

AKUSTIK DIBANDINGKAN DENGAN DENSITAS IKAN: KOMBINASI METODE AKTIF DAN PASIF

ACOUSTIC VS FISH DENSITY: A COMBINATION OF ACTIVE AND PASSIVE METHOD

Zulfathri Randhi¹, Totok Hestirianoto², Sri Pujiyati²

¹Program Studi Teknologi Kelautan, Sekolah Pascasarjana

²Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan

Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor

Korespondensi: randhyhamzah@apps.ipb.ac.id

ABSTRACT

Fisheries acoustics has two main division namely active and passive acoustics. Various acoustic studies with active methods have been conducted to assess the relationship between acoustics with fish density, but combination both active and passive methods has never been done to the same fish aggregation. Combining these two methods is expected to deliver an information related to fish density and its trend with both active and passive methods. This study was conducted on tilapia (*Oreochromis niloticus*) in controlled condition of 50, 100, and 150 fish individuals with total length range of 10-13 cm. Active and passive acoustic data acquisition carried out for 15 minutes on floating net cage of 2 m × 2 m × 1.8 m in dimension using CruzPro PcFF-80 echosounder 200 kHz (active acoustics) and Dolphin EAR 100 hydrophones (passive acoustics). Active acoustic data is processed using Matlab R2013b to generate value of scattering volume (SV), while passive acoustic data is processed using Wavelab program to obtain the intensity of fish sound in frequency domain, then both are correlated to fish density. The results of SV measurements in fish amounted to 50, 100 and 150 individuals respectively were -45.898 dB, -45,887 dB and -45,888 dB, with the coefficient of determination (R²) reached 0.6583. There is an average decrease in SV in fish totaling 150 individuals suspected to occur due to shadowing effects, also due to small fish used. The highest and lowest intensity of fish sound of 50 fishes in frequency range 0-22 kHz were -28.306 dB and -64.582 dB, 100 fishes were -26.0793 dB and -64.5296 dB, 150 fishes were -28.5246 dB and -64.5679 dB.

Keyword: active acoustic, passive acoustic, sound intensity, scattering volume

ABSTRAK

Akustik perikanan memiliki dua pembagian utama yaitu akustik aktif dan pasif. Berbagai penelitian akustik dengan metode aktif telah dilakukan untuk mengkaji hubungan antara akustik dengan densitas ikan, namun kombinasi metode aktif dengan pasif belum pernah dilakukan sekaligus pada kawanan ikan yang sama. Mengkombinasikan kedua metode ini diharapkan dapat menghasilkan informasi yang berhubungan dengan densitas ikan serta kecenderungannya baik dengan metode aktif maupun pasif. Penelitian ini dilakukan pada kawanan ikan nila (*Oreochromis niloticus*) dalam kondisi terkontrol berjumlah 50, 100, dan 150 individu ikan dengan kisaran panjang total 10-13cm. Akuisisi data akustik aktif dan pasif dilakukan secara stasioner selama 15 menit pada keramba jaring apung (KJA) ukuran 2 m×2 m×1.8 m menggunakan *echosounder* CruzPro PcFF-80 frekuensi 200 kHz (akustik aktif) dan *hydrophone Dolphin* EAR 100 (akustik pasif). Data akustik aktif diolah menggunakan program Matlab R2013b untuk menghasilkan nilai hambur balik volume (*scattering volume*, SV), sedangkan data akustik pasif diolah menggunakan program Wavelab untuk memperoleh nilai intensitas suara dalam domain frekuensi, selanjutnya keduanya dihubungkan dengan densitas ikan. Hasil pengukuran SV pada ikan berjumlah 50, 100 dan 150 individu secara berturut-turut adalah -45.898 dB, -45.887 dB dan -45.888 dB, dengan koefisien determinasi (R²) mencapai 0.6583. Terdapat penurunan rata-rata SV pada ikan berjumlah 150 individu yang diduga terjadi karena adanya efek *shadowing*, juga akibat ikan yang digunakan berukuran kecil. Intensitas suara tertinggi dan terendah ikan berjumlah 50 individu pada rentang frekuensi 0-22 kHz berturut-turut sebesar -28.306 dB dan -64.582 dB, pada ikan berjumlah 100 individu, sebesar -26.0793 dB dan -64.5296 dB, pada ikan berjumlah 150 individu sebesar -28.5246 dB dan -64.5679 dB.

Kata kunci: akustik aktif, akustik pasif, intensitas suara, *scattering volume*

PENDAHULUAN

Seiring perkembangan teknologi, penelitian untuk memperoleh informasi mengenai sumberdaya ikan meningkat dengan pesat, diantaranya penggunaan suara atau akustik. Metode akustik merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk memberikan informasi mengenai volume sumberdaya ikan (Simmonds & MacLennan, 2005). Penggunaan suara untuk mendeteksi sumberdaya ikan yang disebut sebagai akustik perikanan memiliki dua pembagian utama yaitu akustik aktif dan pasif.

Akustik aktif meliputi peralatan seperti *echosounder* dan sonar yang prinsip kerjanya mentransmisikan atau memancarkan pulsa suara ke badan air dan kemudian dipantulkan oleh obyek seperti ikan, kapal selam maupun dasar perairan (Horne, 2000). Penggunaan *echo* untuk mendeteksi ikan pada akustik aktif dipelopori oleh *Balls* pada tahun 1933. Indonesia melakukan penelitian untuk mendeteksi ikan serta densitasnya dengan metode akustik aktif telah dilakukan oleh beberapa peneliti antara lain kebiasaan *schooling* ikan pelagis (Gerlotto, 1996), densitas akustik sumberdaya ikan pelagis di Selat Sunda (Wijopriono & Genisa, 2003), eksplorasi sumberdaya ikan demersal (Pujiyati *et al.* 2007, 2008), target strength untuk identifikasi ikan menggunakan *echosounder* (Sunardi *et al.* 2009), karakteristik shoaling ikan pelagis di perairan Selat Bangka (Fauziyah *et al.* 2010), dan beberapa penelitian lain yang terkait.

Akustik pasif merupakan metode yang menggabungkan ilmu biologi dan akustik untuk mendeteksi atau merekam suara alami yang dihasilkan oleh hewan (Marques *et al.* 2013) seperti serangga, amfibi, ikan, burung dan mamalia (Juanes, 2002). Terdapat lebih dari 700 spesies ikan dari sekurang-kurangnya 30 famili yang diketahui memproduksi suara dan potensial untuk dideteksi dengan metode akustik pasif (Fish & Mowbray 1970; Juanes 2002; Kaatz 2002; Johnston & Phillips 2003; Johnston & Vives 2003; Rountree *et al.* 2006). Ikan memproduksi suara dengan maksud tertentu (misal saat berinteraksi, menampakan ciri seksual, *echolocation*, mempertahankan teritori, kawin) maupun suara insiden sebagai konsekuensi dari aktivitasnya (saat bernafas, makan, bergerak dan tingkah laku lainnya) (Fine *et al.* 1977; Amorim *et al.* 2003, 2004; Amorim 2006; Rountree *et al.*

2006; Luczkovich *et al.* 2008; Longrie *et al.* 2008, 2009, 2013; Marques *et al.* 2013).

Akustik pasif identik dengan penggunaan alat perekam suara sebagai elemen utamanya yaitu *hydrophone*. *Hydrophone* merupakan mikrofon bawah air yang mengkonversi tekanan suara menjadi sinyal elektrik sehingga dapat direkam oleh sistem akuisisi data. Aplikasi akustik pasif telah dimanfaatkan selama lebih dari 60 tahun pada biologi dan survei perikanan, diantaranya untuk menentukan penggunaan habitat, menggambarkan dan mengamati area memijah ikan, serta studi tingkah laku ikan (Fish *et al.* 1952; Fish & Mowbray 1970; Hawkins 1993; Rountree *et al.* 2003a, 2003b).

Pada satu dekade terakhir metode pasif telah digunakan untuk menduga densitas ikan meskipun masih dalam tahap pengembangan, yang ditandai dengan masih terbatasnya publikasi internasional pada bidang akustik pasif mengenai densitas dan kelimpahan kawanan ikan. Hal ini disebabkan karena sebelum dapat digunakan untuk mengestimasi kelimpahan, suara ikan berdasarkan tingkah lakunya harus dibedakan dengan baik terlebih dahulu, begitu pula individu ikan yang mengeluarkan suara secara berulang-ulang dengan yang tidak (Rountree *et al.* 2006; Marques *et al.* 2013).

Berbagai penelitian akustik dengan metode aktif telah dilakukan untuk mengkaji hubungan antara akustik dengan jumlah ikan, namun kombinasi metode aktif dengan pasif masih sangat jarang atau belum pernah dilakukan sekaligus pada kawanan ikan yang sama. Padahal diketahui bahwa baik nilai hambur balik maupun intensitas suara memiliki proporsionalitas dengan densitas ikan. Mengkombinasikan kedua metode akustik ini diharapkan dapat menghasilkan informasi yang berhubungan dengan densitas ikan serta kecenderungannya baik dengan metode aktif maupun pasif.

METODE PENELITIAN

Kegiatan penelitian dilakukan pada tanggal 3 September 2015 bertempat di perairan Danau Lido Kabupaten Bogor, Jawa Barat. Sebagai studi pendahuluan, penelitian ini dilakukan pada kawanan ikan dalam kondisi terkontrol dengan beberapa jumlah individu ikan yang ditentukan. Pemeruman sekaligus perekaman suara ikan pada penelitian ini dilakukan pada Keramba Jaring Apung (KJA) ukuran 2 m×2 m×1.8 m

(jaring terendam sedalam 1.8 m). Ikan yang digunakan adalah ikan nila (*Oreochromis niloticus*) berjumlah 50, 100, dan 150 individu ikan dengan kisaran panjang total 10 - 13 cm.

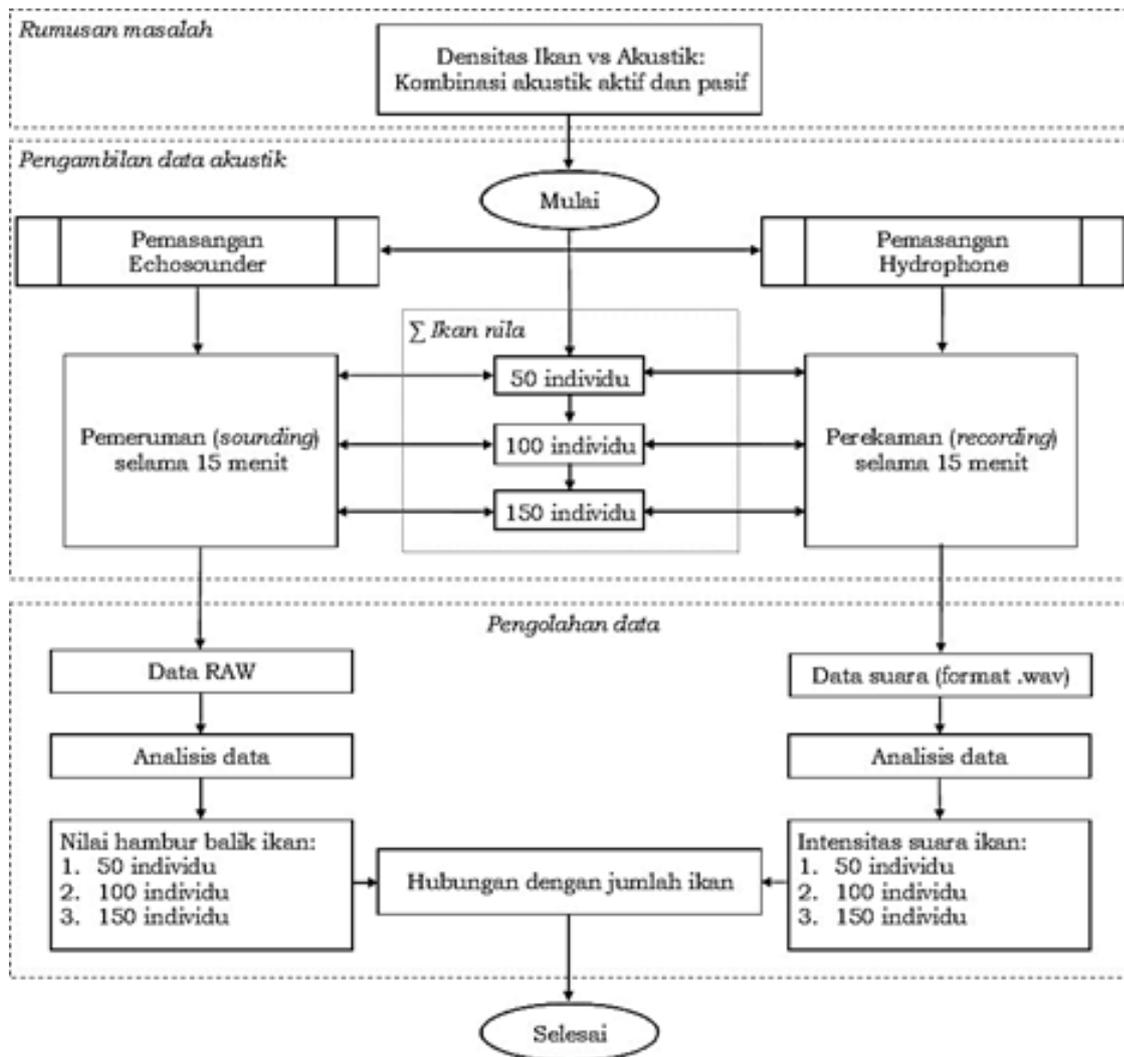
Akuisisi data akustik dilakukan secara simultan menggunakan *echosounder* CruzPro PcFF-80 (untuk akustik aktif) dan *hydrophone Dolphin EAR 100* (akustik pasif), yang masing-masing terhubung pada laptop sebagai penampil (*display*), penyimpan

(*storage*) dan pemroses data (*processor*). Spesifikasi dan pengaturan peralatan akustik dapat dilihat pada Tabel 1.

Pemeruman (deteksi secara aktif) dan perekaman suara (deteksi secara pasif) ikan nila dilakukan secara stasioner dan bersamaan selama 15 menit pada masing-masing jumlah ikan. Prosedur penelitian dalam bentuk diagram alir dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 1. Spesifikasi peralatan akustik yang digunakan

Spesifikasi	Operation setting
Cruzpro PcFF80	
<i>Operating Voltage</i>	9.5 to 16.0 VDC, normalnya 0.05 ampere dan puncaknya 4.7 ampere pada saat daya maksimal
Indikator	<i>Front panel</i> LED untuk <i>Power ON/Off</i> dan indikator komunikasi 2560 watts puncak kepuncak (320W RMS).
<i>Output Power</i>	24KW pada saat pemrosesan DSP (3200 WRMS) Kedalaman minimum 3 <i>feet</i> (1 m)
Kemampuan kedalaman	1000 <i>feet</i> atau lebih pada 200kHz 1500 <i>feet</i> atau lebih pada 50kHz 0 sampai 50° C (32 sampai 122° Fahrenheit)
Suhu operasional	100 x 80 x 50 mm (4 x 3.2 x 2 inch). <i>Powder Coated Aluminum Extrusion</i>
<i>Interface Box</i>	RS-232, 115 Kbaud, serial data and USB <i>Dual Frequency 50/200kHz, Depth/Temperature</i>
<i>Interface</i>	<i>Analog Mode #1: Fixed gain Analog Mode #2: Time varying gain (TVG)</i>
<i>Transducer</i>	DSP Mode #1: <i>Using correlation DSP Mode #2: Using quadrature</i>
<i>Signal Processing</i>	<i>correlation</i>
Dolphin EAR 100	
<i>Hidrophone</i>	SQ38 nomor seri DE989505
Kisaran Frekuensi	0 – 22 kHz
<i>Power</i>	9 V <i>Battery</i>
Arah rekaman	Horizontal – <i>Omni directional</i>



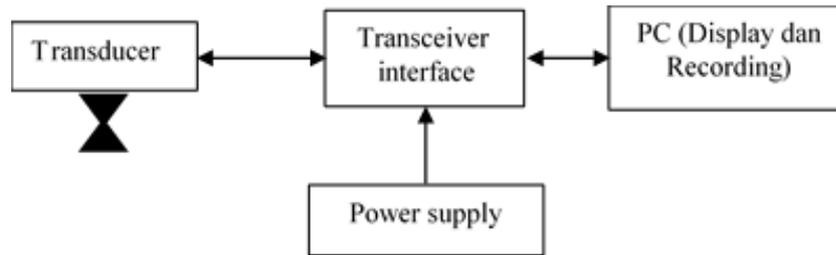
Gambar 1. Diagram alir penelitian

Akustik Aktif

Frekuensi *CruzPro Fish Finder* PcFF-80 yang digunakan pada penelitian ini adalah 200 kHz, dengan kedalaman pemasangan *transducer* (*depth offset*) 0.2 m di bawah permukaan air. Secara singkat prinsip kerja alat ini adalah *transducer* (*transmitter*) memancarkan gelombang suara yang kemudian dipantulkan oleh target, lalu diterima kembali oleh *transducer* (*receiver*) (Gambar 2). Sinyal akustik yang diterima oleh *transducer* dirubah menjadi sinyal elektrik yang selanjutnya diteruskan ke *transceiver interface* yang akan meneruskan data kedalaman dalam bentuk analog dan digital. *Transceiver interface* mendapatkan *power supply* dari *accu* 12 volt DC yang juga digunakan untuk memberikan arus

listrik ke *transducer*. Selanjutnya data kedalaman yang berasal dari *transducer* diterima dan direkam ke dalam *hardisk* PC/laptop dan kemudian ditampilkan di monitor. PC juga dapat melakukan perintah untuk proses akuisisi seperti seperti *On/Off* yang disampaikan ke *transducer* melalui *transceiver interface*.

Data akustik aktif diolah menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel* dan *Matlab R2013b*. Hasil pemeruman berupa *raw* data diekstrak dan disimpan dalam format *.txt* lalu diolah menggunakan perangkat lunak *Matlab* untuk menghasilkan nilai hambur balik volume (*scattering volume*, SV) dalam satuan dB (*decibel*). Algoritma yang digunakan untuk mengolah *raw* data pada program *Matlab R2013b* mengadaptasi hasil penelitian Ma'mun *et al.* (2013).



Gambar 2. Prinsip kerja instrumen CruzPro Fish Finder PcFF-80

Nilai hambur balik suara merupakan logaritimik perbandingan antara besarnya intensitas yang dikembalikan oleh target berbanding dengan besarnya intensitas yang dipancarkan oleh peralatan akustik. Besaran yang sering digunakan yaitu *desibel* (dB) (Lurton, 2002). Sinyal suara yang dipancarkan dari sebuah *transducer* akan merambat di dalam air dengan kecepatan yang akan dipengaruhi oleh suhu, salinitas, densitas air, perubahan tekanan dan kedalaman perairan. Kedalaman (*depth*, D) suatu objek (dasar perairan) akan ditentukan oleh waktu tempuh yang diperlukan oleh gelombang suara dari *transducer* ke dasar perairan dan kembali lagi ke *transducer*. Kedalaman dan kecepatan suara tersebut dapat dihitung dengan persamaan umum:

$$D = \frac{C \times t}{2}$$

$$C = 1402.388 + 5.03711T - 0.0580952T^2 + 0.3342 \times 10^{-3}T^3 - 0.1478 \times 10^{-5}T^4 + 0.315 \times 10^{-8}T^5$$

Keterangan:

- D = kedalaman (m)
- C = kecepatan suara di air tawar (m/s) (Del Grosso dan Mader, 1972)
- t = waktu (s)
- T = suhu air (°C)

Pada proses pembentukan, pemancaran dan penerimaan kembali sinyal suara mengalami penyerapan dan penghamburan baik dari suatu medium/ lingkungan (*ambient noise*) maupun objek yang berada pada kolom air. Gangguan ini juga bisa terjadi pada alat itu sendiri (*self-noise*). Gangguan atau noise menyebabkan sinyal suara yang kembali memiliki nilai intensitas yang lemah sehingga dibutuhkan penguatan dengan menggunakan fungsi TVG (*Time Varied Gain*). Menurut Johansson & Mitson (1983) untuk penentuan nilai

hambur balik volume (*scattering volume*) digunakan fungsi TVG untuk *multiple target* yaitu:

$$TVG = 20 \log r + ar$$

Keterangan:

- r = *near field*
- a = koefisien absorpsi dalam unit jarak (dB/m) (Persamaan 4)

Absorpsi merupakan fungsi dari frekuensi suara, tekanan, suhu, salinitas serta densitas air, sedangkan *Near Field* merupakan daerah dari depan *transducer* hingga ke jarak terjauh *side lobe* yang diukur dari *transducer*. Absorpsi diperoleh dari persamaan Francois & Garrison (1982) untuk perairan tawar yaitu:

$$a = A \times P \times f^2$$

$$A = 3.964 \times 10^{-4} - 1.146 \times 10^{-5}T + 1.45 \times 10^{-7}T^2 - 6.5 \times 10^{-10}T^3$$

$$P = 1 - 3.83 \times 10^{-5}D + 4.9 \times 10^{-10}D^2$$

Keterangan:

- A = fungsi absorpsi untuk suhu
- P = fungsi absorpsi untuk kedalaman
- f = frekuensi *transducer* yang digunakan (kHz)

Gelombang suara yang dipancarkan oleh *transducer* terpusat ke suatu arah tertentu, sehingga intensitas tertinggi dari gelombang tersebut akan terletak pada arah tegak lurus dengan permukaan *transducer*, yakni yang disebut sumbu akustik (*acoustic axis*). Sudut bukaan beam dihitung dengan pendekatan:

$$\theta = 10 \log \left(\frac{C \tau \varphi}{2} \right)$$

$$\varphi = 2\pi b^2$$

$$b^2 = \frac{1}{2\pi} \frac{\theta a \theta b}{2} \times 10^{-3.16}$$

Keterangan:

- C = Kecepatan suara
 τ = durasi pulsa (s), (pada *echosounder CruzPro* bernilai 0.4 s)
 ψ = Sudut reverberasi atau *equivalent two-way beam angle*
b2 = *mean squared beam pattern factor*
 π = 3.14
 θ_a = derajat major axis 3dB *beam angle*
 θ_b = derajat minor axis 3dB *beam angle*

Target *strength* adalah suatu ukuran yang menggambarkan kemampuan objek akustik yang dalam hal ini adalah ikan untuk memantulkan suatu gelombang suara yang datang dan mengenainya. Target *strength* untuk target tunggal menggunakan fungsi $40 \log r$, sedangkan untuk *multiple target* (kawanan) menggunakan fungsi $20 \log r$ (Johanesson & Mitson, 1983). Pendekatan untuk TS dengan menggabungkan persamaan yaitu:

$$TS = 20 \log(\text{counts}) - SL - RS + PS + TVG + \theta$$
$$\text{counts} = NA255$$
$$PS = AG - AVG$$

Keterangan:

- counts = nilai intensitas yang diterima kembali oleh *echosounder*
NA = Nilai analog akuisisi *echosounder* (0-255)
SL = *Source level*, (frekuensi 200 kHz bernilai 222 dB re 1 μ Pa pada jarak 1 m)
RS = *Receiving sensitivity* (pada frekuensi 200 kHz bernilai -185)
PS = *Power setting* (kekuatan listrik yang dinyatakan dalam bentuk logaritmik)
AG = *Amplifier Gain* (pada *echosounder CruzPro* bernilai -20.83)
AVG = *Array Voltage Gain* ($20 \log$ (jumlah receiver))

Untuk memperoleh nilai *scattering volume* ikan, maka TVG ditambahkan dengan hasil logaritmik dari luasan area reverberasi. Luasan area reverberasi diperoleh berdasarkan persamaan Desamparados & Torres (2010), yaitu:

$$V = 10 \log (\pi(D \tan \Phi)^2)$$

Keterangan:

- V = Logaritma luasan area reverberasi
 π = 3.14
 Φ = nilai setengah sudut bukaan *beam* ($\frac{1}{2} \theta$)

Nilai *scattering volume* diperoleh dengan menggabungkan persamaan yang secara matematis menjadi:

$$SV = 20 \log (\text{counts}) - SL - RS + PS + TVG + \theta + V$$

Keterangan:

- SV = *Scattering volume*
Counts = Nilai analog akuisisi *echosounder CruzPro* (0-255)
SL = *Source level* (frekuensi 200 kHz bernilai 222 dB re 1 μ Pa pada jarak 1 m)
RS = *Receiving sensitivity* (pada frekuensi 200 kHz bernilai -185)
PS = *Power Setting* (kekuatan listrik yang dinyatakan dalam bentuk logaritmik)
TVG = *Time Varied Gain*
 θ = Sudut bukaan *beam* (rad)
V = Logaritma luasan area reverberasi

Hasil olahan data dari perangkat lunak Matlab kemudian dimasukkan ke dalam perangkat lunak *Microsoft Excel*. Nilai tersebut kemudian dirata-ratakan dan dibuat dalam bentuk grafik yang menggambarkan nilai SV pada beberapa densitas ikan yang diberikan. Hubungan jumlah ikan dengan SV diperoleh dari nilai regresi linear sederhana antara pertambahan jumlah ikan dengan rata-rata SV.

Akustik Pasif

Perekaman suara yang diproduksi kawanan ikan dilakukan dengan cara menyambungkan *hydrophone* ke komputer melalui *sound card* lalu sensornya dinyalakan dan dicelup ke kolom air sedalam 0.4 m untuk kemudian melakukan perekaman (Gambar 3).

Data akustik pasif yang direkam memiliki tipe data *wav* dengan *sampling rate* 44100 Hz. Data suara ditransformasi secara *Fourier* (*Fast Fourier Transform*, FFT) dan diperhalus (*smoothing*) menggunakan *Hamming Window Function* pada program *Wavelab 6*. FFT merupakan algoritma untuk mentransformasi data dari domain waktu ke domain frekuensi, artinya proses perekaman suara disimpan dalam bentuk digital berupa gelombang spektrum suara yang berbasis frekuensi sehingga lebih mudah menganalisis spektrum frekuensi suara yang telah direkam. Secara matematis, persamaan FFT dijabarkan oleh Tan (2008) dalam Persamaan.

$$X(m) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j(\frac{2\pi}{N})mn}$$

Keterangan:

- n = indeks sinyal dalam domain waktu = 0, 1, ..., N-1,
- m = indeks sinyal dalam domain frekuensi = 0, 1, ..., N-1,
- $e^{-j(2\pi/N)mn}$ = konstanta dari nilai sebuah sinyal

Window function atau fungsi jendela merupakan fungsi matematis yang menjadikan nilai nol beberapa interval yang tidak dipilih/diinginkan untuk dianalisis. Persamaan untuk *Hamming Window* oleh Poularikas (1999) yaitu:

$$W_{ham}(n) = 0.54 \pm 0.46 \cos\left(\frac{n\pi}{N}\right); \text{ dengan } -N \leq n \leq N$$

Keterangan:

- N = jumlah sampel

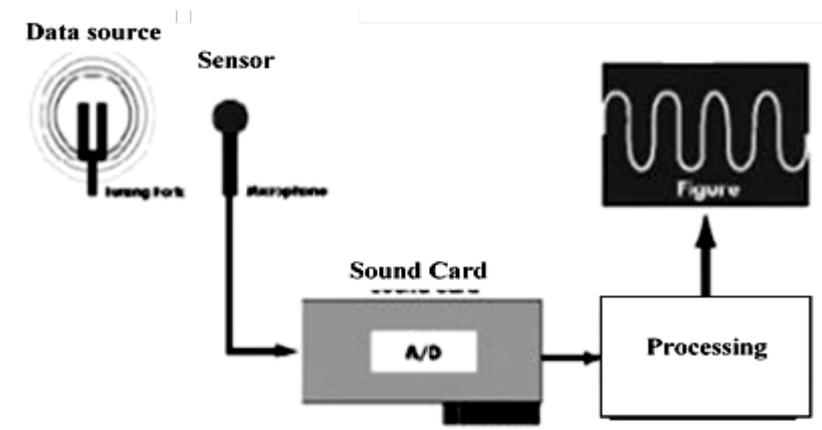
Data FFT kemudian diekspor ke dalam bentuk ASCII agar diperoleh nilai energinya (voltase) berdasarkan frekuensi. Untuk menghasilkan nilai intensitas suara dalam *decibel* (dB), voltase dilogartmakan dengan persamaan berikut:

$$I = 10 \times \log V$$

Keterangan:

- I = intensitas suara (*decibel*, dB)
- V = energi (Volt)

Nilai intensitas suara pada masing-masing jumlah ikan dibuat dalam bentuk grafik berdasarkan frekuensinya di program *Microsoft Excel*. Frekuensi tersebut dikelompokkan menjadi 22 kelas dengan lebar frekuensi 1000 Hz. Hubungan antara jumlah ikan dengan intensitas suaranya diperoleh dari nilai koefisien determinasi (R²) antara pertambahan jumlah ikan dengan peningkatan intensitas suaranya.



Gambar 3. Prinsip kerja *hydrophone*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ikan nila banyak dijadikan sebagai obyek penelitian baik dari segi ekologi, budidaya, serta akustik yang berhubungan dengan tingkah laku. Diketahui pula bahwa ikan nila merupakan peliharaan yang populer di kolam-kolam budidaya air tawar khususnya di Indonesia karena memiliki kemampuan adaptasi yang bagus, pertumbuhan yang cepat serta tahan terhadap serangan penyakit (Kordik, 2010).

Hubungan jumlah ikan dengan *scattering volume*

Hasil pengukuran SV pada ikan nila menunjukkan hubungan yang cenderung

linear dengan pertambahan jumlah ikan, dengan koefisien determinasi (R²) mencapai 0.6583. Rata-rata SV pada ikan berjumlah 50, 100 dan 150 individu dan standar deviasinya secara berturut-turut adalah -45.898 dB (±0.033), -45.887 dB (±0.055) dan -45.888 dB (±0.06). Grafik yang menunjukkan hubungan antara nilai hambur balik volume ikan nila pada setiap jumlah ikan disajikan pada Gambar 4.

Dalam studi akustik perikanan dengan metode akustik aktif khususnya pada kawanan ikan dalam kondisi terkontrol dikenal adanya prinsip linearitas. Secara sederhana, prinsip linearitas ini diartikan bahwa *echo* atau pantulan suara yang dihasilkan akan selalu linear dengan penambahan jumlah ikan yang dideteksi

(Simmonds & MacLennan, 2005). Namun menurut Røttingen (1976) yang bereksperimen dengan ikan dalam kurungan, hubungan linearitas ini akan proporsional sampai pada batas tertentu saja, dan setelahnya akan menjadi tidak linear. Foote (1978) kemudian menambahkan bahwa hal ini dapat terjadi karena adanya efek *shadowing*.

Efek *shadowing* dapat diartikan bahwa pada ikan dengan kepadatan tinggi sinyal akustik yang mengenai kawanan tersebut seluruhnya dipantulkan sebelum memasuki keseluruhan kawanan, sehingga hanya ikan pada lapisan terluar yang memproduksi *echo*. Hal inilah yang menyebabkan bias pada estimasi densitas ikan dengan akustik. Selanjutnya Foote (1983) juga menjelaskan bahwa *shadowing* dapat diartikan sebagai atenuasi (penyerapan) energi akustik dari ikan yang lebih dekat pada *transducer* sehingga ikan yang lebih jauh jaraknya memberi kontribusi yang lebih kecil terhadap sinyal akustik yang diterima.

Berdasarkan data yang diperoleh, terdapat penurunan nilai SV pada ikan berjumlah 150 individu, diduga hal ini dapat terjadi karena adanya efek *shadowing*. Selain disebabkan kepadatan kawanan ikan yang tinggi, efek *shadowing* juga dapat dipengaruhi oleh ukuran ikan. Røttingen (1976) membandingkan *echo* yang dipantulkan ikan yang berukuran kecil (panjang 12 cm) dan besar (panjang 35 cm) dan menemukan bahwa *shadowing* dapat terjadi pada kepadatan ikan yang tinggi dengan ukuran yang lebih kecil. Ukuran ikan yang digunakan pada penelitian ini masuk dalam kategori ikan kecil yang panjangnya berkisar 10-13 cm, sehingga penurunan nilai SV pada ikan berjumlah 150 individu dapat disebabkan oleh efek *shadowing*.

Hubungan jumlah ikan dengan intensitas suara

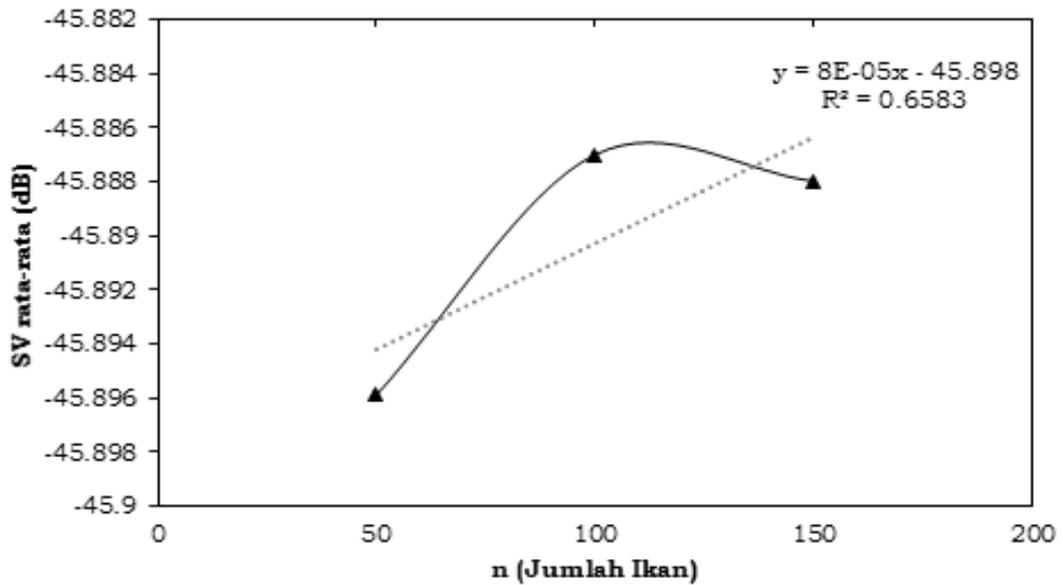
Pada penelitian ini suara ikan yang dianalisis tidak dibedakan terlebih dahulu menurut karakteristiknya. Semua jenis suara yang dapat dideteksi oleh *hydrophone*

dianalisis untuk menghasilkan informasi total intensitas suara yang dihasilkan oleh masing-masing jumlah ikan. Grafik intensitas suara dan frekuensi tersaji pada Gambar 5.

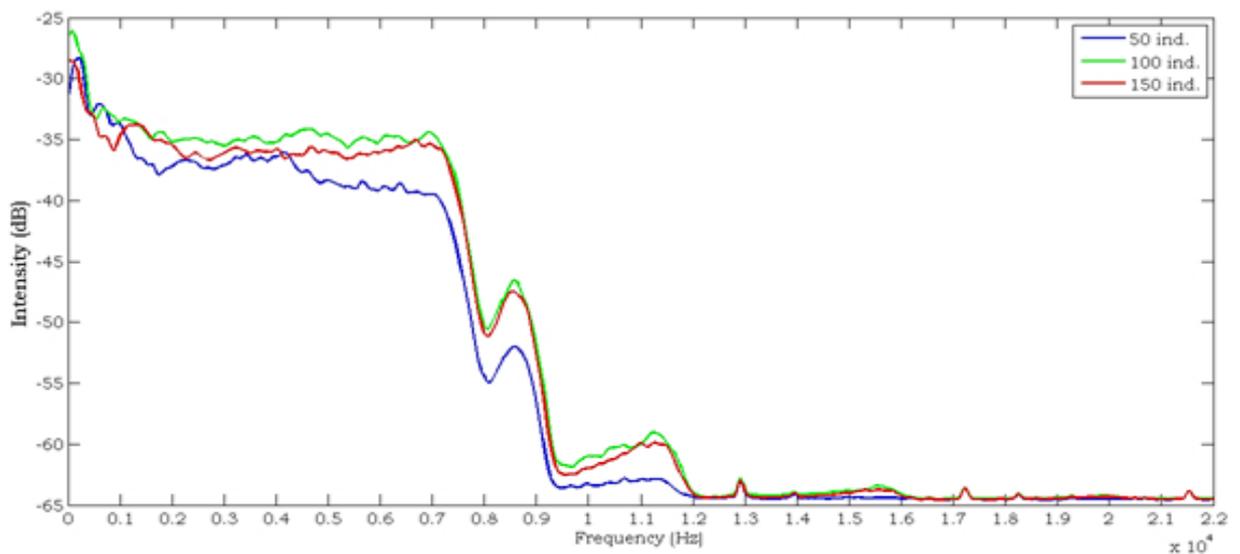
Secara keseluruhan, intensitas suara tertinggi pada kawanan ikan berjumlah 50 individu adalah sebesar -28.306 dB, sedangkan intensitas terendahnya -64.582 dB. Pada ikan berjumlah 100 individu, intensitas suara tertinggi adalah -26.0793 dB dan intensitas suara terendahnya -64.5296 dB. Pada ikan berjumlah 150 individu, intensitas suara tertinggi yang diperoleh adalah -28.5246 dB sedangkan terendahnya -64.5679 dB.

Untuk memperoleh hubungan jumlah ikan dengan intensitas suaranya maka nilai intensitas perlu dirata-ratakan berdasarkan pengelasan frekuensi. Rata-rata intensitas suara ikan nila berdasarkan kelas frekuensinya dapat dilihat pada Tabel 2.

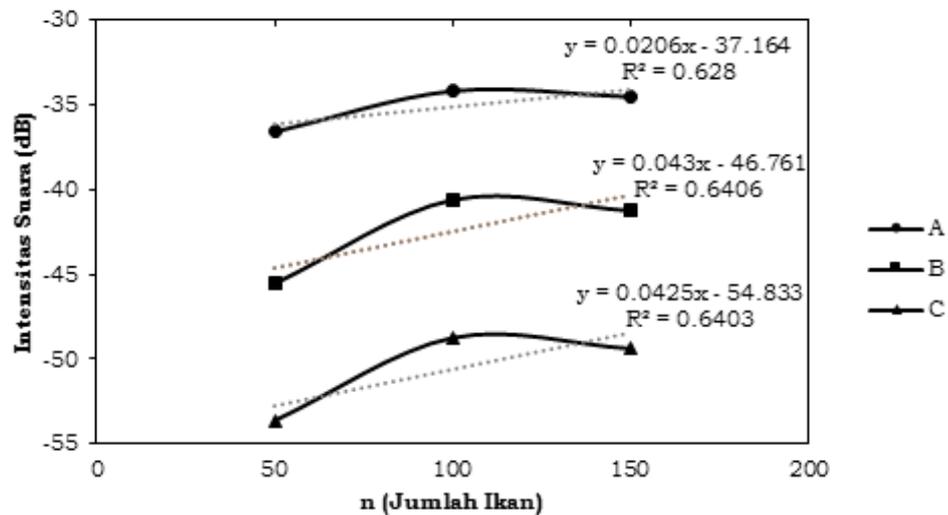
Berdasarkan pada Tabel 2, terdapat tiga kelas frekuensi yang memiliki nilai intensitas suara yang cenderung linear dengan pertambahan jumlah ikannya (tercetak tebal). Pada kelas frekuensi 1001-2000 Hz, intensitas suara ikan 50, 100 dan 150 individu secara berturut-turut adalah -36.5911 dB, -34.1864 dB dan -34.5297 dB dengan nilai koefisien determinasi (R^2) yang menunjukkan hubungan linear sebesar 0.628. Pada kelas frekuensi 7001-8000 Hz, diperoleh intensitas suara untuk 50 individu ikan sebesar -45.5428 dB, 100 individu sebesar -40.6067 dB dan 150 individu sebesar -41.2453 dB, dengan nilai R^2 sebesar 0.6406. Pada kelas frekuensi 8001-9000 Hz, intensitas suara 50 individu ikan sebesar -53.6276 dB, 100 individu ikan sebesar -48.7421 dB dan 150 individu sebesar -49.3761 dB, dengan nilai R^2 sebesar 0.6403. Grafik yang menunjukkan hubungan linear antara jumlah ikan dengan intensitas suaranya pada kelas frekuensi 1001-2000 Hz, 7001-8000 Hz, 8001-9000 Hz dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 4. Hubungan jumlah ikan dengan nilai rata-rata *scattering volume*



Gambar 5. Sebaran intensitas suara ikan dan frekuensinya



Gambar 6. Hubungan jumlah ikan dengan nilai intensitas suara (dB). Kelas frekuensi (Hz): (A) 1001-2000, (B) 7001-8000, (C) 8001-9000

Tabel 2. Rata-rata intensitas suara ikan berdasarkan kelas frekuensi

Kelas Frekuensi (Hz)	Rata-rata Intensitas Suara (dB)		
	50 ind.	100 ind.	150 ind.
0-1000	-31.7126	-30.8126	-32.7944
1001-2000	-36.5911	-34.1864	-34.5297
2001-3000	-37.0806	-35.1351	-36.3261
3001-4000	-36.6283	-35.1217	-35.9335
4001-5000	-37.4132	-34.5369	-36.0961
5001-6000	-38.8518	-35.1215	-36.372
6001-7000	-39.186	-34.8649	-35.5659
7001-8000	-45.5418	-40.6067	-41.2453
8001-9000	-53.6276	-48.7421	-49.3761
9001-10000	-62.6549	-60.0263	-60.8223
10001-11000	-63.1605	-60.4728	-61.099
11001-12000	-63.4078	-60.5888	-61.1022
12001-13000	-64.238	-64.0891	-64.1766
13001-14000	-64.3947	-64.1323	-64.2863
14001-15000	-64.4494	-64.0018	-64.1946
15001-16000	-64.4139	-63.71	-63.8768
16001-17000	-64.518	-64.4277	-64.4917
17001-18000	-64.4212	-64.3603	-64.4164
18001-19000	-64.5022	-64.4052	-64.4501
19001-20000	-64.5058	-64.3156	-64.3685
20001-21000	-64.5083	-64.4142	-64.433
21001-22000	-64.459	-64.406	-64.4348

KESIMPULAN

Metode akustik aktif dan pasif memiliki proporsionalitas dengan densitas ikan, sehingga kedua metode tersebut dapat digunakan untuk mengetahui densitas ikan. Semakin banyak jumlah individu maka semakin tinggi nilai *scattering* volume dan intensitas suara yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amorim MCP, Fonseca PJ, Almada VC. 2003. Sound Production during Courtship and Spawning of *Oreochromis mossambicus*: male-female and male-male interactions. *Journal of Fish Biology*. 62:658-672.
- Amorim MCP, Stratoudakis Y, Hawkins AD. 2004. Sound Production during Competitive Feeding in the Grey Gurnard. *J Fish Biol*. 65:182-194.
- Amorim MCP. 2006. Diversity of Sound Production in Fish. Di dalam: Ladich F, Collin SP, Moller P, Kapoor BG, editor. *Communication in Fishes Vol 1*. Science Publishers, Enfield. 77-104.
- Del Grosso VA, Mader CW. 1972. Speed of sound in pure water. *J. Acoustics Society of America*. 52:1442-6.
- Desamparados M, Torres M. 2010. *Theoretical and Experimental Studies of Seafloor Backscatter*. Centre for Marine Science and Technology, Curtin University of Technology, Perth, Australia.
- Fauziyah, Hartoni, Agussalim A. 2010. Karakteristik Shoaling Ikan Pelagis Menggunakan Data Akustik Split Beam di Perairan Selat Bangka pada Musim Timur. *J Ilmu Kelautan*. 15(1):17-22. ISSN 0853-7291.
- Fine ML, Winn HE, Olla BL. 1977. Communication in fishes. In: How Animals Communicate (ed. T.A. Sebeok):472-518. Bloomington: Indiana University Press.
- Fish MP, Kelsey ASJ, Mowbray WH. 1952. Studies on the Production of Underwater Sound by North Atlantic Coastal Fishes. *J Marine Resources*. 11:180-193.
- Fish MP, Mowbray WH. 1970. *Sounds of Western North Atlantic Fishes*. Baltimore (Maryland): John Hopkins Press.
- Foote KG. 1978. Analyses of empirical observations on the scattering of sound by encaged aggregations of fish.

- FiskDir Skr Ser Havunders. 16:55-422.
- Footo KG. 1983. Linearity of Fisheries Acoustics, with addition theorems. *J Acoustics Society of America*. 73:40-1932
- Francois RE, Garrison GR. 1982. Sound absorption based on ocean measurements. Part II: Boric acid contributions and equation for total absorption. *J Acoustics Society of America*. 72:1879-90.
- Gerlotto F. 1996. Gregariousness and School Behaviour of Pelagic Fish: Impact of the Acoustics Evaluation and Fisheries. Proceeding of Acoustics Seminar Akustikan 2:233-252. ISBN No. 979-8186-64-8.
- Hawkins AD. 1993. *Underwater Sound and Fish Behaviour*. In: Pitcher TJ (ed) Behaviour of Teleost Fishes 2nd edn:129-169. London: Chapman & Hall
- Horne JK. 2000. Acoustic Approaches to Remote Species Identification: a review. *Fisheries Oceanography*. 9, 356-71.
- Johanesson KA, Mitson RB. 1983. Fisheries acoustics: a practical manual for biomass estimation. FAO Fisheries Technical Paper 240.
- Johnston CE, Phillips CT. 2003. Sound Production in Sturgeon, *Scaphirhynchus albus* and *S. Platyrhynchus* (*Acipenseridae*). *Environmental Biology of Fishes*. 68:59-64.
- Johnston CE, Vives SP. 2003. Sound Production in Codoma Ornata (*Girard*) (*Cyprinidae*). *Environmental Biology of Fishes*. 68:81-85.
- Juanes F. 2002. Listening to Fish: an International Workshop on the Application of Passive Acoustics in Fisheries. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*. 12:105-106.
- Kaatz IM. 2002. Multiple Sound Producing Mechanism in Teleost Fishes and Hypotheses Regarding Their Behavioural Significance. *Bioacoustics*. 12:230-233.
- Kordik K. 2010. *Budidaya Ikan Nila di Kolam Terpal*. Yogyakarta (ID): Lily Publisher.
- Longrie N, Fine ML, Parmentier E. 2008. Innate Sound Production in the Cichlid *Oreochromis niloticus*. *J Zoology*. 275:413-417. doi:10.1111/j.1469-7998.2008.00457.x.
- Longrie N, Poncin P, Denoël M, Genotte V, Delcourt J, Parmentier E. 2013. Behaviours Associated with Acoustic Communication in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*). *PLoS ONE*. 8(4): e61467. doi:10.1371/journal.pone.0061467.
- Longrie N, Van Wassenbergh S, Vandewalle P, Mauguit Q, Parmentier E. 2009. Potential Mechanism of Sound Production in *Oreochromis niloticus* (Cichlidae). *J Exp Biol*. 212:3395-3402. doi:10.1242/jeb.032946.
- Luczkovich JJ, Mann DA, Rountree RA. 2008. Passive Acoustics as a Tool in Fisheries Science. *Transactions of the American Fisheries Society*. 137:533-541.
- Lurton X. 2002. *An Introduction to Underwater Acoustics: Principles and Applications*. Chichester: Praxis Publishing.
- Ma'mun A, Manik HM, Hestirianoto T. 2013. Rancang Bangun Algoritma dan Aplikasinya pada Akustik Single Beam untuk Pendeteksian Bawah Air. *Jurnal Teknologi Perikanan*. 4(2):173-183. ISSN 2087-4871.
- Marques TA, Thomas L, Martin SW, Mellinger DK, Ward JA, Moretti DJ, Harris D, Tyack PL. 2013. Estimating Animal Population Density using Passive Acoustics. *Biol Rev*. 88(2013):287-309.
- Poularikas AD. 1999. *Windows: The Handbook of Formulas and Tables for Signal Processing*. Boca Raton: CRC Press LLC
- Pujiyati S, Suwarso, Pasaribu BP, Jaya I, Manurung D. 2008. Pendekatan Metode Hidroakustik untuk Eksplorasi Sumberdaya Ikan Demersal di Perairan Utara Jawa Tengah. *Ichthyos*. 7(1):15-20.
- Pujiyati S, Wijopriono, Mahiswara, Pasaribu BP, Jaya I, Manurung D. 2007. Estimasi Hambur Balik Dasar Perairan dan Sumberdaya Ikan Demersal Menggunakan Metode Hidroakustik. *J Lit Perikanan Ind*. 13(2):145-155.
- Röttingen I. 1976. On the relation between echo intensity and fish density. *FiskDir Skr Ser Havunders*. 16 (9):14-301.
- Rountree RA, Gilmore RG, Goudey CA, Hawkins AD, Luczkovich JJ, Mann DA. 2006. Listening to Fish: Applications of Passive Acoustics to Fisheries Science. *Fisheries*. 31(9):433-446.
- Rountree RA, Goudey C, Hawkins T, Luczkovich J, Mann D. 2003a. Listening to Fish: Passive Acoustic Applications in Marine Fisheries [Internet]. Sea Grant Digital Oceans. Massachusetts Institute of Technology

- Sea Grant College Program. MITSG 0301. Tersedia pada: <http://web.mit.edu/seagrant/aqua/cfer/acoustics/PD9x9FINAL.pdf>
- Rountree RA, Goudey C, Hawkins T. 2003b. Listening to Fish: Proceeding of the International Workshop on the Applications of Passive Acoustic to Fisheries [Internet]. 2002 Apr 8-10; Dedham (MA): MIT Sea Grant Technical Report MITSG 0302. Tersedia pada: <http://web.mit.edu/seagrant/aqua/cfer/acoustics/PAProcBrFINAL.pdf>
- Simmonds J, MacLennan D. 2005. *Fisheries Acoustics: Theory and Practice 2nd Edition*. Blackwell Science Ltd.
- Sunardi, Din J, Yudhana A, Hassan RBR. 2009. Target Strength for Fish Identification Using Echosounder. *Applied Physics Research*. 1(2):92-101.
- Tan L. 2008. *Digital Signal Processing: Fundamentals and Applications*. USA: Academic Press, Elsevier.
- Wijopriono dan Genisa AS. 2003. Densitas Akustik Sumberdaya Ikan Pelagis di Selat Sunda. Di dalam Ruyitno, Pramudji, Supangat I, Sunarto, editor. *Pesisir dan Pantai Indonesia IX*. Pusat Penelitian Oseanografi LIPI, Jakarta. Hlm 69-73.