

**UKURAN TUBUH-MAKSIMUM ANTAR
POPULASI-TERBATAS-PULAU BIAWAK KOMODO
DAN KETERKAITANNYA
DENGAN KEPADATAN MANGSA BESAR**



Tim S. Jessop, Thomas Madsen, Joanna Sumner, Heru Rudiharto,
John A. Phillips, dan Claudio Ciofi

**Taman Nasional Komodo
Zoological Society of San Diego
The Nature Conservancy
2005**



UKURAN TUBUH-MAKSIMUM ANTAR POPULASI-TERBATAS-PULAU BIAWAK KOMODO DAN KETERKAITANNYA DENGAN KEPADATAN MANGSA BESAR

Tim S. Jessop^{1,2}, Thomas Madsen², Joanna Sumner¹, Heru Rudiharto³, John A. Phillips¹,
dan Claudio Ciofi^{4,*}

Diterjemahkan oleh:

M. Jeri Imansyah^{1,5}, Achmad A. Husen¹, Deni Purwandana^{1,5}

¹ *Beckman Center for Conservation and Research of Endangered Species, Zoological Society of San Diego, Escondido Ca 92112, USA.*

² *Department of Biological Sciences, University of Wollongong NSW 2522, Australia.*

³ *Balai Taman Nasional Komodo, Labuan Bajo, Flores, Indonesia*

⁴ *Department of Ecology and Evolutionary Biology, Yale University, 165 Prospect Street, New Haven, CT 06520, USA **

⁵ *The Nature Conservancy SEACMPA, Sanur, Denpasar, Bali, Indonesia*

Topik utama: INSULAR SIZE VARIATION IN KOMODO DRAGONS

Korespondensi penulis,

Tim S. Jessop

Department of Biological Sciences

University of Wollongong

NSW 2522

Email: timj@uow.edu.au

* Alamat saat ini: Department of Animal Biology and Genetics, University of Florence, Via Romana 17, 50125 Florence, Italy

RINGKASAN

Studi ini melaporkan variasi ukuran tubuh-maksimum pada Komodo di 4 populasi-terbatas-pulau (populasi-pulau) di Taman Nasional Komodo, juga membandingkan penghitungan tidak-langsung kepadatan rusa sebagai sumber makanan utama komodo besar, untuk membedakan ukuran tubuh-maksimum antar pulau. Sebanyak 15% komodo yang paling besar dari pulau-pulau besar; Komodo dan Rinca, secara signifikan lebih besar dan lebih berat dari pada populasi di pulau-pulau kecil; Gili Motang dan Nusa Kode. Terlihat adanya perbedaan *Snout Vent Length (SVL)* sebesar 33% antara populasi komodo yang ditemukan di Komodo dengan komodo yang ditemukan di pulau Gili Motang, dan beratnya bervariasi sekitar 493%. Kepadatan kelompok-kotoran rusa antar pulau berkisar antara 5.86 ± 0.75 kelompok per transek di Gili Motang hingga 20.73 ± 1.02 kelompok per transek di pulau Komodo. *SVL* dan berat Komodo memiliki korelasi yang sangat positif dengan indeks kepadatan rusa. Rendahnya kepadatan mangsa pada ke dua pulau kecil menjadi faktor yang sangat kuat dapat mempengaruhi ukuran tubuh. Sampai saat ini kami tidak dapat menarik kesimpulan apakah variasi ukuran tubuh antar pulau terjadi karena faktor mekanisme genotip atau fenotip.

KATA KUNCI: ukuran tubuh-maksimum, populasi-pulau, kepadatan mangsa, kurangnya kompetisi intraspesifik, keterbatasan sumber daya.

PENDAHULUAN

Pada suatu gugusan kepulauan, ukuran tubuh satu spesies dapat berukuran kerdil hingga raksasa. Beberapa mekanisme telah didalilkan berperan terhadap variasi ukuran tubuh antar pulau, termasuk kompetisi intraspesifik (Lomolino, 1985; Roth, 1992; McNab, 1994, Petren & Case, 1997), seleksi seksual (Wikelski & Trillmich, 1997) ketersediaan sumber daya, dan proses saling mempengaruhi (Heaney, 1978; Anderson & Handley 2002; Boback, 2003). Reptil yang hidup di pulau, khususnya, menunjukkan variasi ukuran tubuh yang sangat jelas dan dapat memungkinkan perbedaan massa antara individu paling besar dari populasi yang berbeda (Schwaner & Sarre, 1988; 1990; Petren & Case, 1997).

Pergeseran morfologis pada populasi-pulau dapat terjadi secara ekstrim cepat, berulang, juga dalam pola yang tak terduga seperti yang terlihat pada eksperimen lapangan terhadap kadal *Anolis* (Losos et al 1998; Losos, Warheit & Schoener, 1997). Penelitian yang sejenis tentang gigantisme telah dilaporkan pada kadal Chuckwalla (*Sauromalus*) pada dua pulau. Perbandingan tingkah laku pada spesies yang sama di daratan utama menunjukkan berkurangnya pengaruh predasi sebagai faktor penentu utama kekuatan seleksi (Petren & Case, 1997). Case (1978) mengumpulkan data ukuran tubuh ular dan menemukan kecenderungan kekerdilan di pulau. Ia juga mengajukan bahwa perubahan pada ketersediaan makanan di pulau tersebut dapat menjelaskan penurunan ukuran tubuh. Ulasan mengenai ukuran ular di pulau oleh Boback (2003) menunjukkan bahwa variabel fisiografi seperti luas pulau, umur pulau, jarak pulau ke daratan utama, dan ketinggian bukanlah penentu evolusi ukuran tubuh, ataupun sejarah

filogenetik. Apalagi, perubahan ukuran tubuh adalah bimodal, dan ukuran tubuh ular cenderung membesar jika terdapat mangsa lebih besar, atau mengecil ketika terdapat mangsa lebih kecil, dibandingkan ular yang terdapat di daratan utama (Boback, 2003; Madsen & Shine, 1992). Tingkat perubahan ukuran tubuh pada populasi insular besar varanid di wilayah Australia juga menunjukkan korelasi positif dengan kelimpahan mangsa dan perubahan ukuran ini dilaporkan dalam kurun waktu 100 tahun (Case & Schwaner, 1993).

Biawak Komodo (*Varanus komodoensis*) adalah biawak karnivor besar endemik lima pulau di wilayah Sunda Kecil di Tenggara Indonesia (Ciofi & De Boer, 2004). Empat di antara lima pulau tersebut berada dalam kawasan Taman Nasional Komodo. Pulau-pulau tersebut dibedakan berdasarkan ukuran menjadi dua macam kategori, yaitu dua pulau kecil dan dua pulau besar. Faktor kunci yang menentukan baik penyusunan komunitas dan dinamika spesies pada gugus kepulauan adalah terutama luasan pulau, dan juga interaksi dengan variabel fisiogeografis (contohnya bentuk topografi dan curah hujan; MacArthur & Wilson, 1967; Whittaker, 1998). Begitu juga pada predator puncak, -seperti biawak komodo, variasi sifat pada mangsa di kepulauan (ukuran, keanekaragaman, dan kelimpahan), ditentukan oleh luasnya area dan variasi fisiogeografi,- dapat mempengaruhi ekologi dari spesies tersebut. Berdasarkan ontogeni, biawak komodo menunjukkan perubahan pada lebar relung makanan (Auffenberg, 1981). Komodo dewasa mempunyai kebutuhan makan yang lebih sempit dibandingkan dengan kelas ukuran tubuh lainnya, terkait kecenderungannya untuk memilih hewan ungulata besar termasuk rusa (*Cervus timorensis*), babi hutan (*Sus scrofa*) dan kerbau (*Bubalis bubalis*) (Auffenberg, 1981). Maka, jika terdapat variasi antar pulau yang jelas dalam

keragaman mangsa dan ketersediannya, tingkatan umur pada biawak komodo, khususnya pada kelompok umur dewasa, mungkin berkaitan dengan perbedaan pada proses-proses ekologis dan *life-history*.

Disini kami mempelajari interaksi antara mangsa dengan ekologi biawak Komodo dewasa. Secara khusus kami menguji apakah perbedaan dalam ukuran tubuh-maksimum Komodo dewasa di keempat pulau berhubungan dengan perbedaan kepadatan mangsa utamanya, rusa. Lebih lanjut kami memprediksi bahwa ukuran tubuh-maksimum akan berkorelasi positif dengan kepadatan rusa dan oleh karena itu, maka Komodo pada pulau yang kecil akan berukuran lebih kecil dari pada Komodo di pulau besar, berkaitan dengan kepadatan rusa yang lebih sedikit.

Pengujian dasar untuk variasi intraspesifik pada ukuran tubuh suatu jenis satwa dapat dikacaukan oleh interaksi antara faktor seleksi yang berbeda dan mekanisme yang menyelewengkan ukuran tubuh, termasuk tekanan predasi dan kompetisi intraspesifik untuk makanan (Dunham et al., 1978; Wikelski, et al., 1997). Kebetulan, biawak komodo terlepas dari faktor-faktor kunci tersebut, dimana predasi terhadap biawak komodo dewasa sangat rendah (Auffenberg, 1981). Sebagai tambahan, kompetisi interspesifik pada mangsa besar dapat diabaikan sehubungan dengan ketidakhadiran predator besar lainnya di pulau-pulau (Auffenberg, 1981).

MATERI DAN METODE

LOKASI PENELITIAN

Objek studi penelitian ini adalah populasi biawak Komodo dari empat pulau di wilayah Sunda Kecil sebelah Tenggara Indonesia (gambar 1). Pulau-pulau tersebut merupakan ruang lingkup sebaran spesies tersebut di Taman Nasional Komodo, meliputi populasi dari Komodo (393.4 km²), Rinca (278.0 km²), Gili Motang (11.3 km²) dan Nusa Kode (biasa disebut Gili Dasami) (9.6 km²). Satu-satunya pulau yang memiliki populasi komodo, tapi tidak termasuk ke dalam Taman Nasional Komodo adalah Flores. Di Komodo dan Rinca masing-masing dipilih empat lokasi studi, yaitu Loh Liang, Loh Sebita, Loh Lawi dan Loh Wau di pulau Komodo; dan Loh Buaya, Loh Baru, Loh Tongker, Loh Dasami di pulau Rinca (gambar 1). Di pulau berpegunungan kecil, Gili Motang dan Nusa Kode, studi dilakukan mencakup area dataran pesisir dan perbukitan yang mewakili sekitar 20% dari habitat yang terdapat di pulau-pulau tersebut.

Sensus *mark-recapture* tahunan telah dilakukan pada tahun 2003 dan 2004 meliputi sepuluh area studi di keempat pulau di Taman Nasional Komodo. Data dari setiap area studi diambil selama 2 tahun berturut-turut. Di Nusa Kode, ukuran sampel yang diambil hanya sedikit (n=9) selama 2 tahun, karena jumlah populasi di pulau tersebut nampaknya hanya sedikit. Ditambah sulitnya menangkap komodo di tempat tersebut karena dengan bentuk topografinya yang curam sehingga membatasi area tempat meletakkan perangkap. Serta tingkah laku komodo yang lebih berhati-hati untuk masuk perangkap. Untuk meningkatkan jumlah ukuran sampel di Nusa Kode, maka kami menggunakan sampel tambahan (n=11) yang diambil pada tahun 1998 (Ciofi et al.,2002).

Tidak terdapat perbedaan statistik antara sampel yang dikoleksi pada tahun tersebut dengan sampel yang dikoleksi pada tahun 2003 dan 2004, terkait dengan perbedaan massa dan SVL (T-test, $t=0,78$; $P=0,86$).

PENCUPLIKAN

Biawak Komodo ($n=515$) di Taman Nasional Komodo, ditangkap dengan menggunakan perangkap berumpan, tali laso, atau dengan tangan (hanya untuk kelas ukuran tubuh yang kecil). Metode-metode ini sangat efektif untuk menangkap semua kelas ukuran diatas bayi (di bawah 1 tahun), yang sebagian besar aboreal. Setelah ditangkap, komodo diikat dengan tali dan mulutnya di lakban. *Snout-to-vent Length* (SVL) diukur dengan menggunakan ukuran meteran plastik antara ujung moncong (ujung antara bibir atas dan bibir bawah) dan kloaka. Pengukuran SVL dicatat sebagai nilai rata-rata antara dua kali pengukuran dengan ketelitian di bawah 0,5 cm. Berat badan diukur dengan menggunakan timbangan digital. Komodo yang terlihat jelas mengalami pembesaran perutnya karena baru mencerna mangsa, tidak diikutkan dalam analisis, dengan pertimbangan kondisi tersebut dapat meningkatkan berat lebih dari 20 kg (Jessop, data tidak dipublikasi). Komodo-komodo tersebut ditandai secara permanent dengan menggunakan *Passive Integrated Transponder* (PIT) tag (Trovan ID 100a). Waktu pemrosesan biasanya kurang dari 20 menit, selanjutnya komodo dilepas kembali di tempat dia ditangkap.

PENGHITUNGAN UKURAN MAKSIMUM TUBUH KOMODO BESAR

Untuk penentuan ukuran tubuh-maksimum antara pulau, cuplikan mewakili 15 % dari semua individu yang ditangkap untuk keperluan analisis, dan rata-rata dari individu-individu ini yang dihitung. Tidak seluruh data digunakan karena dapat dikacaukan oleh perbedaan struktur ukuran populasi antar pulau (Case & Schwanner, 1993). Pada saat ini tidak terdapat informasi kuantitatif tentang penentuan jenis kelamin komodo. Selain dari ukuran komodo terbesar biasanya jantan, komodo tidak memiliki perbedaan morfologi yang jelas antara jantan dan betina. Pemeriksaan kloaka untuk menentukan ada atau tidaknya hemipenis tersembunyi untuk jantan juga bukan merupakan suatu solusi, karena komodo betina memiliki kantung hemiklitoral yang bentuknya hampir sama dengan hemipenis pada jantan. Jadi penentuan jenis kelamin seringkali sangat membingungkan.

PENGHITUNGAN INDEKS KEPADATAN RUSA

Metode penghitungan langsung untuk menentukan kepadatan populasi rusa tidak mungkin dilakukan pada area kajian sehubungan dengan adanya pergantian tipe habitat (yang menjadi mayoritas pada 10 area studi), dan metode penghitungan langsung lainnya (contoh, metode jarak) tidak sesuai karena rusa cenderung menghindari manusia dan akan menimbulkan beberapa bias yang bernilai negatif dalam penghitungan kelimpahan. Oleh sebab itu kami memilih teknik penghitungan tidak langsung (diambil dari Thompson et al. 1998) berdasarkan penghitungan kotoran: estimasi dari teknik tersebut akan menghilangkan pengaruh tendensi rusa yang menghindari manusia, atau menghilang ke dalam hutan. Penghitungan kotoran atau kelompok kotoran sudah dipergunakan secara

luas untuk mengestimasi kemelimpahan absolut maupun relatif dari beberapa jenis rusa (Bennet et al., 1940; White, 1992; Thompson et al., 1998).

Indeks tidak langsung dari kepadatan rusa dihitung berdasarkan penghitungan kotoran pada transek garis. Di setiap lokasi kajian antara 20 hingga 49 transek diletakkan secara acak dan terorientasi. Kelompok kotoran dicatat dari 30 plot pencuplikan yang terletak pada tiap 150 meter transek. Setiap plot berbentuk lingkaran dengan radius 1 meter dengan luas area $3,14 \text{ m}^2$. Seluruh kelompok kotoran didalam plot dihitung. Setiap kelompok diseragamkan sebagai kepadatan jumlah kotoran yang terdiri dari 40 kotoran. Kelompok yang terdiri kurang dari 40 kotoran dihitung sebagai kotoran individu dan dibagi dengan nilai tengah penghitungan kotoran (diambil dari penghitungan 60 kelompok kotoran yang utuh). Kelompok kotoran yang lebih besar dari 50% di dalam area plot dihitung sebagai satu kelompok utuh. Untuk menyeragamkan perbedaan musiman, pada kepadatan kotoran kami melakukan survey ini di ke 10 lokasi kajian pada akhir September dan awal Oktober 2003. Kami tidak mengestimasi kepadatan kotoran babi hutan dan kerbau air, sebagai mangsa tambahan yang keterkaitannya mempengaruhi ukuran tubuh biawak komodo, karena distribusi hewan-hewan tersebut terbatas hanya di dua pulau besar Komodo dan Rinca.

STATISTIK

Data ukuran tubuh pertama-tama ditampilkan sebagai frekuensi kemudian dalam bentuk nilai tengah dan standar deviasi nilai tengah (SEM) dari 15 % populasi. Data kotoran ditampilkan sebagai nilai tengah dan standar deviasi nilai tengah (SEM). Parameter tes meliputi ANOVA digunakan untuk menilai perbedaan diantara nilai rata-

rata. Untuk data yang tidak memenuhi asumsi normalitas dan variasi keseimbangan dilakukan analisis transformasi log. Analisis *Regressi* dan ANOVA digunakan untuk data yang memiliki korelasi nyata antara dua faktor.

HASIL

VARIASI ANTAR-PULAU PADA UKURAN TUBUH

Perbedaan distribusi dan frekuensi pada ukuran tubuh antar populasi-pulau nampak sangat jelas, pada dua pulau besar (Komodo dan Rinca) menunjukkan distribusi serta kelimpahan ukuran SVL dan berat tubuh yang lebih luas dibandingkan dengan dua pulau kecil (Gili Motang dan Nusa Kode) (Gambar 2, dan Tabel 1) di TNK. Bahkan, antara pulau Komodo dan Rinca terdapat perbedaan yang besar dalam frekuensi relatif khususnya untuk ukuran tubuh. Contohnya di pulau Komodo komposisi populasi komodo besarnya (>120cm SVL) lebih banyak (28,31%) dibandingkan dengan pulau Rinca (15,35%). Sebaliknya di pulau Rinca komposisi populasi komodo kecil (< 60 cm SVL = 37,65%) dan populasi ukuran sedang (60-120cm SVL = 57,00%) lebih banyak dibandingkan populasi di pulau Komodo yang terdiri dari 26,12% dan 45,57% berurutan masing-masing untuk komodo ukuran kecil dan sedang. Individu terbesar memiliki 154.05 cm SVL (304 cm panjang tubuh total) dan berat 81,5 kg tanpa ada tanda pembesaran perut akibat baru menelan mangsanya, tertangkap di Loh Liang, pulau Komodo.

Ukuran tubuh-maksimum 15% Komodo terbesar di keempat pulau bervariasi, dari panjang SVL $96,91 \pm 1,19$ cm dan berat tubuh $13,5 \pm 1,06$ kg di Gili Motang, hingga panjang SVL $145,61 \pm 0,83$ cm dan berat tubuh $66,39 \pm 3,06$ kg di pulau Komodo (Gambar 3). Hal tersebut menunjukkan adanya perbedaan sebesar 33% untuk ukuran maksimum SVL antara pulau Komodo dan Gili Motang dengan variasi berat tubuh mencapai 439%. Terdapat perbedaan nyata antar populasi pada SVL (ANOVA: $F_{3,75} =$

104,51, $P < 0,001$) dan berat tubuh (ANOVA: $F_{3,75} = 34,71$, $P < 0,001$). Uji *Post hoc* menunjukkan bahwa populasi dari pulau-pulau besar seperti Komodo dan Rinca secara nyata lebih panjang dan lebih berat dari pada populasi di pulau lain yang lebih kecil seperti Gili Motang dan Nusa Kode.

VARIASI ANTAR-PULAU UNTUK KEPADATAN UNGULATA

Kepadatan kelompok kotoran rusa bervariasi antar pulau, dari $5,86 \pm 0,75$ kelompok per transek di Gili Motang hingga $20,73 \pm 1,02$ kelompok per transek di Komodo (Gambar 2b). Untuk pulau-pulau yang berada di dalam kawasan Taman Nasional Komodo terdapat korelasi yang tinggi antara nilai tengah pulau untuk penghitungan kelompok kotoran rusa, indeks yang digunakan untuk menilai kepadatan rusa, dan SVL Komodo ($R^2 = 0,99$, $F_{1,3} = 448,64$, $P = 0,002$) dan berat tubuh ($R^2 = 0,99$, $F_{1,3} = 252,82$, $P = 0,004$).

DISKUSI

Reptil yang hidup di pulau menunjukkan adanya variasi yang nyata dalam ukuran tubuh dan juga dalam berat individu besar pada populasi berbeda (Boback 2003; Schwarner & Sarre, 1998; 1990; Peteren & Case, 1997; Wikelski & Trilmich, 1997). Kami menemukan bahwa biawak Komodo menunjukkan variasi yang nyata pada ukuran tubuh-maksimum diantara keempat pulau di Taman Nasional Komodo. Terdapat perbedaan sebesar 33% pada SVL antara 15% komodo terbesar di P. Komodo dan 15% komodo terbesar di Gili Motang, dengan berat bervariasi 439%. Dua pulau kecil Gili Motang dan Nusa Kode mempunyai ukuran tubuh-maksimum terkecil pada populasi yang masih ada di Taman Nasional Komodo, sebaliknya pulau Komodo dan Rinca, pulau terbesar pertama dan kedua memiliki individu dengan ukuran tubuh-maksimum terbesar.

Kondisi ukuran tubuh-maksimum komodo yang ekstrim ini sepertinya dipengaruhi oleh kepadatan mangsa utama hewan besar di pulau yang bersangkutan, yaitu rusa. Terbukti bahwa dua pulau terkecil memiliki komodo dengan ukuran tubuh-maksimum terkecil di TNK, begitu pula dengan kepadatan rusa yang lebih rendah 3-4 kalinya dan juga tidak hadirnya dua spesies ungulata lainnya. Jadi ukuran tubuh-maksimum komodo sangat berasosiasi dengan kepadatan mangsa besar. Komodo mencapai ukuran tubuh lebih besar di pulau besar, yang memiliki kepadatan rusa, babi hutan dan kerbau paling tinggi, dibandingkan dengan komodo yang tinggal di pulau kecil, dengan kepadatan rusa yang paling rendah serta tanpa adanya babi hutan dan kerbau. Pada reptil jenis lain yang hidup di pulau, perbedaan besar ukuran tubuh disebabkan adanya perbedaan kelimpahan mangsanya, ketersediaan makanan dan, yang tidak kalah

penting, ukuran mangsa (Boback 2003; Case & Schwarner, 1993; Wikelski & Romero, 2003).

Bagaimana kepadatan rusa dapat mempengaruhi ukuran tubuh-maksimum komodo dewasa di keempat pulau? Secara umum, populasi pada pulau kecil lebih dipengaruhi oleh keterbatasan sumber daya, sehingga mengakibatkan penurunan ukuran tubuh (Heaney, 1978). Gili Motang dan Nusa Kode, keduanya sangat kecil ($<11 \text{ km}^2$) relatif terhadap Komodo dan Rinca ($>230 \text{ km}^2$) dan memiliki kepadatan rusa yang rendah pula, menunjukkan ketersediaan mangsa besar utama menjadi pembatas ukuran tubuh bagi spesies tersebut. Lebih lanjut, berdasarkan studi, pengaruh ketersediaan sumber daya diperkirakan dapat memberikan dampak yang lebih besar terhadap populasi komodo yang mendiami pulau lebih besar. Penurunan ukuran tubuh-maksimum pada kedua pulau mungkin merupakan strategi evolusioner lokal untuk mengatasi kondisi lingkungan pulau yang kecil. Penurunan ukuran tubuh pada komodo dapat memaksimalkan ketahanan melalui beberapa mekanisme; penurunan ukuran tubuh agar komodo dapat mengakses mangsa yang lebih luas dan menjaga kemampuan untuk mengganti mangsa menjadi lebih kecil dan bervariasi, dari pada hanya mengandalkan jenis mangsa besar saja. Sebagai tambahan, karena kebutuhan energetik absolut diukur dengan ukuran tubuh (Schmidt-Nielsen, 1984), penurunan ukuran tubuh-maksimum pada pulau kecil dapat menghasilkan penurunan kebutuhan akan mangsa, sehingga mengakibatkan komodo yang lebih kecil akan lebih efisien terhadap kebutuhan energetik absolut relatif terhadap populasi-pulau yang memiliki ukuran tubuh lebih besar. Bersamaan dengan itu, *life history* bawaan cenderung diukur menggunakan ukuran tubuh, sehingga komodo yang berukuran lebih kecil dapat menunjukkan pencapaian umur dewasa lebih awal dan mungkin mengurangi

interval *interbreeding* pada betina (Calder, 1994). Beberapa *life history* bawaan tertentu menunjukkan individu mampu menjaga populasi yang berkelanjutan di lingkungan pulau-pulau kecil tersebut.

Apakah perbedaan ukuran tubuh antara pulau kecil dan pulau besar di TNK mewakili adaptasi genetik lokal atau tanggapan secara fenotifik oleh komodo terhadap perbedaan kepadatan mangsa yang tersedia pada setiap pulau? Pada tahapan ini sangatlah tidak mungkin untuk menyimpulkan hal tersebut tanpa melakukan eksperimen lapangan melalui studi terhadap tetapan dari keempat pulau yang dibesarkan dibawah kondisi yang sama untuk diamati apakah perbedaan alami ditunjukkan oleh perbedaan pola pertumbuhan (Sears & Angilletta, 2003). Namun, permasalahan logistik, birokrasi dan keterbatasan waktu akan menjadi hambatan dalam pelaksanaan eksperimen seperti ini terhadap biawak komodo. Keterbatasan yang serupa telah membatasi analisis dalam menguji dasar-dasar genotip dan fenotip yang menjadi dasar perbedaan ukuran tubuh pulau besar pada populasi iguana laut (Wikelski et al., 1997). Namun, dalam hasil studinya, Wikelski dkk. (1997) menduga bahwa iguana laut menunjukkan variasi pada ukuran tubuh terkait dengan faktor-faktor fleksibilitas fenotip dan genetik berdasar pada ukuran tubuh yang didapat dari pemberian makanan suplemen, tapi juga menunjukkan bahwa aliran gen yang luas antar pulau akan menentukan adaptasi lokal terhadap fleksibilitas fenotip yang berpengaruh pada ukuran tubuh.

Untuk keempat pulau di Taman Nasional Komodo, penelitian tentang genetika populasi terdahulu telah mengindikasikan perbedaan aliran gen diantara populasi-pulau (Ciofi et al. 1999). Perbedaan ini menunjukkan adanya perbedaan isolasi spasial dan temporal diantara pulau-pulau. Apakah mungkin bahwa perbedaan aliran gen dapat

memndukung kemampuan adaptasi lokal terhadap fleksibilitas fenotip dalam menyangga perbedaan ukuran tubuh-maksimum diantara populasi-pulau biawak komodo? Sebagai contoh populasi pulau kecil Nusa Kode, yang berjarak dekat (<800 meter) di selatan pantai Rinca, secara genetik sangat mirip. Perbandingan berpasangan pada tiga ukuran jarak genetik standar melaporkan nilai tidak nyata diantara lokasi-lokasi tersebut (Ciofi, 2002).

Lebih lanjut, 89% individu yang dicuplik di Nusa Kode memiliki genetik yang sangat mirip dan mengacu pada Rinca Selatan, mengindikasikan tingkatan tinggi adanya migrasi antar ke dua pulau. (Ciofi, 2002). Rendahnya kepadatan rusa di Nusa Kode tampaknya menjadi faktor utama yang membatasi ukuran tubuh-maksimum pada pulau kecil melalui fleksibilitas fenotip. Intinya, jika mangsa lebih melimpah kemungkinan komodo-komodo tersebut akan mencapai ukuran tubuh yang lebih besar di sekitar Rinca. Sebaliknya, poulasi di Gili Motang, yang telah terisolasi baik dari Rinca maupun Flores selama kurang lebih 10.000 tahun pada masa akhir periode interglasial (Chappel & Shackleton, 1986; McCulloch et al., 1999), sangat rendah tingkat migrasinya dengan pulau-pulau lainnya dan diduga telah menjadi faktor penentu tingginya pergeseran genetik yang menyebabkan adanya fiksasi pada empat dari sembilan lokus mikrosatelit yang dianalisis (Ciofi & Bruford, 1999). Maka diduga ada potensi yang lebih besar untuk adaptasi lokal melalui proses perubahan-perubahan evolusif yang memunculkan pengurangan ukuran tubuh-maksimum pada pulau ini dibandingkan dengan Nusa Kode.

Di keempat pulau, distribusi populasi ukuran tubuh juga menunjukkan perbedaan frekuensi yang jelas di antara kelas ukuran (Gambar 2). Kemungkinan yang paling menarik adalah, di pulau Komodo terdapat proporsi yang lebih besar untuk individu-

individu besar dibandingkan dengan pulau Rinca, dimana ukuran tubuh-maksimum pada kedua pulau tersebut mencapai ukuran yang hampir sama. Perbedaan struktur ukuran tubuh populasi mungkin kiranya mempengaruhi struktur komunitas, dinamika populasi, dan bahkan interaksi intraspesifik. Sebagai contoh, kelas ukuran komodo kecil (<50cm SVL), meskipun frekuensinya lebih sedikit dari pada yang dewasa, ia mencerna rusa secara langsung maupun tidak langsung (contohnya memakan bangkai atau mengais daging rusa yang baru dimangsa oleh komodo yang lebih besar) (Auffenberg, 1981). Jadi terdapatnya komodo dewasa dengan frekuensi yang lebih besar di dalam populasi mungkin membuat perbedaan dalam kemampuan bertahan hidup dan pengambilan energi oleh kelas komodo yang lebih kecil. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengetahui bagaimana frekuensi (dengan memasukkan kepadatan) komodo besar dewasa dapat menjembatani mekanisme interaksi intra spesifik dan mekanisme interaksi tingkat makanan yang luas di ekosistem pulau tropis.

KESIMPULAN

Diantara ke empat populasi-pulau di Taman Nasional Komodo, biawak komodo menunjukkan variasi ukuran tubuh yang nyata. Lebih lanjut variasi ukuran tubuh tersebut sangat berasosiasi dengan kepadatan rusa sebagai mangsa utama komodo. Saat ini belum dapat ditentukan apakah faktor genotip atau fenotip yang menjadi dasar perbedaan penyesuaian ukuran tubuh-maksimum diantara populasi-pulau pada komodo dewasa. Bagaimanapun penyesuaian ukuran tubuh terhadap ketersediaan mangsa utama dapat menghasilkan keuntungan *survival*, baik itu secara fakultatif maupun obligatif yang dapat meningkatkan kemampuan bertahan hidup individu. Sejauh ini kami telah menunjukkan pengaruh satu-satunya faktor (yaitu kepadatan mangsa utama) yang sangat berasosiasi dengan ukuran tubuh-maksimum diantara populasi-pulau biawak komodo. Penelitian lebih lanjut sangat diperlukan untuk memahami mekanisme yang mengakibatkan mangsa utama dapat mempengaruhi ukuran tubuh-maksimum. Sampai saat ini belum diketahui seberapa penting interaksi antara ketersediaan mangsa utama dan kekuatan seleksi seksual dalam menentukan ukuran tubuh, khususnya komodo jantan dewasa. Interaksi antara seleksi seksual dan seleksi alam berperan terhadap ukuran tubuh-maksimum dan melalui ketersediaan makanan telah di dokumentasikan dengan baik pada jenis reptil lain yang hidup di pulau (Wikelski & Trillmich, 1997). Kami berharap dapat menjawab pertanyaan serupa mengenai variasi ukuran tubuh-maksimum diantara populasi-populasi-pulau biawak komodo, sekaligus untuk mendapatkan metodologi penentuan jenis kelamin berdasarkan genetik, akan dapat diwujudkan oleh institusi-institusi penelitian di Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih, khususnya kepada Deni Purwandana dan Jeri Imansyah (CRES/ZSSD), juga kepada para Polisi Hutan dan Staf Teknisi Taman Nasional Komodo yang telah membantu penelitian ini. Mats Olsson, atas komentarnya yang sangat membantu dalam pembuatan manuskrip, juga kepada terima kasih kepada David Forsyth atas bantuannya untuk metode sensus rusa. Penelitian ini dilakukan sebagai program kerja sama dengan Balai Taman Nasional Komodo. Perijinan untuk penelitian diperoleh melalui program kerja sama antara Zoological Society of San Diego, The Nature Conservancy (Indonesia Program) dan Direktorat Jenderal Perlindungan Hutan dan Konservasi Alam (PHKA). Dukungan keuangan disediakan oleh Millenium post-doctoral fellowship dari Zoological Society of San Diego (untuk T. S. Jessop), dan hibah dari Amerman Family Fund, the Offield Family Fund, the IMLS melalui hibah no IC-10161-01. Dukungan lebih lanjut (untuk C. Ciofi) diberikan oleh Collombus Zoo, Denver Zoological Foundation, Miami Metro Zoo, dan Woodland Park Zoological Society.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, R. and Handley, Jr. C. 2002. Dwarfism in insular sloths: biogeography, selection, and evolutionary rate. *Evolution* 56: 1045-1058.
- Auffenberg, W. 1981. *The Behavioral Ecology of the Komodo Monitor*. Univ. Press. Florida.
- Bennett, L. J., English, P. F. and McCain, R. 1940. A study of deer populations by use of pellet group counts. *Journal of Wildlife Management* 4: 398-403.
- Boback, S. M. 2003. Body size evolution in snakes: evidence from island populations. *Copeia* 2003: 81-94.
- Butler, M. A., and Losos, J. B. 2002. Multivariate sexual dimorphism, sexual selection, and adaptation in Greater Antillean Anolis lizards. *Ecological Monographs* 72: 541-559.
- Butler, M. A., Schoener, T. W. and Losos, J. B. 2000. The relationship between sexual size dimorphism and habitat use in greater Antillean Anolis lizards. *Evolution* 54: 259-272.
- Calder, W. A. 1984. *Size, function and Life-history*. Harvard Univ. Press.
- Case, T. J. 1978. A general explanation for insular body size trends in terrestrial vertebrates. *Ecology* 59: 1-18.
- Case, T. J. and Schwaner, T. D. 1993. Island/mainland body size differences in Australian varanid lizards. *Oecologia* 94: 102-109.
- Chappel, J. and Shackleton, N. J. 1986. Oxygen isotopes and sea level. *Nature* 324: 137-140.
- Ciofi, C. 2002. Conservation genetics. In: *Komodo Dragons: Biology and Conservation* (eds J. B. Murphy, C. Ciofi, C. de La Panouse and T. Walsh) pp. 129-64. Smithsonian Institution Press.
- Ciofi, C. and Bruford, M. W. 1999. Genetic structure and gene flow among Komodo dragon populations inferred by microsatellite loci analysis. *Molecular Ecology* 8: S17-S30
- Ciofi, C., Beaumont, M. A., Swingland, I. R. and Bruford, M. W. 1999. Genetic divergence and units for conservation in the Komodo dragon *Varanus komodoensis*. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B* 266: 2269-2274.
- Ciofi, C. and de Boer, M. E. 2004. Distribution and conservation of the Komodo monitor (*Varanus komodoensis*). *Herpetological Journal* 14: 99-107.
- Dunham, A. E., Tinkle, D. W. and Gibbons, J. W. 1978. Body size in island lizards: a cautionary tale. *Ecology* 59: 1230-1238.
- Heaney, L. R. 1978. Island area and body size of insular mammals: evidence from the tri-coloured squirrel (*Callosciurus prevosti*) of Southeast Asia. *Evolution* 32:29-44.
- Lomolino, M. V. 1985. Body size of mammals on islands: the island rule examined. *The American Naturalist* 125: 310-316.
- Losos, J., Warheit, B. K. I., Schoener, T. W. 1997. Adaptive differentiation following experimental island colonization in Anolis lizards. *Nature* 387: 70-73.

- Losos, J., Jackman, T. R. A., Larson, A., Dequeiroz, K., and Rodriguez-Schettino, L. 1998. Contingency and determinism in replicated radiations of island lizards. *Science* 279: 2115-2118.
- MacArthur, R. H., Wilson, E. O. (1967) *The theory of island biogeography*. Princeton Univ. Press.
- McCulloch M. T., Tudhope, A. W., Esat, T. M., Mortimer, G. E., Chappel, J., Pillans, B., Chivas, A.R. and Omura, A. 1999. Coral record of equatorial sea-surface temperatures during the penultimate deglaciation at Huon peninsula. *Science* 283: 202-204.
- McNab, B. K. 1994. Resource use and the survival of land and freshwater vertebrates on oceanic islands. *The American Naturalist* 144: 643-660.
- Madsen, T. and Shine, R. (1992) A rapid sexually selected shift in mean body size in a population of snakes. *Evolution* 46: 1220-1224.
- Madsen, T. and Shine, R. (1993) Phenotypic plasticity in body sizes and sexual size dimorphism in European grass snakes. *Evolution* 47: 321-325.
- Petren, K. and Case, T. J. 1997. A phylogenetic analysis of body size evolution and biogeography in Chuckwallas (*Sauromalus*) and other iguanines. *Evolution* 51: 206-219.
- Roth, V. L. 1992. Inferences from allometry and fossils: dwarfing of elephants on islands. *Oxford Surveys of Evolutionary Biology* 8: 259-288.
- Schmidt-Nielsen, K. 1984. *Scaling: Why is animal size so important?* Cambridge Univ. Press.
- Schwane, T. D. and Sarre, S. D. 1988. Body size of tiger snakes in southern Australia, with particular reference to *Notechis ater serventyi* (Elapidae) on Chappell Island. *Journal of Herpetology* 22: 24-33.
- Schwane, T. D. and Sarre, S. D. 1990. Body size and sexual dimorphism in mainland and island tiger snakes. *Journal of Herpetology* 24: 320-322.
- Sears, M.W. and Angilletta, Jr M. J. 2003. Life-history variation in the sagebrush lizard: phenotypic plasticity or local adaptation? *Ecology* 84: 1624-1634.
- Thomson, W. L., White, G. C. and Gowan, G. V. 1998. *Monitoring vertebrate populations*. Academic Press.
- White, G. C. 1992. Do pellet counts index white-tailed deer numbers and population change? *Journal of Wildlife Management* 56: 611-612.
- Whittaker, R. J. 1998. *Island Biogeography: Ecology, Evolution and Conservation*. Oxford: Oxford Univ. Press.
- Wikelski, M. and Trillmich, F. 1997. Body size and sexual size dimorphism in marine iguanas fluctuate as a result of opposing natural and sexual selection, an island comparison. *Evolution* 51: 922-936.
- Wikelski M., and Romero L. M. 2003. Body size, performance and fitness in Galapagos marine iguanas. *Integrative and Comparative Biology* 43: 376-386.
- Wikelski, M., Carrillo, V. and Trillmich, F. 1997. Energy limits to body size in a grazing reptiles, the Galapagos marine iguana. *Ecology* 78: 2204-2217.

Tabel 1. Hasil statistik ukuran tubuh dari populasi komodo di keempat pulau di Taman Nasional Komodo.

Gambar 1. Sebaran populasi Komodo di Taman Nasional Komodo, Indonesia. Lokasi cuplikan ditandai dengan nomer dan berlokasi di empat pulau yaitu, di Pulau Komodo: 1) Loh Sebita, 2) Loh Liang, 3) Loh Lawi, 4) Loh Wau; di Pulau Rinca: 5) Loh Buaya, 6) Loh Baru, 7) Loh Tongker, 8) Loh Dasami, dan di dua pulau kecil: 9) Nusa Kode, dan 10) Gili Motang. Area yang bertitik-titik merupakan tempat meletakkan perangkap pada setiap lokasi penelitian.

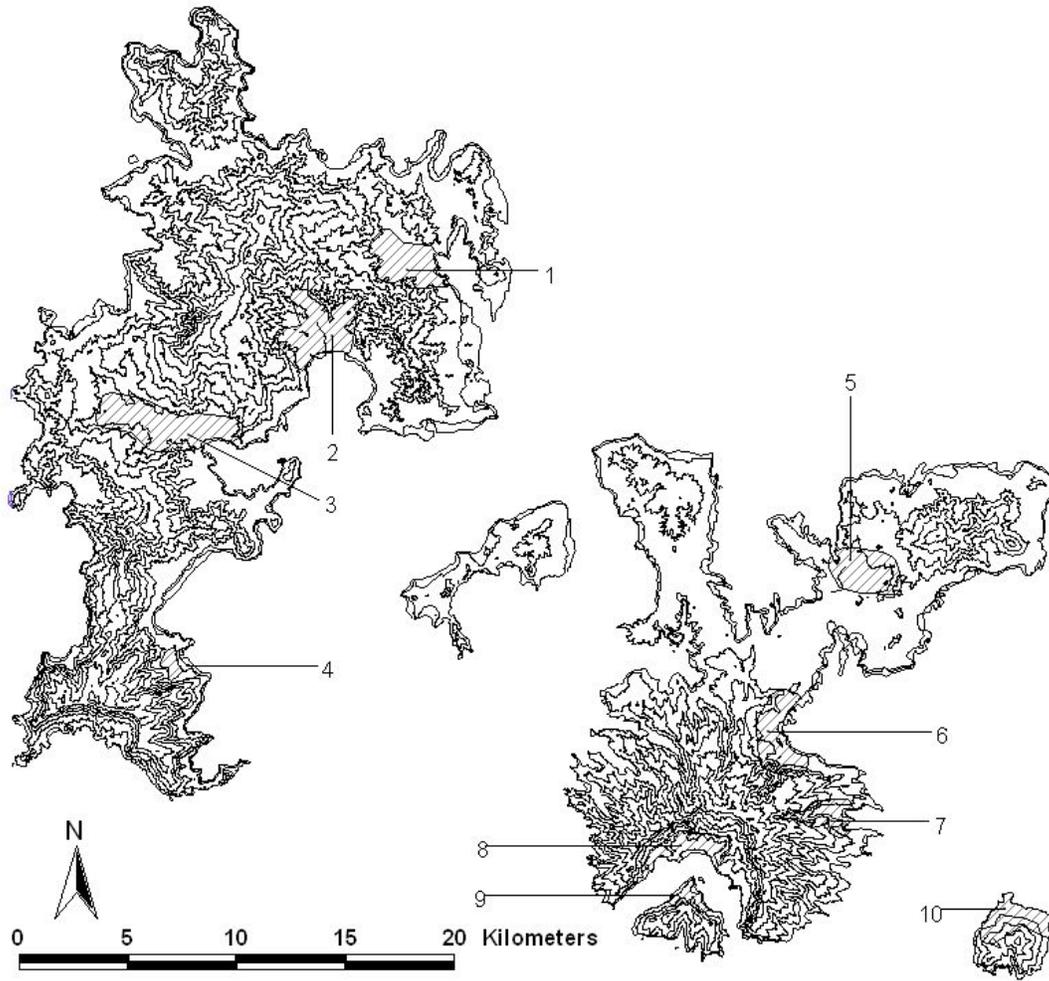
Gambar 2. Distribusi frekuensi *snout-vent legth*, SVL, (dalam bentuk batang abu-abu) dan berat tubuh (batang hitam) empat populasi-pulau Biawak Komodo di Taman Nasional Komodo.

Gambar 3. Berat Komodo dan *snout-vent legth* (SVL) dari keempat populasi-pulau di Taman Nasional Komodo, dihitung dari 15% individu terbesar pada setiap populasi. Ukuran sampel ditampilkan di atas diagram batang. Semua data dikoleksi pada tahun 2003-2004.

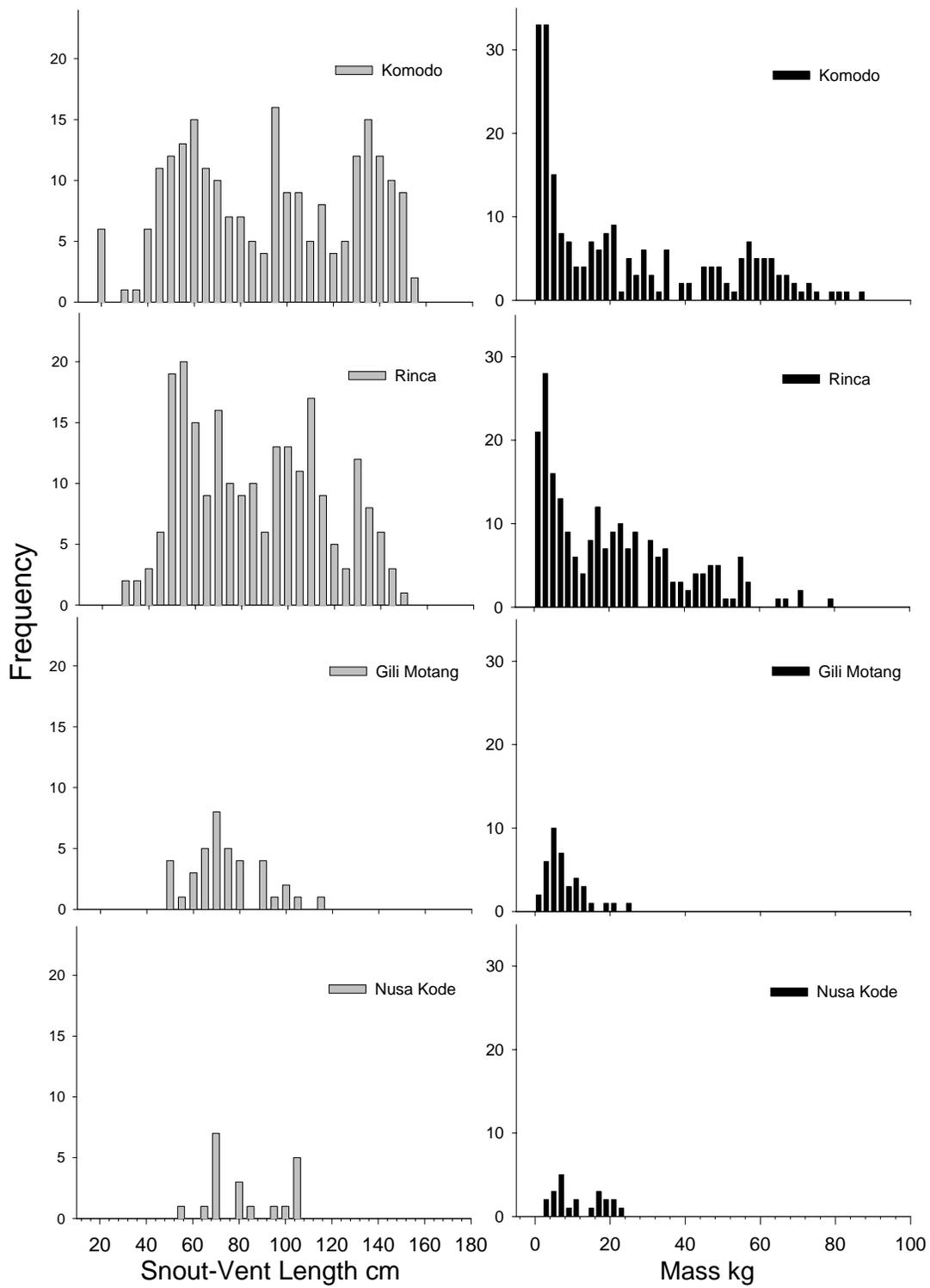
Gambar 4. Kepadatan rusa berdasarkan rata-rata jumlah kelompok kotoran rusa per transek, dihitung pada setiap pulau. Data ditampilkan sebagai nilai tengah dan standar eror nilai tengah (SEM). Jumlah transek pada setiap pulau ditunjukkan pada nilai di atas diagram batang.

Populasi-pulau	Nilai tengah SVL \pm SEM (cm)	Nilai tengah berat \pm SEM (kg)	(N)
Komodo	92.14 \pm 2.4545	23.47 \pm 1.5690	226
Rinca	86.29 \pm 1.9721	20.94 \pm 1.1765	228
Gili Motang	74.76 \pm 2.4686	7.89 \pm 0.8514	39
Nusa Kode	83.14 \pm 3.6973	10.83 \pm 1.4031	20

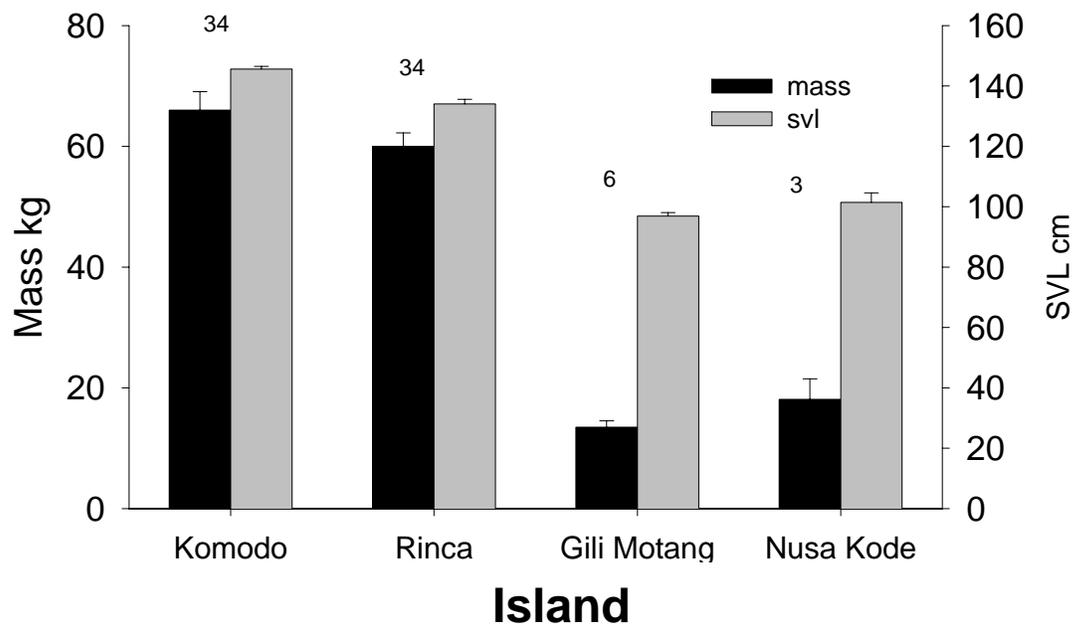
Jessop et al. Tabel 1



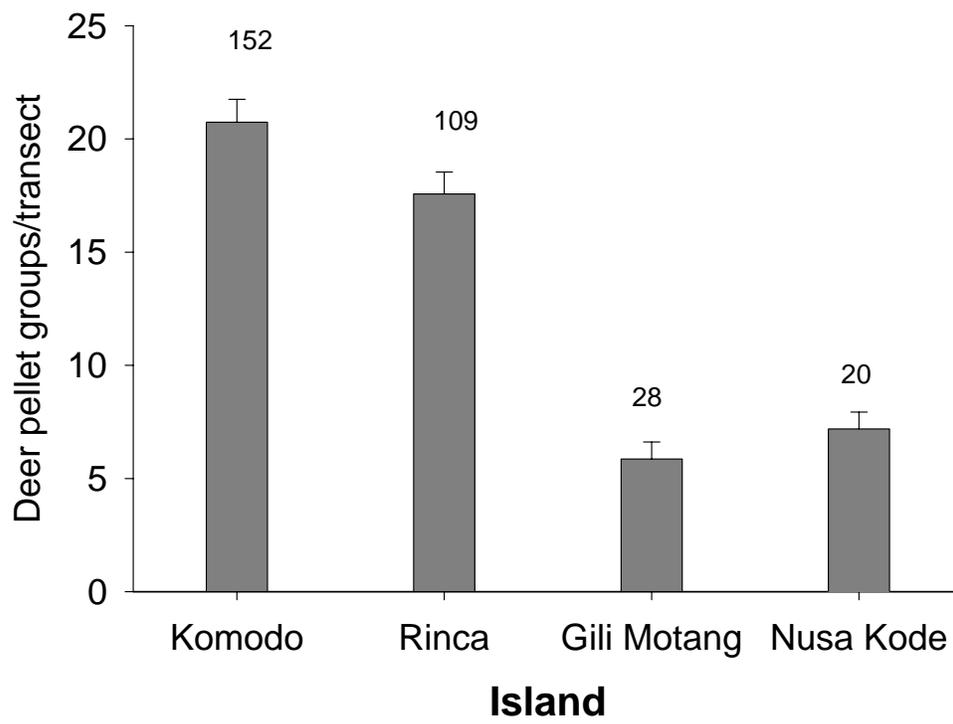
Jessop et al., Gambar. 1.



Jessop et al., Gambar. 2.



Jessop et al., Gambar. 3.



Jessop et al., Gambar. 4.