



Orasi Ilmiah Guru Besar IPB

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

1. Diarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Diarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Penginderaan Jauh Sumberdaya dan Dinamika Laut dengan Teknologi Akustik untuk Pembangunan Benua Maritim Indonesia

Prof. Dr. Ir. Indra Jaya, M.Sc.

**Guru Besar Tetap Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan
Institut Pertanian Bogor**

Auditorium Sumardi Sastrakusumah
FPIK - INSTITUT PERTANIAN BOGOR

19 November 2011



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

ORASI ILMIAH GURU BESAR DALAM RANGKA DIES NATALIS IPB KE-48

Penginderaan Jauh Sumberdaya dan Dinamika Laut dengan Teknologi Akustik untuk Pembangunan Benua Maritim Indonesia

**ORASI ILMIAH
Guru Besar Tetap
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan**

Prof. Dr. Ir. Indra Jaya, M.Sc.

**Auditorium Sumardi Sastrakusumah
FPIK - Institut Pertanian Bogor
19 November 2011**



Ucapan Selamat Datang

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Rektor IPB

dan Anggota Dewan Guru Besar IPB

dan Anggota Senat Akademik IPB

Wakil Rektor, Dekan, dan Pejabat Struktural di lingkungan

Rektor-rekan Staf Pengajar, Tenaga Akademik, Alumni, Mahasiswa,

dan Karyawan IPB

Ketua dan hadirin sekalian yang saya muliakan

Assalamualaikum wr wb., selamat pagi dan salam sejahtera bagi kita semua.

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat

dan karunia-Nya yang dilimpahkan kepada kita semua sehingga kita

dapat berkumpul pada acara Orasi Ilmiah dalam rangka Dies Natalis

IPB ke-48. Dalam suasana yang penuh khidmat ini perkenankan

saya sebagai Guru Besar Tetap pada Fakultas Perikanan dan Ilmu

Kelautan IPB menyampaikan Orasi Ilmiah yang berjudul:

**Penginderaan Jauh Sumberdaya dan Dinamika Laut dengan
Teknologi Akustik untuk Pembangunan Benua Maritim
Indonesia.**

Topik orasi ini merupakan wujud kecintaan saya pada disiplin ilmu akustik kelautan yang saya tekuni selama ini dan perhatian saya terhadap perkembangan pembangunan benua maritim Indonesia. Harapan saya materi orasi ini dapat memperkaya perspektif kita



Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

- adalah pengembangan dan aplikasi ilmu akustik kelautan di Indonesia dan dapat memberi manfaat bagi kemajuan pembangunan maritim Indonesia. Kami menyampaikan terima kasih atas kehadiran Bapak/Ibu/Saudara pada acara Orasi Ilmiah hari ini.
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Prof. Dr. Ir. Indra Jaya, M.Sc.



DAFTAR ISI

1. Kata Pengantar	iii
2. Ucapan Selamat Datang	iii
3. Perkenalan Orator	v
4. Daftar Isi	vii
5. Pendahuluan	1
Kompleksitas dan Dinamika Bawah Air	1
Gelombang Suara dan Instrumen Akustik	2
Aplikasi Teknologi Akustik Bawah Air	3
6. Penggunaan Sonar	6
Bathymetry, Sedimen Dasar Laut, Terumbu Karang, dan Vegetasi Bawah Air	9
Kontur Dasar Laut	10
Identifikasi dan Klasifikasi Sedimen Dasar Laut	12
Pengelompokan Bentuk Pertumbuhan Terumbu Karang	13
Deteksi dan Diskriminasi Vegetasi Bawah Air	14
7. Plankton dan Ikan	17
Lapisan Penghambur Laut Dalam dan Migrasi Vertikal Plankton	17
Deteksi Posisi Ikan Tunggal dan Lapisan Renang	19
Identifikasi dan Klasifikasi Jenis Kawanan Ikan	20
Estimasi Kepadatan dan Sebaran Ikan	21

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber.
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang menyalin sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang
© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University

Arus Laut, Paras Laut, dan Gelombang Permukaan Laut	24
Arus dan Profil Arus, Transportasi Massa Air pada Lintasan ARLINDO	25
© Penentuan Elevasi Paras Laut dan Pasang Surut	27
Estimasi Spektrum Gelombang Permukaan Laut.....	28
Kesimpulan dan Saran	29
Kesimpulan	29
Saran	30
Referensi	31
Ucapan Terima Kasih	37
Foto Keluarga Orator	41
Riwayat Hidup	43



Pendahuluan

1. Dilarang menyalin atau menjiplak isi buku ini untuk kepentingan komersial atau untuk tujuan lain yang melanggar hukum.
a. Pengutipan yang tidak untuk tujuan komersial atau untuk tujuan lain yang melanggar hukum, wajib mencantumkan sumber.
b. Pengutipan untuk tujuan komersial atau untuk tujuan lain yang melanggar hukum, wajib mencantumkan sumber dan membayar royalti kepada penerbit.
2. Dilarang menyalin atau menjiplak isi buku ini untuk kepentingan komersial atau untuk tujuan lain yang melanggar hukum.

Kita ini sering disebut sebagai planet air karena air menjadi tema bumi, sekitar 70% permukaan bumi ditutupi air, dan daratan. Dengan komposisi yang relatif sama, Indonesia dikatakan sebagai miniatur bumi. Begitu dominannya laut dalam konstalasi geografi Indonesia sehingga bentang kepulauan Indonesia yang luas ini merupakan sebuah benua maritim.

dan proses apa saja yang ada di bawah laut benua maritim Indonesia, pada kedalaman berapa dan berapa banyak serta bagaimana kondisinya dari waktu ke waktu dan dari satu relung laut ke relung laut lainnya, masih sangat minim diketahui dan dipahami. Dalam naskah yang singkat ini diuraikan status terkini teknologi akustik bawah air, teknologi yang memanfaatkan gelombang suara untuk eksplorasi sumberdaya dan lingkungan laut, termasuk untuk mengamati dan mengkaji objek dan dinamika bawah air. Beberapa ilustrasi hasil riset yang telah dilakukan, tantangan serta arah pengembangan dan pemanfaatan teknologi akustik bawah air di Indonesia ke depan juga diuraikan dalam naskah ini.

Kompleksitas dan Dinamika Bawah Air

Kompleksitas objek dan proses dinamik yang berlangsung di bawah laut ditemui baik dalam kolom air maupun dasar perairan. Dalam kolom air, ada beragam ukuran biota laut, mulai dari skala ultraplankton (<2 mikron), nanoplankton, mikrop plankton, megaplankton, nekton terkecil sampai ke nekton terbesar, seperti hiu dan paus (Clay dan Medwin 1977). Biota ini ada yang hidup bergerombol dan membentuk agregasi yang tidak merata dalam kolom air. Kemudian, dalam kolom air dapat terbentuk turbulen berukuran mikro dan makro, arus, gelombang internal, dan pusaran

(eddies). Di dasar perairan, ada permukaan dasar perairan yang rata, berbukit, bergunung (gunung bawah air), dan ada yang berjurang dalam dan sangat dalam. Kondisi bawah laut ini semakin kompleks dan dinamik dengan meningkatnya tekanan hidrostatik, sekitar 1 meter, yang memengaruhi geometri objek, kondisi fisik, biologi, serta proses dan mekanisme dalam air.

Manajemen (variabilitas) parameter fisik maupun biologi dalam air dapat diukur. Secara keruangan (*spatial*), parameter fisik tersebut dapat diukur dalam ukuran milimeter, seperti proses molekuler yang terjadi dalam kolom air sampai ke puluhan kilometer seperti pasang surut pasang surut. Secara temporal, dinamika yang terjadi di bawah air dapat diukur dalam hitungan detik seperti pergerakan individu organisme seperti migrasi plankton, dan tahunan seperti siklus reproduksi (Dickey 1993).

Untuk mengukur kompleksitas dan dinamika bawah air ini dapat diukur dengan berbagai cara, antara lain dengan teknologi akustik.

Gelombang Suara dan Instrumen Akustik

Gelombang suara merambat sangat baik dalam medium air. Dalam air laut yang bersifat konduktif dan keruh, kebanyakan gelombang elektromagnetik (gelombang cahaya dan radio) akan berkurang energinya (teratenuasi) dengan cepat dalam jarak beberapa ratus bahkan puluhan meter saja. Penetrasi cahaya praktis hanya dapat mencapai beberapa puluh meter di bawah lapisan permukaan, sementara gelombang suara dapat mencapai dasar laut dengan kedalaman ribuan meter dan dapat merambat puluhan ribu meter melintasi samudra luas.

Instrumen akustik mulai dikembangkan pada akhir abad ke-19 dan menjadi instrumen yang handal dalam bentuk *echo-sounder* sekitar



1925. Perkembangan yang nyata dicapai selama Perang Dunia II, terutama dipicu oleh perang bawah air (kapal selam) (Lasky 1977). Selain itu, dengan perkembangan elektronika dan pemrosesan sinyal, berbagai varian instrumen akustik telah dikembangkan untuk berbagai aplikasi.

Instrumen akustik dilengkapi dengan transduser, piranti yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dan sebaliknya, sehingga dapat memancarkan dan menerima suara. Instrumen akustik berkembang seiring dengan perkembangan ilmu bahan, yang menghasilkan transduser berkualitas. Pada awalnya transduser dibuat dari bahan kuartz elektrostrikatif kemudian digantikan oleh magnetostrikatif yang berbahan dasar nikel, dan akhirnya berbahan piezoelektrik (PZT) (Urick 1983). Selanjutnya, transduser berberkas gelombang suara tunggal (*single-beam*) berkembang menjadi *dual-beam* dan akhirnya *split-beam*; dari frekuensi tunggal menjadi frekuensi ganda (*multi-frequency*). Untuk meningkatkan ketajaman (sensitivitas) deteksi transduser, dikembangkan sistem untaian (*array*) yang merajut rangkaian transduser tunggal menjadi satu kesatuan dan kemudian diikuti dengan pengembangan teknologi pembentukan berkas gelombang (*beamforming*) (Nielsen 1991). Derivasi pula dari sisi pemindaian (*scanning*), telah dikembangkan *side scan sonar*. Gabungan dari frekuensi berganda dan sistem *side scan* ini melahirkan sistem berkas gelombang suara berganda (*multibeam system*) yang sangat tajam mendeteksi kontur dasar perairan (Kongsberg 2011).

Aplikasi Teknologi Akustik Bawah Air

Sebagaimana dikemukakan sebelumnya, suara merambat sangat baik dalam air. Sifat fisik suara ini dimanfaatkan oleh manusia maupun oleh biota laut untuk berbagai keperluan, antara lain untuk

pengukuran kedalaman laut (*bathymetry*), identifikasi dan klasifikasi sedimen dasar laut, pemetaan terumbu karang dan vegetasi bawah air, pemantauan migrasi vertikal plankton, identifikasi jenis kawanan ikan, estimasi densitas dan biomassa stok ikan, pengukuran arus, tinggi paras laut, dan estimasi spektrum gelombang permukaan. Aplikasi teknologi akustik tersebut akan diuraikan lebih rinci pada bagian selanjutnya dari naskah ini. Aplikasi lain yang tidak diuraikan dalam tulisan ini, antara lain adalah pencitraan bawah air dengan *side scan sonar* (Hayes dan Gough 2004). Aplikasi teknologi *side scan sonar* digunakan untuk mencari ranjau dalam operasi militer, khususnya dalam perang bawah air. Adapun untuk aplikasi sipil (nonmilitir), antara lain pencarian bangkai kapal tenggelam, arkeologi bawah air, pemantauan pipa bawah air, penemuan kotak hitam dan survei dasar laut yang luas seperti paparan benua. Perkembangan terkini dari teknologi *side scan sonar* adalah teknologi *synthetic aperture sonar* yang memanfaatkan teknik *synthetic array* sehingga ketajaman (resolusi) pencitraan dapat meningkat secara nyata (Makris 2011).

Teknologi akustik juga digunakan untuk penentuan posisi dan navigasi bagi wahana bawah air, seperti kapal selam, *autonomous underwater vehicle* (AUV), dan bagi penyelam. Posisi ditentukan dengan mengacu pada stasiun basis yang memancarkan pulsa akustik (*ping*), di mana pulsa ini mengaktifkan transponder dan setelah beberapa saat akan merepons dengan *ping* lainnya, biasanya dengan frekuensi yang berbeda, yang kemudian diterima di stasiun basis. Jarak antara stasiun basis ke transponder dapat ditentukan dengan selisih waktu pemancaran dan penerimaan dengan mengetahui atau mengasumsikan kecepatan suara dalam air. Apabila transponder ditempatkan pada dua atau lebih posisi maka posisi dalam ruang 3-dimensi dapat ditentukan dengan metode triangulasi. Tentunya



semakin banyak transponder yang digunakan semakin akurat posisi yang diperoleh. Perkembangan terkini penentuan posisi bawah air lain meliputi pemanfaatan *Long Base Line System* (LBL) serta GPS dan sistem navigasi inersia untuk meminimalkan jumlah transponder yang digunakan (Larsen 2000).

Diketahui bahwa suara merambat sangat baik dalam medium air dan kombinasi pengaruh suhu dan tekanan terhadap kecepatan dalam air, sehingga membentuk saluran suara (*acoustic waveguide*). Saluran suara ini dimanfaatkan dengan baik oleh selam, paus dan mamalia laut lainnya untuk berkomunikasi jauh, ribuan kilometer, dengan efektif (Abileah, *et al.* 1996). Selain itu, sifat suara ini dapat dimanfaatkan dalam komunikasi antara peralatan observasi laut (modem bawah air), misalnya untuk penentuan deteksi dini tsunami, yakni antara seismometer yang dipasang di dasar perairan pada kedalaman ratusan bahkan ribuan meter dengan pelampung permukaan, atau sebaliknya. Modem suara bawah air telah berkembang baik dengan laju pengiriman data tertinggi dapat mencapai 38.400 baud (LinkQuest 2011).

Penindaan (*scanning*) suhu laut dengan teknik tomografi akustik merupakan salah satu pengembangan dan aplikasi terkini teknologi akustik dalam ruang lingkup kajian berskala global. Seperti yang diketahui, kecepatan perambatan suara merupakan fungsi dari suhu, semakin tinggi suhu, semakin cepat suara merambat dan demikian sebaliknya. Dengan demikian, apabila terjadi perubahan waktu perambatan suara dari satu tempat ke tempat lainnya, maka itu berarti terjadi perubahan suhu rata-rata sepanjang lintasan perambatan suara tersebut. Jika suara yang dipancarkan dari posisi A ke posisi B misalnya tiba lebih cepat dari biasanya, suhu rata-rata sepanjang lintasan suara dari A ke B tersebut lebih hangat daripada biasanya. Sebaliknya, apabila suara yang dipancarkan tersebut tibanya



lebih lambat dari biasanya maka suhu rata-rata sepanjang lintasan suara tersebut lebih dingin dari biasanya. Dengan demikian, apabila akan beberapa pemancar dan penerima suara yang berjarak maka volume lingkungan laut yang dilintasi gelombang suara dipindai teknik tomografi (Munk, Worcester, dan Wunsch 1999). Hubungan antara kecepatan suara dan suhu ini telah dimanfaatkan untuk mengukur suhu tubuh laut pada skala besar dalam program ATOC (*Acoustic Thermometry of Ocean Climate*) satu dekade 1996–2006 di perairan Timur Laut Samudera Pasifik (Dustaw, *et al.* 2009).

Persamaan Sonar

Suara terbentuk dari gerakan molekul suatu bahan elastik. Oleh karena bahan tersebut elastik, maka gerak partikel dari bahan sumber suara akan memicu gerak partikel di dekatnya. Gerak partikel sejajar dengan arah perambatan ketika di dalam medium air. Kemudian, karena air bersifat kompresibel, gerak ini menyebabkan perubahan tekanan yang dapat dideteksi oleh hidrofona yang peka terhadap tekanan. Tekanan gelombang suara ini berhubungan dengan kecepatan partikel fluida.

Gelombang suara yang merambat dalam air membawa energi mekanik dalam bentuk energi kinetik dari partikel yang sedang bergerak ditambah dengan energi potensial yang ada dalam medium elastik. Dalam perambatan gelombang suara, sejumlah energi per detik akan mengalir melewati satuan luasan tertentu yang tegak lurus dengan arah perambatan. Jumlah energi per detik yang melintasi satuan luasan tertentu disebut sebagai intensitas gelombang. Umumnya, satuan intensitas suara dinyatakan dalam dB (desibel).



Secara sederhana, sistem deteksi dan pengukuran bawah air melibatkan 3 komponen, yakni medium, target, dan peralatan.

Interaksi antara komponen-komponen ini dapat dirumuskan dalam persamaan yang dikenal sebagai persamaan sonar (Urlick Waite 2005), di mana masing-masing komponen memiliki parameter sendiri (parameter sonar). Persamaan sonar didasarkan kesamaan atau keseimbangan antara bagian-bagian sinyal yang diterima, yang diinginkan (disebut sinyal) dan latar belakang yang tidak diinginkan (disebut derau atau *noise*), untuk fungsi sonar tertentu yang diterapkan. Maksudnya, bagi sonar kapal selam, suara paus atau lobster merupakan derau karena suara ini dapat mengacaukan sistem deteksi kapal selam sehingga tidak diinginkan. Sementara bagi peneliti, perilaku mamalia atau biota laut, seperti suara paus atau lobster adalah suara yang diinginkan (sinyal), bukan derau. Dalam praktiknya, deteksi dan pengukuran bawah air cukup kompleks, rumit, dan bersifat probabilistik.

Seperti dinyatakan di atas, persamaan sonar dibentuk dari interaksi parameter-parameter sonar. Parameter sonar untuk komponen medium adalah kehilangan perambatan energi suara (*transmission loss/TL*), aras reverberasi (*reverberation level/RL*), dan aras derau latar atau lingkungan (*ambient-noise level/NL*); untuk komponen target adalah kekuatan target (*target strength/TS*) dan aras sumber suara (*target source level/SL_t*); dan untuk komponen peralatan adalah aras sumber yang memancarkan suara (*projector source level/SL_p*), aras swa-derau (*self-noise level/NL*), indeks kearahannya (*receiving directivity index/DI*), dan ambang deteksi (*detection threshold/DT*).

Persamaan sonar dapat dikelompokkan menjadi dua, sonar pasif dan sonar aktif. Pada sistem sonar pasif, target itu sendiri yang menghasilkan sinyal yang dideteksi (misalnya suara lumba-lumba,

pasir, atau lobster), dan parameter SL dalam hal ini adalah aras dari derau yang dipancarkan oleh objek. Dalam sistem pasif, parameter kekuatan target menjadi tidak relevan dan parameter kehilangan hambatan suara hanya berlaku satu arah (dari sumber ke penerima) yang dua arah, sehingga persamaan sonarnya adalah $SL - TL - DI + DT_N$, di mana DT_N adalah ambang deteksi untuk

sistem sonar aktif, instrumen akustik memancarkan gelombang pulsa suara. Apabila mengenai target maka suara tersebut akan dipantulkan atau dihamburkan dan diterima oleh instrumen akustik. Untuk kasus monostatik, di mana posisi sumber suara dan penerima suara terletak pada posisi yang sama, gelombang suara yang berasal dari target dikembalikan tepat ke arah posisi sumber suara, persamaan sonarnya adalah $SL - 2 TL + TS = NL - DI + DT$. Sementara untuk kasus bistatik, arah perambatan gelombang suara (kembali dari target) umumnya tidak sama. Kemudian, apabila suara yang datang dari belakang bukan derau melainkan reverberasi maka persamaan sonar perlu dimodifikasi. Suku $NL - DI$ perlu diganti dengan suku reverberasi RL yang diamati pada penerima suara (hidrofon), sehingga persamaan sonarnya menjadi: $SL - 2 TL + TS = RL + DT$. Contoh sistem sonar aktif adalah deteksi ikan/kawanan ikan, plankton, arah dan kecepatan arus, tinggi muka air, atau spektrum gelombang permukaan.

Dalam praktiknya, ada keterbatasan-keterbatasan dalam penggunaan persamaan sonar. Misalnya, untuk sistem sonar yang menggunakan pulsa pendek, diperlukan parameter tambahan, yakni durasi gema. Faktor pembatas lain adalah yang berasal dari sifat alami medium di mana sonar tersebut dioperasikan. Laut adalah medium yang bergerak

yang berisi berbagai ketidakseragaman objek yang dikandungnya. Lintasan perambatan gelombang suara yang terjadi lebih merupakan lintasan ganda (*multi-path*), bukan lintasan tunggal. Akibat dari ini, banyak parameter sonar berfluktuasi secara tidak teratur terhadap waktu. Adanya fluktuasi ini membuat penyelesaian dari persamaan sonar pada dasarnya adalah perkiraan terbaik yang diharapkan berdasarkan rata-rata waktu. Dengan demikian, pada dasarnya persoalan yang dihadapi merupakan persoalan statistik, bukan deterministik. Walaupun demikian, diharapkan dengan semakin baiknya pemahaman dan pengetahuan tentang sonar bawah air serta fluktuasinya akan dapat meningkatkan akurasi dari prediksi persamaan sonar, yang berarti semakin meningkatnya kemampuan untuk mengukur dan mengungkap objek atau proses dalam air.

Bathymetry, Sedimen Dasar Laut, Terumbu Karang, dan Vegetasi Bawah Air

Pemanfaatan sifat suara pertama kali dan sampai saat ini paling banyak digunakan untuk aplikasi bawah air adalah untuk mengukur kedalaman laut. Saat ini, hampir semua kapal bermotor dilengkapi dengan alat pemeruman (*echo-sounder*) untuk memastikan kapal tidak kandas dengan memantau secara terus menerus jarak antara lunas kapal dan dasar perairan. Dengan berkembangnya teknik pemrosesan sinyal, energi suara yang dipancarkan kembali dapat dianalisis untuk mengetahui karakteristik sedimen dasar laut. Demikian pula dengan terumbu karang dan vegetasi bawah air yang melekat atau bagian dari dasar laut, dapat dikuantifikasi.

Kontur Dasar Laut

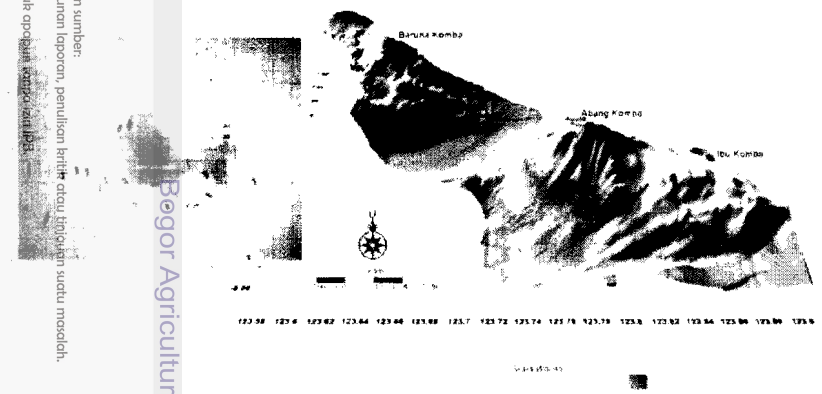


Berdasarkan estimasi tahun 2000 (National Academy of Science) sekitar 99% dasar laut belum terekplorasi. Instrumen akustik untuk eksplorasi dasar laut ini adalah alat pemeruman (*echosounder*). Alat ini merekam waktu tunda, antara waktu pemancaran gelombang suara dengan waktu penerimaan pantulan gelombang suara dari dasar laut yang diterima oleh transduser. Dengan mengetahui atau mengukur kecepatan perambatan gelombang suara dalam air, dapat dihitung kedalaman dari hasil perekaman waktu tunda tersebut.

Walaupun secara prinsipnya pengukuran kedalaman laut ini tampak sederhana, namun dalam praktiknya tidak demikian. Pancaran gelombang suara yang mengenai dasar perairan dari alat pemeruman bertransduser tunggal akan mengenai permukaan dasar laut yang cukup luas. Untuk dasar laut yang berkontur, kasar, atau tidak rata, hal ini dapat menimbulkan kegamangan (*ambiguity*) dalam pengukuran waktu tunda, karena hanya pantulan yang kembali pertama kali yang digunakan dalam perhitungan kedalaman. Untuk mengatasi masalah ini, luas permukaan dasar laut yang dikenai gelombang suara mesti dibuat lebih kecil atau sempit, misalnya dengan menggunakan untaian transduser penerima (*hydrophone array*) yang dapat memusatkan berkas energi suara yang diterima atau meningkatkan kepekaan penerimaan pada arah tertentu. Selanjutnya, jika pada masing-masing elemen dari untaian transduser penerima ini dibuat dapat merekam sendiri-sendiri pantulan gelombang yang diterima, pola kepekaan untaian transduser penerima dapat diubah secara mudah dengan mengganti parameter pengolahan data yang direkam. Dengan kata lain, untaian transduser penerima dapat diarahkan untuk mengamati sudut datang dari berbagai

arah. Teknik inilah yang kini digunakan pada instrumen akustik *Multi Beam Echo Sounder* (MBES), yang merupakan *state of the art* instrumen survei *bathymetry* (Kongsberg 2008). Sebagai ilustrasi, dalam suatu survei *bathymetry*, dengan bantuan MBES, dapat dihasilkan peta 3-dimensi dengan lebar sapuan 5–8 kali kedalaman perairan. Untuk menjangkau berbagai kedalaman laut digunakan frekuensi gelombang suara yang berbeda-beda, misalnya untuk kedalaman hingga 11.000 meter digunakan frekuensi yang relatif rendah yakni 12 kHz, sedangkan untuk perairan dangkal (kurang dari 100 meter) digunakan 100–500 kHz. Akurasi dari pengukuran adalah sekitar 0,5%, atau dalam kisaran sentimeter untuk laut dangkal dan desimeter untuk laut dalam. Contoh hasil kontur dasar laut dan gunung bawah laut dari survei dengan kapal riset Baruna Jaya VIII ditunjukkan pada Gambar 3.1.

Pemetaan Gunung Bawah Laut

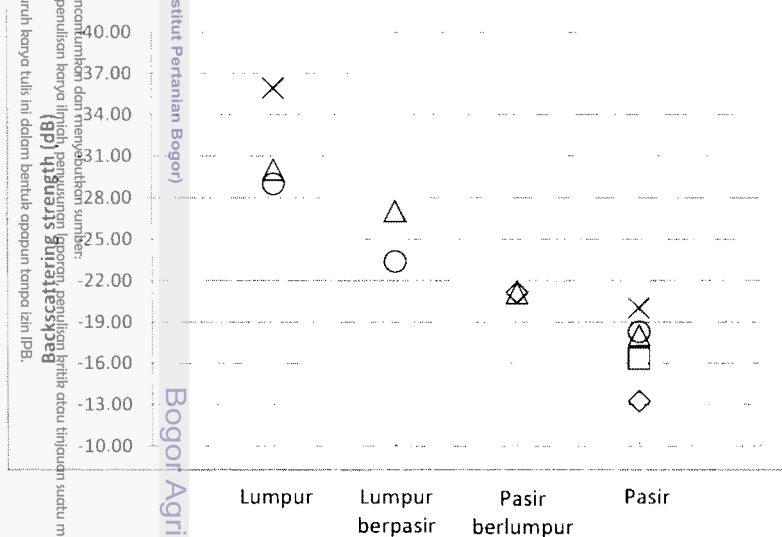


Sumber: RV Baruna Jaya

Gambar 3.1 Contoh hasil survei kontur dasar dan pemetaan gunung bawah air dengan MBES. Survei dilakukan dengan kapal riset Baruna Jaya VIII

Identifikasi dan Klasifikasi Sedimen Dasar Laut

Identifikasi dan klasifikasi sedimen dasar laut sangat penting, tidak hanya untuk keperluan pengkajian mineral dasar laut, tetapi juga karena adanya asosiasi sedimen dasar laut dengan biota laut yang hidup di lingkungan dasar laut, seperti udang, keping, kerang-kerang, dan berbagai jenis ikan demersal. Sewaktu gelombang suara dipancarkan oleh instrumen akustik mengenai dasar laut, sebagian energi gelombang suara tersebut dipantulkan atau diteruskan kembali. Besarnya intensitas pantulan suara dari dasar laut umumnya tergantung pada sudut datang gelombang suara, tingkat kekerasan (*hardness*), tingkat kekasaran (*roughness*) dasar laut, komposisi sedimen dasar laut, dan frekuensi suara yang digunakan.



Gambar 3.2. Nilai kekuatan hambur balik akustik pada tipe substrat pasir, pasir berlumpur, lumpur berpasir dan lumpur [Allo *et al.* 2011]. (berlian) Allo, 2011; (persegi empat) Purnawan 2009; (segitiga) Allo *et al.* 2009; (x) Pujiyati 2009; dan (O) Manik *et al.* 2006.



Akhir-akhir ini, salah satu pemicu perkembangan dan aplikasi teknologi akustik adalah adanya kebutuhan untuk pengelolaan sumber daya laut berbasis ekosistem (Anderson, *et al.* 2008), di mana diperlukan peta klasifikasi sedimen dasar laut. Upaya identifikasi dan klasifikasi sedimen dasar laut dengan memetakan energi hamburan akustik telah dilakukan oleh beberapa peneliti Indonesia dan komparasi hasil penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.2. Hasil ini menunjukkan bahwa teknologi akustik sangat potensial dijadikan sebagai salah satu instrumen baku untuk identifikasi dan klasifikasi sedimen dasar laut.

Pengelompokan Bentuk Pertumbuhan Terumbu Karang

Indonesia merupakan pusat terumbu karang dunia dengan keragaman hayati tertinggi. Luas terumbu karang diperkirakan sekitar 7.500 km². Dengan luasan dan keragaman tersebut maka diperlukan teknik pemantauan yang cepat, konsisten, dan efektif. Salah satu cara identifikasi terumbu karang yaitu melalui pengenalan bentuk pertumbuhan terumbu karang (*lifeform*). Berdasarkan algoritma yang sama dengan identifikasi dan klasifikasi dasar perairan, mulai dikembangkan pula aplikasi teknologi akustik untuk identifikasi dan klasifikasi terumbu karang (Gleason, *et al.* 2008).

Di Indonesia, pemanfaatan teknologi akustik untuk identifikasi dan klasifikasi terumbu karang mulai berkembang, walaupun disadari masih diperlukan riset-riset yang lebih intensif mengingat kompleksitas dan keragaman yang tinggi dari terumbu karang yang ada. Sejauh ini, dengan memetakan intensitas gema pertama (E1) dan gema kedua (E2), dapat dilihat secara akustik sebaran beberapa bentuk pertumbuhan terumbu karang yang berbeda-beda tersebut

(Gambar 3.3). Klasifikasi berdasarkan parameter E1 dan E2 ini tentu dapat dikuantifikasi dengan menerapkan analisis pengelompokan seperti *clustering analysis*, *principal component analysis*, dan lain-lain.

Deteksi dan Diskriminasi Vegetasi Bawah Air

Biota dan vegetasi bawah air berperan penting dalam menentukan produktivitas suatu perairan, khususnya perairan dangkal (*shallow water*). Vegetasi bawah air menjadi salah satu sumber pangan dan pakan empat memijah biota laut. Oleh karena itu, akurasi dan kecermatan yang tinggi dalam memetakan habitat dan vegetasi bawah air sangat penting dilakukan.

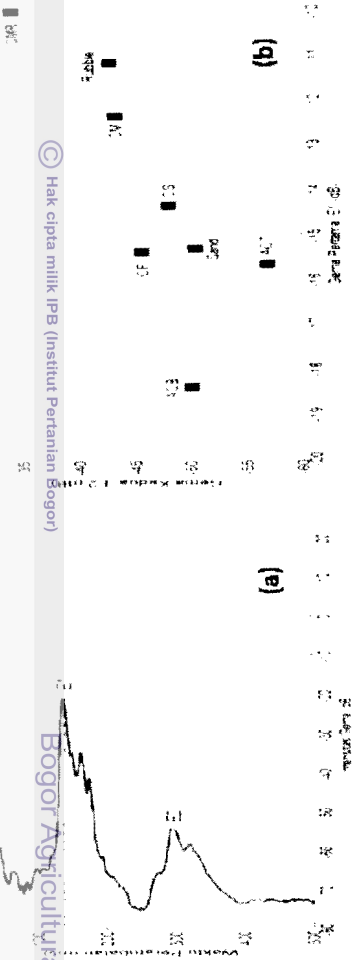
Lamun (*seagrass*) merupakan salah satu vegetasi bawah air, hidup di sedimen dasar laut, dan akarnya tertanam ke dalam dasar perairan. Padang lamun mampu mengurangi pergerakan air dan menyokong penangkapan partikel tersuspensi, baik yang hidup maupun yang mati dan secara tidak langsung menjadi penyaring bagi perairan pesisir. Walaupun produksi primer lamun hanya 1% dari total produksi primer di laut, namun lamun bertanggung jawab terhadap 12% total karbon yang ada di laut untuk disimpan dalam sedimen. Peran penting padang lamun di perairan wilayah pesisir ini perlu terus dijaga dengan memantau secara teratur perkembangannya. Tekanan terhadap wilayah pesisir yang semakin kuat akhir-akhir ini dengan adanya pembangunan yang tak terkendali di wilayah pesisir menyebabkan luas padang lamun terus berkurang dan diperkirakan mengalami pengurangan sekitar 2% per tahun (Deswati, *et al.* 2009).

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

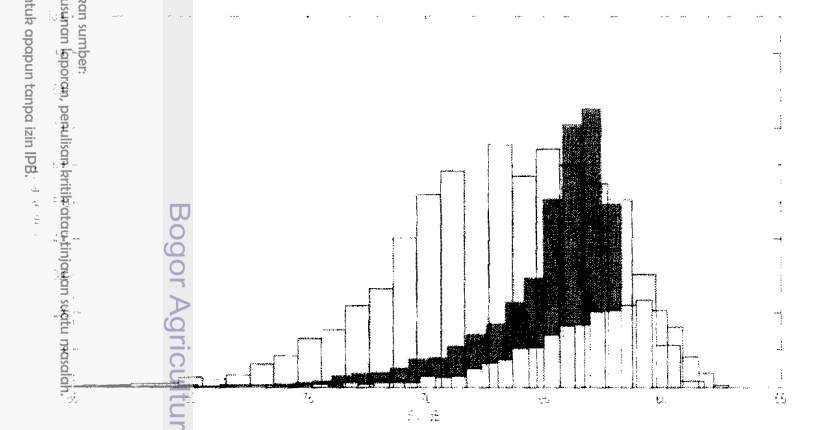
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Gambar 3.3. (a) Intensitas gema pertama dan kedua, dan (b) Pemetaan E1 dan E2 dari beberapa bentuk pertumbuhan karang. ACB: *acropora branching*, CF: *coral foliose*, Sand (dasar perairan berpasir, tanpa terumbu karang), Rubble: (dasar perairan yang terdiri dari pecahan karang), CS: *coral submassive*, ACT: *acropora tabulae*, dan CM: *coral massive* (Bemba, et al. 2011)

Sifat fisis suara dapat digunakan untuk memetakan dan memantau perkembangan lamun dengan mengkaji hambur balik yang diperoleh berdasarkan karakteristik sinyal gema yang dihamburkan oleh lamun. Salah satu teknologi akustik yang dikembangkan untuk pemetaan vegetasi bawah air adalah sonar (*multi-beam sonar*) yang mampu menampilkan keadaan dasar perairan, baik secara horizontal maupun vertikal, sehingga dapat ditentukan densitas vegetasi bawah air (Komatsu, *et al.* 2000). Penentuan kedalaman dan keberadaan vegetasi bawah air dapat dilakukan berdasarkan bentuk gema (*echo envelope*). Jika terdapat vegetasi, dapat ditentukan jarak antara dasar perairan ke ataputupan vegetasi atau puncak vegetasi. Sebagian besar gema yang berasal dari vegetasi lebih tinggi dari aras gema yang berasal dari penghambur balik (*backscattering*) dasar. Analisis lebih lanjut dari gema dapat digunakan untuk membedakan antarspesies lamun (Gambar 3.4) (Ole, *et al.* 2011).



Gambar 3.4. Sebaran nilai energi hambur balik akustik (SV) dari tiga spesies lamun: *Cymodocea rotundata* (biru muda), *Enhalus acoroides* (merah) dan *Thalassia hemprichii* (kuning) (Ole, *et al.* 2011)



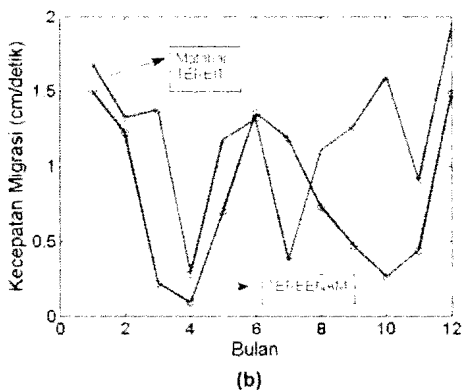
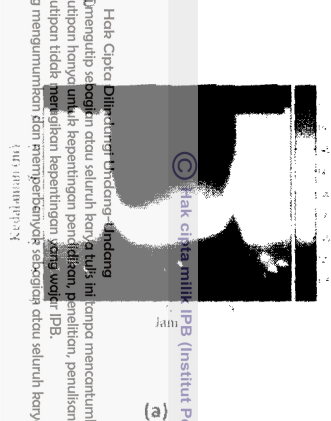
Plankton dan Ikan

Kuantifikasi dan karakterisasi biota laut (plankton, ikan, mammalia laut, dan lain-lain) dapat dilakukan dengan berbagai metode, salah satunya adalah dengan metode akustik. Pengembangan dan aplikasi metode akustik untuk deteksi, identifikasi, kuantifikasi, dan karakterisasi biota laut telah dilakukan di awal abad 20 seiring perkembangan instrumen akustik. Deteksi ikan pertama kali diperkenalkan oleh Kimura (1929) dan citra akustik atau *echogram* untuk ikan pertama kali diperoleh Sund (1935) (Simmons dan MacLennan 2000). Studi akustik tentang mamalia laut dilakukan oleh Schevil *et al.* (1954). Teknik kuantifikasi biota laut secara akustik berkembang melalui teknik pencacahan gema (*echo-counting*) (Midttun dan Setälä 1955), teknik integrasi gema (*echo-integration*) (Dragesund dan Olse 1965), teknik pencacahan kawanan ikan (*school-counting*) (Simmons 1970), estimasi populasi plankton (Greenlaw 1979), dan estimasi biomassa ikan (Burczynski 1982). Demikian pula dengan karakterisasi biota laut, misalnya tingkah laku ikan (Olsen, *et al.* 1983), identifikasi spesies kawanan ikan dengan jaringan saraf tiruan (Harabolous dan Georgakarakos 1993), klasifikasi jejak gema (ICES 2000). Dalam bagian berikut ini diuraikan beberapa contoh hasil riset yang terkait dengan perkembangan dan aplikasi teknologi akustik di perairan Indonesia.

Lapisan Penghambur Laut Dalam dan Migrasi Vertikal Plankton

Lapisan Penghambur Laut Dalam (*deep sea scattering layer/DSL*) adalah lapisan atau zona horizontal dalam kolom air yang dibentuk oleh sekelompok organisme hidup yang umumnya terdiri dari makroplankton (*copepods*) dan megaplankton (*euphausiid*, *amphipod*,

chaetognath dan beberapa larva ikan) yang menghamburkan gelombang suara. Lapisan ini penting dalam perambatan suara dalam air dan sistem sonar. Lapisan penghambur laut dalam cenderung bermigrasi secara vertikal terhadap intensitas cahaya.



Gambar 4.1. (a) Migrasi diurnal lapisan penghambur laut dalam dan (b) Variabilitas bulanan rata-rata kecepatan migrasi pada saat matahari terbit dan tenggelam

Migrasi vertikal DSL dapat dideteksi dan dipantau melalui intensitas suara gema (*echo intensity*) yang diterima oleh instrumen akustik, misalnya dengan *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP). Pada Gambar 4.1 ditunjukkan contoh hasil deteksi dan pemantau DSL di Selat Lombok menggunakan ADCP 75 kHz yang dipasang pada untai mooring laut dalam dan analisis data intensitas suara gema yang diterima ADCP yang dilakukan dari Januari 2004 sampai Juni 2005 dengan interval pengukuran 30 menit. Hasil pengamatan menunjukkan adanya pola migrasi vertikal DSL, dari kedalaman sekitar 250 m ke 175 m, dan bergerak relatif lebih cepat saat matahari terbit dan tenggelam. Kecepatan migrasi vertikal ini bervariasi dari bulan ke bulan dengan rata-rata sekitar 1 cm/detik. Jika diamati bahwa ukuran organisme penghambur yang dominan di lapisan

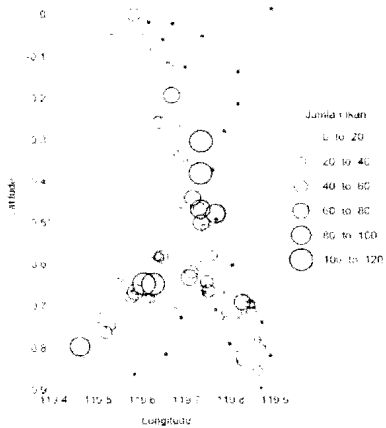
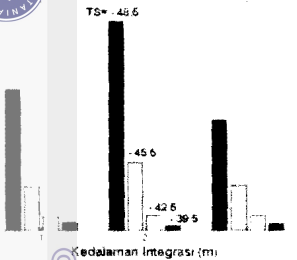
penghambur ini, seperti *Copepoda* and *Euphausiid* adalah sekitar 1 mm, maka kecepatan migrasi vertikal tersebut adalah sekitar 10 kali dari panjang tubuh organisme tersebut.

Deteksi Posisi Ikan Tunggal dan Lapisan Renang

Biologi instrumentasi akustik mengalami kemajuan yang sangat pesat dalam 30 tahun terakhir, khususnya perkembangan transduser dan sistem berkas gelombang tunggal (*single-beam*), ke dwi (*dual-beam*), dan terakhir ke berkas gelombang terbagi (*split-beam*). Perkembangan transduser yang terakhir ini mampu mendeteksi posisi dan orientasi ikan tunggal dengan sangat akurat. Dengan demikian, kecepatan dan lapisan renang ikan dapat dihitung dengan akurat pula. Contoh hasil deteksi dan agregasi ikan yang dikelompokkan dalam lapisan-lapisan renang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Jika survei seperti ini dilakukan beberapa kali secara teratur dari waktu ke waktu, dapat diprediksi keberadaan ikan yang ada di perairan tersebut secara keruangan maupun temporal. Demikian pula dengan perilaku ikan yang ada di perairan tersebut dapat dipahami lebih baik.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber.
2. Pengutipan tidak mengizinkan penggunaan gambar, foto, atau data yang terdapat dalam karya tulis ini untuk kepentingan komersial.
3. Pengutipan tidak mengizinkan penggunaan gambar, foto, atau data yang terdapat dalam karya tulis ini untuk kepentingan komersial.



Gambar 4.2. Contoh hasil deteksi ikan tunggal pada tiga strata kedalaman (1: <60 m, 2: 60-100 m, 3: >100 m).

Contoh hasil deteksi ikan tunggal di sekitar Teluk Palu dan Selat Makassar, pada tiga strata kedalaman

Identifikasi dan Klasifikasi Jenis Kawan Ikan

Kemampuan teknologi akustik dalam mendeteksi posisi ikan tunggal tidak serta-merta identik dengan kemampuan mengidentifikasi individu spesies ikan tersebut. Riset untuk identifikasi spesies ikan dengan teknologi akustik masih terus berlangsung dan saat ini hasil terbaik yang telah dicapai adalah dalam tahapan identifikasi spesies kawanan atau kelompok ikan.

Identifikasi spesies kawanan ikan sangat penting dalam penentuan akurasi pendugaan stok ikan dalam suatu perairan, baik secara konvensional maupun akustik. Secara akustik, pendugaan stok ikan dapat dilakukan melalui pencacahan gema (*echo counting*), pemetaan sonar/*echosounder* dan integrasi gema (*echo integration*) (MacLennan dan Simmonds 2005). Perkembangan terakhir identifikasi kawanan ikan dengan metode akustik dilakukan melalui pengembangan deskriptor dari *echogram* yang diterima (Lawson, *et al.* 2001) dan dilanjutkan dengan analisis statistik (misalnya dengan PCA)

(Fauziyah dan Jaya 2005), maupun dengan bantuan inteligensi buatan misalnya dengan jaringan saraf tiruan, *artificial neural network* (Jaya dan Sriyasa 2006).

Penelitian stok ikan di daerah tropis merupakan tantangan tersendiri, lebih kompleks dan rumit karena tingkat keanekaragaman spesies yang tinggi. Identifikasi kawanan ikan ini perlu dilengkapi dengan klasifikasi kawanan berdasarkan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap penentuan identifikasi dan struktur kawanan yang menggambarkan secara rinci pembentukan kawanan ikan dalam kondisi air. Secara umum struktur kawanan ikan dapat digambarkan dalam 3 parameter (Freon, *et al.* 1992): (1) densitas rata-rata seluruh kawanan, (2) susunan ikan secara individu dalam struktur, dan (3) bentuk eksternal kawanan.

Selanjutnya, integrasi dari identifikasi, klasifikasi, dan struktur kawanan ikan merupakan satu kesatuan yang menentukan karakteristik kawanan ikan sehingga stok ikan dapat diperkirakan lebih baik. Pada Tabel 4.1 dan 4.2 dicantumkan masing-masing deskriptor akustik yang digunakan untuk identifikasi, klasifikasi, dan struktur kawanan ikan di perairan Selat Bali serta hasil perhitungan dari deskriptor tersebut. Proses identifikasi dan klasifikasi dilakukan dengan bantuan Analisis Faktor, Analisis Gerombol atau Analisis Diskriminan terhadap deskriptor akustik. Metode analisis jaringan syaraf tiruan juga dapat digunakan untuk identifikasi kawanan ikan. Adapun untuk struktur kawanan ikan dapat digunakan teknik Variogram.

Estimasi Kepadatan dan Sebaran Ikan

Metode akustik dapat juga digunakan untuk menentukan kepadatan suatu kawanan ikan dalam suatu perairan yang disurvei.

Kepadatan akustik (ρ_a) dihitung dari nilai NASC (m^2/nmi^2), di mana NASC (*Nautical Area Scattering Coefficient*) merupakan besarnya nilai *acoustic backscattering strength* dalam tiap mil-nya. Nilai NASC dapat diturunkan dari ABC (*Area Backscattering Coefficient*, m^2), $ABC = 10^{\frac{Sv}{10}} \times T$, di mana $Sv = \text{Volume backscattering strength}$ (m^2/m^3) dan $T = \text{ketebalan}$ setiap lapisan yang akan diambil (m). Dengan demikian, nilai NASC dapat ditulis sebagai $NASC = 4\pi \times 1852^2 \times ABC$. Adapun nilai Sv dapat diperoleh persamaan $Sv = 10 \log \rho_v + TS$, di mana TS adalah kekuatan target rata-rata ikan dan $\rho_v = 10^{(Sv - TS)/10}$.

Hasil pendugaan kepadatan akustik pada ekspedisi laut dalam pada 2004 di perairan selatan Jawa ditunjukkan pada Tabel 4.3. Selain menghasilkan sebaran kepadatan ikan, khususnya pada lintasan survei, dalam ekspedisi ini juga ditemukan 169 jenis ikan, 19 jenis udang, dan 20 jenis *chepalopoda* serta 201 jenis ikan, 36 jenis udang, 6 jenis kepiting dan beberapa jenis cumi-cumi laut dalam (Tim FPIK 2004).

Tabel 4.1. Variabel deskriptor akustik untuk identifikasi, klasifikasi, dan struktur kawanan ikan pelagis (Fauziyah dan Jaya 2005)

Deskriptor	Identifikasi	Klasifikasi	Struktur
Energetik	Rata-rata energi akustik (EA) Simpangan baku EA Skewness EA Kurtosis EA	Rata-rata energi akustik	Rata-rata energi akustik
Morfometrik	Tinggi Panjang Keliling Luas	Tinggi Panjang Keliling Luas Elongation	Tinggi Panjang Keliling Luas Elongation Dimensi fraktal

Deskriptor akustik

1. Dilarang menyalin, mengutip, atau seluruhnya atau sebagian dari isi buku ini tanpa mengutip sumbernya.

2. Dilarang menyalin, mengutip, atau seluruhnya atau sebagian dari isi buku ini tanpa mengutip sumbernya.

Identifikasi	Klasifikasi	Struktur
<ul style="list-style-type: none"> Rata-rata kedalaman kawanan Ketinggian relatif 	<ul style="list-style-type: none"> Rata-rata kedalaman kawanan Ketinggian relatif Suhu Salinitas Kekuatan Target (TS) Modus TS 	<ul style="list-style-type: none"> Rata-rata kedalaman kawanan Ketinggian relatif Ketinggian minimum Kedalaman minimum

Tabel 4.2. Contoh data hasil perhitungan deskriptor akustik di perairan Selat Bali dari survei akustik pada tahun 1998–2000 (Fauziyah dan Jaya 2005)

Deskriptor Akustik	Peralihan I		Musim Timur		Peralihan II		Gabungan	
	Rataan	CV	Rataan	CV	Rataan	CV	Rataan	CV
Morfometrik								
Panjang (m)	412,3	0,51	258,5	1,69	1.813,0	0,09	772,8	1,48
Tinggi (m)	14,2	0,56	13,4	0,68	12,0	0,50	13,1	0,59
Luas (m ²)	1.136,0	1,21	2260,2	2,23	10.779,6	0,15	4.671,6	2,16
Keliling (m)	319,1	0,78	422,6	1,82	1.195,5	0,04	641,0	1,46
Energetik								
Energi (dB)	-61,4	0,06	-54,7	0,17	-58,1	1,13	-57,1	0,13
Skewness	-0,96	0,24	-0,96	0,47	-0,5	2,70	-0,8	0,55
Batimetrik								
Kedalaman rata-rata (m)	81,4	0,27	50,6	0,69	82,1	0,35	66,8	0,55
	17,2	0,50	32,13	0,57	35,5	0,24	30,1	0,61
Ketinggian relatif (%)	12		28		18		58	
Jumlah Kawanan								

Keterangan: CV = koefisien variasi dari rata-rata.

Tabel 4.2. Sebaran nilai rata-rata kepadatan akustik dan kepadatan ikan menurut strata kedalaman di perairan selatan Jawa (Tim FPIK 2004)

Kedalaman (m)	Rata-rata kepadatan		Rata-rata kepadatan per kelompok lapisan	
	Akustik (m^2/nmi^2)	Ikan (ekor/ m^3)	Akustik (m^2/nmi^2)	Ikan (ekor/ m^3)
0-50	1.175,88	1,040	1.130,96	0,615
50-100	1.086,04	0,190		
100-150	1.063,95	0,068	610,94	0,052
150-200	157,92	0,035		
200-250	130,16	0,021	305,92	0,009
250-300	336,53	0,014		
300-350	558,79	0,010		
350-400	670,36	0,008		
400-450	259,94	0,006		
450-500	235,56	0,005		
500-550	230,98	0,004		
550-600	173,04	0,004		

Arus Laut, Paras Laut, dan Gelombang Permukaan Laut

Arus merupakan salah satu parameter laut yang sangat penting. Arus laut berperan penting dalam sirkulasi unsur hara (*nutrient*) di laut. Elevasi paras laut merupakan patokan penting dalam navigasi atau untuk keselamatan pelayaran yang menjadi fokus hidrografi. Selain itu elevasi paras laut dapat digunakan untuk memantau pengaruh pemanasan global. Pengukuran gelombang permukaan laut sangat penting bagi keperluan transportasi, interaksi udara-laut. Dalam bagian ini diuraikan bagaimana suara digunakan untuk mengukur arah dan kecepatan arus, elevasi paras laut, dan spektrum gelombang permukaan.

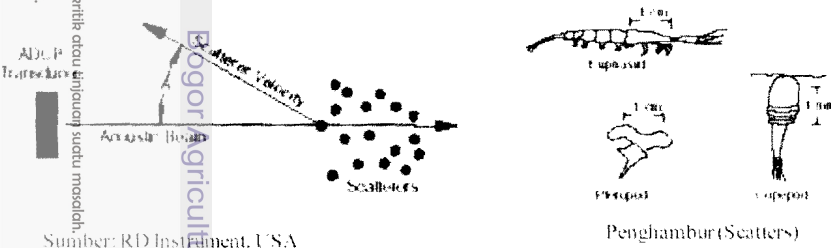
Arus dan Profil Arus, Tranportasi Massa Air pada Lintasan ARLINDO

Selama 20 tahun lalu, arus laut umumnya diukur dengan menggunakan baling-baling (rotor) yang dilengkapi sayap untuk mengukur arah dan kecepatan arus. Berbeda dengan instrumen konvensional pengukur arus, pengukuran arus dengan instrumen akustik tidak menggunakan baling-baling dan sayap. Selain itu instrumen ini arus yang diperoleh satu unit instrumen akustik tidak hanya pada satu titik atau posisi saja tetapi dapat memberikan informasi sepanjang kolom air (profil) secara serempak.

Pengukuran arus melalui suara dilakukan dengan memancarkan pulsa suara sempit pada frekuensi tetap, jika mengenai partikel-partikel yang ada dan bergerak dalam air, pulsa suara tersebut akan dihamburkan balik. Pulsa suara yang kembali ini diterima oleh transduser dan dideteksi frekuensinya. Jika air yang berisi partikel-partikel penghambur tersebut bergerak menjauhi posisi pemancar (sumber suara), frekuensi yang diterima akan lebih rendah; sebaliknya apabila air yang bergerak tersebut mendekati sumber suara maka frekuensi yang diterima akan lebih tinggi. Perubahan atau pergeseran frekuensi ini berkaitan erat dengan arah arus. Adanya pengaruh perubahan frekuensi ini dikenal sebagai *Doppler effect* (Gambar 5.1). Instrumen akustik yang menggunakan prinsip Doppler ini dikenal sebagai ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*). Penentuan kecepatan dan arah arus dengan ADCP bersifat inheren, sedikit lebih rumit dari pengukuran arus dengan cara konvensional (misalnya, dengan baling-baling), sehingga memerlukan keahlian tersendiri. Untuk mendapatkan arah dan kecepatan arus maka digunakan empat transduser yang memancarkan suara.

Dengan kemampuan ADCP mengukur profil arus, dimungkinkan memantau pergerakan arus dalam kolom air (Gambar 5.2). Dalam Gambar 5.2, terlihat bagaimana arus laut di Selat Ombai, misalnya, bergerak berlawanan arah pada dua kedalaman yang berbeda. Selain itu, dengan kemampuan mengukur profil arus (kecepatan dan arah sepanjang kolom air) instrumen ini dapat mengukur transpor massa air yang melewati lokasi pengukuran dengan akurat. Misalnya, pengukuran terbaru di Selat Makassar yang merupakan lintasan utama arus Lintas Indonesia (ARLINDO) dilakukan dalam periode 2004-2006 dengan ADCP diperoleh besarnya massa air yang bergerak sebesar $11,6 \pm 3,3$ Sv ($1 \text{ Sv} = 1 \text{ juta m}^3/\text{detik}$). Nilai ini 20% lebih besar dari pengamatan pada saat El Nino kuat (Gordon, *et al.*, 2003). Implikasi pengukuran yang lebih akurat dari ARLINDO ini akan dapat memberikan pemahaman dan kemampuan prediksi yang lebih baik tentang sistem iklim skala besar, khususnya iklim yang memengaruhi benua maritim Indonesia.

ADCP kini merupakan salah satu instrumen baku pengukur arus. Untuk Indonesia, tantangan ke depan adalah bagaimana menjadikan instrumen ini lebih massal digunakan dengan tetap memerhatikan penanganan kualitas data. Oleh karena itu, diperlukan pelatihan-pelatihan bagi teknisi ADCP.



Sumber: RD Instrument, USA

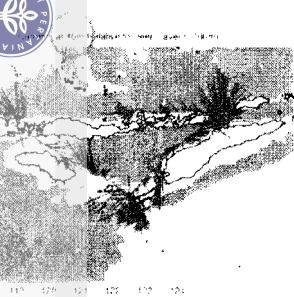
Penghambur (Scatters)

Gambar 5.1. Ilustrasi mekanisme penghamburan dan sumber penghambur suara dalam pengukuran arus laut dengan instrumen akustik ADCP

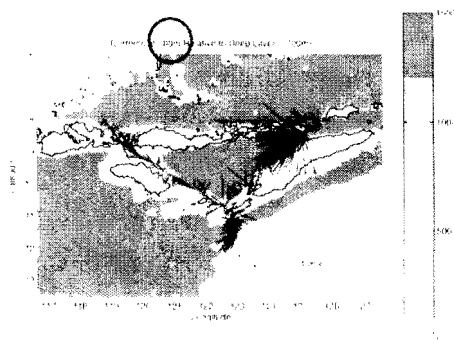
1. Dilarang memuat, sebaran atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber;
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kitab atau lisan yang sudah dalam bentuk tulisan;
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun.

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agricultural University



On the Way
ADCP measurement



Gambar 5.2. Hasil observasi gerak air dengan ADCP pada saat kapal sedang bergerak melintasi lokasi survei di Laut Sawu dan Selat Ombai (INSTANT 2004)

Penentuan Elevasi Paras Laut dan Pasang Surut

Penentuan elevasi paras laut, pengukuran pasang surut, dan atau level ketinggian air sangat penting untuk keselamatan pelayaran dan sangat bermanfaat hampir di segala bidang yang berhubungan dengan laut, sungai, danau dan lain-lain. Penentuan level ketinggian air ini dapat dilakukan dengan instrumen akustik yang memanfaatkan waktu tunda perambatan suara yang diterima.

Instrumen akustik sederhana yang telah dikembangkan [Iqbal dan Jaya 2011] memancarkan sinyal akustik 40 kHz ke air dan menghitung jarak antara transduser dengan air. Mikrokontroller membangkitkan sinyal dengan frekuensi 40 kHz kemudian dipancarkan ke modul



amplifier sehingga cukup untuk menggetarkan transduser yang beresonansi pada frekuensi tersebut. Sinyal akustik dipancarkan ke air dan kemudian diterima kembali. Perbedaan waktu antara pemancaran sinyal dan penerimaan sinyal ini dianggap sebagai jarak. Sinyal kemudian dikoreksi kembali berdasarkan nilai suhu yang diketahui dan ditempatkan di sekitar transduser. Informasi suhu sangat penting diketahui untuk menentukan dengan akurat kecepatan gelombang suara. Keunggulan pengukuran elevasi paras laut berbasis akustik dibandingkan dengan cara konvensional adalah dapat dilakukan secara otomatis dan beresolusi tinggi.

Hasil pengukuran instrumen yang telah dikembangkan terlihat pada Gambar 1. Instrumen ini berfungsi dengan baik dan akurat. Tantangan ke depan adalah bagaimana mengembangkan instrumen ini dalam suatu jejaring sistem informasi pengukuran dan pemantauan pasang surut serta deteksi dini tsunami di seluruh wilayah pesisir Indonesia.

Informasi Spektrum Gelombang Permukaan Laut

Pengukuran gelombang permukaan sangat luas digunakan untuk kalibrasi dan verifikasi berbagai model numerik untuk aplikasi kelautan. Salah satu parameter laut yang sulit diukur adalah gelombang permukaan laut, khususnya gelombang terarah. Kelemahan atau kesulitan pengukuran arah gelombang permukaan secara konvensional ditemui pada alat yang *self recording*. Informasi gelombang terarah biasanya diukur dengan menggunakan untai sensor tekanan yang dipasang pada dasar perairan atau pelampung gelombang arah yang dipasang di permukaan air. Kedua pilihan ini memiliki keterbatasan dan sering terkendala oleh sistem tambat yang rumit dan mahal.



Pengukuran gelombang dengan memanfaatkan sifat suara telah dilakukan dengan menggunakan instrumen ADCP yang diletakkan di dasar laut. Keunggulan dari ADCP ini adalah dapat merekam dan merekam pantulan hambur balik dari gelombang suara yang dipantulkan ke arah permukaan laut sehingga diperoleh berbagai informasi tentang gelombang permukaan, antara lain tinggi gelombang nyata, periode puncak gelombang, periode gelombang, dan arah. Untuk spektrum tinggi gelombang, misalnya, dapat dihitung dengan melakukan translasi spektrum kecepatan gelombang ke perubahan posisi permukaan dengan menggunakan transformasi linier, dan arah gelombang diestimasi dari beda fase antara penalaran berkas gelombang suara (*sound beam*).

Seperti yang disampaikan pada awal bagian ini bahwa data dan informasi tentang gelombang permukaan laut sangat penting untuk memahami lebih baik karakteristik laut kita. Walaupun demikian, di Indonesia, pengukuran spektrum gelombang laut praktis masih sangat minim. Teknologi akustik merupakan salah satu instrumen yang dapat digunakan untuk mendapatkan informasi tentang gelombang laut, khususnya gelombang permukaan terarah yang sulit diukur dengan metode lain.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Dunia bawah air adalah dunia yang kompleks dan dinamis, baik secara keruangan (spasial) maupun kewaktuan (temporal). Berbagai metode dan instrumen telah dikembangkan untuk mengamati dan mengungkap kompleksitas dan dinamika bawah air, antara lain berbasis optik dan akustik. Prinsip dasar dan ilustrasi sederhana dari sonar

Pengukuran gelombang dengan memanfaatkan sifat suara telah dilakukan dengan menggunakan instrumen ADCP yang diletakkan di dasar laut. Keunggulan dari ADCP ini adalah dapat merekam pantulan hambur balik dari gelombang suara yang dipancarkan ke arah permukaan laut sehingga diperoleh berbagai informasi tentang gelombang permukaan, antara lain tinggi gelombang nyata, periode puncak gelombang, periode gelombang, dan arah. Untuk spektrum tinggi gelombang, misalnya, dapat dihitung dengan melakukan translasi spektrum kecepatan gelombang ke perubahan posisi permukaan dengan menggunakan gelombang linier, dan arah gelombang diestimasi dari beda antara pancaran berkas gelombang suara (*sound beam*).

Seperti yang disampaikan pada awal bagian ini bahwa data dan informasi tentang gelombang permukaan laut sangat penting untuk memahami lebih baik karakteristik laut kita. Walaupun demikian, di Indonesia, pengukuran spektrum gelombang laut praktis masih sangat minim. Teknologi akustik merupakan salah satu instrumen yang dapat digunakan untuk mendapatkan informasi tentang gelombang laut, khususnya gelombang permukaan terarah yang sulit diukur dengan metode lain.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Dunia bawah air adalah dunia yang kompleks dan dinamis, baik secara keruangan (spasial) maupun kewaktuan (temporal). Berbagai metode dan instrumen telah dikembangkan untuk mengamati dan mengungkap kompleksitas dan dinamika bawah air, antara lain berbasis optik dan akustik. Prinsip dasar dan ilustrasi sederhana dari sonar



pasif dan sonar aktif diuraikan sebagai landasan aplikasi dari metode dan instrumen akustik dalam menguak kompleksitas dan dinamika air. Naskah ini telah menguraikan selintas tentang hasil-hasil riset dan perkembangan terakhir pengembangan dan aplikasi instrumen akustik untuk memahami lebih baik alam air.

Informasi yang telah disampaikan dapat disimpulkan bahwa teknologi akustik telah berkembang dengan pesat dan semakin banyak diterapkan dalam kegiatan eksplorasi sumberdaya, lingkungan laut dan dinamikanya, antara lain untuk: pengukuran keanekaragaman dasar laut, identifikasi dan klasifikasi sedimen dasar laut, pengompakan bentuk pertumbuhan terumbu karang, deteksi dan diskriminasi vegetasi bawah air, deteksi lapisan penghambur laut dalam dan migrasi vertikal plankton, deteksi ikan tunggal dan lapisan renang ikan, identifikasi dan klasifikasi jenis kawanan ikan, estimasi kepadatan dan sebaran ikan, serta pengukuran profil arus laut dan transportasi massa air. Selain itu, teknologi akustik juga sudah berkembang untuk studi dinamika air di permukaan, misalnya melalui pengukuran elevasi paras laut dan pasang surut dan estimasi spektrum gelombang permukaan laut. Perkembangan dan aplikasi teknologi akustik dalam penginderaan sumberdaya dan dinamika laut Indonesia tentu akan memicu percepatan pembangunan benua maritim Indonesia.

Saran

Terlepas dari pencapaian pengembangan teknologi akustik dan aplikasinya untuk penginderaan sumberdaya dan dinamika laut, ada beberapa agenda riset yang masih perlu dijalankan dan dikembangkan di Indonesia yang memiliki sumberdaya dan ekosistem tropis yang khas, yakni akustik perikanan *multi-species*,



pencitraan bawah air untuk terumbu karang dan lamun, sistem sonar pasif untuk pemantauan dinamika permukaan laut, dan bioakustik (mamalia laut). Menimbang potensi pengembangan dan luasnya penerapan teknologi akustik dalam eksplorasi maupun pemanfaatan sumberdaya laut Indonesia, perlu kiranya dikembangkan pusat unggulan (*center of excellent*), baik berupa Laboratorium Nasional atau Pusat Riset Nasional dalam pengembangan dan pemanfaatan teknologi akustik. Laboratorium atau pusat riset nasional ini diharapkan dapat memimpin upaya nasional yang lebih terencana, sistematis, dan efektif dalam pengembangan dan penerapan teknologi akustik, baik dalam mobilisasi pengembangan kepakaran, infrastruktur maupun mekanisme pendanaan program.

Referensi

- Abraham R, Martin D, Lewis S D and Gisiner B. 1996. Long-range acoustic detection and tracking of the humpback whale Hawaiian-Alaska migration. OCEAN 1996, MTS/IEEE, Prospects for the 21st Century, Conference Proceedings, 373-377.
- Allo A T. 2011. Kuantifikasi dan karakterisasi acoustic backscattering dasar perairan di Kepulauan Seribu – Jakarta. Tesis. Sekolah Pascasarjana IPB, Bogor.
- Anderson T J, Holliday D V, Kloser R, Reid D G, and Simrad Y. 2008. Acoustic seabed classification: current practice and future direction, ICES Journal of Marine Science 65: 1004-1011.
- Bemb J, Jaya dan Pujiati S. 2011. Identifikasi dan klasifikasi lifeform karang menggunakan metode hidroakustik. (Dalam Persiapan).
- Burczynski J. 1982. Introduction to the use of sonar system for estimating fish biomass. FACO Fish. Tech Pap. No. 191 (Rev. 1). 89 pp.

Clay T S and Medwin H. 1977. Acoustical oceanography. Wiley, New York.

Desvati S R, Jaya I dan Manik H M. 2009. Deteksi padang lamun skala kecil menggunakan metode akustik. Prosiding PIT VI ISOI, 403-410.

Ellis T D. 1993. Technology and related development for interdisciplinary global study. Sea Technology, August 1993, 47-53.

Fagerund O and Olsen S. 1965. On the possibility of estimating year-class strength by measuring echo-abundance of group fish. Fsh. Dir. Skr. Ser. Havunders, 13: 47-75.

Law B D, Worceste P F, Munk W H, Spindel R C, Mercer J A, Howe B M, Metzger Jr K, Birdsall T G, Andrew R K, Dzieciuch M A, Cornuelle B D and Menemenlis D. 2009. A decade of acoustic thermometry in the North Pacific Ocean. J. Geophysical Res., Vol. 114, C07021, doi:10.1029/2008JC005124.

Fazizyah dan Jaya I. 2005. Penentuan karakteristik kawanan ikan pelagis dengan menggunakan deskriptor akustik. Jurnal Ilmu-ilmu Perairan. Jilid 12 (1), 1-8.

Fazizyah dan Jaya I. 2005. Klasifikasi ex-situ kawanan ikan lemuru (*Sardinella lemuru*) di Selat Bali. Jurnal Pesisir dan Lautan Indonesia. Vol 6 (1), 19-30.

Fron P, Gerotto F, and Soria M. 1992. Change in school structure according to external stimuli: Description and influence on acoustic assessment. Fisheries Research, 15: 45-66.

Glason A C R, Reid R P and Kellison GT. 2008. Single-beam acoustic remote sensing for coral reef mapping. Proceedings of the 11th International Coral Reef Symposium, Ft. Lauderdale, Florida, 7-11 July 2008, pp. 611-615.



Gordon A L, Susanto R D, Ffield A, Huber B A, Pranowo W and Witasantosa S. 2008. Geoph. Res. Lett. Vol. 35, L24605, doi: 10.1029/2008GL036372, 2008.

Grasslaw C F. 1979. Acoustical estimation of zooplankton population. Limnology and Oceanography, 24, 226-42.

Haala J and Georgakarakos S. 1996. Artificial neural networks as a tool for species identification of fish schools. ICES Journal of Marine Science, 53: 173-180.

Haala J P and Gough P T. 2004. Synthetic aperture sonar – a maturing discipline. Proceedings of the Seventh European Conference on Underwater Acoustics. Delf, 5-8 July 2004, 1101-1106.

ICES. 2000. Report on echo trace classification. Edited by Reid, D. ICES Cooperative Research Report No. 238., Denmark. 238 pp.

Ibadi M dan Jaya I. 2011. Motowali: Instrumen pengukur ketinggian air berbasis akustik (Dalam Persiapan).

INSTANT, 2004. Cruise Report 2004.

Jaya I dan Sriyasa W. 2006. Aplikasi teknik jaringan syaraf tiruan untuk identifikasi jenis kawanan ikan. Buletin PSP Vol XV (1): 20-28.

Johannesson K A and Mitson R B. 1983. Fisheries Acoustics: A practical manual for acoustic biomass estimation. FAO Fisheries Technology.

Komatsu T, C Igarashi, K Tatsukawa, S Sultana, Y Matsuoka, and S Harada. 2003. *Use of multi-beam sonar to map seagrass beds in Otsuchi Bay on the Sanriku Coast of Japan*. Aquatic Living Resources 16 (2003) 223–230.

Kongsberg website: <http://www.km.kongsberg.com>. Akses Terakhir: 25 Agustus 2011.

Larsen M B. 2000. Synthetic long baseline navigation underwater vehicles. OCEANS 2000. MTS/IEEE Conference and Exhibition, 2043-2050.

Levitt M. 1977. Review of undersea acoustics to 1950. J. Acoust. Soc. Am., 61, 283-297.

Marshall G L, Barange M and Freon P. 2001. Species identification of pelagic fish schools on the South African continental shelf using acoustic descriptors and ancillary information. ICES Journal of Marine Science, 58: 275-287.

Quest website: <http://www.link-quest.com>. Akses Terakhir: 25 Agustus 2011.

Ris N. 2011. Unidentified floating objects. IEEE Spectrum, August 2011, 44-50.

Maruk H M, Furusawa M, Amakasu K. 2006. Measurement of sea bottom surface backscattering strength by quantitative echosounder. Fisheries Science, 2006, 72: 503-512.

Mortun L and Saetersdal G. 1957. On the use of echosounder observation for estimating fish abundance. Paper 29 presented at the Joint Scientific Meeting of ICNAF, ICES and FAO. Lisbon. Spec. Publ, Int, Comm, NW Atlant Fish 2, 44 pp.

Munk W, Worcester P and Wunsch C. 1995. Ocean acoustic tomography. Cambridge University Press. 433 pages.

National Academy of Science, 2003. Exploration of the Seas: Voyage into the Unkonwn. National Academic Press. 228 pages.

Nelsen R O. 1991. Sonar signal processing. Artech House, Norwood, MA. 368 pp.

Ole L, Maruk H dan Jaya I. 2011. Deteksi beberapa spesies lamun dengan split-beam echsounder. (Dalam Persiapan).



Olsen K, Angell J, Pettersen E and Lovik A. (1983) Observed fish reaction to a surveying vessel with special reference to herring, cod, capellin and polar cod. *FACO Fish Rep.*, 300: 139-149.

Pedjani S. 2008. Pedenkatan metode hidroakustik untuk pendugaan klasifikasi tipe substrat dasar perairan dan hubungannya dengan komunitas ikan demersal. Disertasi. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.

Pedjani S. 2009. Analisis model Jackson pada sedimen berpasir menggunakan metode hidroakustik di gugusan Pulau Pari, Kepulauan Seribu. Tesis. Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.

Simmonds J and MacLennan D. 2005. *Fisheries Acoustics: Theory and Practice*. Second Edition, Blackwell.

Togowski J, N Gorska, and Z Klusek 2003. Statistical analysis of acoustic echos from underwater meadows in the eutrophic Puck Bay (southern Baltic Sea). *Aquatic Living Resources* 16 (2003): 215-221.

Tim FIK. 2004. Ekspedisi Perikanan Laut Dalam. Cruise Report. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB, Bogor.

Urick R J. 1983. *Principles of underwater sound*. McGraw-Hill Book Company, New York, NY. 423 pp.

Waitt A D. 2005. *SONAR for Practicing Engineers*. Third Edition. Wiley & Sons, England.



Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan yang sangat membahagiakan ini perkenankan saya mengungkapkan rasa syukur saya serta ucapan terima kasih.

Pada Rektor IPB, Prof. Dr. Herry Suhardiyanto, M.Sc.,
Dua DGB-IPB, Prof. Dr. Endang Suhendang, M.S., Direktur
Rektorat Administrasi Pendidikan IPB, Dr. Drajad Wibowo,
Dua Panitia Dies Natalis IPB ke-48, atas terselenggaranya Orasi
ini pada hari ini, ***saya ucapkan banyak terima kasih.***

Saya sangat, sangat, dan sangat bersyukur bahwa saya terlahir
dari seorang ibu guru Sekolah Dasar dan Ayah seorang tentara.
Dari beliau saya memahami sejak dini arti penting pendidikan,
dan pentingnya belajar dan terus belajar sampai kapan pun.
Tanpa keterlibatan beliau sejak dini, saya kira sulit bagi saya
untuk mencapai apa yang telah saya capai saat ini. Saya juga merasa
beruntung bahwa saya dibesarkan dan tumbuh dalam keluarga
guru. Paman-paman (Tata) dan bibi (Bonda) adalah guru-
guru sekolah dasar dan sekolah menengah, sehingga bukanlah
sebuah kejutan jika saya pun jadi guru. Atas segala didikan
kebaikan, kasih sayang, dedikasi, contoh nyata, dan menjadi
guru-guru pertama ini, dengan segala kerendahan hati, ***saya
ucapkan banyak terima kasih.***

3. Saya bersyukur bahwa selama mengenyam pendidikan di
sekolah dasar (SDN Tanggul Patompo), menengah (SMP 1)
dan atas (SMA 2) di Kota Makassar, senantiasa dididik oleh
bapak dan ibu guru saya yang berdedikasi tinggi, sangat cakap
dan kompeten. Atas segala didikan terbaik yang saya terima
tersebut ***saya ucapkan banyak terima kasih.***

4. Saya bersyukur bahwa selama menempuh pendidikan sarjana di IPB dan demikian juga selama menempuh pendidikan pascasarjana di Univeristy of Delaware, Amerika Serikat, mempunyai banyak teman yang sangat suportif dan menyenangkan. Atas segala pertemanan dan jejaring kekeluargaan yang terus berlangsung lebih dari 3 dekade hingga kini, ***saya ucapkan banyak terima kasih.***

Saya bersyukur dan merasa bahwa karier akademik saya diawali saat saya bergabung dan menjadi staf pengajar pada Fakultas Perikanan IPB pada tahun 1986, dua puluh lima tahun yang lalu. Kepada (alm) Prof. Dr. M. Eidman, Dekan Faperikan, yang pertama-tama menganjurkan dan mengajak saya bergabung sebagai staf pengajar pada Fakultas Perikanan IPB, kepada (alm) A. U. Ayodyoa, M.Sc. dan Prof. Dr. Daniel R. Monintja, masing-masing sebagai Ketua dan Sekretaris Jurusan PSP, Faperikan IPB, yang menerima dengan tangan terbuka serta selalu membalas surat-surat yang saya kirim semasa menempuh pendidikan pascasarjana. Atas ajakan yang sangat simpati, perasaan kolegal yang sangat kuat disertai kepercayaan dan kumpulan harapan kepada saya, ***saya ucapkan banyak terima kasih.***

6. Saya bersyukur bahwa selama meniti karier akademik hingga ditetapkan menjadi profesor di bidang akustik dan Instrumentasi Kelautan, banyak dibantu oleh kolega di di Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan dan di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB. Saya juga banyak berinteraksi dan dibantu oleh kolega dari Badan Riset - Kementerian Kelautan dan Perikanan, BPPT, P20-LIPI, Forum Pimpinan Perguruan Tinggi Perikanan dan Kelautan. Atas segala bantuan dan kerjasamanya, ***saya ucapkan banyak terima kasih.***

7. Saya bersyukur diperkenalkan pertama kali pada teknologi akustik pada saat mengikuti praktik lapang, dan semakin tertarik sewaktu mengikuti kuliah Prof. Dr. Bonar P Pasaribu untuk menekuni bidang ini. Menurut hemat saya, Prof. Bonar termasuk kategori dosen yang memberi inspirasi kepada mahasiswa (*inspirational teacher*). Setelah mengikuti kuliah untuk tugas akhir saya memilih topik penelitian tentang kelautan dan Prof. Bonar sebagai pembimbing skripsi. Setelah Prof. Bonar juga, saya tetap dan terus memilih kelautan untuk penelitian dan penulisan tesis Master (di bawah bimbingan Prof. Dr. Ronald J Gibbs) dan disertasi Doktor (di bawah bimbingan Prof. Dr. Mohsen Badiey). Kepada dosen-dosen akustik kelautan ini, atas segala kesempatan yang diberikan serta bimbingan dan arahannya, ***saya ucapkan banyak terima kasih.***

8. Saya bersyukur bahwa selama menjadi dosen mendapat kesempatan untuk membimbing dan mendampingi banyak mahasiswa, baik program sarjana maupun pascasarjana, yang cerdas, kreatif, dan inovatif. Mungkin lebih banyak yang saya pelajari dari mereka daripada yang saya ajarkan ke mereka. Mungkin lebih banyak ide-ide kreatif dan inspirasi yang saya peroleh dari mereka dibandingkan yang saya berikan kepada mereka. Atas segala kesempatan untuk belajar dan terinspirasi tersebut, ***saya ucapkan banyak terima kasih.***

9. Kepada Ketua Departemen ITK, Senat FPIK, Dir. SDM, Senat Akademik, Rektor IPB dan Menteri Pendidikan Nasional, yang telah memproses dan menyetujui pengangkatan saya sebagai Guru Besar Tetap Bidang Ilmu Akustik dan Instrumentasi Kelautan pada Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB, ***saya ucapkan banyak terima kasih.***

10. Kepada kolega saya di Bagian Akustik dan Instrumentasi Kelautan, Departemen ITK: Dr. Totok Hestirianto, Dr. Sri Liliati, Dr. Henry Manik, Ayi Rakhmat, M.Si., Ratih Deswati Muli, dan kepada para asisten Akustik dan Instrumentasi Kelautan: Muhammad Iqbal, Willi Setiandi, Acta Withamana, atas segala bantuannya menyiapkan materi pendukung dokumentasi orasi ilmiah ini, ***saya ucapkan banyak terima kasih.***

11. Kepada seluruh dosen dan tenaga penunjang di Fakultas Teknik dan Ilmu Kelautan IPB, atas segala dorongan, bantuan, dan kerjasamanya selama ini, termasuk dalam penyelenggaraan Orasi Ilmiah ini, ***saya ucapkan banyak terima kasih.***

12. Naskah Orasi Ilmiah yang baru saja saya sampaikan telah diseleksi oleh Prof. Dr. Ismudi Mukhsin dan Prof. Dr. Mulia Nurba. Demikian pula oleh kolega saya, Dr. I Wayan Nurjaya, Dr. Agus Soleh Atmadipoera, dan Prof. Ari Purbayanto. Atas segala koreksi dan penyempurnaan terhadap naskah ini, ***saya ucapkan banyak terima kasih.***

13. Secara khusus, kepada istri saya, Etty Setyarsi, dan anak-anak saya: Wenona Maryam Jaya, Fatimah Nadine Jaya, dan Muhammad Tufail Jaya, dan juga kepada seluruh keluarga besar Ismail dan Sastrawikromo, yang telah mendukung karir akademik saya selama ini, ***saya ucapkan banyak terima kasih.***

14. Terima kasih atas kehadiran bapak/ibu/saudara semua atas kehadirannya pada hari ini dalam acara orasi ini. Semoga Allah SWT memaidi segala usaha kita.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan berita atau penerjemahan untuk media.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPI.

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Sogefo Agricultural University



Prof. Dr. Ir. Indra Jaya, M.Sc. dan Keluarga Tercinta



Riwayat Hidup

NAMA: Prof. Dr. Ir. Indra Jaya, MSc.

TANGGAL DAN TEMPAT LAHIR: Palopo, 10 April 1961

ALAMAT:

Rumahnya: Kebun Raya Residence, Blok H-2, Ciomas, Bogor 16680.

Kantor: Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan (ITK)

Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan (FPIK)

Kampus: IPB Darmaga, Bogor 16680

Telepon: (0251) 8628832, 8623644, HP: 0811-89-2394

Faksimili: (0251) 8622907, 8623644

Email: indrajaya@ipb.ac.id, indrajaya123@gmail.com

PENDIDIKAN:

- S1, 1984 - Fakultas Perikanan, Institut Pertanian Bogor
- MSc, 1990 - Department of Applied Ocean Sciences, Graduate College of Marine Studies, University of Delaware, USA.
- PhD, 1996 - Department of Applied Ocean Sciences, Graduate College of Marine Studies, University of Delaware, USA.
- PostDoctoral, 1996 - Department of Applied Mathematics, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, New York, USA.

PELATIHAN MANAJEMEN PENDIDIKAN

- Advance Higher Education Administration Development (AHEAD), Bogor, 2002
- Management of Changes, Bogor, 2002.

RIWAYAT PEKERJAAN:

- Staf Pengajar, Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK - IPB, 1986–sekarang.
- Sekretaris Program Studi Teknologi Kelautan, Program Pascasarjana IPB, 1998–2003.
- Pembantu Dekan IV Bidang Kerjasama, FPIK - IPB, 1998–1999.



- Pembantu Dekan I Bidang Akademik, FPIK - IPB. 1999–2003.

Asesor Badan Akreditasi Nasional, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (BAN-DIKTI), 2004–sekarang.

Anggota Ahli Komisi IV (Bidang Kelautan dan Perikanan) DPR RI, Maret 2005–April 2008.

Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB, November 2007–2011.

KETEGGOTAAN DALAM ORGANISASI PROFESI

Anggota Sarjana Perikanan Indonesia (ISPIKANI)

Anggota Sarjana Oseanografi Indonesia (ISOI)

IEEE Oceanic Engineering

• IEEE Instrumentation and Measurement

• IEEE Geoscience and Remote Sensing

PENGUASAAN BAHASA

• Bahasa Indonesia (lancar)

• English (*fluent*)

PATEN/HKI (Hak Atas Kekayaan Intelektual), sebagai *Co-Inventor*:

- (1) *Fry counter* (penghitung benih ikan kecepatan dan akurasi tinggi) (No. Pendaftaran/ Sertifikat: P00200300627).
- (2) Alat pengukur tingkat kesegaran ikan (No. P00200500006).
- (3) Pemberi pakan ikan/udang otomatis (No. P00200500010).
- (4) Instrumen pembeda jenis kelamin ikan koi (No. P00200600797).
- (5) Alat sortir dan penghitung ikan hidup (No. P00200700095).
- (6) Alat pengambil sampel ikan air tawar (No. P00200800445).
- (7) Sistem belampung/pemantau kualitas air (Dalam Proses).

- (8) Sistem pengusir burung di tambak (Dalam Proses).
- (9) Morowali: instrumen pengukur elevasi paras laut berbasis akustik (Dalam Proses).

Publikasi: ±125 karya ilmiah

Beberapa publikasi terpilih:

- (1) Direct evidence of the South Java current system in the Sunda Strait. *Dynamics of Atmosphere and Ocean*. 2010. Doi:10.1016/j.dynatmoce.2010.02.006. 2010.
- (2) Rancang bangun perekam data kelembaban relatif dan suhu udara berbasis mikrokontroler. *J. Teknologi Perikanan dan Kelautan*. Vol 10 (1): 73-79. 2010.
- (3) Pengembangan teknik penentuan dini jenis kelamin koi. *J. Ilmu-ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia*, 16 (1): 7-15. 2009.
- (4) Pola migrasi *deep scattering layer* menggunakan nilai *acoustic volume backscattering* hasil pengukuran ADCP. *Prosiding PIT VI ISOI*, 396-402, 2009.
- (5) Deteksi padang lamun skala kecil menggunakan metode akustik. *Prosiding PIT VI ISOI*, 403-410. 2009.
- (6) Eksplorasi dan pemanfaatan laut dalam (*deep sea*) Indonesia: Tantangan teknologi, peluang dan program strategis. Dalam *Pemikiran Guru Besar IPB (Buku II): Peranan IPTEKS dalam Pengelolaan Pangan, Energi, SDM dan Lingkungan yang Berkelanjutan*. Hal. 79-87, IPB Press. 2009.
- (7) Direct estimates of the Indonesian throughflow entering the Indian Ocean: 2004-2006. *J. Geoph. Res.* Vol. 114, 1-19. 2009.
- (8) Characteristics and variability of the Indonesian throughflow water at the outflow straits. *Deep-Sea Research*. Doi:10.1016/i.dsr.2009.06.004. 2009.
- (9) The deep-water motion through the Lifamatola passage and its contribution to the Indonesian throughflow. *Deep-Sea Research* 56: 1203-1216. 2009

- (10) Pengembangan *coastal buoy* untuk observasi kondisi perairan dan meteorologi wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil. KONAS 2008. Manado. 2008.

1. Kajian stok ikan demersal dengan menggunakan split-beam echosounder di perairan sekitar Kepulauan Togean, Sulawesi Tengah. TORANI J. Ilmu Kelautan dan Perikanan, Vol. 18 (2008), 93-101. 2008.
2. Aplikasi teknik jaringan syaraf tiruan untuk identifikasi jenis kawanan ikan. Buletin PSP Vol XV (1): 20-28. 2006.
3. Pengembangan prototif instrument pengukur tingkat kesegaran ikan dengan teknik ultrasonic. TORANI J. Ilmu Kelautan dan Perikanan, Vol. 16 (1), 39-46. 2006.
4. Aplikasi metode akustik untuk uji kesegaran ikan. Buletin Teknologi Hasil Perikanan. Vol. IX (2): 1-12. 2006.
5. Remote measurement of fish school geometry using acoustic descriptors in the strait of Bali. Indonesian Ocean Forum 2005.
6. Rancangan bangun sistem pemilahan kesegaran ikan dan pengembangan perangkat lunaknya. TORANI J. Ilmu Kelautan dan Perikanan, Vol. 15 (4), 249-255. 2005.
7. Penentuan karakteristik kawanan ikan pelagis dengan menggunakan deskriptor akustik. Jurnal Ilmu-ilmu Perairan. Jilid 12 (1), 1-8. 2005
8. Klasifikasi ex-situ kawanan ikan lemuru (*Sardinella lemuru*) di Selat Bali. Jurnal Pesisir dan Lautan Indonesia. Vol 6 (1), 19-30. 2005.
9. Fish school identification in the Ball Strait using acoustic descriptor and artificial neural networks technique. International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences, Vol. 1 (2): 43-49. 2004.
- (20) Pengembangan perangkat lunak *acoustic descriptor analyzer* (ADA-Versi 2004) untuk identifikasi kawanan ikan pelagis. Jurnal Ilmu-ilmu Perairan, Vol. 11 (2): 87-92. 2004.

- (21) Sistem telemetri *buoy* untuk transfer data otomatis berbasis teknologi GSM. INSTRUMENTASI, 28(2): 50-55. 2004
- (22) Studi awal karakteristik suara siulan (*whistle*) dan lengkungan (*burst*) pada lumba-lumba hidung botol (*Tursiops truncatus*). ILMU KELAUTAN, 9(3): 130-135. 2004
- (23) Interpretasi hasil pengukuran akustik/seismic laut dangkal di perairan Teluk Cirebon dan implikasinya terhadap keberadaan pelabuhan perikanan. Bulletin PSP, Vol. XIII, 1-14. 2004.
- (24) Studi karakteristik suara stridulasi pada tingkah laku makan ikan kerapu macan (*Ephinephelus fuscoguttatus*) dalam kondisi kontrol. MARITEK Jur. Tek. Perikanan dan Kelautan, Vol. 3(2): 19-24. 2004.
- (25) Studi awal tentang karakteristik suara lumba-lumba hidung botol (*Tursiops truncates*). MARITEK Jur. Tek. Perikanan dan Kelautan, Vol. 4(1): 59-69. 2004
- (26) Acoustical study of the schooling behavior of Lemuru (*Gardinella lemuru*). Fisheries Science, Vol. 68. 1881-1884. 2002.
- (27) Single fish echo extraction algorithm for accurate fish stock assessment: Performance evaluation. Offshore Technology Seminar, Bandung 13- 14 June 2002.
- (28) Rancang bangun instrumen pengontrol suhu ruangan otomatis untuk optimasi pembenihan ikan patin (*Pangasius sp*). MARITEK Jur. Tek. Perikanan dan Kelautan, Vol. 1(2): 65-78. 2001
- (29) Rancang bangun instrumen digital pasang surut MARITEK Jur. Tek. Perikanan dan Kelautan, Vol. 1(2): 45-53. 2001
- (30) Examination of fish signature using wavelet transform. Proceedings of the JSPS-DGHE International Symposium on Fisheries Science in Tropical Area. August 21-25,. Bogor, Indonesia. Pp. 116-119. 2000

- (31) Distribution of target strength of pelagic fish in the mix and thermocline layers along the Indian Ocean and Sunda Straits waters. Proceedings of the JSPS-DGHE International Symposium on Fisheries Science in Tropical Area. August 21-25, Bogor, Indonesia. Pp. 125-128. 2000.

Model dan simulasi refleksi gelombang akustik pada permukaan terumbu karang. (*Acoustic wave reflection model and simulation on coral reefs*). Jurnal Ilmu-Ilmu Perairan dan Perikanan, Vol. 1.1-16, 2000.

Aplikasi teknik hidroakustik dalam pemetaan sebaran kepadatan ikan serta pola gerak ikan. Prosiding Konperensi Nasional II Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Laut Indonesia. 2000.

Evaluation of swimming speed and direction of pelagic fish in the Sunda Straits: Acoustical approach. The 3rd JSPS International Seminar on Fisheries Science in Tropical Area, 19-21 August 1999, Ball, Indonesia. 1999.

- (32) Experimental observations of vertical and horizontal distribution of total suspended sediment using high frequency acoustic backscattering technique. Proceeding of the 1998 International Symposium on Underwater Technology, 15-17 April 1998, Tokyo, Japan. Pp. 21-26. 1998.

- (33) Deterministic and stochastic analyses of acoustic plane wave reflection from inhomogeneous porous seafloor. J. Acoust. Soc. Am. 99, 903-913. 1996.

- (34) Shallow-water acoustic/geoacoustic experiments at the New Jersey Atlantic Generating Station site. J. Acoust. Soc. Am. 96, 3593-3604 1994.

- (35) Propagator matrix for plane wave reflection from inhomogeneous anisotropic seafloor. J. Comp. Acoust. 2, 11-27. 1994.

- (36) Analytical and experimental approach in modeling of wave-seabed interaction. Proceedings of the Second International



- (40) Stochastic analysis of acoustic plane wave reflection from inhomogeneous porous media. Geo-coast '91. Int. Conf. On Geotech. Engr. For Coastal Development, Theory and Practice, Yokohama, Japan, 1991.

PEMBAHASAN

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mengutip sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPIB.
2. Dilarang mengumbar dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPIB.
- © Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
Dilarang Berprestasi Terbaik, Peringkat 2 Tingkat Institut Pertanian Bogor, 2007.
- INOVATOR INDONESIA 100, Kementerian RISTEK dan BIC, 2008 (3 karya inovasi).
- INOVATOR INDONESIA 101, Kementerian RISTEK dan BIC, 2009 (3 karya inovasi).
- INOVATOR INDONESIA 103, Kementerian RISTEK dan BIC, 2011 (1 karya inovasi).