

Tipe Echolokasi serta Struktur Larynx pada *Miniopterus* dan *Rhinolophus* Echolocation Type and Larynx Structure of *Miniopterus* dan *Rhinolophus*

Abdul Rachman¹, Johannes Sugiyanto¹, Luthfi Nurhidayat², Ardaning Nuriliani¹, Aswi A. Rofiqoh², Agus Hermawan³, Roesma Narulita³

¹Laboratorium Struktur Perkembangan Hewan, Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Jalan Teknik Selatan, Sekip Utara, Yogyakarta 55281

²Alumnus Program Pascasarjana, Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

³Alumnus Program Sarjana, Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
Email: abdul_rsw@hotmail.com

Diterima Mei 2014 disetujui untuk diterbitkan September 2014

Abstract

A bat is the only mammal with true flight ability and has the capability to perform echolocation. *Miniopterus* and *Rhinolophus* are bat species that have some different morphological characteristics but both of them commonly live in the cave. The research was purposed to study the differences and connection of echolocation call type and larynx's structure of *Miniopterus* and *Rhinolophus*. The two bat species were collected from 20th and 23th cave of Japanese Cave Complex, Kaliurang, Sleman, Yogyakarta. Specimens were taken to the laboratory for further analysis. Echolocation signals of both bat species were recorded using ultrasonic microphone and were analyzed with Batscan 9.0 software. Specimens were subjected for anatomical and histological structure analysis of the larynx. Anatomical structure observations were carried out with specimens dissection and they were fixed in 20% formalin solution. Some samples of larynx of each species were processed and stained with Alizarin Red's-Alcian Blue staining for larynx's bones observation. Histological preparation of larynx was performed using paraffin method and stained with Hematoxylin-Eosin and MAF. The results showed that echolocation signals of *Miniopterus* have lower frequency (peak frequency between 44.1-51.6 kHz) compared to that of *Rhinolophus* (peak frequency between 54.4-64.1 kHz). However, *Miniopterus* has better ability to modulate the signal frequency than *Rhinolophus*. Both species are able to produce long-duration signal but *Rhinolophus* can produce longer signal duration. These results can be related to the differences of larynx's anatomical and histological structure of both species which are equally able to keep the intensity of echolocation signals but have different work mechanisms.

Keywords: echolocation, structure, larynx, *Miniopterus*, *Rhinolophus*

Abstrak

Kelelawar merupakan mamalia dengan kemampuan terbang yang sebenarnya serta memiliki kemampuan echolokasi. *Miniopterus* dan *Rhinolophus* merupakan kelelawar dengan karakteristik morfologi berbeda namun sama-sama dapat hidup di dalam gua. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari perbedaan dan kaitan tipe echolokasi serta struktur larynx *Miniopterus* dan *Rhinolophus*. Kedua spesies tersebut ditangkap di gua ke-20 dan ke-23 kompleks Goa Jepang, Kaliurang, Sleman, Yogyakarta. Spesimen dibawa ke laboratorium untuk dianalisis lebih lanjut. Data sinyal echolokasi diambil menggunakan mikrofon ultrasonik dan dianalisis dengan software batscan 9.0. Spesimen kemudian digunakan untuk analisis struktur anatomis dan histologis larynx. Struktur anatomis diamati dengan pembedahan spesimen utuh yang difiksasi dengan formalin 20%. Larynx diproses menggunakan pewarnaan Alizarin Red-Alcian Blue untuk pengamatan tulang penyusunnya. Preparasi sedimen histologis dilakukan menggunakan metode parafin dengan pewarnaan Hematoksilin-Eosin dan MAF. Hasil penelitian menunjukkan sinyal echolokasi *Miniopterus* memiliki frekuensi yang lebih rendah (frekuensi puncak 44,1-51,6 kHz) daripada sinyal echolokasi *Rhinolophus* (frekuensi puncak 54,4-64,1 kHz). Namun kemampuan *Miniopterus* untuk memodulasi frekuensi lebih tinggi daripada *Rhinolophus*. Kedua spesies tersebut mampu menghasilkan durasi sinyal yang panjang namun durasi sinyal jauh lebih panjang pada *Rhinolophus*. Hal tersebut berkaitan dengan perbedaan struktur anatomis dan histologis larynx kedua spesies yang sama-sama mampu menjaga intensitas sinyal echolokasi namun memiliki mekanisme kerja yang berbeda.

Kata kunci: echolokasi, struktur, larynx, *Miniopterus*, *Rhinolophus*

Pendahuluan

Kelelawar merupakan satu-satunya mamal bersayap dengan kemampuan terbang yang sebenarnya, serta merupakan salah satu mamal yang memiliki kemampuan echolokasi (Altringham, 1996; Nowak, 1999; Neuweiler, 2003). Kemampuan echolokasi sangat penting bagi kelelawar untuk navigasi dan predasi (Speakman, 1993; Moss & Sinha, 2003). Tipe echolokasi pada kelelawar bervariasi tergantung pada spesies, habitat, jenis pakan, dan strategi mencari pakan (Neumann & Schuller, 1991; Arita & Fenton, 1997; Brinklov et al., 2008). Sinyal echolokasi yang dihasilkan kelelawar memiliki frekuensi sangat tinggi antara 25-100 kHz, walaupun pada beberapa spesies dapat mencapai 150 kHz (Grinnell, 1995).

Tipe sinyal echolokasi yang dihasilkan oleh kelelawar secara garis besar dibedakan menjadi 2 tipe, yaitu *Frequency-Modulated* (FM) dan *Constant Frequency* (CF). Tipe sinyal FM sangat efektif digunakan pada ruang terbuka. Kelemahan tipe sinyal FM adalah kecilnya toleransi terhadap efek Doppler dan pantulan bunyi. Tipe sinyal CF sangat efektif untuk determinasi benda bergerak dan lingkungan yang rapat. Beberapa kelelawar menerapkan salah satu tipe saja atau dapat juga keduanya (Grinnell, 1995). Salah satu aspek yang menunjang tipe echolokasi adalah produksi sinyal echolokasi oleh *larynx* (Altringham, 1999; Mergell et al., 1999). *Miniopterus* dan *Rhinolophus* merupakan dua spesies kelelawar yang ada di Indonesia. *Miniopterus* merupakan anggota Famili *Vespertilionidae* sedangkan *Rhinolophus* merupakan anggota Famili *Rhinolophidae*. Kedua spesies ini dipilih karena sama-sama hidup di dalam goaakan tetapi memiliki perbedaan karakteristik morfologi dan termasuk pada famili yang berbeda.

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari perbedaan tipe echolokasi dan struktur anatomis dan histologis *larynx* pada *Miniopterus* dan *Rhinolophus*. Penelitian ini juga bertujuan untuk mempelajari kaitan antara tipe echolokasi dengan struktur anatomis dan histologis *larynx* pada kedua spesies tersebut.

Materi dan Metode Bahan

Kelelawar *Miniopterus* dan *Rhinolophus* formol 20%, larutan Bouin, alkohol absolut, alkohol 96%, alkohol 30-90%, parafin, xilol, toluol, Meyer's albumin, *Alizarin Red*, *Alcian Blue*, Hematoksin, Eosin Y, *Mallory Acid Fuchsin*, akuades, dan Canada balsam.

Alat

Misnet, *sweepnet*, kantong *blacu*, kaliper, timbangan digital, mikrofon *ultrasonic* yang dihubungkan ke laptop, *software* Batscan 9.0, alat bedah mikro, satu set peralatan gelas, mikrotom putar dan perlengkapannya, oven, *hot plate*, dan kamera digital.

Cara Kerja

Pengambilan spesimen

Spesimen yang digunakan pada penelitian ini adalah *Miniopterus* dan *Rhinolophus* masing-masing berjumlah 11 ekor. Spesimen diambil secara langsung dari alam, yaitu di goa ke-20 dan ke-23 kompleks Goa Jepang, Kaliurang, Sleman, D.I. Yogyakarta. Spesimen *Miniopterus* ditangkap menggunakan perangkap *mistnet* yang dipasang di mulut goa, sedangkan spesimen *Rhinolophus* ditangkap menggunakan *sweepnet* kemudian dimasukkan ke dalam kantong *blacu*.

Pengukuran morfometri dasar dan pengamatan morfologi

Spesimen yang didapat kemudian dibawa ke Laboratorium Struktur Perkembangan Hewan, Fakultas Biologi UGM. Morfologi setiap spesimen diamati kemudian dilakukan pengambilan data berat badan dan morfometri menggunakan timbangan digital dan kaliper.

Pengambilan data echolokasi

Pengambilan data sinyal echolokasi dilakukan dengan merekam sinyal echolokasi masing-masing kelompok specimen secara terpisah menggunakan mikrofon *ultrasonic* yang dihubungkan ke laptop. Pengambilan video juga dilakukan bersamaan dengan proses perekaman sinyal echolokasi sehingga didapat data sinyal echolokasi sesuai dengan aktivitas kelelawar. Hasil rekaman sinyal echolokasi dianalisis menggunakan *software* Batscan

9.0. Hasil analisis berupa spektrogram dan power spektrogram komponen sinyal echolokasi pada masing-masing spesimen.

Pembuatan dan pengamatan sediaan anatomis

Proses yang dilakukan setelah pengambilan data echolokasi adalah pembedahan dan pengawatan spesimen untuk pembuatan dan pengamatan struktur anatomis *larynx*. Spesimen dibiosterlebih dahulu menggunakan kloroform. Spesimen, masing-masing 4 ekor tiap spesies, langsung difiksasi dengan injeksi larutan formol 20% dalam alkohol 70% tanpa dilakukan pembedahan. Spesimen utuh tersebut disimpan di dalam larutan formol 20% dalam alkohol 70%.

Pengamatan anatomis dilakukan dengan pembedahan spesimen utuh yang difiksasi dan direndam dengan formol 20% dalam alkohol 70%. Pembedahan dilakukan dengan membuka kulit di daerah leher spesimen sampai terlihat trachea dan *larynx*. *Larynx* beserta *trachea* diambil kemudian esophagus dipisahkan dari *larynx* dan *trachea*. Pengamatan anatomis *larynx* meliputi penampakan *larynx*, tulang-tulang, otot-otot serta kartilago-kartilago penyusun *larynx*. *Larynx* dipotong longitudinal untuk mengetahui jalur produksi suara dan penampakan internal pada *larynx*.

Pengamatan tulang-tulang penyusun *larynx* juga dilakukan dengan pembuatan sediaan makroanatomi menggunakan pewarnaan *Alizarin Reds-Alcian Blue*. Dua buah *larynx* masing-masing spesies difiksasi dengan alkohol 96% dan dilanjutkan proses pewarnaan *Alizarin Reds-Alcian Blue* sesuai protocol yang dibuat oleh Inouye (1976). Data pengamatan struktur *larynx* berupa foto makro dan mikrograf dianalisis secara deskriptif sehingga diperoleh gambaran mengenai struktur *larynx* yang berperan dalam membantu produksi suara atau sinyal echolokasi pada masing-masing specimen.

Pembuatan dan pengamatan sediaan histologis

Spesimen, masing-masing 4 ekor tiap spesies, dieuthanasi menggunakan kloroform kemudian dibedah dan diambil *larynxnya*. *Larynx* tersebut kemudian difiksasi dengan larutan Bouin. Pembuatan sediaan histologis *larynx* dilakukan menggunakan metode paraffin dengan

ketebalan potongan 4-6 μm , serta diwarnai dengan pewarnaan Hematoxylin-Eosin dan Malorrry Acid Fuchsin (Disbrey & Rack, 1970; Bancroft & Cook, 1988).

Hasil dan pembahasan

Sinyal Echolokasi Miniopterus dan Rhinolopus

Miniopterus merupakan kelelawar yang memiliki perilaku berkelompok dan mobilitas sangat tinggi (Vincent et al., 2011). Perilaku dan mobilitas yang tinggi memberikan variasi habitat pencarian pakan *Miniopterus* yang luas. Karakteristik tersebut menuntut efisiensi dan variasi produksi sinyal echolokasi yang dilakukan oleh *Miniopterus*.

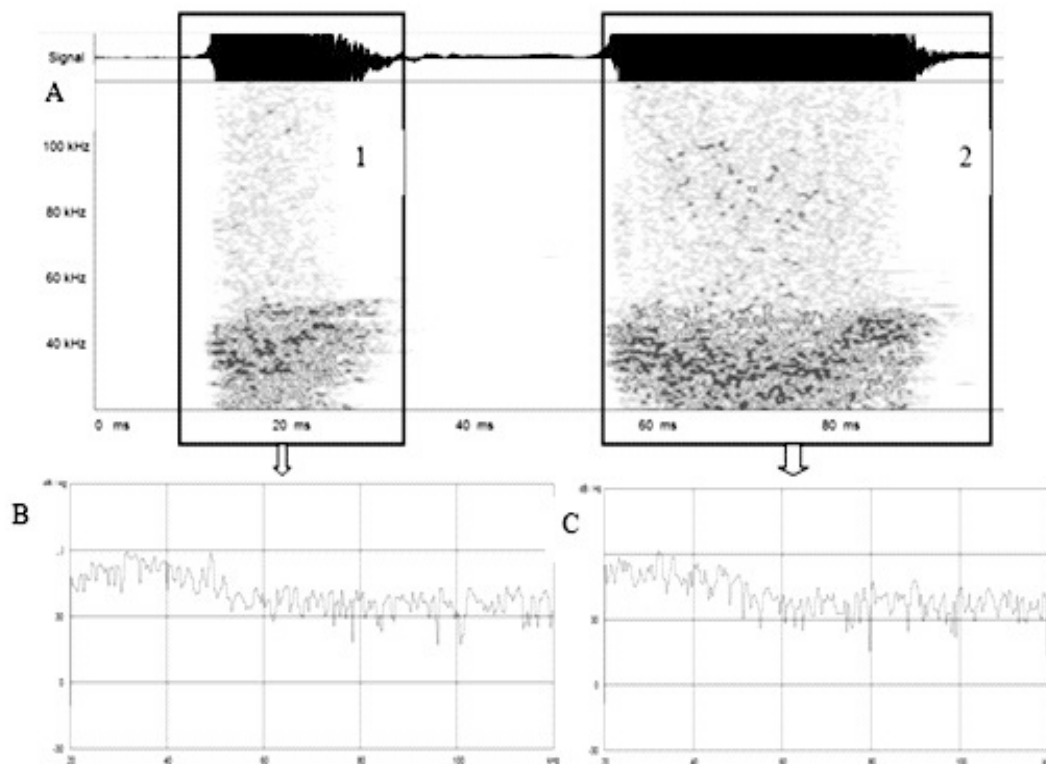
Hasil perekaman sinyal echolokasi pada penelitian menunjukkan rata-rata frekuensi puncak sinyal echolokasi *Miniopterus* 44,1-51,6 kHz. Hasil tersebut lebih rendah dari hasil penelitian Conole (2000) yang menunjukkan kisaran frekuensi sinyal echolokasi *Miniopterus* yang memiliki rata-rata 45,44 - 50,37 kHz. Conole (2000) juga menyatakan bahwa variasi frekuensi sinyal echolokasi *Miniopterus* disebabkan oleh perbedaan habitat dan perilaku. *Miniopterus* memiliki plastisitas sinyal echolokasi yang agak tinggi sehingga mampu memanjangkan durasi sinyal echolokasi (Obrist et al., 2004). Durasi sinyal echolokasi *Miniopterus* pada penelitian ini berkisar antara 5 ms (Gambar 2.B.) sampai hampir 20 ms (Gambar 1.A.1).

Spesimen *Miniopterus* yang digunakan pada penelitian ini memiliki habitat di goa dan hutan sebagai tempat tinggal dan tempat pencarian pakan. Kondisi Goa Jepang yang tidak terlalu luas dan kondisi hutan Kaliurang yang lebat menyebabkan *Miniopterus* beradaptasi untuk menggunakan sinyal echolokasi berdurasi panjang. Intensitas sinyal echolokasi *Miniopterus* mampu mencapai 50 dB.

Power Spectrogram sinyal echolokasi *Miniopterus* (Gambar 1.C. dan 2.C.) menunjukkan fluktuasi intensitas yang kecil dalam kisaran frekuensi yang dihasilkan dalam satu waktu. Kemampuan tersebut ditunjang oleh struktur *larynx Miniopterus* yang memfasilitasi produksi sinyal echolokasi dengan intensitas yang terjaga saat menaikkan/menurunkan frekuensi.

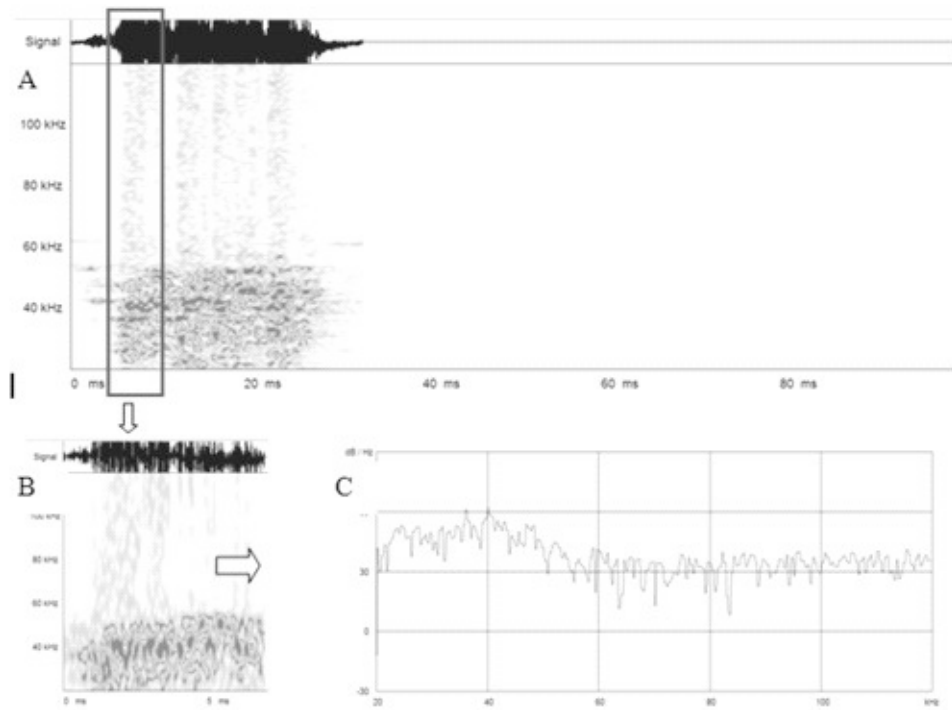
Rhinolopus merupakan kelelawar yang umum dikenal sebagai kelelawar penghasil sinyal *echolokasilong* CF/FM (Neumann & Schuller, 1991; Neuweiler, 2003; Obrist et al., 2004; Ulanovsky & Moss, 2008). *Rhinolopus* mampu menghasilkan frekuensi yang konstan dalam durasi yang panjang dan sekaligus diawali dan diakhiri dengan modulasi frekuensi. Gambar 3.A. menunjukkan durasi sinyal *echolokasi* *Rhinolopus* sp pada penelitian ini yang dapat mencapai 40 ms. Frekuensi konstan yang dihasilkan berkisar antara 55 kHz sampai 64 kHz. Modulasi frekuensi di awal dan akhir sinyal berkisar dari 26 kHz sampai 55 kHz. *Rhinolopus* memiliki perilaku terbang yang tidak terlalu cepat dan biasa hidup pada habitat yang lebat. Penggunaan durasi yang panjang dapat memberikan tingkat akurasi yang tinggi untuk indentifikasi habitat yang lebat.

Struktur *larynx* dan hidung *Rhinolopus* sp, sebagaimana telah dijelaskan pada bagian sebelumnya, memberikan efisiensi tenaga yang tinggi dalam produksi sinyal *echolokasi*. Pengaturan resonansi dan ketegangan membranavocalis yang dimiliki *larynx* *Rhinolopus* memberikan kemampuan untuk menghasilkan intensitas sinyal yang stabil saat produksi sinyal dengan frekuensi konstan maupun saat melakukan modulasi frekuensi. *Rhinolopus* juga dapat memperpendek sinyal *echolokasi* sampai 4 ms (Gambar 4.B.). Hal tersebut dimungkinkan terjadi saat *Rhinolopus* mulai mendekati objek sasaran. Intensitas sinyal yang dihasilkan juga relatif konstan (55-60 dB) pada frekuensi 50-55 kHz.



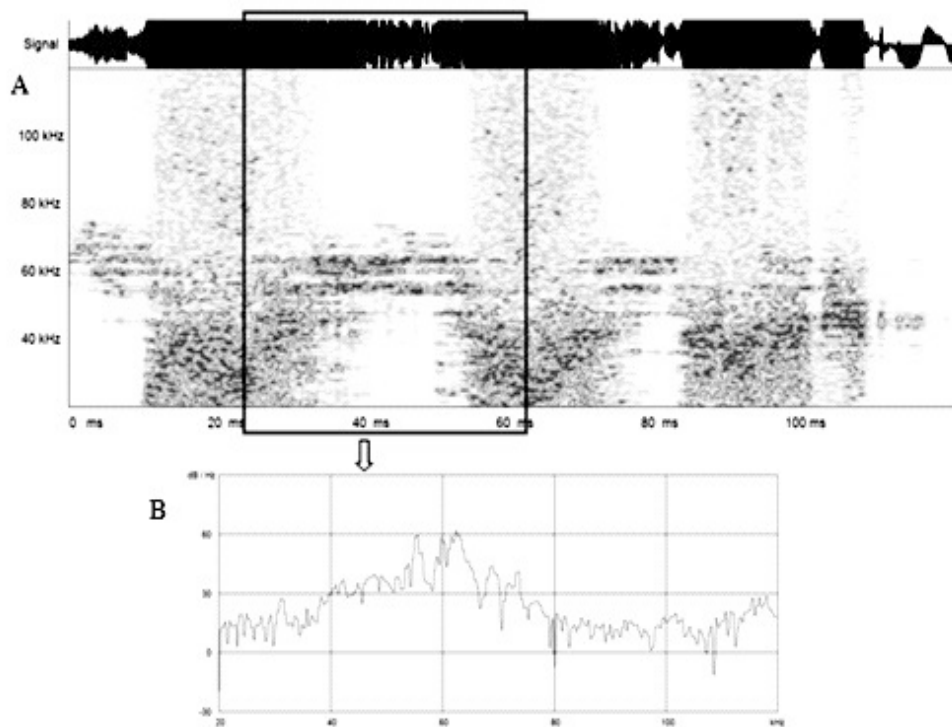
Gambar 1. *Spectrogram* dalam durasi 100 ms (A) dan *power Spectrogram* (B dan C) sinyal panjang *echolokasi* *Miniopterus* (1), sinyal panjang pada *Miniopterus* (2), sinyal panjang *Miniopterus* yang tumpang tindih dengan sinyal pantulan

Figure 1. *Spectrogram*: A) in 100 ms and B) and C) *power Spectrogram* of 1) long signal of *Miniopterus* *echolocation*, 2) long signal in *Miniopterus* overlapping with the reflected signal



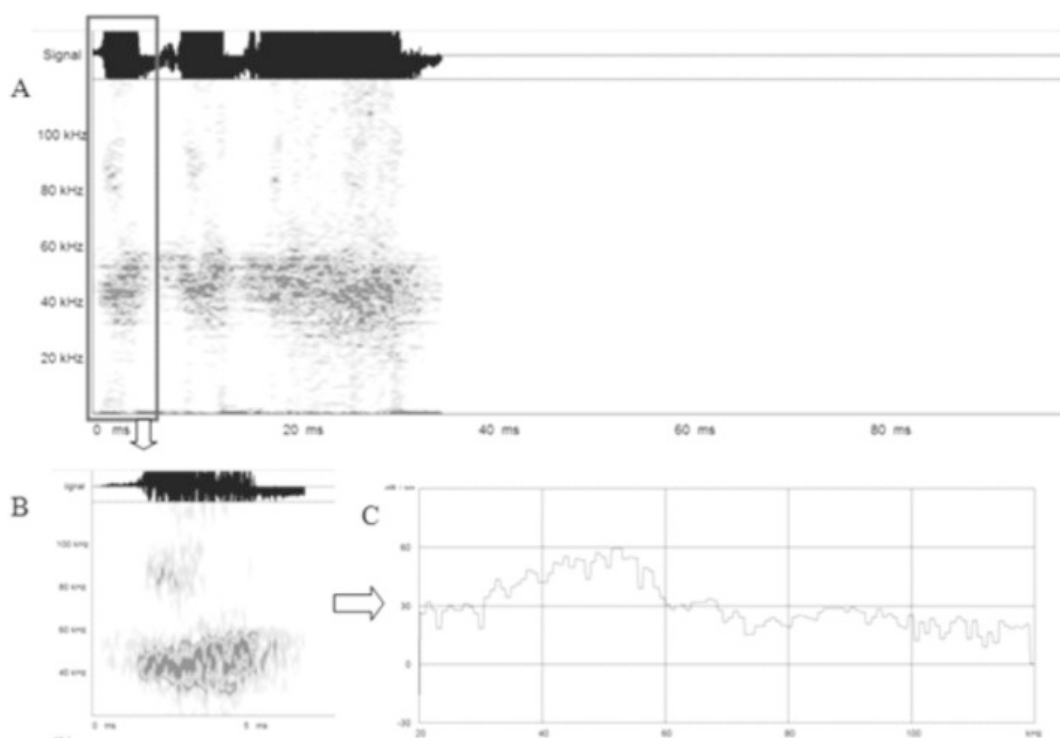
Gambar 2. Spectrogram dalam durasi 100 ms (A), Spectrogram satu buah sinyal (B), dan power Spectrogram (C) sinyal echolokasi pendek *Miniapterus*

Figure 2. Spectrogram within 100 ms (A) Spectrogram of one signal (B), and power Spectrogram (C) short echolocation signal of *Miniapterus*



Gambar 3. Spectrogram (A) dan power Spectrogram (B) sinyal panjang echolokasi *Rhinolophus*

Figure 3. Spectrogram (A) and power Spectrogram (B) long signal echolokasi of *Rhinolophus*



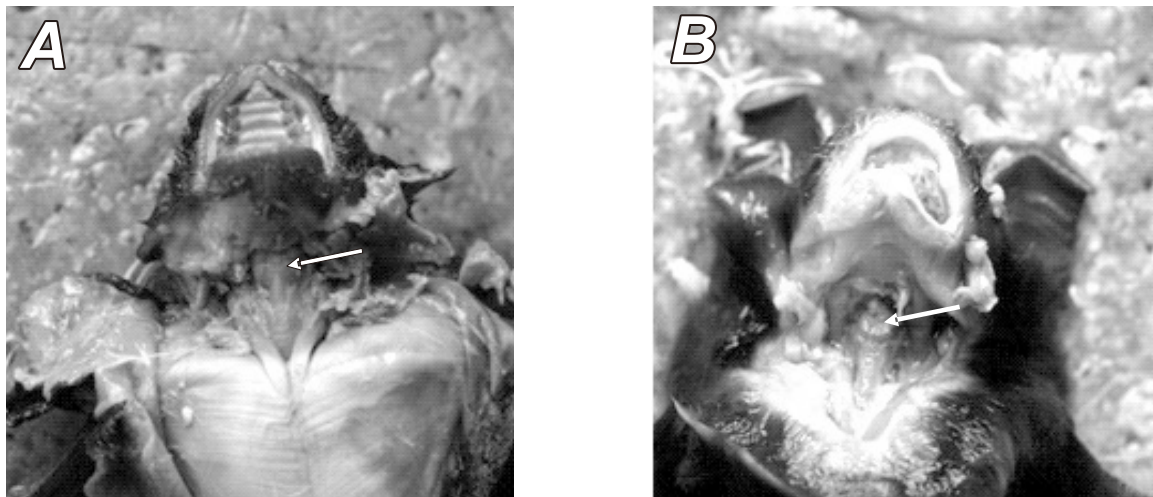
Gambar 4. Spectrogram dalam durasi 100 ms (A), spectrogram satu buah sinyal (B), dan power Spectrogram (C) sinyal echolokasi pendek *Rhinolopus*

Figure 4. Spectrogram within duration of 100 ms (A), spectrogram of one signal (B), and power Spectrogram (C) short echolocation signal of *Rhinolopus*

Struktur Larynx *Miniopterus* dan *Rhinolopus*

Larynx Miniopterus dan *Rhinolopus*, secara *syntopi*, terletak di cranial *trachea* (Gambar 5.). Proporsi *larynx* terhadap tubuh juga relatif sama antar kedua spesies kelelawar tersebut. Struktur anatomis *larynx Miniopterus* (Gambar 6.) dan *Rhinolopus* (Gambar 7.) menunjukkan perbedaan yang meliputi ukuran maupun struktur tulang penyusun *larynx*. Perbedaan ukuran *larynx* lebih disebabkan oleh ukuran tubuh *Miniopterus* sp dan *Rhinolopus* sp yang berbeda. Ukuran tubuh dan berat badan *Miniopterus* lebih besar dari pada

Rhinolopus (Tabel 1.). Hal tersebut memberikan kontribusi terhadap ukuran *larynx Miniopterus* yang lebih besar daripada ukuran *larynx Rhinolopus*. Macam-macam tulang penyusun *larynx* kedua spesies tersebut secara umum sama. Perbedaan yang terlihat berupa perbedaan struktur tulang-tulang penyusun *larynx*, terutama yang berkaitan dengan produksi suara. Tulang-tulang yang berkaitan dengan produksi sinyal *echolokasi* kelelawar adalah kartilago *thyroidea*, kartilago *cricoidea*, dan kartilago *arytenoidea* (Griffiths, 1978; Suthers, 2004).



Gambar 5. Letak *larynx* (tanda panah merah) *Miniopterus* (A) dan *Rhinolopus* (B)
 Figure 5. Position of *larynx* (red arrow) of *Miniopterus* (A) and *Rhinolopus* (B)

Tabel 1. Berat badan dan morfometri *Miniopterus* dan *Rhinolopus*
 Table 1. Body weight and morphometry of *Miniopterus* and *Rhinolopus*

Parameter pengukuran	Jumlah sampel /n	<i>Miniopterus</i>	<i>Rhinolopus</i>
		Rerata ± SD	Rerata ± SD
P. Berat (g)	11	12,36 ± 1,69	5,65 ± 0,23
P. Brachium (mm)	11	25,19 ± 3,15	19,04 ± 2,34
P. Antebrachium (mm)	11	46,60 ± 3,80	41,47 ± 2,80
P. Kepala (mm)	11	17,14 ± 3,51	17,22 ± 0,87
P. Femur (mm)	11	17,15 ± 2,26	12,40 ± 0,95
P. Crus (mm)	11	12,94 ± 1,21	17,33 ± 0,97
P. Cauda (mm)	11	53,36 ± 3,33	19,41 ± 1,87
P. Telinga (mm)	11	11,59 ± 2,21	13,35 ± 0,90
L. Telinga (mm)	11	8,08 ± 1,08	9,04 ± 0,64
P. Badan (mm)	11	37,77 ± 2,73	25,62 ± 1,51
L. Badan (mm)	11	17,80 ± 3,27	15,70 ± 0,91

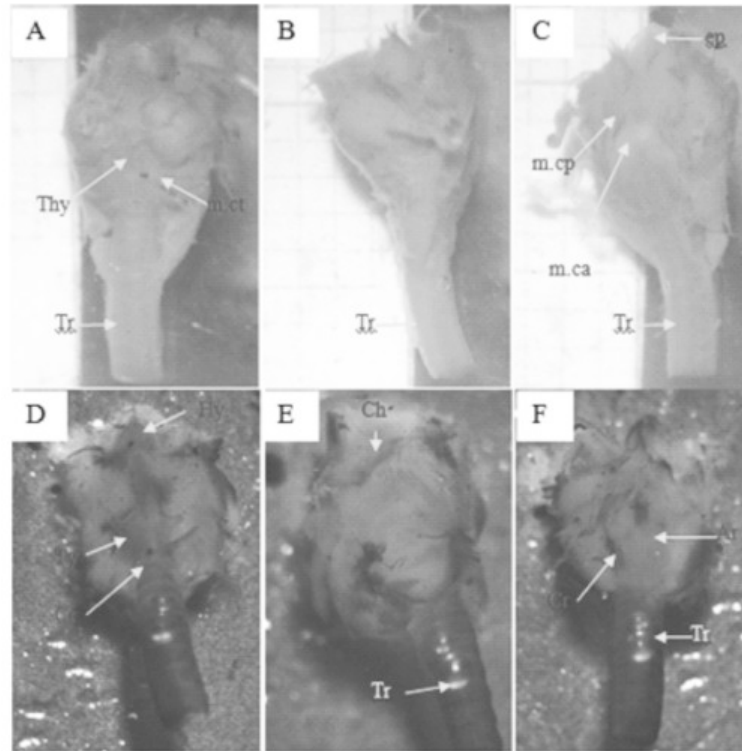
Larynx Miniopterus memiliki bentuk yang ramping (Gambar 6. A, B, dan C). Epiglottis tampak pada bagian dorsal *larynx*. *Musculus cricothyroideus* dan *musculus cricoarythenoid*, yang berperan dalam produksi suara, dapat terlihat pada *larynx Miniopterus* meskipun tanpa dilakukan pembedahan *larynx* terlebih dahulu. *Larynx Miniopterus* pada pewarnaan Alizarin Red-Alcian Blue menunjukkan *oshyoideus* yang kecil dan *cornuhyoidalis* (bagian yang terlihat pada gambar adalah

thyrohyal) yang sempit (Gambar 6. D dan E).

Kartilago *thyroidea* bagian *cranioventral* tidak menyatu. Membran atau ligamen *thyrohyoid* pada *Miniopterus* menunjukkan kemampuan ekstensi yang rendah. Hal tersebut menyebabkan pergerakan *oshyoideus* menjadi terbatas. Pergerakan *oshyoideus* dapat mengarahkan sinyal echolokasi ke saluran hidung melalui *nares posteriores*. Pergerakan *oshyoideus* yang terbatas

menunjukkan bahwa *Miniopterus* mengeluarkan sinyal echolokasi melalui rongga mulut. *Miniopterus* memiliki hidung yang tidak terspesialisasi untuk

“mengarahkan” sinyal echolokasi sehingga pengeluaran sinyal echolokasi dilakukan melalui rongga mulut.



Gambar 6. *Larynx Miniopterus* tampak ventral (A dan D), lateral (B dan E), dan dorsal (C dan F) tanpa pewarnaan (A, B, C) dan dengan pewarnaan *Alizarin Red-Alcian Blue* (D, E, F). Keterangan: Ar: cart. arytenoid; Ch: Cornu Hyoidalis; Cr: cart. cricoidea; Ep: epiglottis; Hy: os hyoideus; Tr: trachea; Thy: cart. Thyroidea; m.cp: musculus constrictor pharyngeus; m.ct: musculus cricothyroideus; m.ca: musculus cricoarytenoideus

Figure 6. *Larynx of Miniopterus* ventral view (A and D), lateral view (B and E), and dorsal view (C and F) without staining (A, B, C) with staining of *Alizarin Red-Alcian Blue* (D, E, F). Notes: Ar: cart. arytenoid; Ch: Cornu Hyoidalis; Cr: cart. cricoidea; Ep: epiglottis; Hy: os hyoideus; Tr: trachea; Thy: cart. Thyroidea; m.cp: musculus constrictor pharyngeus; m.ct: musculus cricothyroideus; m.ca: musculus cricoarytenoideus

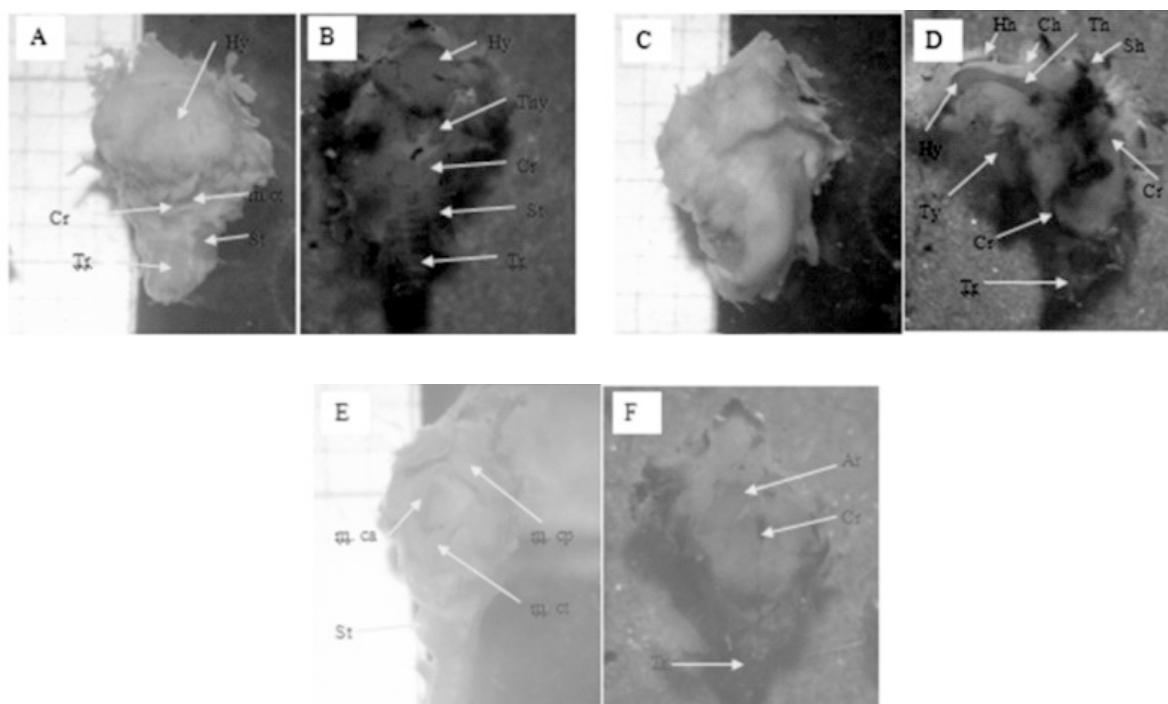
Larynx Rhinolopus memiliki bentuk yang berbeda dengan *larynx Miniopterus*. *Larynx Rhinolopus* memiliki bentuk yang lebar. Hal tersebut diakibatkan lebarnya *os hyoideus* dan *cornuhyoidalis*, yang terdiri dari *hypohyal*, *ceratohyal*, *stylohyal* dan *thyrohyal* (Gambar 7. A, B, dan D). Kartilago *thyroidea* hampir tertutupi oleh keberadaan *os hyoideus* tersebut. Gambar 7. B menunjukkan kalsifikasi kartilago *thyroidea* tidak menyatu pada bagian ventral. Hal

tersebut menunjukkan *larynx Rhinolopus* dapat memperluas salurannya untuk mengatur frekuensi resonansi seiring dengan frekuensi sinyal dan menjaga amplitudo dalam setiap spektrum frekuensi (Griffiths, 1978). *Rhinolopus* memiliki kemampuan yang baik untuk menghasilkan sinyal echolokasi yang panjang dengan frekuensi yang relatif tetap. Membran *thyrohyoid Rhinolopus* memiliki kemampuan ekstensi yang besar sehingga

oshyoideus dapat bergerak ke cranial secara bebas. Pergerakan *oshyoideus* tersebut dapat mengarahkan sinyal echolokasi yang dihasilkan oleh *larynx* ke saluran hidung. Bentuk hidung *Rhinolopus* yang khas mampu “mengarahkan” sinyal echolokasi dengan baik (Suyanto, 2000).

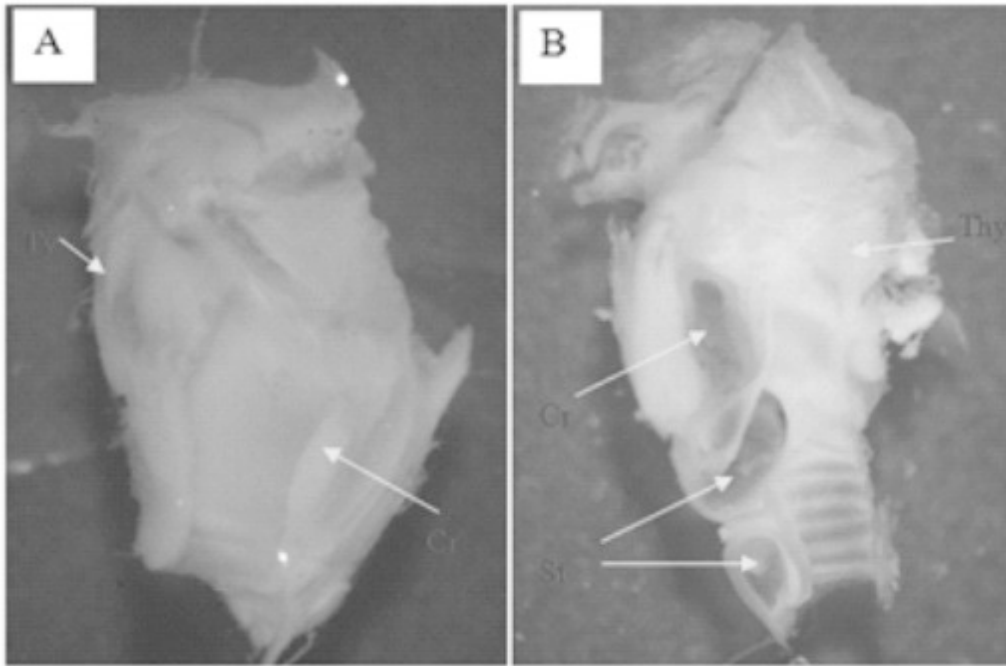
Struktur khas yang terlihat pada *larynx Rhinolopus* adalah *saccustrachealis* yang berjumlah 2 pasang (4 buah). Satu pasang *saccustrachealis* terletak di sebelah *ventrocaudallarynx* dan 1 pasang yang lain terletak di *trachea* bagian *cranioventral*. Sayatan sagital *larynx Rhinolopus* (Gambar

8. B) menunjukkan keberadaan *saccustrachealis* tersebut langsung berhubungan saluran *larynx*. *Saccustrachealis* tersebut diperkirakan berfungsi sebagai penghasil resonansi yang memperkuat sinyal echolokasi. *Rhinolopus* mengeluarkan sinyal echolokasi melalui saluran hidung sehingga resonansi yang terjadi sangat kecil dibandingkan dengan pengeluaran sinyal melalui rongga mulut. Fungsi resonansi tersebut dimungkinkan tergantikan oleh keberadaan *saccustrachealis*.



Gambar 7. *Larynx Rhinolopus* tampak ventral (A dan B), lateral (C dan D), dan dorsal (E dan F) tanpa pewarnaan (A, C, E) dan dengan pewarnaan *Alizarin Red- Alcian Blue* (B, D, F). Keterangan: *Ar*: cart. arytenoid;; *Ch*: ceratohyal; *Hh*., hypohyal; *Sh*: stylohyal; *Th*: Thyrohyal; *Cr*: cart. cricoidea; *Ep*: epiglottis; *Hy*: os hyoideus (basihyal); *Tr*: trachea; *Thy*: cart. Thyroidea; *St*: saccus trachealis; *m.cp*: musculus constrictor pharyngeus; *m.ct*: musculus cricothyroideus; *m.ca*: musculus cricoarytenoideus

Gambar 7. *Larynx of Rhinolopus* ventralview (A and B), lateral view (C and D), and dorsal view (E and F) without staining (A, C, E) and with staining *Alizarin Red- Alcian Blue* (B, D, F). Notes: *Ar*: cart. arytenoid;; *Ch*: ceratohyal; *Hh*., hypohyal; *Sh*: stylohyal; *Th*: Thyrohyal; *Cr*: cart. cricoidea; *Ep*: epiglottis; *Hy*: os hyoideus (basihyal); *Tr*: trachea; *Thy*: cart. Thyroidea; *St*: saccus trachealis; *m.cp*: musculus constrictor pharyngeus; *m.ct*: musculus cricothyroideus; *m.ca*: musculus cricoarytenoideus

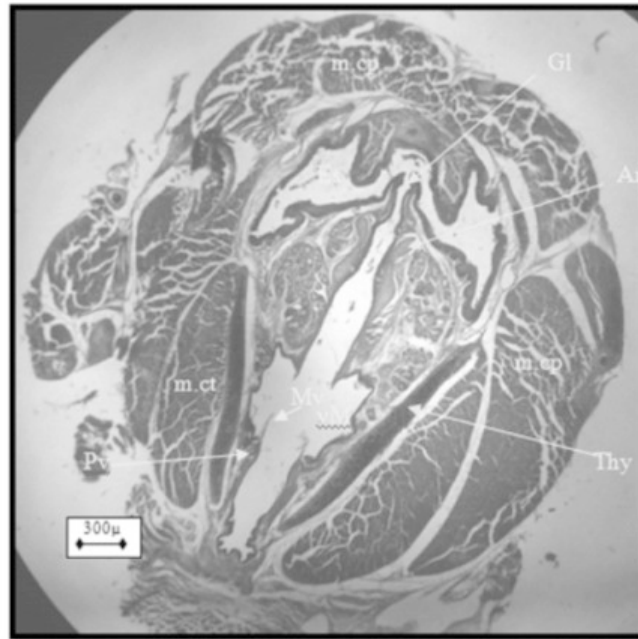


Gambar 8. Penampang *midsagittal larynx* *Miniapterus* (A) dan *Rhinolopus* sp (B). Keterangan: Cr: cart. cricoidea; St: saccus trachealis; Thy: cart. thyroidea

Figure 8. Longitudinal section of *midsagittal larynx* of *Miniapterus* (A) *Rhinolopus* sp. (B). Notes: Cr: cart. cricoidea; St: saccus trachealis; Thy: cart. thyroidea

Struktur anatomis *larynx* *Miniapterus* (Gambar 9.) dan *Rhinolopus* (Gambar 106.) menunjukkan beberapa perbedaan. Kartilago *thyroidea* pada *Miniapterus* berbentuk seperti huruf V sedangkan pada *Rhinolopus* berbentuk seperti huruf U. Saluran *larynx* *Miniapterus* lebih lebar dibandingkan dengan saluran *larynx* *Rhinolopus*. Celah *plicavocalis*, *ventricle of Morgagni*, pada *Rhinolopus* lebih besar daripada *Miniapterus*. *Larynx* *Miniapterus* memiliki *musculus constrictorpharyngeus* dan *musculus cricothyroideus* yang tebal sedangkan *musculus thyroarytenoideus* tipis. *Musculus cricoarytenoideus* tidak terlihat pada *larynx* *Miniapterus* karena potongan sediaan tidak mencapai kartilago *cricoidea*. Tebalnya *musculus constrictorpharyngeus* dan *musculus*

cricothyroideus merupakan kompensasi atas menyatunya bagian ventral kartilago *thyroidea*, hanya sebagian kecil di cranial kartilago *thyroidea* yang tidak menyatu. Pengaturan resonansi yang dilakukan oleh *Miniapterus* akan lebih fokus pada perluasan diameter *larynx* melalui kontraksi *musculus constrictorpharyngeus* dan *musculus cricothyroideus*. *Larynx* *Miniapterus* tidak memiliki *saccustrachealis* sebagaimana pada *larynx* *Rhinolopus* sehingga perluasan diameter ruangan *larynx* diperlukan untuk memperbesar resonansi. *Musculus thyroarytenoideus* pada *larynx* *Miniapterus* tipis karena kerja otot tersebut tidak terlalu diperlukan atau sudah diperankan oleh *musculus constrictorpharyngeus* dan *musculus cricothyroideus*.

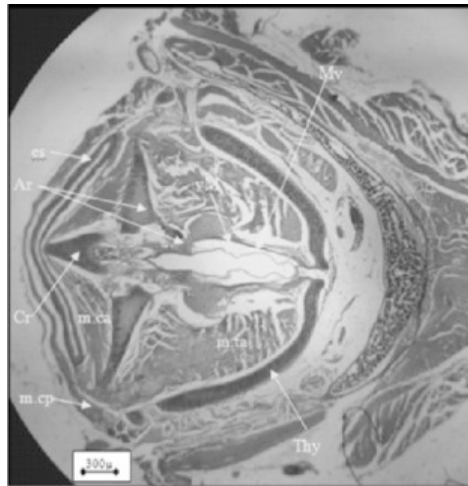


Gambar 9. Penampang melintang larynx *Miniopterus* Pewarnaan Hematoxylin-Eosin. Keterangan: Ar: cart. arytenoidea; Gl: glottis; Thy: cart. thyroidea; Mv, membrana voccalis; Pv, Plica voccalis; m.ct, musculus cricothyroideus; m.cp, musculus constrictor pharyngeus; Vm, ventricle of Morgagni.

Figure 9. Cross section of *Miniopterus* larynx, stained with Hematoxylin-Eosin. Notes: Ar: cart. arytenoidea; Gl: glottis; Thy: cart. thyroidea; Mv, membrana voccalis; Pv, Plica voccalis; m.ct, musculus cricothyroideus; m.cp, musculus constrictor pharyngeus; Vm, ventricle of Morgagni.

Larynx Rhinolophus, tidak seperti *larynx Miniopterus*, memiliki *musculus constrictor pharyngeus* dan *musculus cricothyroideus* yang tipis. Otot *larynx Rhinolophus* yang tebal justru ditunjukkan oleh *musculus thyroarythenoideus* dan *musculus cricoarytenoideus* (Gambar 10.). Kartilago *thyroidea* yang tidak menyatu serta kartilago *cricoidea* yang luas dan terkalsifikasi menyebabkan mekanisme perluasan diameter ruangan *larynx* mengandalkan otot di sisi dalam *larynx*. Kerja *musculus constrictor pharyngeus* dan *musculus crico-*

thyroideus tidak terlalu besar dalam memperluas diameter ruangan *larynx*. Kontraksi *musculus thyroarythenoideus* dan relaksasi *musculus cricoarytenoideus*, ataupun sebaliknya, dapat mengatur luas ruangan *larynx* sekaligus mengatur ketegangan *membranavoccalis*. Pengaturan resonansi sekaligus amplitudo dan frekuensi dapat dilakukan oleh *Rhinolophus* memiliki *saccustrachealis* yang berfungsi sebagai resonator sehingga pengaturan resonansi menjadi lebih ringan.

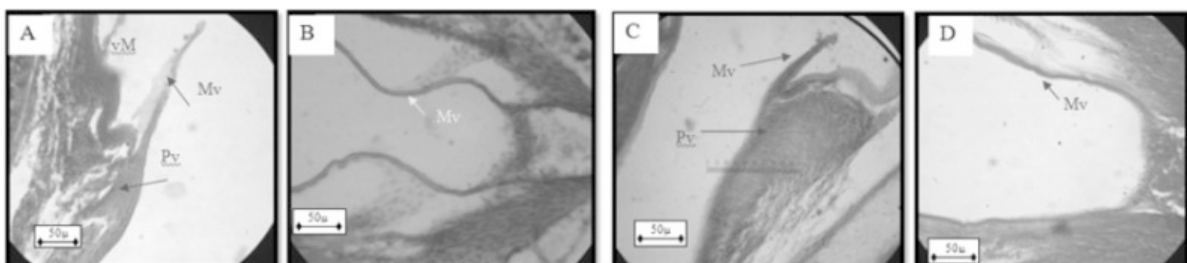


Gambar 10. Penampang melintang larynx *Rhinolopus* Pewarnaan Hematoxylin-Eosin. Keterangan: Ar: cart. arytenoidea; Cr: cart. cricoidea; Es: esophagus; Gl: glottis; Thy: cart. thyroidea; Mv: membrana voccalis;; m.ca: musculus cricoarytenoidea; m.cp: constrictor pharyngeus; m.ta: musculus thyroarytenoideus; Vm: ventricle of Morgagni

Figure 10. Cross section of *Rhinolopus larynx*, stained with Hematoxylin-Eosin. Notes: Ar: cart. arytenoidea; Cr: cart. cricoidea; Es: esophagus; Gl: glottis; Thy: cart. thyroidea; Mv: membrana voccalis;; m.ca: musculus cricoarytenoidea; m.cp: constrictor pharyngeus; m.ta: musculus thyroarytenoideus; Vm: ventricle of Morgagni

Gambar 11. menunjukkan gambaran *membranavoccalis* *Miniopterus* dan *Rhinolopus* dengan menggunakan pewarnaan Hematoxylin-Eosin dan Mallory Acid Fuchsin. Membranavoccalis kedua spesies kelelawar tersebut sangat tipis. Hal tersebut untuk memfasilitasi produksi suara berfrekuensi tinggi. Struktur yang tipis dan fleksibel menyebabkan *membranavoccalis* dapat bergetar dengan frekuensi yang tinggi dan kuat. Gambar 11. A dan B menunjukkan adanya persamaan jaringan penyusun *membranavoccalis* antara *Miniopterus* dengan *Rhinolopus* Membranavoccalis

kedua spesies kelelawar tersebut berupa jaringan ikat padat dan tidak terdapat otot didalamnya. Sediaan yang diwarnai dengan pewarnaan Mallory Acid Fuchsin menunjukkan dominasi serabut kolagen pada *membranavoccalis*. Karakteristik serabut kolagen yang fleksibel namun tidak elastis, memberikan kemampuan *membranavoccalis* untuk dapat bergetar dengan sangat cepat dan stabil. Hal tersebut dapat menghasilkan efisiensi tenaga saat dilakukannya produksi sinyal *echolokasi* oleh kelelawar.



Gambar 11. Penampang melintang larynx *Miniopterus* (A dan C) dan *Rhinolopus* (B dan D). Pewarnaan Hematoxylin-Eosin (A dan B) dan Mallory Acid Fuchsin (C dan D). Keterangan: Mv: membrana voccalis; Pv: plica voccalis; Vm: ventricle of Morgagni

Figure 11. Cross section of *Miniopterus larynx* (A and C) dan *Rhinolopus* (B dan D). Pewarnaan Hematoxylin-Eosin (A dan B) dan Mallory Acid Fuchsin (C dan D). Keterangan: Mv: membrana voccalis; Pv: plica voccalis; Vm: ventricle of Morgagni

Simpulan

Sinyal echolokasi *Miniopterus* memiliki frekuensi yang lebih rendah daripada sinyal echolokasi *Rhinolophus* akan tetapi kemampuan *Miniopterus* untuk memodulasi frekuensi lebih tinggi dari pada *Rhinolophus*. Kedua spesies tersebut juga mampu untuk menghasilkan durasi sinyal yang panjang akan tetapi durasi sinyal jauh lebih panjang pada *Rhinolophus*. Hal tersebut juga berkaitan dengan perbedaan struktur anatomis dan *histologist larynx* kedua spesies yang sama-sama mampu menjaga intensitas sinyal echolokasi akan tetapi memiliki mekanisme kerja yang berbeda.

Ucapan terima kasih

Penelitian ini terlaksana dari dana Hibah BOPTN, Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada tahun anggaran 2013.

Daftar Pustaka

- Altringham, J. D., 1996. *Bats: Biology and Behaviour*, Oxford University Press.
- Arita, H.T. and Fenton, M.B., 1997. Flight and echolocation in the ecology and evolution of bats. *Tree*, 12(2):
- Bancroft, J.D. and Cook, H.C., 1988. *Manual of Histological Techniques*, Churchill Livingstone, New York.
- Brinklov, S., Kalko, E. K. V., and Surlykke, A., 2009. Intense echolocation calls from two 'whispering' bats, *Artibeus jamaicensis* and *Macrophyllum macrophyllum* (Phyllostomidae). *J Exp Biol*, 212: 11-20.
- Conole, L. E., 2000. Acoustic differentiation of Australian populations of the large bentwing-bat *Miniopterus schreibersii* (Kuhl, 1817). *Australian zoologist*, 31(3): 443-446
- Disbrey, B.D., and Rack, J. H., 1970. *Histological Laboratory Methods*, E. & S. Livingstone, Edinburg.
- Griffiths, T. A., 1978. Modification of *m. cricothyroideus* and the larynx in the *Mormoopidae*, with reference to amplification of high-frequency pulses. *J Mamm*, 59(4): 724-730
- Grinnell, A. D., 1995. Hearing in bats: An overview, in Popper, A. N. & Fay, R. R. (eds). 'Hearing by bats', Springer-Verlag.
- Hill, E. and Smith D., 1984. *Bats. A natural history*. Published by British Museum. London.
- Mergell, P., Fitch, W. T., and Herzel, H., 1999. Modeling the role of nonhuman vocal membranes in phonation. *J Acoust Soc A*, 105(3): 2020-2028.
- Moss, C. F. and Sinhay, S. R., 2003. Neurobiology of echolocation in bats. *Current Opinion in Neurobiology*, 13:751-758.
- Neumann, I. and Schuller, G., 1991. Spectral and temporal gating mechanisms enhance the clutter rejection in the echolocating bat, *Rhinolophus rouxi*. *J. Comp. Physiol. A*, 169:109-116
- Neuweiler, G., 2003. Evolutionary aspects of bat echolocation. *J. Comp. Physiol. A*, 189: 245-256
- Nowak, R. M., 1999. *Walker's Mammals of the World*, 6th edn. Johns Hopkins University Press
- Obrist, M. K., Boesch, R., and Flückiger, P. F., 2004. Variability in echolocation call design of 26 Swiss bat species: consequences, limits and options for automated field identification with a synergetic pattern recognition approach. *Mammalia* 68(4): 307-322.
- Speakman, J. R., 1993. The evolution of echolocation for predation. *Symp. zool. Soc. Land.*, 65: 39-63.
- Suthers, R.A. 2004. Vocal mechanisms in birds and bats: a comparative view. *An Acad Bras Cienc*, 76(2): 247-252.
- Suyanto, A. 2001. *Kelelawar di Indonesia*. Puslitbang Biologi LIPI. Bogor.
- Ulanovsky, N. and Moss, C. F., 2008. What the bat's voice tells the bat's brain. *PNAS*, 105 (25): 8491-8498.
- Vincent, S, Nemoz, M., and Aulagnier, S., 2011. Activity and foraging habitats of *Miniopterus schreibersii* (Chiroptera, *Miniopteridae*) in southern France: implications for its conservation. *Hystrix It. J. Mamm. (n.s.)*, 22(1): 57-72