



OSEANOLOGI DAN LIMNOLOGI DI INDONESIA

Print ISSN: 0125-9830 Online ISSN: 2477-328X

Nomor Akreditasi: 712/AU3/P2MI – LIPI/10/2015

<http://jurnal-oldi.or.id>



**Filogeni Timun Laut (Holothuroidea: Stichopodidae)
Berdasarkan Karakteristik Morfologis**

**Phylogeny of Sea Cucumbers (Holothuroidea: Stichopodidae)
Based on Morphological Characteristics**

Ismiliana Wirawati¹ & Pradina Purwati²

¹Pusat Penelitian Oseanografi LIPI

²Ngupasan GM I/408 RT/RW 10/03, Gondomanan, Yogyakarta

Email: ismi002@lipi.go.id

Submitted 8 July 2015. Reviewed 17 January 2016. Accepted 31 May 2016.

Abstrak

Pembeda dalam kelas timun laut (Holothuroidea, Echinodermata) adalah morfologi eksternal, organ internal, dan spikula. Karakteristik tersebut bisa menunjukkan tingkat kemiripan yang tinggi untuk famili tertentu, termasuk famili Stichopodidae. Famili ini merupakan salah satu famili Holothuroidea (Echinodermata) yang mewadahi sebagian besar spesies komersial yang tersebar luas di perairan dangkal tropis. Sampai saat ini, evolusi timun laut berdasarkan karakteristik morfologis yang digunakan untuk menentukan status karakteristik yang dapat diaplikasikan ke dalam analisis filogeni masih dalam perdebatan. Bahkan, untuk famili Stichopodidae, belum ada yang melakukan penelitian filogeninya. Tulisan ini melaporkan hasil studi filogeni yang ditujukan untuk melihat kedekatan antara spesies anggota Stichopodidae yang ada di Indonesia. Spesimen yang digunakan dalam penelitian ini merupakan spesimen koleksi Pusat Penelitian Oseanografi LIPI yang terdiri dari sembilan spesies Stichopodidae (sebagai *ingroup*) dan dua spesies Holothuriidae (sebagai *outgroup*). Konstruksi pohon filogeni dilakukan dengan menerapkan metode maksimum parsimoni dan program PAUP 4.0b, menggunakan 78 karakteristik morfologis. Penelitian ini menghasilkan dua pohon filogeni yang memisahkan secara konsisten genus *Stichopus* dari genus *Thelenota* (*bootstrap* 99% and 100%). Posisi dalam setiap genusnya stabil. Kedua genus dari Stichopodidae memiliki jumlah synapomorf yang sama. *Stichopus* memiliki sepuluh karakteristik homoplasi, sedangkan *Thelenota* tidak memilikinya. Enam dari sembilan spesies Stichopodidae memiliki karakteristik autapomorf yang dapat digunakan sebagai karakteristik tingkat spesies.

Kata kunci: filogeni, timun laut, Stichopodidae, karakteristik morfologis.

Abstract

Identifiers in the class of sea cucumber (Holothuroidea, Echinodermata) constitute the external morphology, internal organs, and spicules. These characteristics may indicate a high level of similarity for particular families, including family Stichopodidae. This family is one of the Holothuroidea (Echinodermata) that represents the majority of commercial species found widespread in the tropical shallow waters. Until now, the evolution of sea cucumber based on morphological characteristics used to determine the status of

the characteristics applicable to the phylogeny analysis is still under debate. In fact, research on the phylogeny of Stichopodidae, has not been done yet. This paper reports the phylogeny study of Stichopodidae species in Indonesia to determine the closeness among its species. Specimens used in this study were the collection of Research Center for Oceanography LIPI consisting of nine species of Stichopodidae (as ingroup) and two species of Holothuriidae (as outgroup). The construction of phylogeny tree was done by applying the maximum parsimony method and PAUP 4.0b program using 78 morphological characteristics. It resulted in two phylogeny trees separating consistently the genus *Stichopus* from the genus *Thelenota* (bootstrap 99% and 100%) with the stable position in each genus. Both these genera of Stichopodidae have the same number of synapomorphs. *Stichopus* has ten homoplastic characteristics among its species, while *Thelenota* does not have any. Six of the nine species of Stichopodidae show autapomorph characteristics proper to species level.

Keywords: phylogeny, sea cucumber, Stichopodidae, morphological characteristics.

Pendahuluan

Kelas Holothuroidea (timun laut) memiliki enam ordo yang salah satunya adalah Aspidochirotida yang terdiri dari tiga famili, yaitu Stichopodidae, Holothuriidae, dan Synallactidae (Janies, 2001; Kerr & Kim, 2001). Famili Stichopodidae membawahi sembilan genus, dua di antaranya berada di perairan Indonesia dan Australia, yaitu *Stichopus* dan *Thelenota* (Rowe & Gates, 1995).

Stichopodidae merupakan satu dari dua famili yang merupakan timun laut komersial di perairan dangkal tropis (Purwati, 2005). Sampai saat ini, Stichopodidae di Indonesia diketahui memiliki 11 spesies (Massin, 1996, 1999; Wirawati et al., 2007; Wirawati & Purwati, 2012). Karakteristik yang berlaku untuk membedakan spesies-spesies tersebut adalah morfologi eksternal, organ internal, dan spikula (Massin, 1999; Massin et al., 2002; Samyn et al., 2006). Akan tetapi, komponen dari ketiga karakteristik morfologis tersebut memiliki kemiripan yang sangat tinggi antara spesies dari genus *Stichopus* dan *Thelenota* dalam famili Stichopodidae (Massin et al., 2002). Oleh karenanya, kunci identifikasi yang tetap menjadi rujukan sampai saat ini, seperti monograf dari Rowe (1969), Clark & Rowe (1971), dan Samyn (2003), masih sulit untuk digunakan.

Ada dua hipotesis mengenai perubahan spikula yang berhubungan dengan evolusi. Hipotesis pertama diajukan oleh Deichmann (1958), bahwa spikula paling primitif adalah bentuk meja reguler (*regular tables*) dan kancing reguler yang halus (*regular smooth buttons*), kemudian berubah menjadi kancing ireguler, mawar (*rosettes*), dan meja yang termodifikasi. Hipotesis kedua diajukan oleh Pearson (1914) dan Rowe (1969), bahwa spikula yang paling primitif adalah batang (*rods*) dan mawar, yang kemudian dalam perjalanannya berubah menjadi lempeng

berlubang (*perforated plates*), lalu berubah menjadi meja dan kancing. Perubahan-perubahan tersebut masih dalam perdebatan sampai saat ini (Samyn et al., 2005).

Hubungan kekerabatan yang sudah dipelajari dari ketiga famili anggota ordo Aspidochirotida, antara lain famili Stichopodidae dari Indo-Pasifik berdasarkan DNA mitokondria (Byrne et al., 2010), famili Holothuriidae (Appeltans, 2002; Samyn et al., 2005), dan famili Synallactidae (Solis-Marin, 2003) yang menggunakan karakteristik morfologis eksternal, organ internal, dan spikula. Penelitian Byrne et al. (2010) menyimpulkan bahwa *Thelenota* lebih primitif (lebih dulu muncul) daripada *Stichopus*. Di dalam *Thelenota*, tiga spesies yang dianalisis muncul secara bersamaan (politomi). Sementara di dalam *Stichopus*, spesies yang paling primitif adalah *S. chloronotus*. Filogeni famili Holothuriidae menunjukkan bahwa terdapat dua kelompok besar yang memisahkan genus *Actinopyga*, *Bohadschia*, dan *Pearsonothuria* dari genus *Holothuria* (termasuk *Labidodemas* di dalamnya) (Appeltans, 2002; Samyn et al., 2005).

Tulisan ini memaparkan hasil penelitian tentang filogeni famili Stichopodidae berdasarkan karakteristik morfologis eksternal, organ internal, dan spikula dari spesimen yang disimpan di Pusat Penelitian Oseanografi LIPI, Jakarta. Hasil penelitian ini menentukan karakteristik plesiomorf, synapomorf, dan autapomorf.

Metodologi

Sampel yang digunakan untuk analisis filogeni anggota famili Stichopodidae (Aspidochirotida, Holothuroidea, Echinodermata) adalah spesimen yang dikumpulkan dari perairan dangkal Indonesia dari tahun 1970-an sampai 2012 yang merupakan koleksi Pusat Penelitian Oseanografi LIPI, Jakarta. Sebelas spesies yang

digunakan telah dipaparkan dalam Wirawati et al. (2007), dan Purwati & Wirawati (2009, 2011) (Tabel 1). Satu spesies yaitu *Thelenota rubralineata* sudah dipaparkan oleh Wirawati (2012) dan Wirawati & Purwati (2012). Dua spesies dari famili Holothuriidae, yaitu *Holothuria (Metriatyla) scabra* Jaeger, 1833 dan *Actinopyga lecanora* (Jaeger, 1833) ditetapkan sebagai *outgroup*. Famili ini merupakan kerabat terdekat famili Stichopodidae dan dapat digunakan sebagai akar (*rooting*) dalam analisis filogeni seperti yang dilakukan oleh Appeltans (2002) dan Samyn et al. (2005) (Tabel 1).

Morfologi luar yang diamati adalah bentuk penampang tubuh, panjang maksimum tubuh, susunan papila dan kaki tabung, ada tidaknya tonjolan pada papila, posisi mulut dan dubur, ada tidaknya modifikasi dubur, dan jumlah tentakel. Karakteristik morfologis dalam yang diamati adalah bentuk dan perbandingan ukuran cincin kapur bagian radial dengan interradial, jumlah gonad, bentuk madreporit, jumlah dan panjang polian vesikel serta ada tidaknya organ cuvier.

Teknik isolasi spikula dilakukan berdasarkan cara yang digunakan oleh Samyn et al. (2006). Spikula yang diamati berasal dari beberapa bagian tubuh, yaitu dinding tubuh dorsal dan ventral, papila dorsal, kaki tabung ventral, dan tentakel.

Status karakteristik dibobotkan berdasarkan asumsi evolusi menurut Deichmann (1958), Appeltans (2002), Solis-Marin (2003), dan Samyn et al. (2005). Ada empat status karakteristik yang dipakai, yaitu nol (0) merupakan karakteristik yang paling primitif, kemudian berubah menjadi satu (1) dan seterusnya, sampai tiga (3) yang merupakan karakteristik turunan yang paling maju. Kode minus (-) ditujukan untuk karakteristik yang hilang. Kemudian dibuat matriks karakteristik untuk menganalisis filogeni (Lampiran).

Metode yang digunakan untuk analisis filogeni berdasarkan Appeltans (2002) adalah *maximum-parsimony* dengan teknik *heuristic* yang dikondisikan sebagai berikut: menyimpan pohon yang terbaik (*keep the best trees only*),

Tabel 1. Spesimen timun laut yang digunakan dalam analisis filogeni.

Table 1. Sea cucumber specimens used for phylogeny analyses.

Family	Genus	Species	Specimen number	Reference
Ingroup				
Stichopodidae	Stichopus	Stichopus chloronotus	5 (EH77, EH80, EH214, EH239, EH449)	[1]
		S. herrmanni	5 (EH26, EH92, EH217, EH357, EH431)	[1]
		S. horrens	3 (EH222, EH450, EH451)	[1]
		S. pseudohorrens	1 (EH400)	[4]
		S. quadrifasciatus	2 (EH249, EH250)	[1]
		S. vastus	5 (EH166, EH248, EH436, EH468, EH502)	[1]
	Thelenota	Thelenota ananas	2 (EH204, EH397)	[1]
		T. anax	2 (EH225, EH504)	[1]
		T. rubralienata	1 (EH427)	[4]
Outgroup				
Holothuriidae	Holothuria	Holothuria (Metriatyla) scabra	5 (EH16, EH72, EH119, EH206, EH271)	[2]
	Actinopyga	Actinopyga lecanora	5 (EH76, EH371, EH388, EH489, EH513)	[3]

Remarks: [1]: Wirawati et al. (2007); [2]: Purwati & Wirawati (2009); [3]: Purwati & Wirawati (2011); [4]: Wirawati (2012).

menggunakan TBR (*tree bisection-reconnection*) sebagai penentu cabang algoritma, menyimpan pohon majemuk (*save multiple trees*), menginterpretasikan karakteristik *multistate* sebagai polimorfisme. Karakteristik morfologis yang digunakan berjumlah 78, dengan 10 karakteristik morfologis luar, 7 karakteristik organ dalam, dan 61 karakteristik spikula. Dalam analisis, semua karakteristik diolah secara acak (*unordered*). Pembobotan semua karakteristik dilakukan dengan setara (*equal*), yaitu bernilai 1. Karakteristik tersebut diolah dengan menggunakan program PAUP 4.0b 10 versi windows (Swofford, 2002) tanpa menggunakan program MacClade terlebih dahulu.

Nilai indeks yang digunakan untuk mengukur konsistensi suatu pohon yang dikonstruksi adalah dengan melihat nilai CI (*consistency index*), yaitu indeks konsistensi yang digunakan sebagai parameter suatu topologi pohon. Nilai HI (*homoplasy index*) adalah indeks banyak tidaknya karakteristik yang homoplasi. Pohon yang tidak memiliki karakteristik homoplasi ditunjukkan dengan nilai CI = 1, sehingga makin baik suatu pohon ditandai dengan nilai indeks yang mendekati angka 1. Nilai RC (*rescaled consistency index*) menunjukkan

tingkatan yang sama dengan indeks homoplasi yang merupakan gabungan dari CI dan RI (*retention index*). RI merupakan indeks kestabilan yang merupakan proporsi dari karakteristik synapomorf yang dapat diterima sebagai karakteristik synapomorf sejati (Quicke, 1993). Kestabilan semua rumpun yang terdapat pada pohon filogeni yang paling parsimoni dapat dinilai dengan melakukan *bootstrap* sebanyak 1000 kali (Byrne et al., 2010).

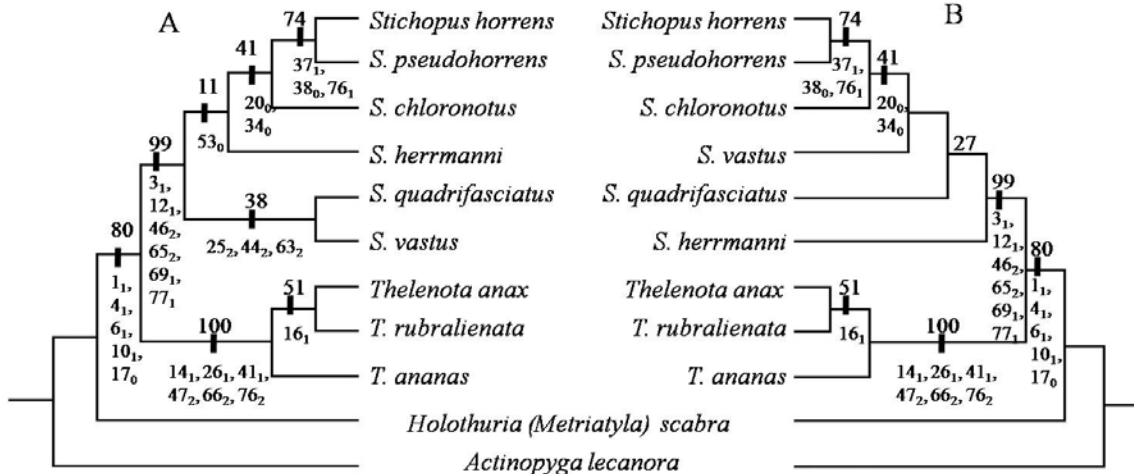
Matriks pada Tabel 2 dibuat berdasarkan daftar karakteristik morfologis luar, organ dalam, spikula (Lampiran) dan hasil pengamatan spesimen. Matriks tersebut terbentuk berdasarkan analisis 78 karakteristik dan 11 spesies timun laut yang dipelajari.

Hasil

Berdasarkan matriks Tabel 2 yang digunakan sebagai *input* data untuk analisis filogeni dengan program PAUP dihasilkan dua pohon filogeni yang paling parsimoni (Gambar 1a dan Gambar 1b).

Tabel 2. Matriks karakteristik morfologis dari spesies Stichopodidae yang digunakan dalam analisis data.
Table 2. Matrix of morphological characteristics of Stichopodidae species used in data analysis.

Species	Morphological Characteristic			
	1-10	11-20	21-30	31-40
<i>A.lecanora</i>	0200001010	00020111--	--1000--00	11----0---
<i>H.scabra</i>	0200001000	0002001011	000-00--00	0011000---
<i>S.chloronotus</i>	1211111001	1110100020	111100--10	1020113222
<i>S.herrmanni</i>	1111111001	0110100011	111100--20	1011110---
<i>S.horrens</i>	1211111001	0110000010	111100--10	1010111011
<i>S.pseudohorrens</i>	1111111001	1110010010	111110--10	1010111011
<i>S.quadrifasciatus</i>	1211111001	1110000021	111120--20	1021112200
<i>S.vastus</i>	1111111001	1110110021	111120--10	1021110---
<i>T.ananas</i>	1001211001	10111001--	--0-010201	11----0---
<i>T.anax</i>	1001111001	10110101--	--0-010201	11----0---
<i>T.rubralienata</i>	1101111021	10110101--	--0-010202	11----0---
Species	41-50	51-60	61-70	71-78
<i>A.lecanora</i>	01000--000	11----0---	1000--0100	11010000
<i>H.scabra</i>	00-0110000	0011000---	0-01100101	01010000
<i>S.chloronotus</i>	0110120100	1021113203	1101201110	11310010
<i>S.herrmanni</i>	0110120200	1021113222	1101202110	11010010
<i>S.horrens</i>	0110120100	1021110---	1101201110	11310110
<i>S.pseudohorrens</i>	0111120110	1010110---	1111201110	10311110
<i>S.quadrifasciatus</i>	0112120210	1011113202	1121202110	10210010
<i>S.vastus</i>	0112120100	1011113223	1121201110	11010010
<i>T.ananas</i>	10-0102011	11----0---	0-01020101	11010201
<i>T.anax</i>	10-0102001	11----0---	0-01020101	11010201
<i>T.rubralienata</i>	10-0102002	11----0---	0-01020102	11010202



Gambar 1. Pohon filogeni A dan filogeni B timun laut famili Stichopodidae dari hasil analisis *maximum-parsimony*. Angka di atas dan di bawah tiap cabang adalah nilai *Bootstrap* dan nomor karakteristik.

Figure 1. Phylogeny trees A and B of Stichopodidae from maximum parsimony analysis. Numbers above and below each branch show Bootstrap value and characteristic numbers.

Nilai indeks topologi pohon adalah CI (*consistency index*) = 0,7480; HI (*homoplasy index*) = 0,2520; RI (*retention index*) = 0,7328; RC (*rescaled consistency index*) = 0,5481. Hal tersebut menggambarkan kedua pohon filogeni pada Gambar 1 tersebut cukup kuat percabangannya yang ditandai indeks konsistensi di atas 50% dan indeks homoplasi di bawah 50%. Jumlah karakteristik yang informatif adalah 47 karakteristik, sedangkan 31 karakteristik lainnya tidak informatif.

Berdasarkan Gambar 1, famili Stichopodidae langsung dapat dipisahkan dari *outgroup* (famili Holothuriidae) dengan nilai *bootstrap* yang tinggi (80%). Perbandingan topologi famili ini sama antara pohon filogeni 1 dan 2 (Gambar 1a dan Gambar 1b). Rumpun Stichopodidae ini menghasilkan topologi monofiletik yang terdiri atas dua kelompok, yaitu kelompok genus *Stichopus* dan *Thelenota*. Perbandingan topologi dalam rumpun genus *Stichopus* terdapat sedikit perbedaan, yaitu pada percabangan antara spesies *Stichopus chloronotus*, *S. herrmanni*, *S. quadrifasciatus*, dan *S. vastus*.

Karakteristik turunan atau apomorf yang berbagi (synapomorf) dalam genus *Stichopus* berjumlah enam, yaitu susunan papila dorsal padat dalam dua baris (karakteristik 3₁), tonjolan posterior cincin kapur bagian radial yang meruncing (karakteristik 12₁), spikula batang yang memiliki lubang di tengah papila dorsal, kaki tabung (karakteristik 46₂, 65₂), spikula lempeng memanjang di kaki tabung (karakteristik 69₁), dan spikula *massive body* di tentakel (karakteristik

77₁). Karakteristik synapomorf yang dimiliki *Thelenota* berjumlah enam, antara lain bentuk madreporit oval (karakteristik 14₁), spikula tipe batang di dinding tubuh (karakteristik 26₁), spikula batang dikotom di dinding tubuh, papila dorsal, kaki tabung, tentakel (karakteristik 47₂, 66₂, 76₂), dan spikula meja semu di papila dorsal (karakteristik 41₁).

Karakteristik synapomorf yang dimiliki dalam rumpun *S. horrens* dan *S. pseudohorrens* adalah spikula meja ireguler berbentuk *tack-like* di papila dorsal (karakteristik 37₁), spikula meja ireguler dengan barisan lubang tepi piringan yang lebih dari satu baris di papila dorsal (karakteristik 38₀), spikula batang yang bercabang tidak dikotom di tentakel (karakteristik 76₁).

Karakteristik tidak informatif (homoplasi) yang dimiliki keenam spesies dalam genus *Stichopus* berjumlah 10. Karakteristik tersebut sebagian besar merupakan karakteristik spikula, di antaranya adalah spikula batang C & S yang ukurannya bervariasi di dinding tubuh, papila dorsal, dan kaki tabung (karakteristik 29₂, 48₂, 67₂), spikula meja ireguler dengan tiang tereduksi di kaki tabung (karakteristik 59₂), spikula meja reguler di tentakel (karakteristik 72₁), spikula tipe lempeng ireguler di papila dorsal (karakteristik 49₁). Karakteristik yang tidak informatif pada morfologi eksternal dan organ internal antara lain ukuran maksimal tubuh yang tergolong sedang (karakteristik 2₁), polian vesikel yang berjumlah satu (karakteristik 15₀), ukuran polian vesikel yang pendek (karakteristik 16₁), perbandingan

panjang area cincin kapur antara radial dan interradial yang sama (karakteristik 11₀).

Karakteristik turunan yang hanya dimiliki oleh satu spesies disebut dengan autapomorf. Karakteristik autapomorf ini ditemukan pada empat spesies anggota genus *Stichopus*, yaitu *S. chloronotus*, *S. pseudohorrens*, *S. quadrifasciatus*, dan *S. vastus*. Spesies *S. chloronotus* memiliki lima karakteristik autapomorf, yaitu spikula meja reguler yang lubang tepi piringan kurang dari satu di dinding tubuh dan papila dorsal (karakteristik 19₂, 33₂), spikula meja ireguler yang tereduksi dengan tiang dan juga mahkota di papila dorsal (karakteristik 37₃, 39₂, 40₂). *S. pseudohorrens* memiliki enam karakteristik yang autapomorf, yaitu spikula mawar ireguler yang seperti batang di dinding tubuh, papila dorsal, dan kaki tabung (karakteristik 25₁, 44₁, 63₁), spikula meja reguler yang memiliki satu baris lubang tepi pada piringan di kaki tabung (karakteristik 53₁), spikula meja reguler dengan tiang tinggi di kaki tabung (karakteristik 54₀), spikula batang yang berlubang di ujung dan tengah tentakel (karakteristik 75₁). *S. quadrifasciatus* memiliki dua karakteristik yang autapomorf, yaitu spikula meja ireguler yang bermahkota kecil di papila dorsal dan tentakel (karakteristik 37₂, 73₂). *S. vastus* memiliki satu karakteristik yang autapomorf, yaitu spikula meja ireguler tanpa mahkota di kaki tabung (karakteristik 60₃).

Karakteristik autapomorf yang dimiliki oleh anggota genus *Thelenota* adalah tuberkel yang bercabang (karakteristik 5₂) pada *T. ananas* dan lima karakteristik autapomorf, yaitu tuberkel di sekeliling anus (karakteristik 9₂), spikula berbentuk butir seperti cacing di dinding tubuh, papila dorsal, dan tentakel (karakteristik 30₂, 50₂, 70₂, 78₂) pada *T. rubralienata*.

Pembahasan

Kedua pohon filogeni yang didapatkan (Gambar 1a dan Gambar 1b) menunjukkan bahwa pemisahan dua genus tersebut sudah stabil dan sesuai dengan taksonomi timun laut di tingkat famili Stichopodidae yang diakui sampai saat ini (Massin, 1999; Samyn et al., 2006). Pemisahan ini mendukung penelitian filogeni terdahulu melalui analisis DNA mitokondria (Byrne et al., 2010) dan analisis karakteristik morfologis (Appeltans, 2002; Samyn et al., 2005). Lebih jauh, penelitian Kerr & Kim (2001) menunjukkan bahwa Stichopodidae dan Holothuriidae memiliki kekerabatan yang sangat dekat (*sister group*).

Jumlah karakteristik morfologis yang diamati dalam penelitian ini ada 78 karakteristik,

47 di antaranya merupakan karakteristik yang informatif, yaitu karakteristik yang dapat dijadikan pembeda antara famili (*ingroup* dan *outgroup*), genus, maupun spesies. Karakteristik yang tidak informatif, yaitu karakteristik yang tidak bisa dijadikan pembeda antara famili. Hal tersebut mungkin karena telah mengalami evolusi secara konvergen (evolusi dari dua taksa atau lebih pada rumpun yang berbeda, tetapi memiliki karakteristik yang sama), berupa karakteristik yang homoplasi. Karakteristik homoplasi tersebut yang terdapat pada morfologi eksternal adalah ukuran maksimal tubuh (karakteristik 2). Kerr (2001) menggunakan karakteristik ini dalam penelitian filogeni berdasarkan morfologi di tingkat ordo Apodida. Begitu pula dengan Kerr & Kim (2001) yang menggunakan karakteristik ini pada tingkat kelas Holothuroidea. Dengan demikian, kemungkinan karakteristik ini adalah karakteristik primitif yang diturunkan ke semua anggota kelas Holothuroidea.

Karakteristik persamaan panjang area cincin kapur (karakteristik 11₀) seharusnya hanya dimiliki oleh anggota famili Holothuriidae (*outgroup*), akan tetapi karakteristik ini dimiliki pula oleh *Stichopus herrmanni* dan *S. horrens*. Karakteristik tersebut menjadi karakteristik homoplasi bagi famili Stichopodidae. Akan tetapi, penelitian filogeni famili Holothuriidae yang dilakukan oleh Appeltans (2002) menunjukkan bahwa karakteristik perbandingan area cincin kapur merupakan karakteristik yang informatif. Oleh karena itu, ada kemungkinan karakteristik ini mengalami evolusi konvergen pada spesies *S. herrmanni* dan *S. horrens*.

Karakteristik primitif (plesiomorf) yang dimiliki oleh seluruh anggota timun laut (kelas Holothuroidea) adalah bentuk tubuh yang simetri pentaradial (*pentamerous radial symmetry*), memiliki sistem pembuluh air (*water vascular system*), dan perkembangan bentuk larva dari bi-radial menjadi penta-radial (Hyman, 1955; Kerr & Kim, 1999; Janies, 2001). Di dalam famili Stichopodidae (*ingroup* pada studi ini) dan famili Holothuriidae (*outgroup* pada studi ini) terdapat karakteristik plesiomorf yang berasal dari morfologi eksternal tubuh, yaitu bentuk tentakel perisai, posisi mulut di ventral ujung anterior, posisi anus di terminal ujung posterior dan organ pernapasan yang terletak di rongga tubuh. Keempat karakteristik tersebut merupakan karakteristik yang konsisten (tetap) dalam analisis filogeni studi ini. Karakteristik plesiomorf tersebut merupakan karakteristik synapomorf yang dimiliki oleh Aspidochirota dalam studi filogeni Holothuroidea yang dilakukan oleh Kerr & Kim (2001).

Pertimbangan lain untuk penentuan karakteristik primitif dalam famili Stichopodidae adalah dari ontogeninya (perkembangan dari juvenil sampai dewasa). Akan tetapi, belum ada studi mengenai ontogeni spikula famili Stichopodidae, sehingga untuk menggambarkan evolusi spikula tersebut digunakan studi ontogeni *Holothuria scabra* (Massin et al., 2000). Studi ontogeni tersebut menyatakan bahwa spikula yang pertama kali muncul pada juvenil *H. scabra* adalah tipe lempeng, batang, dan meja. Setelah ketiga tipe spikula tersebut terbentuk, kemudian muncul tipe kancing yang berasal dari lempeng dan spikula meja yang memendek. Selanjutnya, spikula akan berkembang sampai bentuk meja yang sangat pendek dan memiliki mahkota yang besar, serta kancing yang permukaannya memiliki tonjolan (*knob*). Berdasarkan studi Massin et al. (2000) tersebut, maka dapat diasumsikan bahwa spikula tipe lempeng, batang, dan meja merupakan bentuk yang paling primitif.

Di dalam rumpun famili Stichopodidae, terdapat karakteristik synapomorf yang merupakan karakteristik yang lebih maju dibandingkan dengan *outgroup*-nya (famili Holothuriidae), yaitu penampang tubuh trapesium atau persegi, tuberkel yang terdapat di papila dorsal, susunan kaki tabung dalam tiga baris, jumlah tentakel 18–22, dan tidak ada organ cuvier. Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian filogeni morfologi famili Holothuriidae oleh Appeltans (2002) dan Samyn et al. (2005).

Famili Stichopodidae memiliki dua rumpun yang terpisah dengan dukungan nilai *bootstrap* yang sangat tinggi, yaitu 99% untuk rumpun genus *Stichopus* dan 100% untuk rumpun genus *Thelenota*. Masing-masing genus menghasilkan topologi yang monofiletik. Hal ini menggambarkan bahwa kedudukan masing-masing spesies yang dipelajari sudah stabil dalam genusnya.

Penentuan kedudukan genus yang primitif dan maju antara *Stichopus* dan *Thelenota* pada studi ini masih belum dapat ditentukan, dikarenakan kedua genus tersebut dalam posisi sejajar. Hal tersebut berarti genus *Stichopus* dan *Thelenota* muncul bersamaan dalam evolusinya. Penyebab hal tersebut kemungkinan dikarenakan catatan fosil famili Stichopodidae belum ada (Kerr & Kim, 2001; Pawson, 2007). Selain itu, terjadi beberapa perdebatan yang dikemukakan oleh beberapa ahli, seperti Deichmann (1958) yang menyimpulkan bahwa *Stichopus* lebih primitif daripada *Thelenota* berdasarkan bentuk spikula meja, batang C dan S, dan mawar. Akan tetapi, Byrne et al. (2010) menyatakan bahwa *Thelenota* lebih primitif berdasarkan DNA mitokondria. Pada kasus lain, Solis-Marin (2003)

mengemukakan bahwa ukuran tubuh besar lebih primitif daripada yang berukuran lebih kecil dalam famili Synallactidae (sesama anggota ordo Aspidochirotida) yang hidup di laut dalam. Sehingga, jika hasil Solis-Marin (2003) tersebut digunakan dalam studi ini, maka *Thelenota* akan muncul sebagai kelompok yang lebih primitif daripada *Stichopus* dan dapat mendukung pendapat Byrne et al. (2010).

Pada rumpun genus *Stichopus*, terdapat rumpun yang paling akhir laju evolusinya, yaitu *Stichopus horrens* dan *S. pseudohorrens*. Karakteristik synapomorf yang dimiliki kedua spesies tersebut adalah spikula meja *tack-like* di papila dorsal, lubang tepi piringan meja ireguler yang lebih dari satu baris di papila dorsal dan batang bercabang tidak dikotom di tentakel. Hal ini mendukung pernyataan Deichmann (1958), bahwa modifikasi spikula meja ireguler berkembang dari meja reguler. Morfologi tubuh *S. horrens* dan *S. pseudohorrens* berbeda, antara lain pada karakteristik struktur papila dan dimensi tubuh. Selain itu, pilihan habitat kedua spesies ini juga berbeda. *S. horrens* umumnya hidup di habitat lamun, sedangkan *S. pseudohorrens* ditemukan di kedalaman lebih dari 20 m (Clark, 1922; Samyn et al., 2006; Purwati et al., 2008; Eriksson et al., 2010). Oleh karena itu, belum dapat dipastikan apakah hal tersebut dapat digunakan untuk menunjukkan bahwa evolusi morfologi eksternal lebih cepat daripada evolusi rangka (spikula).

Di dalam rumpun genus *Stichopus* terdapat topologi pohon yang berbeda (Gambar 1a dan Gambar 1b), yaitu spesies *Stichopus hermanni*, *S. vastus*, dan *S. quadrifasciatus*, sehingga kedudukan ketiga spesies tersebut belum stabil berdasarkan nilai *bootstrap* pada pohon 1 dan 2. Demikian pula dengan penelitian filogeni DNA mitokondria (Byrne et al., 2010). Hal tersebut menunjukkan masih terdapat permasalahan kekerabatan di antara ketiga spesies *Stichopus* tersebut.

Karakteristik morfologis eksternal, organ internal, maupun spikula (rangka) yang kompleks pada spesies anggota *Stichopus* merupakan strategi untuk dapat lebih mudah beradaptasi dengan lingkungan. Hal tersebut sesuai dengan teori evolusi, yaitu variasi mendukung adaptasi yang akan menyebabkan evolusi (Futuyma, 2005). Pada umumnya, genus *Stichopus* hidup di daerah intertidal yang pada siang hari berlindung di bawah permukaan pasir atau batu. Deichmann (1958) menyatakan bahwa spesies yang pola hidupnya berlindung di bawah permukaan pasir atau batu (*fugitive species*) merupakan spesies yang memiliki papila dorsal yang besar (tuberkel)

dan memiliki komposisi spikula seperti tipe meja, mawar, dan batang. Spesies *S. pseudohorrens* memiliki pola hidup yang berbeda dari anggota *Stichopus* lainnya, yaitu hidup di permukaan substrat, baik pasir, karang, atau kerikil dengan kedalaman lebih dari 10 m. Spesies ini memiliki banyak variasi spikula, terutama tipe meja. Hal ini juga mendukung pendapat Deichmann (1958) yang menyatakan bahwa spesies yang hidup di permukaan (*surf-zone species*) memiliki spikula meja yang bervariasi atau termodifikasi dan spikula batang.

Dari hasil studi ini, karakteristik yang memisahkan satu spesies dari spesies lainnya (karakteristik autapomorf) adalah karakteristik spikula yang berada di papila dorsal dan kaki tabung. Kedua bagian tubuh tersebut, dalam perkembangan embrio berasal dari jaringan yang sama (Hyman, 1955). Kaki tabung berubah fungsi menjadi alat gerak dan alat melekatkan diri. Di sisi lain, karakteristik autapomorf dalam kelompok genus *Stichopus* berasal dari bentuk spikula meja ireguler. Karakteristik autapomorf *S. quadrifasciatus* adalah spikula meja bermahkota kecil yang berada di papila dorsal. Dengan demikian, karakteristik lain seperti spikula batang C dan S tidak perlu digunakan, kecuali untuk mengidentifikasi genus.

Pada genus *Stichopus* terdapat 10 karakteristik homoplasi, yang berarti kesepuluh karakteristik tersebut tidak dapat digunakan untuk membedakan spesies, sehingga dalam menentukan suatu spesies *Stichopus* harus dilihat karakteristik lain yang akan menjadi karakteristik autapomorf, seperti lubang tepi di piringan spikula meja reguler (dinding tubuh dan papila dorsal) untuk spesies *S. chloronotus* dan spikula meja ireguler tanpa mahkota (kaki tabung) pada *S. vastus*. Karakteristik synapomorf merupakan karakteristik yang digunakan dalam studi filogeni, sedangkan karakteristik homoplasi tidak. Sementara itu, untuk famili Stichopodidae, sepanjang yang bisa ditelusuri hanya terdapat empat studi filogeni dengan kelompok taksa di bawah ordo yang sama (Aspidochirotida), yaitu oleh Appeltans (2002), Solis-Marín (2003), Samyn et al. (2005), dan Byrne et al. (2010).

Di dalam rumpun genus *Thelenota* terdapat tiga spesies, yaitu *Thelenota ananas*, *T. Anax*, dan *T. rubralienata*. Ketiganya hidup di perairan dangkal Indonesia. Ketiga spesies tersebut sudah dapat dibedakan berdasarkan morfologi eksternal tubuh, yaitu struktur permukaan tubuh (bentuk papila dorsal) dan beberapa karakteristik spikula (tipe butir yang berbentuk seperti cacing). Pohon filogeni 1 dan 2 pada genus *Thelenota* memiliki topologi yang sama. Posisi yang paling basal

dalam genus *Thelenota* merupakan spesies yang lebih primitif, yaitu *Thelenota ananas*. Karakteristik primitif yang dimiliki spesies ini adalah papila yang bercabang, sedangkan karakteristik synapomorf pada rumpun yang lebih maju adalah polian vesikel yang pendek. Penelitian ini menghasilkan topologi yang dikotomi, walaupun nilai *bootstrap* masih relatif lemah (51%). Hal tersebut berbeda dari analisis filogeni DNA yang menghasilkan topologi yang politomi (Byrne et al., 2010). Oleh karena itu, karakteristik morfologi lebih dapat membedakan tingkat evolusi dari ketiga spesies anggota genus *Thelenota*.

Berdasarkan penelitian ini, ketiga spesies anggota genus *Thelenota* memiliki komposisi spikula tipe batang, lempeng, butir di seluruh bagian tubuh dan meja semu yang hanya terdapat di papila dorsal. Ketiga spesies tersebut juga hidup di permukaan substrat, yaitu pasir, karang, dan kerikil di perairan tropis dengan kedalaman lebih dari 10 m. Hal tersebut sesuai dengan kesimpulan Deichmann (1958) yang menyatakan bahwa *surf-zone species* memiliki spikula meja yang termodifikasi, spikula meja yang sangat tereduksi serta spikula batang dan lempeng.

Sampai saat ini *Thelenota* hanya terdiri dari tiga spesies dan semuanya terdapat di perairan Indonesia (Massin & Lane, 1991). Ketiga spesies tersebut sudah dapat dibedakan berdasarkan morfologi luar tubuh, yaitu pada struktur permukaan tubuh (bentuk papila dorsal) dan beberapa karakteristik spikula (tipe butir yang berbentuk seperti cacing). Pohon filogeni 1 dan 2 pada genus *Thelenota* memiliki topologi yang sama. Posisi yang paling basal dalam genus *Thelenota* merupakan spesies yang lebih primitif, yaitu *T. ananas*. Karakteristik primitif yang dimiliki spesies ini adalah papila yang bercabang.

Karakteristik synapomorf pada rumpun yang lebih maju adalah polian vesikel yang pendek. Dari analisis filogeni DNA, dihasilkan topologi yang politomi (Byrne et al., 2010), sedangkan dari studi ini dihasilkan topologi yang dikotomi, walaupun nilai *Bootstrap* relatif lemah (51%). Hal ini ada kemungkinan dapat berubah jika ditambah karakteristik lain ke dalam analisisnya.

Ketiga spesies anggota genus *Thelenota* hidup di permukaan substrat, yaitu pasir, karang, dan kerikil di perairan tropis dengan kedalaman lebih dari 10 m (Massin & Lane, 1991). Berdasarkan studi ini, ketiga spesies tersebut memiliki komposisi spikula tipe batang, lempeng, butir di seluruh bagian tubuh dan meja semu yang hanya terdapat di papila dorsal.

Genus *Thelenota* tidak memiliki karakteristik homoplasi. Akan tetapi, jika dibandingkan antara tiga spesies *Thelenota* dan beberapa spesies dari genus *Stichopus*, terdapat dua karakteristik yang homoplasi. Kedua karakteristik tersebut adalah ukuran tubuh sedang dan polian vesikel yang berjumlah satu. Dengan demikian, untuk studi selanjutnya, karakteristik ini tidak dapat digunakan dalam analisis filogeni. Belum ada rujukan studi filogeni genus *Thelenota* berdasarkan karakteristik morfologis, kecuali studi filogeni DNA (Byrne et al., 2010).

Karakteristik plesiomorf, synapomorf, dan autapomorf pada pohon filogeni A (Gambar 1) dapat digunakan untuk membantu identifikasi dari tingkat famili sampai spesies dengan cara membuat kunci identifikasi. Dengan asumsi pohon filogeni tersebut lebih mirip dengan pendapat Deichmann (1958) dan Massin et al. (2000) yang menyatakan bahwa spikula meja, batang, dan lempeng merupakan karakteristik yang lebih primitif. Oleh karena itu, berikut adalah kunci identifikasi yang berhasil dibuat berdasarkan studi filogeni ini.

- 1a. Bentuk penampang tubuh silindris, tanpa tuberkel, susunan kaki tabung menyebar, memiliki organ cuvier **Holothuriidae**
- 1b. Bentuk penampang tubuh persegi, memiliki tuberkel, susunan kaki tabung dalam tiga baris, tanpa organ **Stichopodidae** (2)
- 2a. Bentuk madreporit oval, tonjolan posterior tumpul di cincin kapur radial, spikula batang bercabang dikotom di seluruh bagian tubuh, spikula meja semu di papila dorsal, tanpa spikula *massive body*, tanpa lempeng ireguler **Thelenota** (3)
- 2b. Bentuk madreporit bulat, tonjolan posterior runcing di cincin kapur radial, tanpa spikula batang bercabang dikotom, tanpa spikula meja semu, memiliki spikula *massive body* pada tentakel, memiliki spikula lempeng ireguler di papila dorsal **Stichopus** (5)
- 3a. Polian vesikel pendek dan berjumlah lebih dari satu, tuberkel tidak bercabang (4)
- 3b. Polian vesikel panjang dan berjumlah satu, tuberkel bercabang.....**Thelenota ananas**
- 4a. Spikula berbentuk butir seperti cacing **T. rubralienata**
- 4b. Spikula bentuk butir bulat **T. anax**
- 5a. Lubang tepi piringan spikula meja reguler dalam satu baris di kaki tabung, spikula mawar ireguler seperti lempeng di papila dorsal (6)
- 5a. Lubang tepi piringan spikula meja reguler lebih dari satu baris di kaki tabung, tanpa spikula mawar ireguler seperti lempeng di papila dorsal (7)

- 6a. Spikula meja ireguler dengan mahkota kecil di papila dorsal dan tentakel **Stichopus quadrifasciatus**
- 6b. Spikula meja ireguler tanpa mahkota di kaki tabung **S. vastus**
- 7a. Spikula meja reguler dengan tiang tinggi di dinding tubuh dan papila dorsal (8)
- 7b. Spikula meja reguler tanpa tiang tinggi **S. herrmanni**
- 8a. Spikula meja ireguler dengan *tack-like* dan lubang tepi piringan meja ireguler yang lebih dari satu baris di papila dorsal, spikula batang bercabang di tentakel (9)
- 8b. Spikula meja ireguler yang tereduksi tiang dan mahkotanya di papila dorsal, spikula meja reguler dengan lubang tepi piringan kurang dari satu baris di dinding tubuh dan papila dorsal **S. chloronotus**
- 9a. Spikula meja reguler dengan lubang tepi piringan lebih dari satu dan tiang tinggi di kaki tabung, spikula mawar ireguler yang seperti batang di dinding tubuh, papila dorsal dan kaki tabung, spikula batang berlubang di ujung dan tengah tentakel **S. pseudohorrens**
- 9b. Spikula tanpa meja reguler dengan lubang tepi piringan lebih dari satu baris dan tiang tinggi, tanpa spikula mawar ireguler, tanpa spikula batang berlubang di tentakel **S. horrens**

Kunci identifikasi dalam studi ini menggunakan karakteristik yang lebih bertahap, yaitu karakteristik morfologis luar yang digunakan untuk membedakan famili, kemudian karakteristik organ dalam dan komposisi spikula yang digunakan untuk membedakan genus. Selanjutnya, variasi bentuk dari komposisi spikula tersebut digunakan untuk membedakan spesies. Sedangkan kunci identifikasi timun laut (kelas Holothuroidea) menurut Clark & Rowe (1971) dimulai dengan ada tidaknya podia (kaki tabung dan papila dorsal), bentuk tubuh, dan komposisi spikula untuk memisahkan ordo. Karakteristik yang digunakan untuk memisahkan famili di dalam ordo Aspidochirotida adalah karakteristik jumlah rumbai gonad dan bentuk spikula. Sedangkan karakteristik untuk memisahkan genus dan spesies di dalam famili Stichopodidae menggunakan bentuk spikula. Kunci identifikasi Rowe & Doty (1977) menggunakan karakteristik spikula untuk membedakan genus *Stichopus* dari *Thelenota*, dan membedakan spesies anggota genus *Stichopus* menggunakan karakteristik morfologis tubuh, habitat, dan bentuk spikula. Berdasarkan kedua kunci identifikasi tersebut, karakteristik spikula digunakan sebagai pembeda

dari tingkat ordo sampai genus. Oleh karena itu, kunci identifikasi yang disusun berdasarkan analisis filogeni morfologi dapat lebih teratur berdasarkan tingkatan karakteristik yang mengalami evolusi (dari karakteristik yang primitif sampai karakteristik yang paling maju).

Untuk studi analisis filogeni yang akan datang, perlu menggunakan data molekuler agar dapat dibandingkan dengan studi filogeni famili Stichopodidae yang sudah ada. Selain itu, perlu ditambahkan karakteristik morfologis seperti pola warna pada saat hidup, ketebalan dinding tubuh, dan sebagainya, sehingga jumlah karakteristik spikula yang dipakai seimbang dengan jumlah karakteristik morfologis luar untuk beberapa kasus seperti *Stichopus horrens* dan *S. pseudohorrens*.

Kesimpulan

Studi filogeni famili Stichopodidae ini mengungkapkan bahwa pemisahan genus dalam famili Stichopodidae sudah stabil. Rekonstruksi pohon filogeni Stichopodidae menghasilkan dua percabangan kelompok besar yang terdiri dari genus *Stichopus* dan *Thelenota*. Kelompok genus *Stichopus* memiliki topologi yang berbeda pada beberapa spesies. Kelompok genus *Thelenota* memiliki topologi spesies yang konsisten. Karakteristik plesiomorf dalam famili Stichopodidae berasal dari morfologi luar tubuh. Karakteristik synapomorf dalam genus *Stichopus* dan *Thelenota* adalah pada perbedaan bentuk cincin kapur, madreporit, dan tipe spikula. Karakteristik autapomorf untuk tingkat spesies dalam genus *Stichopus* adalah spikula tipe meja, terutama dari papila dorsal dan kaki tabung. Karakteristik autapomorf untuk tingkat spesies dalam genus *Thelenota* adalah bentuk tuberkel dan bentuk spikula tipe butir.

Persantunan

Tulisan ini merupakan hasil penelitian untuk persyaratan penyelesaian studi S2 penulis pertama. Kepada Ir. Rika Raffiudin, M.Si dari program studi Biosains Hewan, Institut Pertanian Bogor, yang telah memberi dorongan, motifasi, koreksi, dan perbaikan dalam naskah, dan Dr. Ir. Dedy Duryadi Solihin, DEA yang selain menguji naskah thesis, juga memberi wawasan konsep evolusi dan adaptasi, sudah selayaknya kami mengucapkan banyak terima kasih. Dra. Rianta Pratiwi dan staf dari Pusat Penelitian Oseanografi

LIPI berperan penting dalam izin penggunaan dan penyimpanan spesimen koleksi.

Daftar Pustaka

- Appeltans W. 2002. Phylogeny of the Holothuriidae (Echinodermata: Holothuroidea) inferred from morphology. *Tesis*. Vrije Universiteit Brussel. 96 pp.
- Byrne M, F Rowe & S Uthicke. 2010. Molecular taxonomy, phylogeny and evolution in the Family Stichopodidae (Aspidochirotida: Holothuroidea) based on COI and 16S mitochondrial DNA. *Molecular Phylogenetic and Evolution*, 56: 1068–1081.
- Clark HL & FWE Rowe. 1971. *Monograph of shallow-water Indo-West Pacific Echinoderms*. Trustees of The British Museum Zoology. London. 238 pp.
- Clark HL. 1922. The holothurians of the genus *Stichopus*. *Bulletin of the Museum of Comparative Zoology at Harvard College*, 65(3): 39–74.
- Deichmann E. 1958. The Holothurioidea collected by the Velero III and during the years 1932 to 1954, part II. Aspidochirotida. *Allan Hancock Pacific Expedition*, 11(2): 239–349.
- Eriksson H, J Fabricius-Dyg, M Lichtenberg, V Perez-Landa & M Byrne. 2010. Biology of a high-density population of *Stichopus herrmanni* at One Tree Reef, Great Barrier Reef, Australia. *SPC Beche-de-mer Information Bulletin*, 30: 41–45.
- Futuyma DJ. 2005. *Evolution*. Sinauer Associates. Inc. Massachusetts. 603 pp.
- Hyman LH. 1955. *The Invertebrates: Echinodermata, The coelomate bilateria vol 4*. Mc Graw-Hill Book. co. Inc. New York. 763 pp.
- Janies D. 2001. Phylogenetic relationships of extant echinoderm classes. *Canadian Journal of Zoology*, 79: 1232–1250.
- Kerr AM & J Kim. 1999. Bi-penta-bi-decaradial symmetry: A review of evolutionary and development trends in Holothuroidea (Echinodermata). *Journal of Experimental Zoology*, 285: 93–103.
- Kerr AM & J Kim. 2001. Phylogeny of Holothuroidea (Echinodermata) inferred from morphology. *Zoological Journal of the Linnaean Society*, 133: 63–81.
- Kerr AM. 2001. Phylogeny of the Apodan Holothurians (Echinodermata) inferred from morphology. *Zoological Journal of the Linnaean Society*, 133: 53–62.

- Massin C & DJW Lane. 1991. Description of a new species of sea cucumber (Stichopodidae, Holothuroidea, Echinodermata) from the Eastern Indo-Malayan Archipelago: *Thelenota rubralineata* n. sp. *Micronesica*, 24: 57–64.
- Massin C, A Mercier & JF Hamel. 2000. Ossicle change in *Holothuria scabra* with a discussion of ossicle evolution within the Holothuriidae (Echinodermata). *Acta Zoologica*, 81: 77–91.
- Massin C, Y Zulfigar, ATS Hwai & SZR Boss. 2002. The Genus *Stichopus* (Echinodermata: Holothuroidea) from the Johore Marine Park (Malaysia) with the description of two new species. *Bulletin de L'institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique*, 72: 73–99.
- Massin C. 1996. The Holothuroidea (Echinodermata) collected at Ambon during the Rhumpius Biohistorical Expedition results of the Rhumpius Biohistorical expedition to Ambon (1990). Part 4. *Zoologische Verhandelingen Leiden*, 307: 1–54.
- Massin C. 1999. Reef dwelling Holothuroidea (Echinodermata) of The Spermonde Archipelago (South West Sulawesi Indonesia). *Zoologische Verhandelingen Leiden*, 329: 1–144.
- Pawson DL. 2007. Phylum Echinodermata. *Zootaxa*, 1668: 749–764.
- Pearson J. 1914. Proposed re-classification of the genera *Mülleria* and *Holothuria*. *Spolia Zeylanica*, 9: 163–172.
- Purwati P & I Wirawati. 2009. Holothuriidae (Echinodermata, Holothuroidea, Aspidochirotida) perairan dangkal Lombok Barat bagian I. Genus *Holothuria*. *Jurnal Oseanologi*, 2: 1–25.
- Purwati P & I Wirawati. 2011. Holothuriidae (Echinodermata, Holothuroidea, Aspidochirotida) perairan dangkal Lombok Barat bagian II. Genus *Actinopyga*, *Bohadschia*, *Labidodemas*, *Pearsonothuria*. *Jurnal Oseanologi*, 3: 1–10.
- Purwati P, SAP Dwiono, P Widianwary, WB Setyawan, E Kusmanto & B Mauliputra. 2008. Timun Laut Lombok Barat. In P Purwati & A Syahailatua (eds). *Ikatan Sarjana Oseanologi Indonesia*. Jakarta. 71 pp.
- Purwati P. 2005. Teripang Indonesia: komposisi jenis dan sejarah perikanan. *Oseana*, 30: 11–18.
- Quicke DLJ. 1993. *Principles and techniques of contemporary taxonomy*. Blackie Academic & Professional. United Kingdom. 311 pp.
- Rowe FWE & J Gates. 1995. Echinodermata. In Wells A, (ed.), *Zoological Catalogue of Australia* vol. 33. CSIRO Australia. Melbourne. p. 286–327.
- Rowe FWE & JE Doty. 1977. The shallow-water holothurians of Guam. *Micronesica*, 13(2): 217–250.
- Rowe FWE. 1969. *A review of the Family Holothuriidae (Holothuroidea: Aspidochirotida)*. Trustees of The British Museum Zoologi. London. 170 pp.
- Samyn Y, D Vandenspiegel & C Massin. 2006. *Taxonomie des Holothuries des Comores*. Abc Taxa. Belgique. 130 pp.
- Samyn Y, W Appeltans & AM Kerr. 2005. Phylogeny of *Labidodemas* and the Holothuriidae (Holothuroidea: Aspidochirotida) as inferred from morphology. *Zoological Journal of the Linnaean Society*, 144: 103–120.
- Samyn Y. 2003. Shallow-water Holothuroidea (Echinodermata) from Kenya and Pemba Island (Tanzania). *Studies in Afrotropical Zoology*, 292: 1–158.
- Solis-Marin FA. 2003. Systematic and phylogeny of the holothurians Family Synallactidae *Disertation*. University of Southhampton. England. 361 pp.
- Swofford DL. 2002. *PAUP* Phylogenetic analysis under parsimony (*and other methods) version 4.0 beta 10*. Sinauer Associates. Inc. Publishers. Sunderland, Massachusetts.
- Wirawati I & P Purwati. 2012. Rarely Reported Species of Indonesian Sea Cucumbers. *Marine Research in Indonesia*, 37: 9–23.
- Wirawati I, A Setyastuti & P Purwati. 2007. Timun laut anggota Famili Stichopodidae (Aspidochirotida, Holothuroidea, Echinodermata) koleksi Puslit Oseanografi LIPI, Jakarta. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia*, 33: 355–380.
- Wirawati I. 2012. Filogeni timun laut famili Stichopodidae (Kelas Holothuroidea) berdasarkan karakter morfologi. *Tesis*. Institut Pertanian Bogor. Bogor. 56 pp.

Lampiran

Daftar karakteristik morfologi luar, organ dalam, dan spikula yang digunakan dalam analisis filogeni Stichopodidae.

Appendix

List of external morphology characteristics, internal organs, and ossicle used in phylogenetic analyses of Stichopodidae.

No	Characteristic	Characteristic state	Reference
A EXTERNAL MORPHOLOGY			
1	Body shape	(0) cylindrical; (1) trapezoid or square	[1]
2	Maximum body size	(0) large (more than 40 cm); (1) moderate (between 30-40 cm); (2) small (less than 30 cm)	[4] & [5]
3	Dorsal papillae	(0) sparse; (1) arranged in 2 rows	[1] & [3]
4	Tubercles	(0) absent; (1) present	[1]
5	Type of tubercles	(0) absent; (1) single; (2) branched	[4]
6	Tube feet	(0) sparse; (1) arranged in 3 rows	[2]
7	Mouth	(0) terminal; (1) ventral	[1] & [2]
8	Anus	(0) terminal; (1) dorsolateral	[1] & [2]
9	anus appendix	(0) absent; (1) anal teeth present; (2) anal tubercles present	[1] & [2]
10	Tentacles	(0) 16; (1) 18 to 22	[2]
B INTERNAL MORPHOLOGY			
11	Calcareous ring ratio	(0) radial = interradial; (1) radial > interradial	[1] & [2]
12	Posterior end of calcareous ring	(0) blunt, widen; (1) tapering, narrow	[1] & [2]
13	Gonad	(0) 1 tuft; (1) 2 tufts	[1]
14	Madreporit	(0) rounded; (1) oval; (2) tube	[3] & [5]
15	Number of polian vesicle	(0) one; (1) more than one	[1] & [2]
16	Length of polian vesicle	(0) long (less than 1/5 body length); (1) short (more than or equal to 1/5 body length)	[2] & [5]
17	Cuvier organ	(0) absent; (1) present	[1] & [2]
C OSSICLE MORPHOLOGY FROM BODY WALL (DORSAL & VENTRAL)			
Tables			
18	Regular table	(0) present; (1) absent	[1] & [3]
19	Row of peripheral hole regular tables	(0) more than one row; (1) one row; (2) less than one row	[1] & [3]
20	Spire of regular tables	(0) 4 high pillars (spire height $\geq$ disc diameter); (1) 4 short pillars (spire height < disc diameter)	[1] & [3]
21	Crown of regular table	(0) circle; (1) maltese	[1] & [2]
22	Spines of regular table crown	(0) sparse; (1) in each corner	[1]
Rosettes			
23	Regular rosettes	(0) absent; (1) present	[2]
24	Tip of the regular rosettes	(0) enlarged; (1) curved	[3] & [5]
25	Irregular rosettes	(0) absent; (1) rod-like; (2) plate-like	[1] & [3]
Rods			
26	Rods	(0) absent; (1) present	[1] & [3]
27	Holes	(0) absent; (1) extremities & center; (2) center only	[1] & [3]
28	Branching	(0) absent; (1) not dichotomous; (2) dichotomous	[1] & [3]

29	C & S-shaped rods	(0) absent; (1) uniform in size; (2) vary in size	[1] & [5]
Miliary grannules			
30	Miliary grannules	(0) absent; (1) rounded; (2) worm-like	[1] & [3]
Buttons			
31	Buttons	(0) present; (1) absent	[1] & [3]
D OSSICLE MORPHOLOGY FROM DORSAL PAPILLAE			
Tables			
32	Regular tables	(0) present; (1) absent	[1] & [3]
33	Row of peripheral hole regular tables	(0) more than one row; (1) one row; (2) less than one row	[1] & [3]
34	Spire of regular tables	(0) 4 high pillars (spire height $\geq$ disc diameter); (1) 4 short pillars (spire height < disc diameter)	[1] & [3]
35	Regular table crown	(0) circle; (1) maltese	[1] & [2]
36	Spines of regular table crown	(0) sparse; (1) in each corner	[1]
37	Irregular tables	(0) absent; (1) tack-like; (2) with small crown; (3) reduced	[3]
38	Row of peripheral hole irregular tables	(0) more than one row; (1) one row; (2) less than one row	[1] & [3]
39	Spire of irregular tables	(0) 4 pillars; (1) 4 pillars fused at the end; (2) 4 reduced pillars	[3]
40	Crown of irregular tables	(0) square; (1) tapering; (2) reduced; (3) absent	[3]
41	Pseudo-table	(0) absent; (1) present	[1] & [2]
Rosettes			
42	Regular rosettes	(0) absent; (1) present	[2]
43	Tip of regular rosettes	(0) enlarged; (1) curved	[4]
44	Irregular rosettes	(0) absent; (1) rod-like; (2) plate-like	[1] & [3]
Rods			
45	Rods	(0) absent; (1) present	[1] & [3]
46	Holes	(0) absent; (1) extremities & center; (2) center only	[1] & [3]
47	Branching	(0) absent; (1) not dichotomous; (2) dichotomous	[1] & [3]
48	C & S-shaped rods	(0) absent; (1) uniform in size; (2) vary in size	[1] & [5]
Plates			
49	Irregular plates	(0) absent; (1) present	[2]
Miliary grannules			
50	Miliary grannules	(0) absent; (1) rounded; (2) worm-like	[1] & [3]
Buttons			
51	Buttons	(0) present; (1) absent	[1] & [3]
E OSSICLE MORPHOLOGY FROM VENTRAL TUBE FEET			
Tables			
52	Regular tables	(0) present; (1) absent	[1] & [3]
53	Row of peripheral hole regular tables	(0) more than one row; (1) one row; (2) less than one row	[1] & [3]
54	Spire of regular tables	(0) 4 high pillars (spire height $\geq$ disc diameter); (1) 4 short pillars (spire height < disc diameter)	[1] & [3]
55	Regular table crown	(0) circle; (1) maltese	[1] & [2]
56	Spines of regular table	(0) sparse; (1) each corner	[1]

	crown		
57	Irregular tables	(0) absent; (1) tack-like; (2) with small crown; (3) reduced	[3]
58	Row of peripheral hole irregular tables	(0) more than one row; (1) one row; (2) less than one row	[1] & [3]
59	Spire of irregular tables	(0) 4 pillars; (1) 4 pillars fused at the end; (2) 4 reduced pillars	[3]
60	Crown of irregular tables	(0) square; (1) tapering; (2) reduced; (3) absent	[3]
Rosettes			
61	Regular rosettes	(0) absent; (1) present	[2]
62	Tip of regular rosettes	(0) enlarged; (1) curved	[4]
63	Irregular rosettes	(0) absent; (1) rod-like; (2) plate-like	[1] & [3]
Rods			
64	Rods	(0) absent; (1) present	[1] & [3]
65	Holes	(0) absent; (1) extremities & center; (2) center only	[1] & [3]
66	Branching	(0) absent; (1) not dichotomous; (2) dichotomous	[1] & [3]
67	C & S-shaped rods	(0) absent; (1) uniform in size; (2) vary in size	[1] & [5]
Plates			
68	Regular plates	(0) absent; (1) present	[2]
69	Irregular plates	(0) absent; (1) present	[2]
Miliary grannules			
70	Miliary grannules	(0) absent; (1) rounded; (2) worm-like	[1] & [3]
Buttons			
71	Buttons	(0) present; (1) absent	[1] & [3]
F OSSICLE MORPHOLOGY FROM TENTACLES			
Tables			
72	Regular tables	(0) present; (1) absent	[1] & [3]
73	Irregular tables	(0) absent; (1) tack-like; (2) with small crown; (3) reduced	[3]
Rods			
74	Rods	(0) absent; (1) present	[1] & [3]
75	Holes	(0) absent; (1) extremities & center; (2) center only	[1] & [3]
76	Branching	(0) absent; (1) not dichotomous; (2) dichotomous	[1] & [3]
77	Massive body	(0) absent; (1) present	[1] & [5]
Miliary grannules			
78	Miliary grannules	(0) absent; (1) rounded; (2) worm-like	[1] & [3]

Remarks: [1] Samyn et al. (2005); [2] Appeltans (2002); [3] Deichmann 1958; [4] Solis-Marin (2003);
[5] This study after modification.