

APAKAH NILAI REDUKSI DAN OKSIDASI POTENSIAL SEDIMEN TAMBAK BERPENGARUH TERHADAP PRODUKSI UDANG WINDU DI TAMBAK ?

Gunarto

Balai Riset Perikanan Budidaya Air Payau, Maros

ABSTRAK

Dalam budi daya udang di tambak proses persiapan tanah dasar tambak terutama pengeringan pelataran tambak sangat penting, hal ini dimaksudkan agar penurunan nilai redoks potensial berjalan lambat setelah tambak dioperasikan. Dengan demikian penetrasi oksigen tetap sampai ke dasar tambak, sehingga lingkungan dasar tambak tetap cocok untuk kehidupan udang yang dibudidayakan. Apabila terjadi reduksi misalnya reduksi Fe^{+3} dan Mn^{+4} , produktivitas tambak dapat menurun akibat tidak sesuainya dasar tambak untuk pertumbuhan udang. *Sulphure Reducing Bacteria (SRB)* banyak dijumpai pada sedimen tambak, merupakan bakteri anaerob, berperan dalam pembentukan asam sulfida (H_2S). Pada tambak yang mempunyai nilai redoks positif, total bakteri SRB akan lebih rendah daripada sedimen tambak yang nilai redoks potensialnya telah negatif. Sedangkan *Sulphure Oxydizing Bacteria (SOB)* bersifat aerob hidup di beberapa cm pada permukaan sedimen tambak, menggunakan H_2S sebagai donor elektron, populasinya dapat meningkat tajam pada tambak intensif yang menggunakan kincir. Nilai redoks sedimen tambak akan semakin menurun apabila konsentrasi sulfida, amonia, dan nitrit meningkat. Berdasarkan hasil monitoring kaitan antara nilai redoks sedimen tambak dengan produksi dan sintasan udang ternyata belum nampak ada pengaruh langsung, karena dijumpai pada tambak yang mempunyai nilai redoks negatif tertinggi justru produksi dan sintasan udang windu yang dibudidayakan cenderung lebih tinggi daripada tambak yang mempunyai nilai redoks potensial lebih tinggi. Dengan demikian produksi dan sintasan udang dalam kajian ini lebih ditentukan oleh kualitas benur/tokolan yang ditebar bebas WSSV, pengelolaan air dan pakan secara tepat serta persiapan tambak yang maksimal.

KATA KUNCI: nilai redoks, tambak, udang windu, bahan organik

PENDAHULUAN

Dalam budi daya udang semi intensif maupun intensif pakan yang diberikan tidak selalu habis dimakan, sisa pakan dan sisa metabolisme dapat menyebabkan parameter kualitas air tambak menurun. Bahan organik dari sisa pakan, *feces* dan ditambah fitoplankton yang mati digunakan sebagai substrat untuk pertumbuhan mikroorganisme. Mikroorganisme dapat merubah bahan organik salah satunya menjadi amonia selanjutnya menjadi nitrat dan terakhir denitrifikasi nitrat menjadi nitrogen (Boyd, 1999). Keadaan seperti ini berlangsung di badan air di mana kebutuhan oksigen tercukupi (aerob).

Di sedimen tambak proses penguraian bahan organik menjadi lebih kompleks karena melibatkan aktivitas tidak hanya bakteri aerob namun juga anaerob dan proses fermentasi.

Semakin melimpah bahan organik baik pada air maupun sedimen tambak dapat menyebabkan penyakit yang ditimbulkan oleh bakteri seperti penyakit yang disebabkan oleh bakteri seperti *Vibrio harveyi* serta virus WSSV dan MBV yang sering menyebabkan kegagalan panen. Dengan demikian perlu pengolahan yang tepat pada dasar tambak terutama pada waktu persiapan tanah dasar tambak, agar proses penurunan nilai redoks potensial berjalan lambat sehingga penetrasi oksigen mampu sampai ke sedimen tambak. Definisi redoks potensial (Eh) adalah besarnya nilai relatif dari proses oksidasi dan reduksi di lingkungan dasar tambak (John *et al.*, 1989). Nilai yang lebih besar menunjukkan kondisi yang lebih teroksidasi. Laporan ini mengulas kebutuhan oksigen pada sedimen tambak dan reaksi redoks, aktivitas mikroorganisme pada sedimen tambak dan hubungan nilai redoks dengan populasi bakteri sulfur, yang terakhir adalah membahas

hubungan antara nilai redoks potensial sedimen tambak dengan produksi dan sintasan udang windu. Analisis dilakukan berdasarkan data-data dari hasil penelitian dan literatur.

KEBUTUHAN OKSIGEN PADA SEDIMEN TAMBAK DAN REAKSI REDOKS

Konsentrasi oksigen terlarut merupakan faktor utama yang mempengaruhi proses dan kondisi di perbatasan antara air dan sedimen tambak. Kebutuhan oksigen pada sedimen merupakan indikator tingkat intensitas proses mineralisasi dan metabolisme komunitas benthos. Suplee & Cotner (1996) mendapatkan bahwa peningkatan kebutuhan oksigen pada sedimen tambak cukup tinggi dari 0,06 g O₂/m²/jam pada minggu ketiga menjadi 0,24 g O₂/m²/jam pada akhir pemeliharaan. Konsumsi oksigen pada sedimen tambak tergantung dari difusi oksigen dari air yang ada di atasnya. Plankton menghasilkan oksigen pada siang hari, tetapi diambil oleh biota yang hidup di air tersebut untuk pernafasannya terutama pada kedalaman 10—20 cm dari permukaan air. Kalau terjadi kejenuhan oksigen pada lapisan tersebut, maka sebagian oksigen akan terdifusi ke atmosfer. Angin dan arus membawa oksigen masuk ke lapisan sedimen tambak, sehingga akan menambah oksigen pada sedimen. Hal ini bisa membuat bahan organik yang ada teroksidasi di beberapa millimeter sebelah bawah permukaan sedimen tambak. Sebagian besar di daerah sedimen disebut sebagai lapisan anoksidasi, karena elektron aseptor, misalnya sulfat akan dirubah, dan hasil akhir dari reduksi sulfat tersebut adalah gas H₂S (John *et al.*, 1989).

Proses reduksi misalnya reduksi Fe⁺³ dan Mn⁺⁴ merupakan pemicu menurunnya produksi biota budi daya. Menurunnya produksi bisa

disebabkan oleh tidak sesuainya dasar tambak untuk kehidupan mikroorganisme akibat proses reduksi tersebut atau dapat terjadi difusi senyawa racun dari proses reduksi pada sedimen tambak masuk ke badan air. H₂S yang tidak terurai sangat beracun pada ikan dan udang karena hydrogen sulfida dapat menghambat proses respirasi secara aerob karena mampu mengikat sitokrom oksidase di molekul oksigen. Konsentrasi H₂S sebanyak 0,063—0,342 mg/L mematikan 50% udang *Penaeus indicus* selama 96 jam. Sulfida juga menghambat proses nitrifikasi sehingga amonia menjadi meningkat di tambak.

Reaksi redoks terjadi apabila oksigen menurun maka proses denitrifikasi terjadi, dengan nitrat sebagai electron aseptor. Selanjutnya besi, mangan, sulfat, dan CO₂ membantu sebagai elektron aseptor. Alongi *et al.* (1999) memperkirakan bahwa kontribusi penurunan oksigen dari oksidasi karbon sebanyak 41%—60% melalui respirasi oksigen, 7%—22% dari reduksi Mn, 5%—25% dari reduksi Fe, dan 13%—26% dari reduksi sulfat di sedimen tambak.

Stratifikasi di Sedimen

Perbedaan stratifikasi di sedimen dicirikan oleh perbedaan elektron aseptor. Oksigen merupakan agen oksidasi yang paling penting di permukaan sedimen. Pada kedalaman dibawah 0—4 cm, di mana kandungan oksigen telah menurun sehingga terjadi proses denitrifikasi, nitrat (NO₃⁻) merupakan elektron aseptor selanjutnya diikuti oleh besi (Fe⁺³), mangan (Mn⁺⁴), sulfat (SO₄²⁻), dan karbonat (CO₂) membantu sebagai elektron aseptor (Tabel 1) yang umumnya terjadi pada kedalaman antara 10—50 cm. Aliran energi biologi di sedimen pada umumnya hanya terjadi di empat zona

Tabel 1. Reaksi redoks di sedimen tambak (dari Reddy *et al.*, 1986 dalam Avnimelech & Rivto, 2003)

Sistem oksidasi (elektron aseptor)	Proses	Perkiraan nilai redoks potensial (microVolt)
O ₂ ----> CO ₂	Respirasi aerob	500-600
NO ₃ ⁻ ----> N ₂	Denitrifikasi	300-400
Senyawa organik	Fermentasi	< 400
Fe ⁺³ ----> Fe ⁺²	Reduksi	200
Mn ⁺⁴ ----> Mn ⁺²		
SO ₄ ²⁻ ----> S ⁻²	Sulfat reduksi	-100
CO ₂ ----> CH ₄	Methanogenesis	-200

tersebut dan pemisahan zona tersebut berdasarkan hasil energi bebas dari reaksi redoks potensial yang terjadi pada masing-masing zona. Respirasi secara aerob terjadi pada lapisan di mana didominasi oleh banyaknya oksigen, sedangkan di zona lainnya respirasi terjadi secara anaerob.

AKTIVITAS MIKROORGANISME DI SEDIMEN TAMBAK DAN HUBUNGAN NILAI REDOKS DENGAN POPULASI BAKTERI *SULFUR REDUCING BACTERIA (SRB)* DAN *SULFATE OXYDIZING BACTERIA (SOB)*

Sedimen tambak kaya akan nutrisi dan bahan organik. Konsentrasi nutrisi di sedimen tambak jauh lebih tinggi dari yang ada di badan air diperkirakan pada 1 (satu) cm ketebalan sedimen tambak umumnya terdapat 10 x atau lebih dari jumlah nutrisi yang ada pada 1 m kedalaman badan air. Bahan organik yang melimpah di sedimen tambak, menyebabkan pertumbuhan mikroorganisme sangat pesat, sehingga konsumsi oksigen di sedimen tambak menjadi banyak dan dapat mengakibatkan daerah dasar tambak di bawah permukaan menjadi daerah anoksi (tidak beroksigen).

Densitas bakteri baik aerob maupun anaerob yang berada di dasar tambak jumlahnya 2 hingga 4 kali lipat dari jumlah bakteri yang ada di badan air tambak. Gunarto *et al.* (2003; 2004) mendapatkan bahwa populasi bakteri *Vibrio sp.* di sedimen tambak selalu lebih besar daripada populasinya di badan air tambak. Selanjutnya pada hasil penelitian Gunarto *et al.* (2005) mendapatkan bahwa total bakteri di sedimen tambak kurang lebih dua kali lipat daripada total bakteri di badan air tambak. Burford *et al.* (1998) mendapatkan bahwa jumlah

bakteri pada lumpur yang terakumulasi di tengah tambak sebesar $15,5 \times 10^9$ sel/g, sedangkan di lumpur tambak bagian tepi sebesar $8,1 \times 10^9$ sel/g. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa jumlah bakteri akan meningkat pada bagian yang banyak nutrisi dan tekstur tanahnya lebih lembut misalnya di lumpur.

Bakteri SRB (*Sulphur Reducing Bacteria*) merupakan bakteri anaerob, bakteri tersebut hanya bisa mengurai asam lemak rantai pendek dan alkohol sederhana yang diproduksi oleh bakteri fermentasi sebagai sumber karbon organik. Selanjutnya hasil fermentasi ditransportasi menuju ke zona reduksi sulfat dan bakteri menggunakan sulfat sebagai oksidan untuk mengoksidasi hasil fermentasi menjadi karbondioksida dan selanjutnya melepaskan asam sulfida (H_2S) sebagai hasil akhir (Boyd, 1995; Bauman, 2004). Asam sulfida (H_2S) menyebabkan warna hitam pada lumpur yang tidak teroksidasi. H_2S sangat beracun bagi organisme akuatik karena mampu menyumbat insang (Devaraja *et al.*, 2002; Munn, 2004).

Nampak terjadi penurunan populasi bakteri SRB di petak perlakuan maupun petak kontrol percobaan dari awal penebaran hingga setelah 60 hari pemeliharaan udang dalam tambak. Penurunan paling rendah terjadi di perlakuan D, kemudian perlakuan A, perlakuan C, dan perlakuan B. Apabila dikaitkan dengan nilai redoks potensial, di mana sampai hari ke-60 pemeliharaan udang dalam tambak pada perlakuan D rata-rata nilai redoks masih positif (8,6 microVolt), sedangkan di petak A, B, dan C nilai redoks potensial telah negatif dan yang terendah adalah di perlakuan A (-119 microVolt) yang merupakan petak kontrol di mana tanpa adanya penambahan probiotik (Tabel 2).

Tabel 2. Hubungan nilai redoks potensial dengan populasi bakteri *Sulphur Reducing Bacteria (SRB)* dan *Sulphur Oxidising Bacteria (SOB)* di sedimen tambak

Perlakuan	Awal penebaran			30 hari setelah tebar			60 hari setelah tebar		
	Redoks	SRB	SOB	Redoks	SRB	SOB	Redoks	SRB	SOB
A	28	$34,0 \times 10^5$	$3,20 \times 10^7$	-34	$2,5 \times 10^5$	$1,20 \times 10^7$	-119	$5,2 \times 10^3$	$1,8 \times 10^8$
B	46	$21,2 \times 10^5$	$0,92 \times 10^8$	-49	$19,3 \times 10^4$	$0,42 \times 10^8$	-33	$2,5 \times 10^4$	$2,4 \times 10^9$
C	52	$22,5 \times 10^5$	$5,16 \times 10^7$	-79	$3,2 \times 10^4$	$0,62 \times 10^7$	-79	$7,8 \times 10^3$	$22,5 \times 10^7$
D	36	$26,2 \times 10^5$	$26,2 \times 10^5$	17	$7,5 \times 10^5$	$7,50 \times 10^5$	8,6	$4,2 \times 10^3$	$4,2 \times 10^3$

Keterangan:

A: petak kontrol tanpa probiotik, B: petak perlakuan yang mendapatkan probiotik dari mulai persiapan tambak, C: petak perlakuan yang mendapatkan probiotik mulai dari 15 hari setelah penebaran, D: petak perlakuan yang mendapatkan probiotik mulai dari 30 hari setelah penebaran

Dengan demikian peranan probiotik untuk mendekomposisikan bahan organik cukup berfungsi di petak B, C, dan D, sehingga menyebabkan nilai redoks potensial meskipun mengalami penurunan tetapi tidak setajam seperti di perlakuan A yang tanpa penambahan probiotik dan mengalami penurunan cukup tajam hingga mencapai nilai -119 microVolt.

Penurunan populasi bakteri SRB pada 60 hari setelah penebaran kemungkinan ada kaitannya dengan mulai operasional kincir yang berarti bahwa suplai oksigen kemungkinan sampai ke sedimen tambak sehingga bakteri SRB yang sifatnya anaerob kurang berkembang. Di lain hal bakteri probiotik *Bacillus* sp. berkembang karena sifatnya aerob dan fungsinya mendekomposisikan bahan organik, maka nilai redoks potensial lebih baik pada sedimen tambak yang menggunakan probiotik (petak B, C, dan D) daripada yang tidak menggunakan probiotik (petak A).

Bakteri *Sulphur Oxidising Bacteria* (SOB) tergolong dalam *Proteobacteria*, contohnya adalah *Thiobacillus* sp., *Beggiatoa* sp., *Thiothrix* sp., dan *Thiovulum* sp. bersifat aerob berada di beberapa mm dari bagian atas sedimen tambak, menggunakan H₂S, elemen sulfur atau thiosulfat sebagai donor elektron (Mun, 2004). Pada penelitian ini nampak bahwa bakterio SOB di sedimen tambak dari awal penebaran hingga 30 hari setelah penebaran nampak menurun tipis, selanjutnya pada hari ke-60 meningkat tipis di perlakuan A, B, dan C. Peningkatan tersebut kemungkinan ada kaitannya dengan mulai diopeasionalkan kincir pada hari ke-60, sehingga bakteri SOB yang sifatnya aerob dan berada di permukaan sedimen tambak mampu berkembang, sedangkan bakteri SOB di perlakuan D tetap terjadi penurunan. Hal ini kemungkinan ada kaitannya dengan ketersediaan bakteri SRB yang jumlahnya juga sedikit di perlakuan D. Hal ini berarti bahwa produksi H₂S yang dihasilkan oleh bakteri SRB di perlakuan D juga sedikit, padahal bakteri SOB menggunakan H₂S sebagai elektron aseptor. Oleh karena itu maka populasi bakteri SOB di perlakuan D kurang berkembang apabila dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Hal ini berbeda dengan yang dilaporkan oleh Devaraja *et al.* (2002) di tambak Malaysia dalam penelitiannya menggunakan probiotik komersial mendapati bahwa bakteri SOB meningkat secara signifikan di sedimen tambak yang menggunakan probiotik, namun demikian produksi udangnya tidak berbeda nyata dengan perlakuan yang tidak menggunakan probiotik.

Peningkatan secara signifikan pada bakteri SOB kemungkinan karena penggunaan kincir yang sejak dari awal proses budi daya yaitu pada dua bulan pertama sebanyak 4—12 jam/hari dan pada dua bulan berikutnya sebanyak 12—20 jam/hari, sedangkan pada penelitian yang dilakukan Gunarto *et al.*, (2005) penggunaan kincir setelah masuk periode pemeliharaan bulan ketiga dan hanya selama 7—9 jam/hari.

HUBUNGAN NILAI REDOKS POTENSIAL SEDIMEN TAMBAK DENGAN PRODUKSI DAN SINTASAN UDANG WINDU DI TAMBAK

Berdasarkan Tabel 3 di bawah, nampak bahwa nilai redoks potensial sedimen tambak umumnya positif pada saat penebaran (20 hari setelah penebaran tambak/awal penebaran), kecuali B2, D1, dan D2. Pada 30 hari setelah penebaran nilai redoks sudah negatif, kecuali pada petak A2, C2, D2, dan D3 masih positif. Pada 60 hari setelah penebaran nilai redoks negatif tertinggi (rata-rata -119 mV) dijumpai di perlakuan A (kontrol), pada perlakuan yang menggunakan probiotik rata-rata nilainya masing-masing -33 mV(B), -79 mV (C), dan 8,6 mV (D). Boyd (1995) menyatakan bahwa konsentrasi sulfida, amonia, nitrit yang meningkat akan menyebabkan nilai redoks menjadi semakin turun. Hal ini berarti bahwa timbunan sulfida, amonia, dan nitrit lebih banyak di perlakuan A (kontrol) daripada perlakuan lainnya.

Rata-rata produksi udang tertinggi 31,7 kg diperoleh pada kontrol (A), sedangkan pada perlakuan yang menggunakan probiotik masing-masing adalah 24,66 kg (B); 28,13 kg (C); dan 27,27 kg (D). Berdasarkan uji statistik menunjukkan tidak ada perbedaan yang berarti ($P>0,05$) di antara ketiga perlakuan dan kontrol.

Penggunaan probiotik pada penelitian ini merupakan probiotik yang difermentasi menggunakan campuran tepung ikan, dedak halus, molase dalam perbandingan tertentu. Tepung ikan merupakan sumber protein (N), dedak dan molase sebagai sumber karbohidrat (C), dan berdasarkan uji pendahuluan di laboratorium populasi bakteri probiotik yang difermentasi menggunakan media tersebut populasi bakteri *Bacillus* sp. dapat mencapai 10^9 cfu/ mL pada hari kedua proses fermentasi (Gunarto *et al.*, 2005). Pada penelitian ini padat tebar udang dalam tambak adalah 8 ekor/m² dan mulai hari kelima hingga menjelang panen udang diberi pakan dengan dosis 30%—4% dari total bobot biomassa. Dengan penambahan probiotik hasil

Tabel 3. Nilai redoks potensial pada sedimen tambak budi daya udang windu dengan pemberian probiotik

Perlakuan	Nilai redoks sebelum tebar (mV)	Nilai redoks 30 hari setelah tebar (mV)	Nilai redoks 60 hari setelah tebar (mV)	Produksi (kg)	Rat a-rat a produksi (kg)	Sintasan (%)	Rat a-rat a sintasan (%)
A1	48	-118	-176	39,75		89,55	
A2	27	-64	-125	18,00	31,70	54,02	76,24
A3	9	80	-57	37,40		85,17	
B1	27	-42	21	38,00		80,62	
B2	-15	-55	28	11,00	24,11	78,50	74,96
B3	126	-51	-148	25,00		65,78	
C1	29	-139	-134	18,00		60,62	
C2	36	48	-78	36,90	28,10	95,52	79,93
C3	92	-146	-25	29,5 ^a		83,65 ^a	
D1	-65	-101	-25	35,70		81,10	
D2	-34	40	-56	20,80	27,26	56,92	74,22
D3	110	112	107	25,30		84,65	

a : data berasal dari perhitungan data hilang

A: kontrol

B : aplikasi probiotik 3 mg/L per 5 hari dari sebelum penebaran hingga menjelang panen

C : aplikasi probiotik 3 mg/L per 5 hari setelah 15 hari penebaran sampai menjelang panen

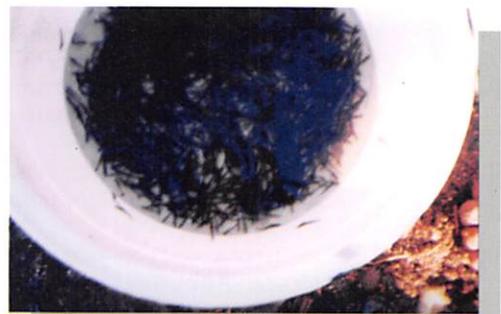
D : aplikasi probiotik 3 mg/L per 5 hari setelah 30 hari penebaran sampai menjelang panen

fermentasi maka diharapkan mampu menurunkan jumlah N yang berasal dari hasil penguraian sisa pakan, sisa metabolisme, dan ekskresi serta penambahan dari media untuk fermentasi probiotik. Berdasarkan data yang diperoleh dapat diketahui bahwa jumlah N total di petak B dan D cenderung lebih rendah dibanding dengan di petak A, kontrol, dan petak C. Keadaan yang sama juga pada kandungan amoniaknya di petak B dan D cenderung lebih rendah dari pada di petak A dan C.

Sintasan udang windu tertinggi pada perlakuan C (78,07%); kemudian disusul oleh kontrol (76,24%); perlakuan B (74,96%); dan D (74,22%). Berdasarkan uji statistik menunjukkan tidak ada perbedaan yang berarti ($P > 0,05$) pada sintasan dari ketiga perlakuan dan kontrol. Beberapa hal diperkirakan berpengaruh dominan sehingga menghasilkan sintasan tinggi pada semua perlakuan dan kontrol yaitu benur yang ditebar adalah tokolan yaitu PL-30 (Gambar 1). Benur bebas WSSV yang dideteksi



Gambar 1. Pengerikan tambak yang maksimal pada tahap persiapan tambak sehingga menghasilkan nilai redoks positif walaupun tambak telah digenangi air selama 20 hari



Gambar 2. Benur PL-30 yang ditebar dalam tambak



a



b

Gambar 3. Adaptasi benur secara hati-hati sebelum ditebar di tambak (a), tambak yang digunakan untuk budi daya udang windu (b)

melalui tes PCR. Selain itu persiapan tambak dilakukan secara maksimal artinya pengeringan sampai nilai redoks positif (Gambar 2). Proses adaptasi yang cukup memadai pada saat penebaran benur di tambak dan penebaran dilakukan pada pagi hari (Gambar 3). Pakan tambahan untuk benur diberikan sejak awal (5 hari) setelah penebaran.

KESIMPULAN

Dari data nilai redoks potensial sedimen tambak yang diperoleh sejak persiapan tambak hingga hari ke-60 pemeliharaan udang di tambak, belum nampak ada keterkaitan secara langsung antara nilai redoks potensial sedimen tambak dengan jumlah produksi dan sintasan udang windu yang diperoleh dari setiap petak tambak dalam setiap perlakuan.

DAFTAR PUSTAKA

Alongi, D.M., F. Tirendi, and L.A. Trott. 1999. Rate of pathways of benthic mineralization in extensive shrimp ponds in the mekong delta, Vietnam. *Aquaculture* 175: 269—292.

Avnimelech, Y. and G. Ritvo. 2003. Shrimp and fish pond soils : processes and management. *Aquaculture*, 220: 549—567.

Bauman, R.W. 2004. *Microbiology*. International Edition, San Francisco, Pearson Benjamin Cumming, 326 pp.

Boyd, C.E. 1995. Bottom soils, sedimen, and pond aquaculture. Auburn University, Alabama, 347 pp.

Boyd, C.E. 1999. Codes of practice for responsible shrimp farming. Department of fisheries and Allied Aquacultures, Auburn University, AL USA, 36 pp.

Burford, M.A., E.L. Peterson, J.C.F Baiano, and N.P. Preston. 1998. Bacteria in shrimp pond

sediments, their role in mineralizing nutrient and some suggested in sampling strategies. *Aqua Res*, 29: 843—849.

Day, J.W., C.A.S. Hall, W.M. Kemp, and A. Yanez-Arancibia. 1989. *Estuarine ecology*. John Wiley and Sons, New York, 558 pp.

Devaraja, T.N., F.M. Yusoff, and M. Shariff. 2002. Changes in bacterial populations and shrimp production in ponds treated with commercial microbial products. *Aquaculture*, 206: 245—256.

Gunarto, Suharyanto, Muslimin, dan A.M. Tangko. 2003. Budidaya udang windu menggunakan tandon mangrove dengan pola resirkulasi berbeda. *J. Pen. Perik. Indonesia Edisi Akuakultur*, 9(2): 57—64.

Gunarto, Muslimin, dan A. Mansyur. 2004. Budidaya udang windu pada tambak pola resirkulasi menggunakan sistem tandon. *J. Pen. Perik. Indonesia Edisi Akuakultur*, 10(5): 91—102.

Gunarto, B.R. Tampangalo, E. Susianingsih, dan Muliani. 2005. Pemeliharaan benur windu, *Penaeus monodon* di laboratorium dengan penambahan probiotik hasil perbanyakan. Makalah disajikan pada Seminar Nasional Konggres Biologi XIII di UGM Yogyakarta Th 2005, 10 pp.

Gunarto, A.M. Tangko, B.R. Tampangalo, dan Muliani. 2006. budidaya udang windu (*Penaeus monodon*) di tambak dengan penambahan probiotik. *JPPi (In press)*, 17 pp.

Munn. 2004. *Marine Microbiology*. BIOS Scientific Publisher, London and New York, 282 pp.

Suplee, M.W. dan J.B. Cotner. 1996. Temporal change in oxygen demand and bacterial sulfate reduction in inland shrimp pond. *Aquaculture*, 145: 141—158.