

Genus *Pteraeolidia*: Filogeni dan Faktor Geografi

(*Pteraeolidia* Genera: Phylogenetic and Geography Factor)

Adelfia Papu*, Farha N J Dapas, Parluhutan Siahaan

Program Studi Biologi, Jurusan Biologi FMIPA Universitas Sam Ratulangi, Manado

*Corresponding Author: adelfia.papu@unsrat.ac.id

(Article History: Received Sept 23, 2022; Revised Jan 15, 2023; Accepted Jan 30, 2023)

ABSTRAK

Pteraeolidia adalah genus dari *Cladobranhia* yang dapat ditemukan di perairan Indonesia. Tujuan studi ini untuk melihat hubungan filogenetik dan geografi antar spesies *Pteraeolidia* dari berbagai perairan/negara. Data menggunakan sekuens gen COXI dari *Pteraeolidia* dari berbagai wilayah yang diambil dari GenBank (NCBI). Analisis likelihood dari pohon filogenetik menggunakan model K3Pu+F+I+G4. Perbedaan spesifik dianalisis dengan jaring haplotip. *P. ianthina* dengan jarak intraspesifik tinggi tetap bersifat monofili. *P. semperi* juga monofili, namun ada lima sekuensi berinisial *P. ianthina* tercampur di kelompok *P. semperi* membutuhkan konfirmasi morfologi. Dari sisi geografi, *P. semperi* tidak hanya tersebar di Australia Timur, tapi juga Samudera Pasifik dan Sulawesi.

Kata kunci: *Pteraeolidia*; filogeni; geografi; COXI.

ABSTRACT

Pteraeolidia is a member of *Cladobranhia* that can be found in Indonesia. This study aims to investigate the phylogenetic and geographic relationship within *Pteraeolidia* species not only in Indonesia. Sequences of *Pteraeolidia* COXI gene, were extracted from the GenBank and were analysed using K3Pu+F+I+G4 model. Haplotype network analyses was used for the specific investigation. The likelihood phylogenetic tree of *Pteraeolidia* reveals monophyletic of *P. ianthina*. However, it splits into two branches with high distance matrix. *P. semperi* joins into one branch, despite, five sequences of *P. ianthina* which joined in the branch cause the clade become nonmonophyly. *P. semperi* not only found in East Australia but also in Sulawesi and Pacific.

Keywords: *Pteraeolidia*; phylogeny; geography; COXI.

PENDAHULUAN

Pteraeolidia yang ditemukan di daerah Sulawesi telah dideskripsikan sejak tahun 1875 oleh Bergh. Genus ini adalah salah satu dari kelompok *Nudibranchia* (Gastropoda) yang menarik perhatian, mulai dari sistematika, tingkah laku, hingga ke kandungan kimia sebagai potensi obat. Bentuk tubuhnya yang memanjang dan penuh dengan cerata menarik perhatian para penyelam. Cerata sebenarnya merupakan perpanjangan dari glandula pencernaan. Hewan ini mirip kelabang, atau bahkan mirip naga kecil. Sebagai bagian dari pertahanan diri, hewan ini menyimpan nematosist di ujung cerata. Nematosist ini merupakan hasil “curian” (kleptocnidost) dari makanannya, yaitu hydroid *Pennaria disticha* (Putz et al. 2010). Selain itu, genus ini dikenal dengan istilah “solar powered sea slug” karena menyimpan kloroplast di dalam tubuhnya yang dapat berfotosintesis untuk menyuplai makanan.

Selain kebiasaan hidup, sejarah sistematika genus *Pteraeolidia* juga cukup dinamis. Terdapat tiga spesies yang diumumkan pada awalnya, yaitu *Pteraeolidia ianthina* (Angas 1864), *Pteraeolidia semperi* (Bergh 1870) dan *P. annulata* Elliot,

1910. Pada Abad 20, Risbec mendeskripsikan *Flabellina scolopendrella* yang kemudian berdasarkan lokasi ditemukan (perairan Filipina), yang kemudian individu ini disinonimisasi ke spesies *P. semperi* (Eliot 1910; Wilson & Burghardt 2015; Yorifuji et al. 2012). Seiring berkembangnya ilmu sistematika, klasifikasi dengan metode molekuler menemukan bahwa secara gen hewan ini terbagi atas dua spesies, yaitu *P. semperi*, *P. ianthina* dan *P. annulata*. Namun spesies ketiga ini sangat jarang dibahas. Sekuensi dari *P. annulata* tidak tersedia di GenBank.

Pteraeolidia dapat ditemukan di daerah Sulawesi, termasuk Sulawesi Utara (Wilson & Burghardt 2015; Eisenbarth et al. 2018; Papu et al. 2020). Namun proses identifikasi menjadi masalah karena *M. ianthina* dan *M. semperi* mengalami mimik satu sama lain. Spesies di Sulawesi Utara diidentifikasi secara morfologi sebagai *P. semperi*.

Pembahasan tentang *P. ianthina* dan *P. semperi* masih belum secara tuntas menyelesaikan permasalahan spesies mimikri dalam genus ini. Beberapa teori menjelaskan kemungkinan pemisahan spesies dalam genus *Pteraeolidia* didasarkan pada faktor geografi (Wilson dan Burghardt 2015; Yorifuji et al. 2012). Maka tujuan penelitian ini adalah menjelaskan status sistematik dari genus *Pteraeolidia* melalui pohon filogenetik dan melihat pengaruh geografi melalui sekuens DNA yang tersedia dari berbagai wilayah kemudian diharapkan dapat menggambarkan sebaran spesies dari genus *Pteraeolidia*. Dan jika mengikuti kesimpulan dari literature sebelumnya, maka *Pteraeolidia* yang dijumpai di Sulawesi seharusnya adalah *P. semperi*.

METODE

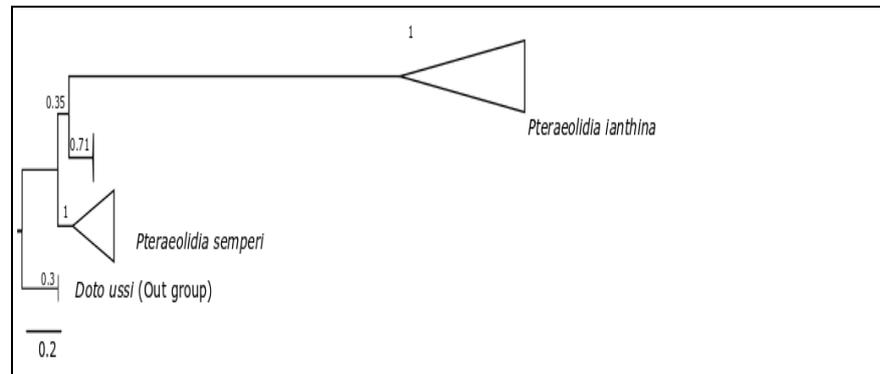
Bahan yang digunakan adalah 56 sekuens gen COX1 (*Cytochrome Oxidase I*) dari *Pteraeolidia* yang tersedia di GenBank/NCBI (NCBI, 2018) yang merupakan gabungan dari sekuens berbagai lokasi. Sebagai outgroup, digunakan dua sekuens *Doto ussi* yang masih masuk dalam Cladobranchia. Sekuens yang diunduh kemudian dijajarkan dan direkonstruksi filogenetik dengan metode maximum likelihood dan konstruksi jaring haplotip untuk membahas detail hubungan antar sekuens.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pohon filogenetik menggunakan gen CO1 dengan metode maximum likelihood pada **Gambar 1** menyajikan kladogram dari tiga grup *Pteraeolidia* selain outer (outgroup) terdapat juga. Kelompok pertama adalah monofiletik dari *Pteraeolidia ianthina*. Kelompok ini termasuk muda dalam proses evolusi dengan nilai variasi intraspesifik yang tinggi. Jarak perbedaan maximum intraspesies sangat bervariasi, 0.15-27.136 (**Tabel 1**). Bahkan tes delimitasi spesies memisahkan spesies pertama ke dalam tujuh spesies (atau subspecies) hipotetik (**Gambar 2**). Di posisi terpisah namun masih taksa sister dengan kelompok satu adalah kelompok *P. ianthina* kedua. Kedua kelompok spesies ini terpisah dengan jarak minimum gen antarspesies yang tinggi, 28.936. Namun intraspesifik, jarak maksimum matriksnya lebih kecil variasinya dibanding kelompok *P. ianthina* pertama, yaitu 0.15-0.60 (**Tabel 1**). Kelompok ke tiga *P. semperi* monofili.

Berdasarkan pohon filogenetik, *P. ianthina* terlihat monofili namun karena terbagi menjadi dua clade dengan jarak yang tinggi, maka kedua clade tersebut diberi pembeda dengan nama *P. ianthina* 1 dan *P. ianthina* 2. Nama *P. ianthina*

dan semua nama spesies yang digunakan di sini merujuk pada nama yang diberi pada sekuens yang unggah di GenBank NCBI. Pemberian nama didukung oleh jaring haplotype (**Gambar 3**). Hubungan antara *P. ianthina* 1, *P. ianthina* 2 dan *P. semperi* dijelaskan lebih detail dan mendukung penjelasan dari **Gambar 2** tentang pemisahan *P. ianthina* menjadi dua subspecies atau spesies yang berbeda. *P. ianthina* 1 dan *P. semperi* terpisah dengan perbedaan 38 nukleotida, sementara tidak ada pemisahan yang jelas antara *P. ianthina* 2 dan *P. semperi*. *Pteraeolidia semperi* tersebar secara lokal dengan mutasi maksimal 18 nukleotida. *Pteraeolidia ianthina* clade 1 juga terlihat mengelompok.

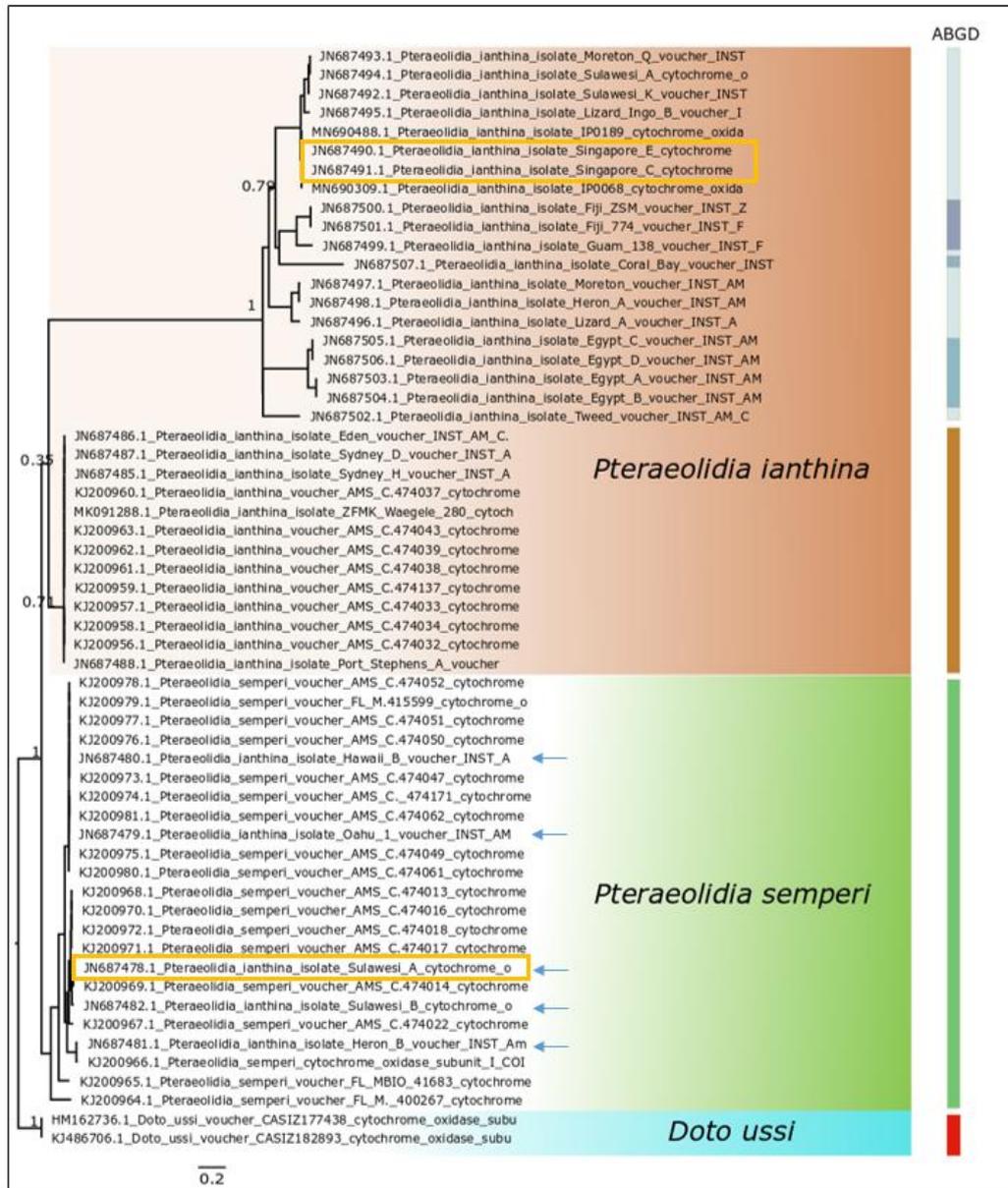


Gambar 1. Kladogram *P. ianthina* yang diringkas dengan skala jarak 0.2.

Tabel 1. Matriks jarak antar dan intra spesies dari *Pteraeolidia* dan outgroup

	<i>P. ianthina</i> 1	<i>P. ianthina</i> 2	<i>P. semperi</i>	<i>Doto ussi</i>
<i>P. ianthina</i> 1	0.15-27.136	-	-	-
<i>P. ianthina</i> 2	28.936-32.828	0.15-0.60	-	-
<i>P. semperi</i>	28.636-33.733	15.701-18.014	0.60-15.442	-
<i>Doto ussi</i>	40.933-48.941	24.309-25.522	23.813-26.620	0-0.152

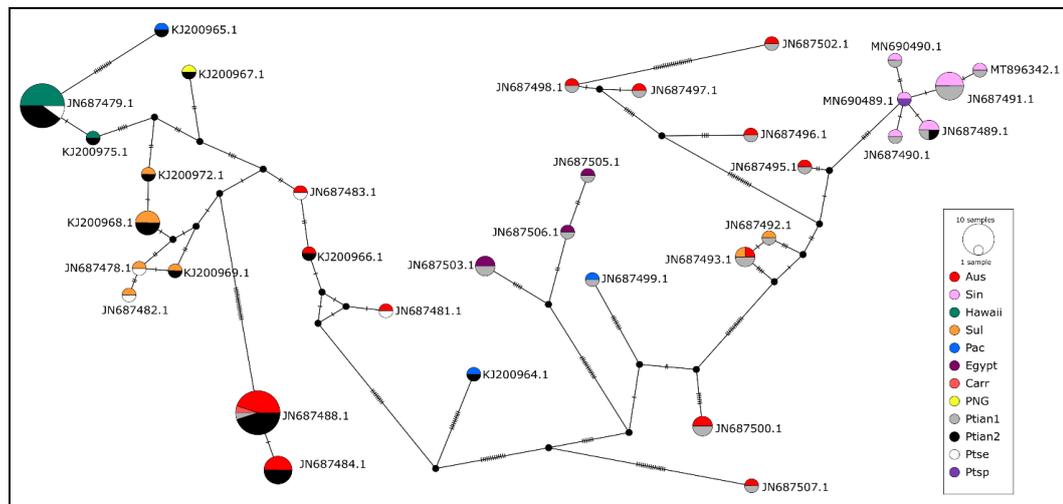
Daerah Singapore memperlihatkan sebaran individu *Pteraeolidia* yang cukup dekat dengan tingkat mutasi yang rendah. Australia Tenggara adalah habitat dari ketiga clade/spesies *Pteraeolidia*. Untuk lokasi lainnya, hanya didominasi oleh clade/spesies tertentu, jika mengacu pada nama sekuens dari GenBank. *Pteraeolidia* di Singapura didominasi oleh spesies *P. ianthina* dan terlihat hubungan genetik individu sangat dekat, hanya terpisah maksimal 4 nukleotida. Sekuens dari Pasifik terlihat terpisah dari sekuens lainnya dengan tingkat mutasi yang tinggi. Hal ini wajar karena sekuens tersebut dari daerah Pasifik yang berbeda-beda. Ada beberapa anomali seperti sekuens dengan nama *Pteraeolidia* sp. dari Singapore yang bergabung dengan *P. ianthina*. Begitu juga ada satu sekuens yang diberi nama *P. ianthina* pada jaring haplotype. Sekuens *P. ianthina* 2 tersebut sekelompok dengan sekuens *P. ianthina* 1. Anomali lainnya adalah ada satu sekuens diberi nama *P. ianthina* 1 namun urutan DNANYa sama dengan gabungan kelompok besar *P. ianthina* 2. Namun jika dilihat lebih detail pada **Gambar 2**, ada lima spesimen *P. ianthina* yang tergabung di dalam kelompok ini.



Gambar 2. Pohon filogenetik *Pteraeolidia* dengan *Doto ussi* sebagai outer/outgroup. Batang di sebelah kanan adalah hasil test delimitasi spesies. Kotak kuning menerangkan bahwa *P. ianthina* dan *P. semperi* juga ditemukan di Sulawesi. Panah biru menunjukkan *P. ianthina* yang masuk di dalam kelompok monofiletik dari *P. semperi*.

Pohon filogenetik yang ditunjukkan pada **Gambar 2** menggunakan *Doto ussi* sebagai outgroup. Sekuens dari beberapa genus yang termasuk dalam Facellinidae yang hubungan kekerabatannya lebih dekat dengan *Pteraeolidia* telah dicoba dalam beberapa percobaan rekonstruksi. Namun posisi spesies selain *Pteraeolidia* yang dijadikan outgroup malah lebih terlihat sebagai *sister taxa* dibanding outgroup. Hal ini dapat disebabkan karena jarang interspesifik intragenera yang tinggi. Penggunaan *Doto ussi* yang walaupun tetap Cladobranchia namun kekerabatannya cukup jauh berasal dari famili berbeda dari

dari famili Dotidae sebagai *outgroup* dinyatakan berhasil. Hal tersebut dapat disebabkan oleh jarak genetik yang cukup mengimbangi jarak genetik antarspesies *Pteraeolidia*.



Gambar 3. Hubungan mutasi tiap sampel dalam jaringan haplotype. Jaringan haplotype dari *Pteraeolidia* yang menggambarkan hubungan nucleotida dan alur mutasi tiap sampel (sekuens) *Pteraeolidia*. Warna menggambarkan spesies dari sampel yang digunakan (nama berdasarkan nama spesies di GenBank); dan ukuran lingkaran menggambarkan jumlah kelompok sampel yang berkelompok bersama.

Hasil rekonstruksi sebelumnya secara umum menggambarkan dan memisahkan monofili dari masing-masing spesies *Pteraeolidia ianthina* dan *P. semperi* (Wilson dan Burghardt, 2015). Selain itu, Wilson dan Burghardt (2015) juga menyatakan geografik mempengaruhi penyebaran spesies. *P. semperi* adalah spesies yang tersebar di sekitar perairan Australia, khususnya Australia bagian timur. Dalam rekonstruksi filogenetik kali ini walaupun hanya menggunakan gen CO1, namun terdapat lima sekuens *P. ianthina* (JN687480-Hawaii, JN687479-Oahu, JN687478-Sulawesi, JN687482-Sulawesi, JN487481-Heron) yang bercampur dengan kelompok *P. semperi* membuat posisi *P. ianthina* menjadi tidak lagi monofili. Jika nama spesies dari sekuens tersebut benar adalah *P. ianthina*, maka hal ini menghasilkan kasus parafili dalam sistematik *Pteraeolidia*. Selain itu, menurut Wilson dan Burghardt (2015), Sulawesi adalah tempat distribusi *P. semperi*, bukan *P. ianthina*. Butuh klarifikasi jika pemberian nama spesies pada sekuens tersebut adalah nama dari identifikasi morfologi awal. Beberapa sumber menjelaskan ciri-ciri morfologi penting yang dapat menjadi kunci determinasi dan identifikasi cladobranck seperti warna, pola garis pada sisi tubuh, jumlah ring di rhinophore, knidosit, ada tidaknya kantung knidosak (Putz *et al.* 2010; Wilson dan Burghardt 2015; Goodheart *et al.* 2018).

Mutasi yang menjadi awal proses evolusi dapat dipengaruhi oleh dispersi hewan yang kemudian dilanjutkan dengan isolasi genetik oleh lingkungan. Peristiwa mutasi secara terus menerus yang irreversible dapat menyebabkan proses spesiasi (Wägele 2005). **Gambar 3** mencoba menjelaskan teori tersebut dengan asumsi bahwa pemberian nama spesies dari sekuensi adalah benar. Satu

spesies yang diidentifikasi sebagai *Pteraeolidia* sp. (Ip et al. 2019) mempunyai sekuens DNA yang identik dengan kelompok *P. ianthina* clade 1. Pada link diversitas spesies Singapura, tempat gambar sampel tersebut dipajang, hanya terdapat satu spesies di Singapura yaitu *P. ianthina*. Jadi *P. sp* yang ada pada GenBank yang diwakili oleh titik hitam pada **Gambar 3**, telah diidentifikasi hingga tingkat spesies menjadi *P. ianthina*, namun nama spesies di GenBank belum diubah ([The Biodiversity of Singapore - *Pteraeolidia ianthina*](#)).

Sebaran *Pteraeolidia semperi* dijelaskan lebih luas dari *P. ianthina*. *P. ianthina* sebagai spesies dengan dispersi terbatas pada Australia Timur. *P. ianthina* sendiri dalam kladogram terbagi atas dua kelompok yang monofili dengan dukungan nilai bootstrap yang kecil (0,35). *P. ianthina* clade 1 terpisah dengan *P. semperi* namun beberapa sekuens *P. ianthina* terletak di antara kelompok *P. semperi* (**Gambar 2**). Ini kembali lagi membutuhkan penjelasan lebih lanjut dari pengarang artikel yang mengirim sekuens tersebut.

Genus ini secara sistematika juga punya sejarah sendiri. Ada awalnya hanya terdiri dari tiga spesies, *P. scolopendrella*, *P. ianthina* dan *P. semperi* yang kemudian digabung (sinonimisasi) menjadi hanya satu spesies. Namun perkembangan terakhir, genus ini terdiri dari dua spesies: *P. ianthina* dan *P. semperi*. *P. Semperi* kemudian dilepaskan dari sinonimisasi. Nama *P. semperi* diaktifkan lagi, namun posisi *P. scolopendrella* masih perlu diteliti lebih lanjut. Morfologi yang membedakan yang membedakan *P. ianthina* dan *P. semperi* dideskripsikan oleh Wilson dan Burghardt (2015).

Wilson & Burghardt (2015) juga menjelaskan bagaimana *Pteraeolidia* dan alur mutasi *Pteraeolidia* secara umum erat kaitan dengan geografis, seperti pada **Gambar 3**. Namun secara spesifik, nama spesies dari beberapa sekuens yang diunduh dari NCBI dan penjelasan dalam artikel menunjukkan hal yang kurang sinkron. Hal tersebut dapat terjadi akibat belum diubahnya nama sekuensi yang diunggah ke NCBI. Jika hanya fokus pada alur mutasi tanpa melihat nama spesies, terlihat bahwa *Pteraeolidia* dari lokasi yang sama memiliki hubungan kekerabatan yang dekat, kecuali *Pteraeolidia* di daerah Australia Timur (Queensland, NSW dan Fiji) dan Sulawesi. Di daerah tersebut terjadi pertemuan antara spesies *Pteraeolidia*.

Hasil studi yang berbeda dengan rekonstruksi yang dilakukan oleh (Wilson dan Burghardt 2015) dapat dipengaruhi oleh beberapa hal. Wilson & Burghardt menggunakan gabungan gen sementara hasil di studi ini menggunakan gen tunggal, CO1. Selain itu, ada beberapa sekuens yang tidak ditampilkan pada penelitian sebelumnya.

KESIMPULAN

Secara umum, berdasarkan gen CO1, *Pteraeolidia* terdiri atas tiga spesies/subspesies. Teori distribusi secara geografi tergambar pada sebagian besar lokasi, namun ada daerah yang merupakan pencampuran spesies dari *Pteraeolidia* yaitu Australia timur, Pasifik dan Sulawesi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai dari dana PNPB Unsrat skema RDTPU tahun pembiayaan 2022. Kami menyatakan bahwa tidak ada konflik kepentingan dengan organisasi manapun mengenai bahan yang didiskusikan dalam naskah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Angas, G.F. (1864). Description d'espèces nouvelles appartenant à plusieurs genres de mollusques nudibranches des environs de Port-Jackson (Nouvelle-Galles du Sud), accompagnée de dessins faits d'après nature. *Journal de Conchyliologie*, 3(12): 43–70. <https://biodiversitylibrary.org/page/16055237>
- Bergh, L.S.R. (1875). Beitrage zur Kenntniss der Aeolidiaden 3. *Verhandlungen der königlich kaiserlich zoologisch-botanischen Gesellschaft in Wien*, 25: 633–658.
- Eisenbarth, J-H., Undap, N., Papu, A., Schillo, D., Dialao, J., Reumschüssel, S., Kaligis, F., Bara, R., Schäberle, T.F., König, G.M., Yonow, N., Wägele, H. (2018). Marine Heterobranchia (Gastropoda, Mollusca) in Bunaken National Park, North Sulawesi, Indonesia—A follow-up diversity study. *Diversity*, 10, 127. <https://doi.org/10.3390/d10040127>
- Goodheart, J.A., Bleidißel, S., Schillo, D., Strong, E.E., Ayres, D.L., Preisfeld, A., Collins, A.G., Cummings, M.P., Wägele, H. (2018). Comparative morphology and evolution of the cnidosac in Cladobranchia (Gastropoda: Heterobranchia: Nudibranchia). *Frontiers in Zoology*, 15:43. <https://doi.org/10.1186/s12983-018-0289-2>
- Ip, Y.C.A., Tay, Y.C., Gan, S.X., Ang, H.P., Tun, K., Chou, L.M., Huang, D., Meier, R. (2019). From marine park to future genomic observatory? Enhancing marine biodiversity assessments using a biocode approach. *Biodiversity Data Journal*, 7: e46833. <https://doi.org/10.3897/BDJ.7.e46833>
- Papu, A., Undap, N., Martinez, N.A., Segre, M.R., Datang, I.G., Kuada, R.R., Perin, M., Yonow, N., Wägele, H. (2020). First study on marine Heterobranchia (Gastropoda, Mollusca) in Bangka Archipelago, North Sulawesi. Indonesia. *Diversity*, 12(2): 1–72. <https://doi.org/10.3390/d12020052>
- Putz, A., König, G.M., Wägele, H. (2010). Defensive strategies of Cladobranchia (Gastropoda, Opisthobranchia). *Natural Product Report*. pp. 17. <https://doi.org/10.1039/b923849m>
- Wägele, J-W. (2005). *Fondation of Phylogenetic Systematics*. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München.
- Wilson, N.G. and Burghardt, I. (2015). Here be dragons – phylogeography of *Pteraeolia ianthina* (Angas, 1864) reveals multiple species of photosynthetic nudibranchs (Aeolidina: Nudibranchia). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 175: 119–133. <https://doi.org/10.1111/zoj.12266>
- Yorifuji, M., Takeshima, H., Mabuchi, K., Nishida, M. (2012) Hidden diversity in a reef-dwelling sea slug, *Pteraeolia ianthina* (Nudibranchia, Aeolidina), in the Northwestern Pacific. *Zoological Science*, 29: 359–367.