) merupakan salah satu sumberdaya genetik ternak lokal yang berasal dari Kabupaten Cianjur, Jawa Barat. Ayam pelung memiliki tubuh yang lebih besar dibandingkan dengan jenis ayam lokal lainnya (Dwiyanto dan Prijono,

2007). Ayam pelung dewasa memiliki rata-rata bobot badan 2,904 kg pada betina dan 4,002 kg pada pejantan (Iskandar dan Susanti, 2007). Bobot badan ayam kampung hanya berkisar 1,5-1,8 kg pada jantan dewasa, dan 1,0-1,4 kg pada betina dewasa (Dwiyanto dan Prijono, 2007). Selain itu, ayam pelung juga memiliki suara yang khas (*melung*) dengan ciri suara panjang,

mengalun, bervolume besar, dan berirama sehingga disebut sebagai ayam penyanyi (Jarmani dan Nataamijaya, 1996; Jatmiko, 2001; Rusdin, 2007; Nataamijaya, 2010).

Posturnya yang besar dan kemampuan bersuaranya membuat ayam pelung digunakan sebagai ayam hias yang memiliki harga jual relatif tinggi dibandingkan dengan ayam-ayam lain (Nataamijaya, 2005). Ayam pelung juga sering digunakan sebagai simbol kejayaan seseorang dan ayam hias (Jamiko, 2001). Ayam pelung yang sekarang menjadi primadona, bernama Kayangan, dan harganya mencapai 50 juta rupiah. Ayam-ayam dengan kualitas/kategori bagus (non-juara pada kompetisi) biasanya memiliki harga antara 2-3 juta rupiah tergantung dari kualitas suara dan fisik/penampilan yang dimiliki.

Kompetisi suara ayam pelung sering kali diselenggarakan untuk melestarikan ayam pelung dan sudah berlangsung dari tahun 1978 (Jarmani dan Nataamijaya, 1996). Tiga kategori utama yang sering menjadi kriteria pada kompetisi ayam pelung yaitu kategori suara, bobot, dan penampilan (Jarmani dan Nataamijaya, 1996; Jatmiko, 2001; Rusdin, 2007). Oleh karena itu, penampilan juga menjadi salah satu pertimbangan utama untuk menentukan harga jual ayam pelung (Jatmiko, 2001; Rusdin, 2007).

Kelainan yang sering ditemui pada ayam pelung adalah *rengket*. Kelainan ini merupakan kelainan pembengkokkan jari-jari kaki. Penelitian-penelitian pada ayam pelung sebelumnya belum menjelaskan kelainan *rengket* pada ayam pelung secara mendetail. Jatmiko (2001) dan Rusdin (2007) menduga bahwa *rengket* merupakan sifat bawaan yang diturunkan dari kedua induk. Namun demikian, data yang mendukung pernyataan tersebut sangat sedikit. Perkawinan secara *inbreeding* diduga menjadi penyebab utama semakin meningkatnya kelainan *rengket* (Jatmiko, 2001). Laporan lain menyatakan, bahwa *rengket* dapat terjadi karena adanya kecelakaan, kesalahan pengelolaan (manajemen), pemanasan berlebihan pada waktu inkubasi (Oviedo-Randon dan Wineland, 2009), dan kekurangan beberapa asupan gizi seperti *pyridoxine* dan *riboflavin* (Masse *et al.*, 1996; Burgos *et al.*, 2006), sehingga diperlukan observasi terhadap rekonstruksi *pedigree* untuk membuktikan penyebab *rengket*.

Inbreeding merupakan sistem persilangan antara dua individu yang memiliki hubungan

genetik yang lebih dekat dibandingkan rata-rata hubungan genetik dalam satu populasi (Akhtar *et al.*, 2000). Koefisien *inbreeding* bernilai 0 sampai 1, semakin mendekati angka 1 maka keseragaman genetik dalam suatu populasi akan semakin tinggi. Dengan demikian akan muncul *autozigositas* (Sausa *et al.*, 2000). *Autozigositas* merupakan peningkatan kemungkinan munculnya gen resesif pada pasangan alel yang heterozigot. Alel heterozigot terdapat satu gen yang berfungsi normal dan satu gen yang mengalami mutasi (tidak normal). Pada homozigot resesif kedua alel tidak berfungsi secara normal sehingga akan timbul kelainan atau penyakit (Solomon *et al.*, 2008). Nilai koefisien *inbreeding* (nilai F) hanya memperkirakan kenaikan homogenitas gen akibat perkawinan sedarah yang mana lokus tersebut identik dengan leluhurnya (Frankham *et al.*, 2002). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pola pewarisan kelainan *rengket* dan nilai koefisien *inbreeding* pada ayam pelung yang mengalami kelainan tersebut. Dengan ditemukannya pola pewarisan kelainan *rengket* diharapkan mampu membantu para peternak dan penggemar ayam pelung untuk mendapatkan ayam yang berkualitas suara bagus dan mengurangi kejadian *rengket*.

METODE PENELITIAN

Pengambilan data dilakukan di Kabupaten Cianjur dengan *purposive sampling*, yaitu dengan kelompok peternak yang memiliki data dan *track record* yang baik serta lengkap dalam menghasilkan ayam pelung berkualitas. Peternak yang dipilih adalah peternak yang berpengalaman dan mengetahui riwayat ayam-ayam yang dimilikinya. Penelusuran *pedigree* dan fenotip diperoleh dari hasil wawancara dan disusun berdasarkan metode Bennet *et al.* (2008). Penelitian dilakukan dari bulan September 2013 sampai Juni 2014.

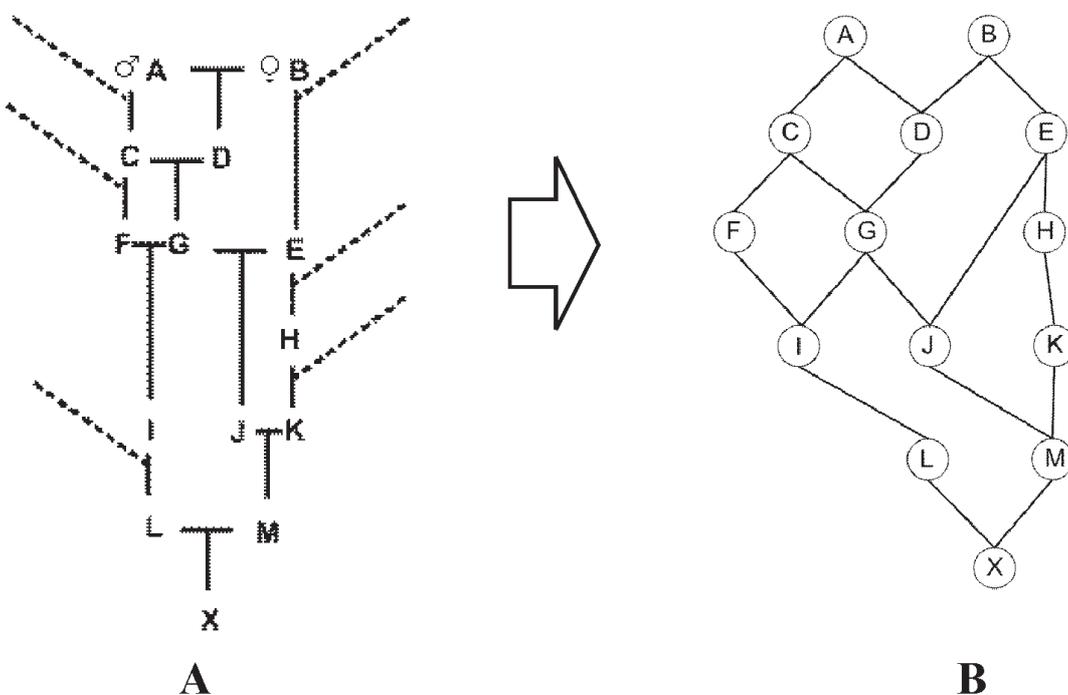
Data penelitian mengacu pada penelitian sebelumnya oleh Rusdin (2007). Untuk memastikan kebenaran data, data terlebih dulu dikonfirmasi kepada peternak yang menjadi nara sumber penelitian. Penentuan pola pewarisan *rengket* berdasarkan analisis *pedigree* yang telah dibuat dan uji statistika *chi-square test goodness of fit*.

Penghitungan koefisien *inbreeding* dilakukan pada *pedigree* yang dihasilkan menggunakan rumus (Frankham *et al.*, 2002): $F =$

$\Sigma \left(\frac{1}{2}\right)^n$, F merupakan koefisien *inbreeding* dan n adalah jumlah anak panah dari setiap jalur. Langkah-langkah untuk menghitung koefisien *inbreeding* suatu individu X (F_x) dilakukan sebagai berikut: langkah pertama, adalah merunut dan menggambarkan asal usul nenek moyangnya sampai tidak diketahui atau sampai nenek moyangnya berasal dari alam. Jika dalam silsilah tidak ada kawin dengan keluarga, berarti koefisien *inbreeding* X (F_x) = 0. Langkah kedua adalah menentukan koefisien nenek moyang yang sama (F_c). Koefisien *inbreeding* nenek moyang harus dihitung sebelum menghitung koefisien *inbreeding* X (F_x). Cara perhitungan koefisien *inbreeding* nenek moyang sama dengan perhitungan koefisien *inbreeding* individu X. Langkah

ketiga, adalah memperhatikan aliran gen pada gambar silsilah. Langkah keempat adalah menghitung koefisien *inbreeding* masing-masing aliran gen dengan rumus: $F = \frac{1}{2} \cdot (1/2)^{n+1} (1+F_c)$ (Frankham *et al.*, 2002). Langkah kelima adalah menentukan koefisien *inbreeding* individu X, dengan cara menjumlah koefisien masing-masing aliran gen.

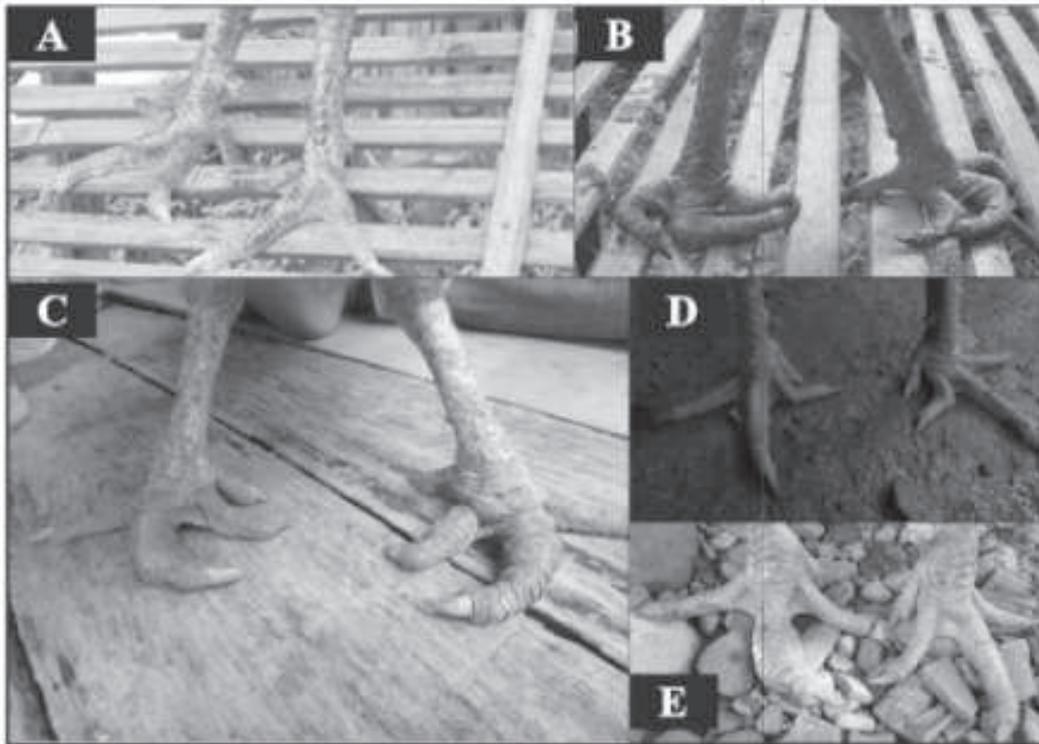
Contoh perhitungan koefisien *inbreeding* X pada silsilah seperti pada Gambar 1 dan Tabel 1. Analisis koefisien *inbreeding* yang berlangsung dengan cara *back cross* secara terus menerus memiliki cara penghitungan yang berbeda dengan cara tersebut, yaitu menggunakan rumus $F_t = \frac{1}{4} (1 + F_A + 2F_{t-1})$, dengan F_A merupakan nilai koefisien *inbreeding* individu induk *back cross* (Frankham *et al.*, 2002).



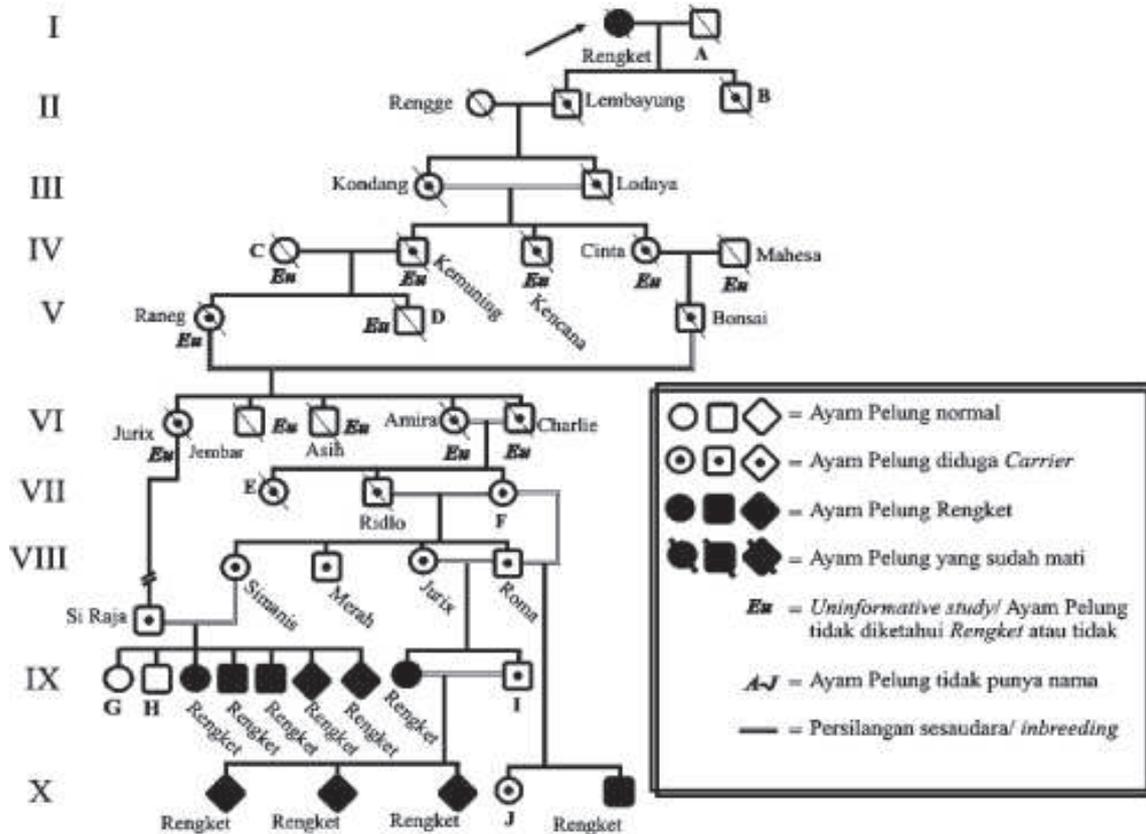
Gambar 1. Silsilah suatu individu X (A); Aliran gen individu X (B), ayam pelung di Kecamatan Cibeber, Cianjur.

Tabel 1. Contoh perhitungan koefisien inbreeding

Jalur	N	Fca	Kontribusi Fx
LIFCADGJM	9	0	$(1/2)^9$
LIGDBEHKM	9	0	$(1/2)^9$
LIGDBEJM	8	0	$(1/2)^8$
LIFCGJM	7	0	$(1/2)^7$
LIGJM	5	1/8	$(1/2)^5(1+1/8)$
			$F_x = 26/512 = 0.0508$



Gambar 2. Kelainan *rengket* pada ayam pelung. A. Normal B-C. *rengket* taraf berat, D-E, *rengket* taraf ringan.



Gambar 3. *Pedegree* ayam pelung yang menunjukkan *rengket* diturunkan secara autosomal resesif

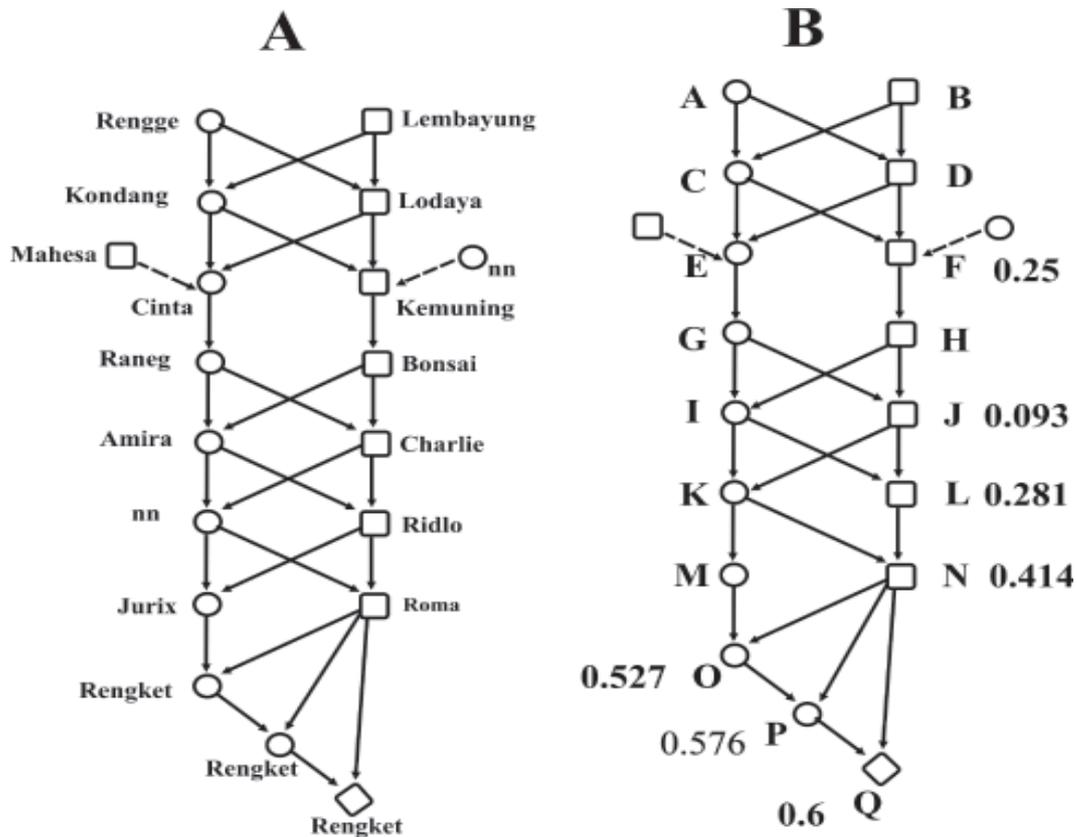
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian menghasilkan *pedigree* sebanyak 10 generasi (Gambar 3). Generasi pertama sampai keempat merujuk pada penelitian Rusdin (2007) yang kebenarannya dikonfirmasi kepada peternak yang bersangkutan. Merebaknya *rengket* di Kecamatan Cibeber, Cianjur, Jawa Barat diduga berasal dari *ancestor* pertama yaitu betina *rengket* (ditandai dengan anak panah). *Rengket* (generasi I) yang disilangkan dengan A menghasilkan keturunan normal. Lembayung (Generasi II) yang normal diduga bersifat karier sehingga membawa sifat *rengket* ke generasi-generasi berikutnya. Lembayung kemudian disilangkan dengan Rengge yang bersifat normal. Dari generasi ketiga inilah persilangan dengan kerabat dekat (*inbreeding*) seringkali dilakukan.

Anak dari Lembayung dan Rengge yaitu Lodaya dan Kondang disilangkan sesaudara secara terus menerus, sehingga memungkinkan kejadian *autozigositas* sangat tinggi (Lynch, 1991). Namun demikian, karena keterbatasan

informasi apakah ayam-ayam tersebut mengalami *rengket* atau tidak, tidak dapat disampaikan. Informasi baru didapat pada generasi ke VI, yang merupakan anakan dari ayam-ayam generasi ke IV. Raneg yang merupakan anak dari C dan Kemuning, dikawinkan dengan Bonsai yang merupakan anak dari Mahesa dan Cinta. Kemuning, Mahesa, dan Kencana, dahulunya dikenal dengan suara bagus dan sering memenangkan suatu kompetisi suara, sehingga keturunan ayam-ayam ini dipercaya mampu menghasilkan suara yang bagus pula. Kebiasaan masyarakat untuk mengawinkan ayam yang bagus tanpa menghiraukan efek *inbreeding* ini sangat mengkhawatirkan, karena ayam yang memiliki kualitas suara biasa (non juara) biasanya digunakan sebagai ayam pedaging. Selanjutnya, persilangan *inbreeding* kerap kali dilakukan pada generasi-generasi berikutnya, sehingga kejadian *rengket* akhirnya sering muncul pada generasi ke IX dan ke X (Gambar 4).

Perhitungan koefisien *inbreeding* pada populasi yang sekarang ada menunjukkan nilai yang sangat tinggi. Hasil perhitungan koefisien



Gambar 4. Rekonstruksi perhitungan dan nilai koefisien *inbreeding* ayam pelung di Kecamatan Cibeber, Kabupaten Cianjur, Jawa Barat.

Tabel 2. Hasil *chi-square test goodness of fit* dengan anggapan pola pewarisan *rengket* secara autosomal resesif

	<i>Eu</i> dianggap normal		<i>Eu</i> dianggap Rengket		<i>Eu</i> diabaikan	
	Rengket	Normal	Rengket	Normal	Rengket	Normal
diobservasi (o)	11	31	21	21	11	18
diharapkan (e)	11	31	11	31	8	22
deviasi (d)	0	0	10	-10	3	-4
d ²	0	0	100	100	9	16
d ² /e	0	0	9.09	2.38	1.13	0.73
x ²	0+0 = 0		9.09 + 2.38 = 11.47		1.13 + 0.73 = 1.85	
			dF= 2-1 = 3.84			

Tabel 3. Hasil *Chi-square test goodness of fit* dengan anggapan pola pewarisan *Rengket* secara autosomal dominan

	<i>Eu</i> dianggap normal		<i>Eu</i> dianggap Rengket		<i>Eu</i> diabaikan	
	Rengket	Normal	Rengket	Normal	Rengket	Normal
diobservasi (o)	11	31	21	21	11	18
diharapkan (e)	21	21	21	21	21	21
deviasi (d)	-10	10	0	0	-10	-3
d ²	100	100	0	0	100	9
d ² /e	4.76	4.76	0.00	0.00	4.76	0.43
x ²	4.76 + 4.76 = 9.53		0+0= 0		4.76 + 0.43 = 5.19	
			dF= 2-1 = 3.84			

inbreeding pada *pedigree* yang diperoleh mencapai 0,6 (Gambar 3), yang artinya nilai *inbreeding* tersebut telah mendekati kesamaan genetik atau homologi yang tinggi dengan indukan awal. Batas nilai koefisien *inbreeding* yang dianggap aman adalah di bawah 37,5% dan apabila melebihi batas tersebut akan menyebabkan *inbreeding depression*. Pengaruh *inbreeding depression* menyebabkan mutasi gen dari sifat tertentu menjadi sifat negatif mulai dari penentuan vitalitas, viabilitas, bahkan terbentuknya gen semi *lethal* dan *lethal* (Sidodolog, 2011). Salah satu efek nyata dari *inbreeding depression* pada penelitian ini ditunjukkan dengan adanya kelainan *rengket*.

Sidodolog (2011) menyatakan peningkatan koefisien *inbreeding* 1% menunjukkan *inbreeding depression* melalui peningkatan mortalitas pada anak ayam sebesar 0,33%, ayam dara (remaja) sebesar 0,15%, ayam dewasa sebesar 0,21%, penurunan umur dewasa

sebanyak 4,5 hari, penurunan produksi telur hingga 0,43%, penurunan daya tetas hingga 0,32%, penurunan bobot telur 0,12 g, dan penurunan bobot badan sebesar 15 g. Szwaczkowski *et al.* (2003) melaporkan, peningkatan koefisien *inbreeding* sebesar 1% pada ambang batas akan menurunkan 0,4% sampai 1% fertilitas pada ayam petelur.

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan, *rengket* memiliki beberapa tingkatan mulai dari taraf ringan sampai berat (Gambar 2). Pada taraf ringan *rengket* mengakibatkan keindahan (estetika) ayam tersebut menurun, namun dalam keadaan yang serius (tinggi), *rengket* mengakibatkan isolasi reproduksi pada ayam jantan. Hal ini karena kaki ayam jantan tersebut tidak dapat digunakan untuk memijak pada punggung ayam betina pada saat kopulasi.

Analisis pola pewarisan *rengket* yang disajikan melalui *pedigree* pada Gambar 2 menunjukkan *rengket* mampu diturunkan dari generasi ke generasi. Ratna dan Jurix

menghasilkan dua keturunan yaitu jantan di Kota Cianjur dan betina *rengket*. Betina *rengket* kemudian di *back cross* dengan Ratna yang menghasilkan tiga anakan dan semuanya *rengket*. Persilangan antara Roma dan F menghasilkan satu betina normal dan satu jantan *rengket*. Persilangan Raja dan Si Manis menghasilkan tujuh turunan dan lima di antaranya *rengket*.

Hasil analisis menggunakan metode *chi-square test* dengan anggapan *rengket* diturunkan secara autosomal resesif menunjukkan hasil yang berbeda-beda. Hal tersebut karena adanya keterbatasan keterangan sampel yang diperoleh. Uji *chi-square test* dengan *Eu (uninformative study)* sampel dianggap normal dan *Eu* diabaikan menunjukkan *rengket* diwariskan secara autosomal resesif (Tabel 2). Apabila *Eu* dianggap *rengket*, menunjukkan *rengket* tidak diwariskan secara autosomal resesif, melainkan autosomal dominan (Tabel 3). Namun demikian, *pedigree* yang dihasilkan tidak menunjukkan penurunan *rengket* diwariskan secara vertikal, yang merupakan ciri pewarisan secara autosomal dominan (Gambar 2), sehingga dapat diduga bahwa *rengket* diturunkan secara autosomal resesif.

Vogelaar (2015) menyatakan bahwa *rengket* dapat diakibatkan oleh beberapa hal di antaranya, suhu inkubator yang tidak tepat, suhu pengeraman yang tidak tepat, kekurangan asupan vitamin, atau faktor genetik. Berdasarkan wawancara dengan beberapa peternak, kandang ayam dengan lantai kawat lebih rentan mengakibatkan *rengket*.

Persilangan antar ayam pelung dengan kualitas bagus dipercaya mampu menghasilkan ayam pelung dengan kualitas suara bagus (juara). Namun demikian, tanpa disadari persilangan selalu bersifat *inbreeding*, hal ini yang menjadi tinjauan serius apabila dikaitkan dengan kualitas genetik. Dengan demikian, persilangan antar ayam pelung dengan kualitas bagus harus dilakukan untuk menghasilkan keturunan yang bagus (Rusdin, 2007), namun faktor *inbreeding depression* harus tetap diperhatikan guna mengurangi risiko *autozigositas* (Lynch, 1991).

SIMPULAN

Berdasarkan analisis *pedigree* dan uji *chi-square test goodness*, pola pewarisan kelainan

rengket pada ayam pelung diwariskan secara *autosomal* resesif, sedangkan nilai koefisien *inbreeding* ayam pelung mencapai 0,6.

SARAN

Untuk menghasilkan ayam pelung dengan kualitas suara bagus harus memperhatikan faktor genetik, namun demikian tetap tidak boleh menghiraukan nilai ambang koefisien *inbreeding* yang aman.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung oleh dana penelitian Hibah Teknologi Tepat Guna dan Penelitian Unggulan dari LPPM UGM, 2013 (020/ST/KP4/DIPA/UGM/2013), serta Hibah Pengembangan Jaringan ABCG (*Academic, Bussines, Community, Government*) untuk Pemanfaatan Hasil Penelitian Teknologi Tepat Guna Gama Pertanian Tropika Terpadu (Agro Produksi dan Lingkungan, Agribisnis, Agroindustri, Agro-Teknologi, Agro-Industri, Agro-Wisata) di Laboratorium Lapangan KP4 UGM dan Mangunan No: : 031/ST/KP4/DIPA/UGM/2013. Terimakasih juga disampaikan kepada Himpunan Pecinta Ayam Pelung Indonesia (HIPAPI) atas kerjasama dan fasilitas yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhtar P, Khan MS, Mohiuddin G, Abdullah M. 2000. Effect of Inbreeding on different performance Traits Hissardale Sheep in Pakistan. *Pakistan Vet J* 20(4): 169-172.
- Bennet RB, French KS, Resta RG, Doyle DL. 2008. Standardized Human Pedigree Nomenclature: Update and Assessment of the Recommendations of the National Society of Genetic Counselors. *J Genet Counsel* 17: 424-433.
- Burgos S, Bohorquez DV, Burgos SA. 2006. Vitamin Deficiency-Induced Neurological Diseases of Poultry. *Intll J of Poult Sci* 5 (9): 804-807.
- Diwyanto K, Prijono SN. 2007. *Keanekaragaman Sumber Daya Hayati Ayam Lokal Indonesia: Manfaat dan Potensi*. Jakarta: LIPI Press.

- Frankham R, Ballou JD, Briscoe DA. 2002. *Introduction to Coconservation Genetic*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Iskandar S, Susanti T. 2007. Karakter dan Manfaat Ayam Pelung di Indonesia. *Wartazoa* 17(3): 128-136.
- Jarmani SN, Nataamijaya AG. 1996. Karakteristik Suara Ayam Pelung. Pros. Seminar Nasional Peternakan dan Veteriner. Cisarua, Bogor, 7-8 Nopember 1995. Bogor. Puslitbang Peternakan. Hlm. 819-823.
- Jatmiko. 2001. Studi Fenotipe Ayam Pelung untuk Seleksi Tipe Ayam Penyanyi. (Tesis). Bogor. Institut Pertanian Bogor.
- Lynch M. 1991. The Genetic Interpretation of Inbreeding Depression and Outbreeding Depression. *Evolution* 45(3): 622-629
- Masse PG, Rimnac CM, Yamauchi M, Coburn SP, Rucker RB, Howell DS, Boskey AL. 1996. Pyridoxine Deficiency Affects Biomechanical Properties of Chick Tibial Bone. *Bone* 18(6): 567-574.
- Nataamijaya AG. 2005. Karakteristik Penampilan Pola Warna Bulu, Kulit, Sisik Kaki, dan Paruh Ayam Pelung di Garut dan Ayam Sentul di Ciamis. *Buletin Plasma Nutfah* 11(1): 1-5.
- Nataamijaya AG. 2010. Pengembangan Potensi Ayam Lokal untuk Menunjang Peningkatan Kesejahteraan Petani. *Jurnal Litbang Pertanian* 29(4): 131-138.
- Oviedo-Randon EO, Wineland MJ. 2009. Effects of breeder nutrition and management, and incubation on broiler leg health, Area: Chicken Breeder and Broiler Production, World's Poultry Congress XXIV, 5-9 August - 2012: 1-10.
- Rusdin M. 2007. Analisis Fenotip, Genotip dan Suara Ayam Pelung di Kabupaten Cianjur. (Tesis). Bogor. Institut Pertanian Bogor.
- Sabiha. 2009. Leg Weakness/Disorder in Poultry. *Aviatech: Technical Bulletin*. 1-8.
- Sidodalog SHP, 2011. *Pemuliaan sebagai Sarana Pelestarian dan Pengembangan Ayam Lokal*. Pidato Pengukuhan Guru Besar, 3 Maret 2011. Yogyakarta. Fakultas Peternakan, UGM.
- Solomon EP, Berg LR, Martin DW. 2008. *Biology*. 8th Ed. Thompson Brooks/Cole, USA.
- Sousa AO, de Oliveira SM, Bernardes AT. 2000. Simulating inbreeding depression through the mutation accumulation theory. *Physica* 278: 563-570.
- Szwaczkowski T, Cywa-Benko K, & Wężyk S. 2003. A note on inbreeding effect on productive and reproductive traits in laying hens. *Animal Science Papers and Reports* 21(2): 121-129.
- Vogelaar E. 2015. *Curled toes*. Online-megazine. [www. Eviculture-Europe.nl](http://www.Eviculture-Europe.nl).