

Struktur Histologis Insang Ikan Gelodok (*Periophthalmodon schlosseri*)

Histological Structure of Gills of Giant Mudskipper (*Periophthalmodon schlosseri*)

Danang Bagus Yudistira¹, Anni Nurliani¹, Heri Budi Santoso¹

¹Program Studi Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lambung Mangkurat,
Kalimantan Selatan

Email: danang.bagus.yudistira@gmail.com

Abstract

Giant mudskipper (*Periophthalmodon schlosseri*) is one of gobiidae members that does air-breathing and lives on intertidal zone with mangrove habitat. The ability of giant mudskipper to adapt with water to land environment is due to its gill histological structure. The objective of the present study was to observe the structure of giant mudskipper's gill and to identify sort of cells and its distributions descriptively. The gills of three adult giant mudskippers were taken and processed to histological slides with 4 μm thickness each. Samples were stained with hematoxyline-eosin (HE) method. The results indicated that Mudskipper gills consist of epithelial cells, such as squamous and cuboid on the lamellae surfaces contiguous with mucous and chloride cells that are spread at interlamellae zone and peripheral surfaces of fused secondary lamellae of mudskipper gills. Pillar cells sre found inside of secondary lamellae and form lacunae that split secondary lamellae with block to block spaces that fill with erythrocytes. Hyaline cartilages are found to form canals for transport veins inside primary lamellae and soft muscle connecting hyaline to basal membrane of primary lamellae surfaces. The difference of histological structures between giant mudskipper gills to other aquatic osteichthyes is that the secondary lamellae is fused in normal (non-pathological) condition. The fusion makes epithelial cells of the econdary lamellae are thicker. The fusion also makes oxygen diffusion path from water to capillary vein is a bit longer about 10 μm . The thickness of epithelial cells of secondary lamellae makes the mudskippers gills not an efficient organ for gas exchanges in water, but it is important in osmoregulation.

Keywords: *Periophthalmodon schlosseri*, air-breathing, histological structure, lamellae fusion, osmoregulation.

Abstrak

Ikan gelodok (*Periophthalmodon schlosseri*) merupakan salah satu anggota dalam famili *Gobiidae* yang memiliki kemampuan *air-breathing* dan hidup di wilayah perairan intertidal berbakau. Kemampuan ikan gelodok untuk beradaptasi dengan lingkungan air-darat berkorelasi dengan struktur histologis insangnya. Penelitian ini dilakukan untuk mengamati struktur histologi insang ikan gelodok dan mengidentifikasi jenis serta distribusi sel-sel penyusun pada insangnya. Tiga ekor ikan gelodok dewasa diambil insangnya dan dibuat preparat histologis dengan ketebalan pematangan 4 μm . Sampel diwarnai dengan hematoksilin-eosin. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa insang gelodok memiliki sel penyusun yang terdiri atas sel-sel epitel skuamos dan kubus pada bagian permukaan lamelanya berdampingan dengan sel mukus dan sel klorida yang tersebar di daerah interlamela dan tepi lamela sekunder insang. Sel pilar berada di bagian dalam lamela sekunder dan membentuk lakuna yang membagi lamela sekunder menjadi berblok-blok dan terisi oleh eritrosit. Kartilago hialin membentuk saluran untuk pembuluh darah pada lamela primer dan otot polos menghubungkan hialin

dengan daerah endotelium permukaan lamela primer. Ciri khas struktur histologis insang ikan gelodok dengan struktur insang ikan akuatik pada umumnya adalah adanya fusi dalam keadaan normal pada lamela sekunder insangnya. Adanya fusi ini membuat epitel pada lamela sekunder ikan gelodok nampak lebih tebal dan jarak difusi oksigen dari air menuju kapiler darah menjadi lebih panjang sekitar 10 μ m. Epitel tebal pada lamela sekundernya membuat insang ikan gelodok bukan merupakan alat pertukaran gas yang cukup efisien di air namun berperan penting dalam osmoregulasi.

Kata kunci: *Periophthalmodon schlosseri*, air-breathing, struktur histologi, fusi lamela, osmoregulasi.

Pendahuluan

Ikan gelodok adalah salah satu anggota dalam famili *gobiidae* yang memiliki kemampuan respirasi bimodal dan toleran dengan kadar salinitas beragam. Dengan kemampuan respirasi bimodalnya, ikan gelodok menjadi contoh utama ikan yang berperilaku seperti amfibi dan membedakannya dengan ikan akuatik secara umum.

Ikan gelodok tinggal di kolam yang dibuatnya sendiri pada lumpur di bibir sungai dengan air yang menggenangi kolamnya setiap saat di wilayah pasang surut hutan bakau. Air di kolam ikan gelodok cenderung rendah kadar oksigennya akibat siklus pergantian air yang hanya terjadi pada saat air pasang setiap harinya. Ikan gelodok sering kali meninggalkan kolam dan naik ke akar bakau atau lumpur untuk berburu serangga dan *crustacea*, terutama kepiting kecil atau udang kecil.

Keberhasilan ikan dalam mendapatkan oksigen tergantung pada daya dukung lingkungan dan terutama kemampuan fungsi insang untuk menangkap oksigen dalam perairan. Proses penyerapan oksigen dalam jaringan insang dilakukan oleh darah yang mengalir ke dalam lamela-lamea insang dan akibat adanya perbedaan tekanan gas antara darah dan lamela dengan air, maka akan terjadi difusi gas-gas. Dengan demikian,

kondisi insang sangat menentukan kelangsungan hidup ikan (Lagler *et al.*, 1977).

Diduga bahwa perbedaan struktur morfologi dan histologi dari insang gelodok dengan ikan akuatik lainnya adalah faktor bertahan yang penting pada habitat estuari (Mazlan *et al.*, 2006). Penelitian ini dilakukan untuk mengamati struktur histologis insang ikan gelodok dan mengidentifikasi jenis serta distribusi sel-sel penyusun pada insangnya.

Materi dan Metode

Penelitian ini menggunakan sampel insang dari tiga ekor ikan gelodok (*Periophthalmodon schlosseri*) dewasa yang ditangkap dari habitat aslinya di wilayah intertidal hutan bakau muara sungai Barito, Kalimantan Selatan. Pengambilan sampel dilakukan dengan mengiris bagian ventral kepala ikan gelodok tepat di atas batas sirip pectoral kiri dan kanannya sehingga insang dapat diambil secara utuh dari kepala ikan gelodok. Sampel difiksasi larutan larutan BNF 10% selama 24 jam, didekalsifikasi dengan natrium sitrat dan asam formiat hingga lengkung insang menjadi lunak, dan selanjutnya dibuat preparat histologis. Sampel diiris dengan ketebalan 4 μ m menggunakan *rotary microtome* dan kemudian diwarnai dengan pewarnaan hematoxilin-eosin (HE). Selanjutnya

preparat diamati di bawah mikroskop, dan hasilnya dianalisis secara deskriptif.

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengamatan makroskopis insang ikan gelodok menunjukkan bahwa morfologi insang ikan gelodok memiliki empat pasang lengkung insang yang disatukan oleh tulang rawan. Insang ikan gelodok memiliki dua pasang lengkung insang yang panjang di bagian anterior dan dua lengkung insang yang lebih pendek di bagian posterior. Pada insang ikan gelodok, dapat dilihat dengan jelas bahwa lamela primernya pendek dan tebal. Lamela dengan struktur seperti ini berkaitan dengan fungsinya yang ketika di darat, tidak menjadi alat utama pertukaran gas (Wilson *et al.*, 2000). Adanya lamela primer yang tebal berkorelasi dengan fusi lamela sekunder dan sel-sel epitel penyusun lamelanya.

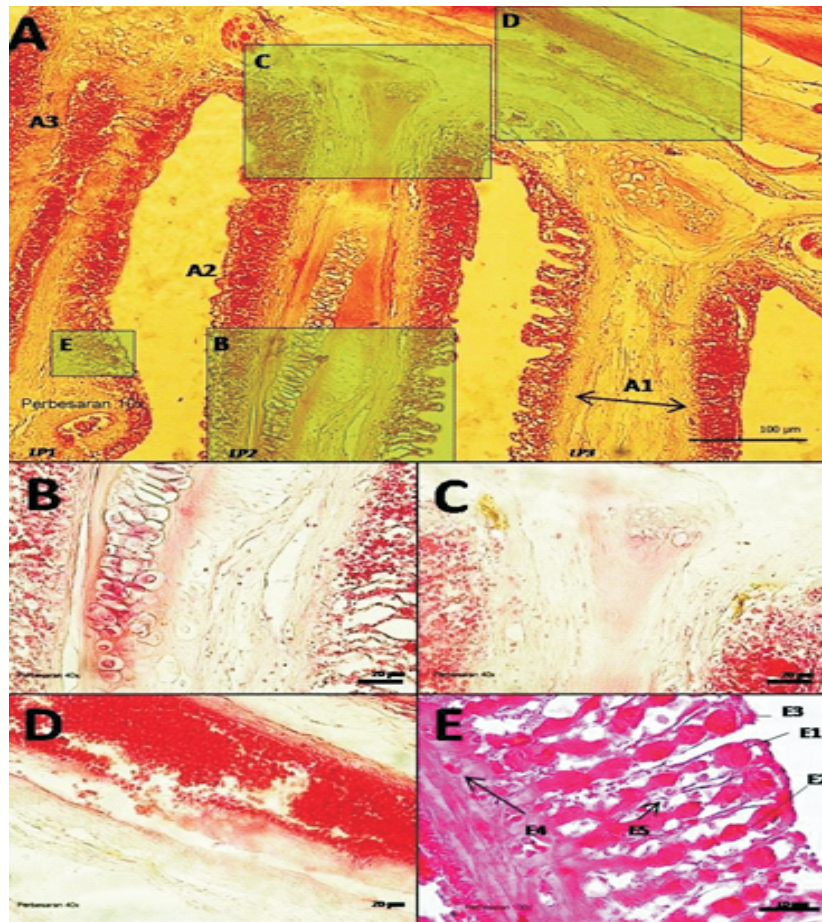
Pada pengamatan mikroskopis insang ikan gelodok terlihat bahwa lamela primernya tebal dan pendek. Tiap lamela primer insang ikan gelodok diisi oleh dua baris lamela sekunder yang sangat rapat dan berfusi antara satu dengan yang lain dan memiliki epitel yang berkembang dengan lebih banyak memiliki mitokondria.

Sel penyusun insang ikan gelodok terdiri atas sel-sel epitel, sel mukus, sel klorida, sel pilar, sel otot polos dan tulang rawan (kartilago) hialin yang membentuk saluran untuk pembuluh darah yang berisi eritrosit berinti. Sel epitel menutupi seluruh permukaan lamela primer dan lamela sekunder pada insang ikan gelodok berdampingan dengan sel

mukus dan sel klorida yang merupakan diferensiasi dari sel epitel. Otot polos berada di bagian lamela yang lebih dalam dan menghubungkan epitel dengan perikondrium yang menjadi bagian terluar kartilago hialin. Sementara eritrosit tersebar di seluruh pembuluh utama dan kapiler pada lamela primer dan sekunder.

Pada Gambar 1A terlihat tiga lamela primer yang menunjukkan tiga lapis jaringan yang berbeda. Pada lamela primer pertama (LP1) terlihat pembuluh darah utama (*central venous sinus*) berada vertikal di bagian tengah dan diisi oleh eritrosit berinti. Adanya pembuluh di bagian tengah lamela primer berfungsi sebagai jalur utama transportasi oksigen dan nutrisi serta jalur ekskresi pada insang ikan. Pembuluh darah pada lamela primer dilindungi oleh kartilago hialin (LP2) yang terdiri atas susunan kondroblast lonjong berinti di bagian tengahnya dan dikelilingi perikondrium yang merenggang ketika menjauh dari kondroblas dan kemudian membentuk semacam pipa yang menjadikan pembuluh memiliki bentuk lumen (saluran). Pada irisan lamela primer ketiga (LP3) terlihat jaringan otot polos berdampingan dengan perikondrium.

Adanya modifikasi lamela sekunder berupa fusi menjadikan luas permukaan lamela sekunder untuk bidang difusi berkurang dan berliku (Gambar 1E). Selain itu, karena adanya epitel yang tebal pada lamela menjadikan jarak difusi oksigen menuju kapiler darah mencapai 10 μm (Wilson *et al.*, 2000), jarak yang kurang efisien untuk difusi oksigen pada insang jika dibanding dengan ikan akuatik yang memiliki lamela yang tersusun linear.



Gambar 1. Gambaran histologis insang ikan gelodok dengan pewarnaan Hematoksilin-Eosin. Insang gelodok (A) memiliki lamela primer yang tebal (A1) dan di tepinya diisi oleh lamela sekunder yang rapat dan berfusi (A2). Adanya perbedaan lapisan pada preparat (A) menunjukkan karakter jaringan yang berbeda pada lamela primer LP1,LP2 dan LP3. Pada lamela primer LP2 (B) terlihat bagian tengah lamela diisi oleh kondroblast yang berbentuk lonjong dan berdampingan dengan pembuluh darah yang kaya eritrosit. Sementara pada lamela primer LP1 (A3) dan pada lengkung insang (D) terlihat pembuluh darah terisi oleh eritrosit berinti dan dikelilingi oleh matriks kartilago ekstraseluler yang melindungi saluran pembuluh sebagaimana pada pangkal lamela sekunder (C). Lamela primer dikelilingi oleh lembaran lamela sekunder (D) yang rapat dan berfusi serta tersusun atas lakuna (E1) yang terisi sel darah dan dipisahkan oleh sel pilar (E2),serta dibungkus oleh epitel (E3) yang cukup tebal.Sel klorida dengan granula yang menonjol (E4) tersusun secara horizontal di bagian basal lamela sekunder, sementara sel mukus (E5) tersebar di bagian terluar lamela sekunder.

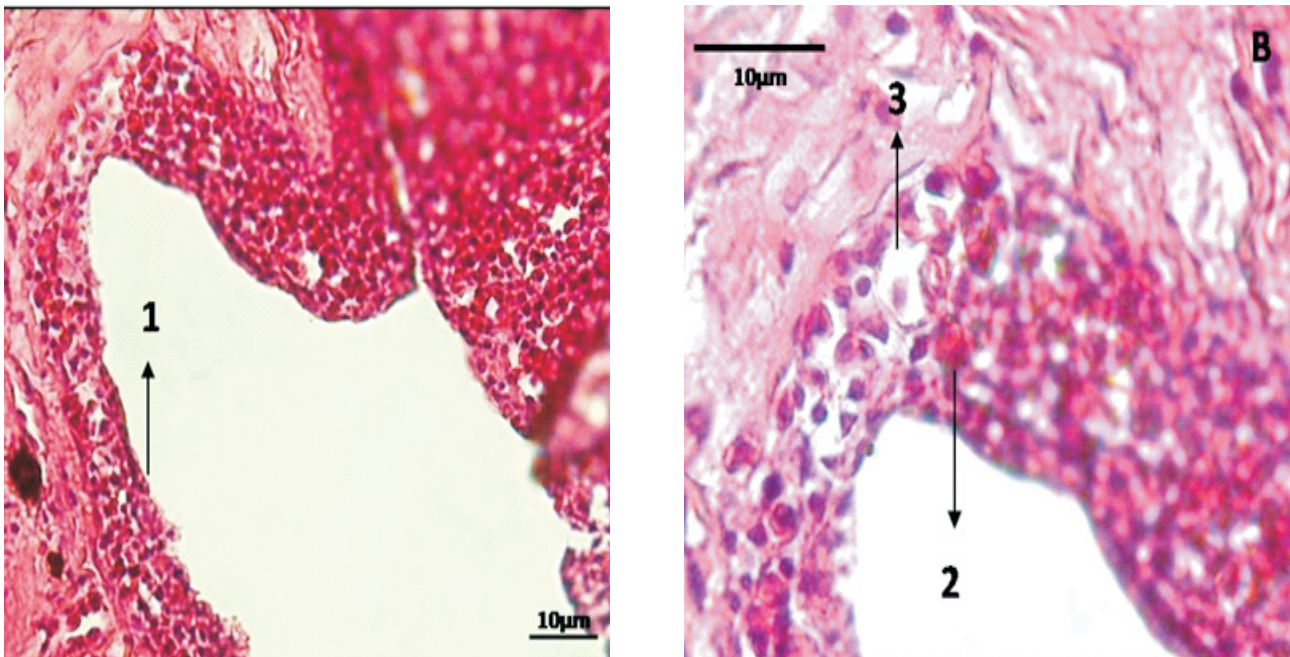
Semenjak tidak efisiennya penggunaan lamela insang sebagai alat respirasi utama, maka ikan gelodok memiliki desain alat pernapasan tambahan berupa permukaan dalam operkulum yang kaya akan kapiler dengan jaringan epitel yang tipis yang memungkinkan jarak difusi air ke darah lebih

efisien. Ketebalan epitel operkulum ikan gelodok adalah sekitar 1 μm . Hal inilah yang memungkinkan operkulum ikan gelodok menjadi alat bantu pernapasan utama ketika insangnya cenderung lebih banyak digunakan sebagai osmoregulator karena memiliki epitel yang kaya mitokondria (Wilson *et al.*, 2000).

Sel pilar merupakan struktur spesifik yang hanya dimiliki insang ikan dan tidak mempunyai pembanding pada vertebrata lain. Sel pilar terdiri dari badan nukleus yang menyambung dua permukaan epitel yang berlawanan. Pada ikan gelodok, sel pilar berada di bagian dalam rongga lamela sekunder sebagaimana pada ikan *osteichthyes* lain misalnya *Pimelodus pictus* atau *Pelvicachromis pulche* (Genten *et al.*, 2009). Akibat adanya fusi antar lamela sekunder pada ikan gelodok, lakuna-lakuna yang dibentuk oleh sel pilar menjadi tidak linear sebagaimana pada lamela sekunder ikan lain. Sel pilar merupakan modifikasi endotelium yang membentuk penyekat bagi kolom-

kolom tempat pertukaran gas pada lamela sekunder yang disebut lakuna.

Sel epitel yang terkelompokkan dalam *pavement cell* tersebar menutupi hingga 90% permukaan saluran pada jaringan-jaringan insang sebagaimana pada insang ikan akuatik pada umumnya (Wilson and Laurent, 2002), sel pilar membentuk lakuna pada bagian dalam lamela sekunder yang terisi penuh oleh kapiler-kapiler darah (Randall and Daxboeck, 1984). Sel pilar berfungsi mengatur volume lakuna yang kaya akan darah. Dengan adanya kontraksi dan relaksasi lakuna, darah dipompa bergerak sesaat setelah selesai bertukar gas melalui difusi lamela (Genten *et al.*, 2009).



Gambar 2. Gambaran histologis daerah interlamela dengan pewarnaan Hematoksilin-Eosin. Epitel skuamos dan epitel kubus (1) adalah jenis-jenis sel penyusun bagian terluar lamela yang menyelubungi hampir seluruh permukaan lamela dan berfungsi sebagai jaringan pelindung lamela dan jalur pertukaran oksigen pada insang. Sebagian epitel pada insang mengalami modifikasi menjadi sel mukus (2) dan sel klorida (3) yang merupakan diferensiasi dari epitel kolumnar dan berfungsi sebagai osmoregulator. Epitel jenis skuamos, kubus dan kolumnar sering dikelompokkan sebagai *pavement cell* (PVC).

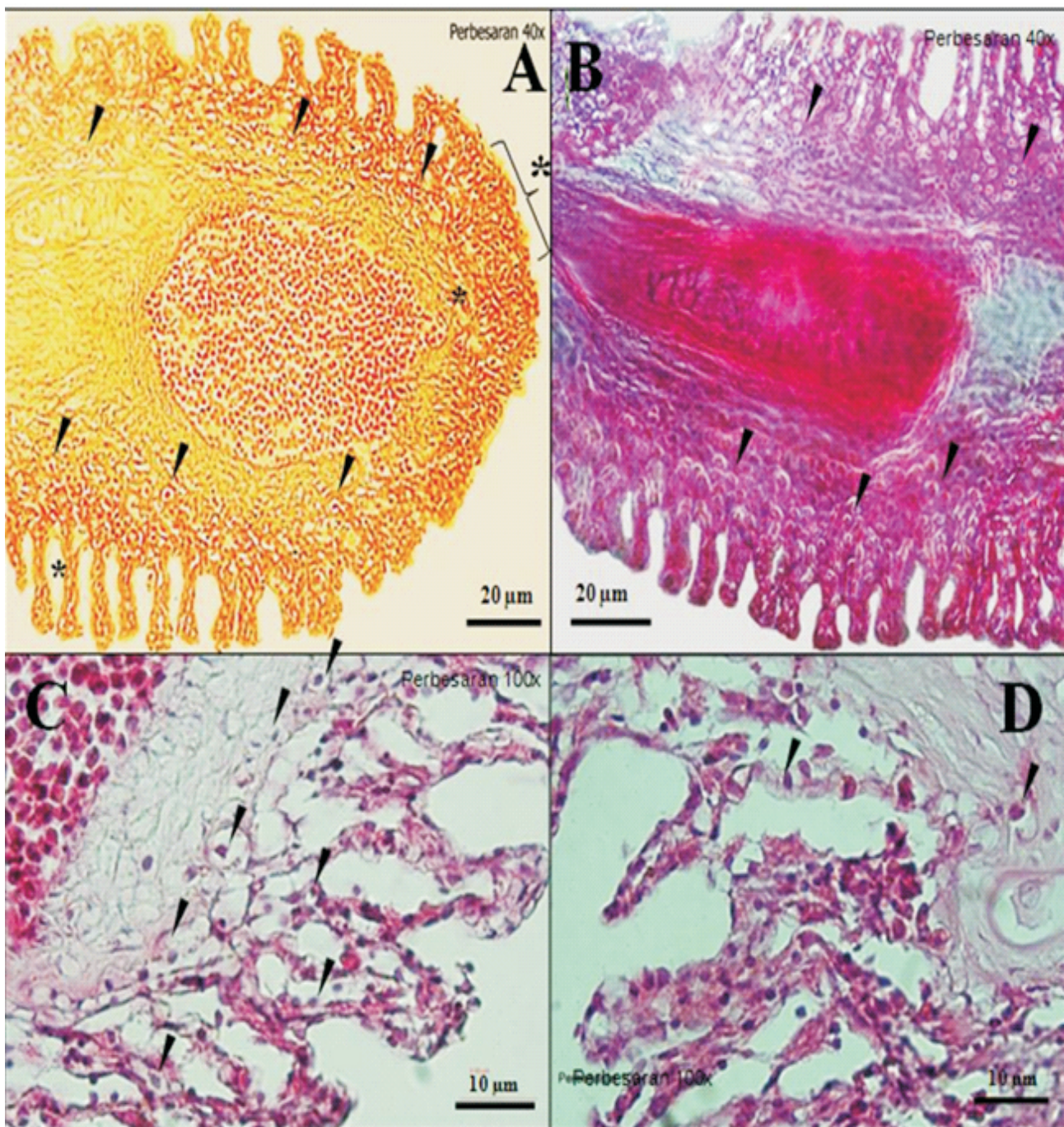
Pada dasarnya, sel-sel penyusun insang tidak berbeda antara satu jenis ikan dengan ikan yang lainnya, hanya saja jumlah dan distribusi sel-sel penyusunnya berbeda pada tiap spesies (Wilson and Laurent, 2002). Pada ikan gelodok, lamela primernya ditutupi oleh epitel skuamos dan epitel kubus (Gambar 2) yang diikuti sel yang belum terdiferensiasi di bagian basalnya. Selain itu juga ditemukan lapisan epitel kolumnar yang cenderung berdiferensiasi menjadi sel mukus dan sel klorida di bagian interlamela dan pada ujung apikal lamela primer (Gambar 3A dan 3B). Sementara pada lamela sekunder insang ikan gelodok, sel penyusunnya hanya terdiri dari selapis epitel skuamos dan epitel kubus yang diselingi sel epitel kolumnar yang sering kali ditemui telah berdiferensiasi menjadi sel mukus atau sel klorida (Gambar 3C dan 3D).

Sel epitel skuamos pada umumnya terdapat pada wilayah jaringan dengan kebutuhan filtrasi dan difusi yang tinggi. Bentuknya yang pipih dan hanya terdiri dari selapis sel meminimalkan jarak difusi oksigen antar darah pada kapiler dan air yang mengalir di permukaan insang. Sementara epitel kubus pada dasarnya berfungsi sebagai proteksi bagi jaringan pembuluh yang diselubunginya sesuai dengan bentuknya yang menyerupai kubus dan lebih tebal dari epitel skuamos.

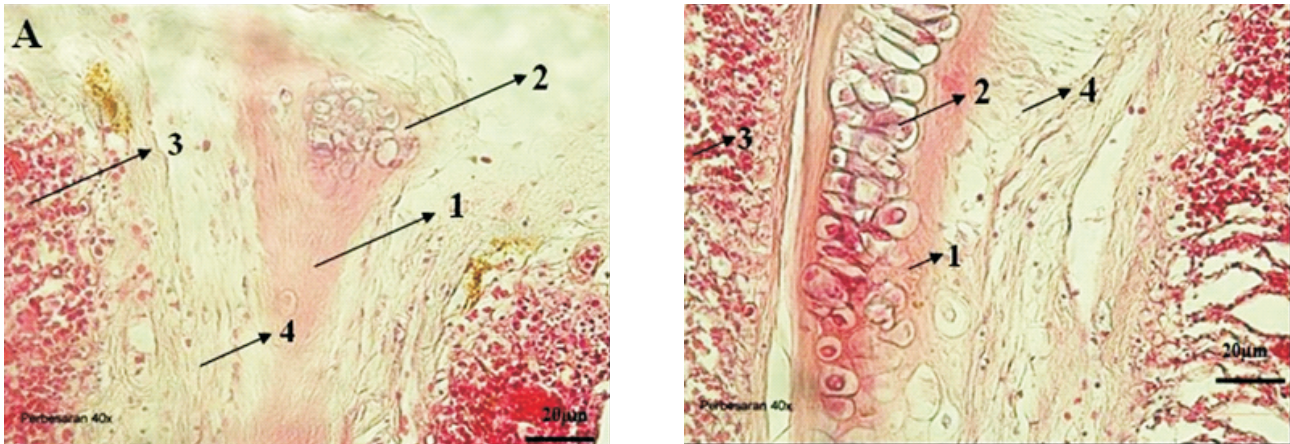
Sel klorida adalah diferensiasi sel epitel kolumnar yang berkembang dengan granula yang kaya akan mitokondria. Fungsi utama sel klorida pada insang ikan gelodok adalah untuk mensekresi amoniak keluar dari darah baik yang ada karena

terbawa bersama difusi oksigen ataupun yang terjadi akibat transport aktif (Wilson *et al.*, 2000). Seperti pada ikan akuatik lain yang hidup di air salin, sel klorida ikan gelodok terdistribusi linear berada di lipatan antara lamela primer dan lamela sekunder dan beberapa ditemukan pada lamela sekunder berdampingan dengan jaringan epitel skuamos. Namun, karena letak lamela sekunder ikan gelodok yang rapat dan adanya fusi lamela sekunder, sel klorida pada insang ikan gelodok terdistribusi lebih rapat jika dibandingkan dengan ikan akuatik yang lamela sekundernya tidak berfusi seperti misal pada *Anguilla anguilla*. Hal ini berkaitan dengan fungsi lamela insang gelodok yang lebih cenderung sebagai osmoregulator daripada sebagai tempat pertukaran gas.

Pada teleostei, letak sel mukus sering ditemui berdekatan dengan sel klorida di bagian basal lamela sekunder. Hal ini karena sel mukus dan sel klorida berasal dari diferensiasi sel yang sama yaitu sel epitel kolumnar dan dalam kondisi salinitas yang berubah dari tawar ke salin, sel mukus juga memiliki kemampuan untuk berdiferensiasi menjadi sel klorida (Laurent, 1984). Gambaran mikroskopis bagian distal lamela primer ikan gelodok (Gambar 3) menunjukkan adanya sel mukus pada ujung lamelanya sebagai diferensiasi epitel di bagian basalnya. Selain pada daerah apikal lamela primer, sel mukus juga tersebar di tepian lamela sekunder dan pada bagian basal lamela sekunder berdekatan dengan sel klorida serta jumlah selnya dipengaruhi oleh perubahan salinitas.



Gambar 3. Gambaran histologis bagian perifer lamela primer insang ikan gelodok dengan pewarnaan Hematoksilin-Eosin. Pada bagian distal lamela primer gelodok (A) menunjukkan adanya sel mukus pada wilayah apikal lamelanya (*) sebagai diferensiasi epitel kolumnar di bagian basalnya. Sel mukus juga tersebar di tepian lamela sekunder. Sel klorida pada insang ikan gelodok (tanda panah) tersebar merata pada bagian pangkal lamela sekunder dan tepi lamela sekunder dengan granula yang menonjol dan badan sel yang cukup besar baik pada bagian distal (A) atau pun proksimal (B) lamela primer. Pada perbesaran lebih tinggi (C dan D) terlihat sel klorida tersebar pada tepi lamela sekunder.



Gambar 4. Gambaran histologis bagian dalam lamela primer dengan pewarnaan Hematoksilin-Eosin. Irisan pada pangkal lamela primer (A) menunjukkan tulang rawan hialin (1) yang makin berkurang kerapatannya ketika menjauhi kondroblast (2). Eritrosit yang berinti tersebar pada lamela sekunder dan bagian tengah lamela primer (3) sementara otot polos (4) menempel pada tulang rawan hialin dan menghubungkannya ke endotelium yang merupakan wilayah basal epitel lamela primer.

Di bagian dalam lamela primer ikan gelodok terdapat saluran pembuluh darah utama atau *central venous sinus* (CVS) dan kartilago hialin. Saluran pembuluh darah utama memiliki percabangan kapiler hingga ke dalam lakuna di bagian lamela sekunder dan berfungsi sebagai media transportasi darah dari dan menuju lamela sekunder untuk pertukaran gas. Sementara bagian luar hialin yang disebut perikondrium diselimuti otot polos yang menghubungkannya dengan endotelium lamela (Gambar 4). Kartilago hialin pada lamela primer berfungsi sebagai penyokong bentuk lamela dan pelindung pembuluh utama (Genten *et al.*, 2009) yang menjadi saluran darah utama pada insang. Adanya kartilago hialin dan otot polos menjadikan insang ikan mampu untuk mendifusikan oksigen dengan efisien pada tekanan yang tinggi di saat air masuk melalui rongga mulut dan didorong menuju insang karena di dalam air, bobot oksigen yang terlarut hanya berkisar 1/100.000 kali dari air yang masuk dan melalui insang (Ville *et al.*, 1988).

Ikan yang hidup di wilayah berkadar oksigen normal pada umumnya memiliki insang dengan efisiensi penyerapan oksigen hingga 90% dari kadar oksigen terlarut di air yang masuk ke insangnya (Ville *et al.*, 1988). Hal ini berkaitan dengan luasnya permukaan lamela untuk pertukaran gas. Ikan yang hidup di wilayah non-hipoksia memiliki lamela primer yang panjang dan rapat, hal ini untuk memaksimalkan fungsi penyerapan oksigen di air yang hanya 0,0008 % dari kadar air (Ville *et al.*, 1988). Sebaliknya, pada ikan gelodok yang hidup dalam kondisi yang hipoksia hal ini tidak berlaku. Pada kondisi yang hipoksia dan habitatnya yang hidup di wilayah intertidal dengan tinggal di dalam kolam yang tergenang air di wilayah tepi sungai, menjadikan insang gelodok memiliki modifikasi desain dan strategi pernapasan yang berbeda dengan ikan akuatik pada umumnya.

Epitel tipis yang didukung dengan luasnya permukaan lamela menjadikan nilai efisiensi pengambilan oksigen di air melalui insang ikan

akuatik lebih efisien (Ville *et al.*, 1988) seperti pada ikan tuna yang jarak air ke kapilernya hanya 0,533 μm (Hughes, 1984) atau pada *Anguilla anguilla* dan *Oncorhynchus mykiss* yang memiliki permukaan lamela sekunder yang linear dengan jarak interlamela yang cukup renggang menjadikan luas bidang difusi pada insang menjadi lebih besar (Genten *et al.*, 2009), hal ini berlawanan dengan kondisi lamela pada ikan gelodok yang berfusi dan tebal.

Terkait dengan kemampuan respirasi bimodal ikan gelodok untuk mengambil oksigen di udara terbuka, maka kecenderungan penggunaan lamela insang oleh ikan gelodok untuk bernapas akan direduksi (Randall *et al.*, 2004). Menurunnya penggunaan insang untuk mengambil oksigen di air (Wilson *et al.*, 2000) dan dengan fakta ikan gelodok hidup di kolam dengan air yang hipoksia (Chapman and McKenzie, 2009), menjadikan ikan gelodok cenderung untuk melakukan *air breathing*. Hal ini dibuktikan dengan desain insang gelodok yang berlamela primer pendek dan tebal serta banyaknya sel klorida. Banyaknya jumlah sel klorida pada insang menjadikan fungsinya sebagai alat respirasi menurun, namun di sisi lain berperan penting dalam transfer ion (Wilson *et al.*, 2000).

Perubahan salinitas berdampak pada jumlah dan bentuk sel mukus. Pada ikan *euryhaline* lain seperti *Etropus maculatus* ditemukan jumlah sel mukus menurun drastis ketika ikan ini menghadapi perubahan salinitas dari air tawar ke air salin. Makin meningkat salinitas air maka kecenderungan sel mukus untuk berkurang secara kuantitas lebih besar, namun secara ukuran, sel mukus akan membesar. Hal ini berkaitan dengan fungsinya sebagai

pengegas lepasnya ion di air tawar yang kemudian berbalik menjadi pelepas ion dari tubuh menuju air di air salin (Laurent, 1984). Berdasarkan fakta bahwa, ikan gelodok adalah ikan yang hidup di wilayah estuari yang salinitas airnya dapat berubah dalam periode waktu tertentu menjadikan gelodok sebagai ikan dalam kategori *euryhaline*, yaitu ikan yang mampu beradaptasi dengan perubahan salinitas.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada saudara Agus Alparisi untuk penyediaan akomodasi selama sampling dan Balai Budidaya Air Tawar (BBAT) Mandiangin atas bantuan teknis dan sebagian peralatan yang digunakan dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Chapman, L.J. and McKenzie, D.J. (2009) Behavioral Responses To Hypoxia. In: A.P Farrell dan C.J Brauner (penyunting). Fish Physiology. Academic Press, London, United Kingdom.
- Genten, F., Eddy T., and Andre, D. (2009) Atlas of Fish Histology. Science Publishers, New Hampshire.
- Hughes, G. M. (1984) General Anatomy of The Gills. In: Fish Physiology. Eds.W.S Hoar and D.J. Randall Editors. Academic Press, London, United Kingdom.
- Lagler, K.F., Bardach, J.E., Miller, R. R. and Passino, D. R. M. (197). *Ichthyology*. 2nd Ed. John Wiley and Sons Publisher, New York, USA.
- Laurent, P. (1984) Gill Internal Morphology. In: Fish Physiology. Eds. W.S Hoar and D.J Randall Academic Press, London, United Kingdom.

- Mazlan, A.G., Masitah A. and Mahani M.C. (2006) Fine structure of gills and skins of the amphibious mudskipper, *Periophthalmus chrysospilos* (Bleeker, 1852), and a non-amphibious goby, *Favonigobiusreichei* (Bleeker, 1853). *Acta Ichthyol. Piscat. Vol.36*: 127-133.
- Randall, D.J. and Daxboeck, C. (1984) Oxygen and Carbon Dioxide Transfer Across Fish Gills. In: *Fish Physiology*. Eds. W.S Hoar dan D.J Randall Academic Press, London, United Kingdom.
- Randall, D.J., Ip, Y.K., Chew, S.F. and Wilson, J.M. (2004) Air Breathing and Ammonia Excretion in the Giant Mudskipper, *Periophthalmodon schlosseri*. *J. Phys. Biochem. Zool.* 77: 783-788.
- Ville, C.A., Walker, W.F. and Barners, R.D. (1988) *Zoology Umum Jilid-1*. Edisi ke- 6 Terjemahan Yuwono, E. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Wilson, J. M. and Laurent, P. (2002) Fish Gill Morphology: Inside Out. *J. Exp. Zool.* 293: 192-213.
- Wilson, J.M., Randall, D.J., Donowitz, M., Vogl, A.W. and Ip, Y.K. (2000) Immunolocalization of ion-transport proteins to branchial epithelium mitochondria-rich cells in the mudskipper (*Periophthalmodon schlosseri*). *J. Exp..Biol.* 203: 2297-2310.