

PEMANFAATAN BIOTEKNOLOGI BERBASIS MIKROORGANISME GUNA MENDUKUNG PENINGKATAN PRODUKTIVITAS PERIKANAN NASIONAL

Ikhsan Khasani

Loka Riset Pemuliaan dan Teknologi Budidaya Perikanan Air Tawar
Jl. Raya Sukamandi No. 2, Subang 41256
E-mail: ikhsankhasani@yahoo.com

ABSTRAK

Keberhasilan dalam akuakultur sangat dipengaruhi oleh kemampuan membentuk ekosistem yang mampu mendukung kehidupan ikan yang dipelihara dan penyediaan pakan berkualitas dengan harga terjangkau. Pada ekosistem perairan, khususnya lingkungan budidaya ikan, mikroorganisme memiliki peran sangat kompleks dan vital. Seiring meningkatnya taraf pengetahuan masyarakat dan kesadaran budidaya berkelanjutan, pola pikir pembudidaya mulai bergeser ke arah optimalisasi peran mikroorganisme sebagai sahabat, bukan semata sebagai jasad penyebab masalah yang harus dimusnahkan dari ekosistem budidaya. Hal tersebut tentunya dapat dicapai apabila pembudidaya mampu mengelola jasad renik tersebut secara benar. Kemampuan mikroorganisme menghasilkan enzim pencernaan dan mengkonversi limbah pertanian menjadi protein juga sangat potensial untuk dimanfaatkan dalam menyediakan bahan baku pakan alternatif dengan harga terjangkau. Pemanfaatan bioteknologi berbasis mikroorganisme secara intensif dalam mengatasi permasalahan limbah budidaya, agen biokontrol, pakan alami, dan agen fermentasi pakan diharapkan mampu mendongkrak produktivitas budidaya perikanan nasional.

KATA KUNCI: bioteknologi, mikroorganisme, produktivitas perikanan

PENDAHULUAN

Target peningkatan produksi perikanan nasional yang diprogramkan Menteri Kelautan dan Perikanan hingga 350% menuntut semua pihak yang terkait berpikir maksimal guna mengoptimalkan segala potensi yang tersedia. Salah satu potensi besar yang dimiliki Indonesia adalah hamparan tambak yang luas, yang kini terbengkalai akibat permasalahan penyakit pada budidaya udang laut, udang windu (*Penaeus monodon*), dan udang

vaname (*Metapenaeus vannamei*). Kompleksitas permasalahan tersebut salah satunya disebabkan oleh pola budidaya yang kurang bijak, penggunaan antibiotik, dan bahan kimia, sehingga merusak keseimbangan ekosistem tambak, khususnya diversitas dan kuantitas mikroorganisme. Tidak seimbangnya peningkatan harga pakan dan nilai jual ikan juga berdampak pada melemahnya gairah budidaya beberapa komoditas ikan air tawar, di antaranya pada budidaya ikan patin yang produksinya diharapkan meningkat hingga 1.400%.

Kunci keberhasilan budidaya ikan selain harus ditopang kemampuan pembudidaya dalam menciptakan lingkungan yang sesuai bagi kehidupan ikan yang dipelihara juga harus didukung oleh ketersediaan pakan berkualitas dengan harga terjangkau. Lingkungan atau ekosistem budidaya ikan relatif lebih kompleks dibandingkan ekosistem darat, sehingga pengetahuan mengenai pengaruh berbagai komponen ekosistem tersebut sangat diperlukan, khususnya pada sistem budidaya intensif. Komponen ekosistem perairan dikelompokkan menjadi dua, yaitu komponen biotik, yang meliputi ikan yang dibudidayakan, organisme renik (mikroorganisme), vegetasi perairan dan hewan tingkat tinggi lainnya; serta komponen abiotik yang meliputi parameter fisika-kimia air, substrat dasar kolam, iklim (Zonneveld *et al.*, 1991; Odum, 1993).

Mikroorganisme sebagai bagian komponen ekosistem perairan memiliki berbagai peran, baik yang menguntungkan maupun merugikan (Sigee, 2005). Secara mendasar, mikroorganisme didefinisikan sebagai organisme yang berukuran sangat kecil, yang hanya teramati dengan jelas dengan alat bantu mikroskop (Singheltan & Sainsbury, 1978; Pelczar, 1988; Waluyo, 2005; Madigan *et al.*, 2009). Organisme renik tersebut akan selalu didapati pada semua habitat alam, di mana ada kehidupan maka mikroorganisme akan selalu menjadi komponen dari ekosistem alam tersebut. Khususnya di lingkungan akuakultur, keberadaan mikroorganisme sangat berpengaruh terhadap kesehatan dan pertumbuhan ikan yang dipelihara. Hal tersebut disebabkan mikroorganisme merupakan produsen primer, mata rantai

pertama dalam rantai makanan (*food chain*) dan berperan penting dalam siklus unsur-unsur (*biogeochemical cycles*), seperti siklus C, N, P, O, dan unsur lainnya (Atlas & Bartha, 1998; Maier *et al.*, 2000), sekaligus beberapa di antaranya bersifat patogenik bagi ikan (Noga, 2000; Irianto, 2005). Berdasarkan kemampuannya dalam merombak bahan organik dan anorganik melalui reaksi enzimatik, maka melalui penerapan bioteknologi berbasis mikroorganisme limbah pertanian dan air buangan diolah menjadi bahan yang lebih bermanfaat dan dimanfaatkan sebagai substrat untuk memproduksi enzim (Fardiaz, 1989). Selain memiliki peranan positif, ternyata keberadaan mikroorganisme di lingkungan akuatik juga seringkali menimbulkan dampak negatif bagi kehidupan organisme lainnya, termasuk manusia. Kontaminasi bakteri dan mikroalga pada air minum, air sumur, dan air sungai merupakan salah satu penyebab munculnya berbagai masalah seperti bau, perubahan warna, penyumbatan pipa-pipa, dan beberapa penyakit seperti kolera dan disentri. Bakteri *Vibrio cholerae* merupakan salah satu jenis bakteri yang sering menyebabkan kolera di samping beberapa jenis yang lain (Bockemuhl *et al.*, 1986). Jenis bakteri patogen lainnya adalah *Salmonella* spp. yang merupakan bakteri dominan pada air yang tercemar (Moringo *et al.*, 1986). Pada lingkungan budidaya perikanan, mikroorganisme juga kerap kali menginfeksi ikan atau udang yang dipelihara atau dengan kata lain menjadi penyebab munculnya penyakit yang dapat menimbulkan kematian ikan dan kegagalan usaha budidaya (Yuasa *et al.*, 2003; Supriyadi, 2005).

Melihat besarnya peranan mikroorganisme dalam lingkungan akuatik, tentunya menuntut bagi manusia untuk mampu mengetahui seluk-beluk kehidupan mikroorganisme baik secara morfologis, fisiologis, genetik maupun keanekaragamannya, sehingga dapat diambil langkah dalam mengoptimalkan kemampuan mikroorganisme tersebut bagi peningkatan kesejahteraan hidup manusia dan sekaligus mengendalikan potensi negatif yang dimilikinya. Dalam tulisan ini akan diuraikan beberapa peran positif penting mikroorganisme bagi pengembangan akuakultur.

PERAN MIKROORGANISME PADA AKUAKULTUR

Benih unggul, kualitas air sebagai tempat hidup dan berkembang ikan, kualitas dan jumlah pakan yang diberikan merupakan aspek-aspek utama yang mendukung keberhasilan akuakultur. Pada dua aspek tersebut, yaitu kualitas air dan pakan, mikroorganisme memegang peranan sangat vital sehingga karakter dan sifatnya senantiasa dikaji secara mendalam. Beberapa peran

mikroorganisme yang banyak dipelajari adalah dalam hal bioremediasi, biokontrol, pengayaan nutrisi pakan, dan pakan alami.

Bioremediasi

Bioremediasi didefinisikan sebagai proses penguraian limbah organik atau polutan secara biologi dalam kondisi terkendali (Eweis, 1989). Penguraian senyawa kontaminan tersebut melibatkan mikroorganisme (bakteri, khamir, alga, dan fungi). Perbaikan kualitas air, seperti penurunan kandungan amonia dan nitrit, dapat dilakukan dengan memanfaatkan kemampuan mikroorganisme, yang dikenal pula sebagai bioremediasi (Devaraja *et al.*, 2002; Lante & Haryanti, 2006; Widiyanto 2006). Salah satu metode yang banyak digunakan untuk memperbaiki kualitas air adalah dengan mengalirkan air bekas budidaya ke bak pengolah limbah. Bak pengolah limbah budidaya ikan umumnya dilengkapi dengan filter biologi yang dikondisikan dapat memacu perkembangan bakteri nitrifikasi. Sistem resirkulasi seperti nampak pada Gambar 1, merupakan gambaran sistem pengolahan limbah budidaya ikan yang melibatkan mikroorganisme. Beberapa jenis bakteri nitrifikasi, seperti *Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*, mampu mendegradasi amonia menjadi nitrit dan selanjutnya menjadi nitrat (Chia-Fuang Tsai, 1989; Ruiz *et al.*, 1994; Verschuere *et al.*, 2000).

Nitrifikasi merupakan salah satu tahapan penting pada siklus nitrogen di alam (Atlas & Bartha, 1998; Bothe *et al.*, 2000; Beaumont *et al.*, 2002; Nemergut & Schmidt, 2002). Perombakan nitrogen organik oleh mikroorganisme menghasilkan senyawa amonia (NH_4^+ dan NH_3), yang selanjutnya akan mengalami oksidasi menjadi



Gambar 1. Sistem resirkulasi, dilengkapi tangki filter biologis berbahan *bio-ball* sebagai media penempelan mikroorganisme

senyawa nitrat (NO_3^-), dengan terlebih dahulu menjadi senyawa nitrit (NO_2^-) dalam proses yang disebut nitrifikasi (Madigan *et al.*, 1997; Beaumont *et al.*, 2002). Bakteri dari famili Nitrobacteriaceae merupakan kelompok mikroorganisme yang dominan dalam proses nitrifikasi (Atlas & Bartha, 1998; Bothe *et al.*, 2000; Nemergut & Schmidt, 2002).

Bakteri nitrifikasi kemolitotrofik gram-negatif, seperti *Nitrosomonas*, *Nitrosococcus*, *Nitrobacter*, *Nitrococcus*, *Nitrospira* merupakan bakteri nitrifikasi utama di alam (Holt *et al.*, 1994; Schramm *et al.*, 1998; Roberts & Lewis, 2001; Pelczar & Chan, 2005). Namun demikian, pertumbuhan bakteri nitrifikasi kemolitotrof sangat lambat dan mudah tertekan oleh kehadiran bakteri heterotrof, sehingga relatif sulit untuk diisolasi dalam kondisi murni dan dipelihara dalam waktu lama (Lewis & Premer, 1958; Bothe *et al.*, 2000; Roberts & Lewis, 2001). Beberapa bakteri heterotrof, seperti *Alcaligenes* sp., *Arthrobacter* sp., dan *Pseudomonas* sp. juga diketahui berperan dalam proses nitrifikasi (Castignetti & Holocher, 1984; Schimel *et al.*, 1984; Nemergut & Schmidt, 2002; Widiyanto, 2006). Bakteri nitrifikasi heterotrof memiliki laju pertumbuhan lebih cepat, dengan waktu generasi 8-10 jam, dibandingkan bakteri nitrifikasi autotrof, yang memiliki waktu generasi 24-48 jam (Golz, 1995; Brune *et al.*, 2003). Beberapa jenis bakteri heterotrof mampu mengoksidasi amonia menjadi biomassa sel, tanpa menghasilkan senyawa nitrit (Maier *et al.*, 1999; Brune *et al.*, 2003). Sifat fisiologis tersebut merupakan salah satu faktor yang mendorong adanya penelitian terhadap bakteri nitrifikasi heterotrof (Schimel *et al.*, 1984; Widiyanto, 2006).

Kemampuan bakteri nitrifikasi dalam mengoksidasi senyawa amonia dan nitrit, yang bersifat toksik bagi organisme akuatik, telah dikaji cukup mendalam (Akbar, 2003; Titah & Slamet, 2004; Taufik *et al.*, 2005; Widiyanto, 2006). Salah satu tujuan dari kajian tersebut adalah upaya mengatasi dampak negatif dari amonia (NH_3) dan nitrit pada habitat perairan, khususnya perairan budidaya ikan. Pada sistem budidaya ikan secara intensif, penggunaan pakan buatan dengan kandungan protein tinggi berisiko meningkatkan kandungan amonia dan nitrit, yang berdampak pada pertumbuhan ikan yang lambat, dan seringkali menyebabkan kematian (Boyd, 1990; Cheng *et al.*, 2003; Foss *et al.*, 2003; Mallasen & Valenti, 2005). Keberadaan nitrat juga perlu diantisipasi, karena melalui reaksi denitrifikasi senyawa tersebut dapat berubah menjadi nitrit kembali. Reduksi nitrat dari perairan dapat dilakukan melalui inokulasi bakteri *Spirulina platensis*, kelompok cyanobacterium, (Chuntapa *et al.*, 2003).

Salah satu lingkungan budidaya yang memiliki karakteristik kandungan senyawa amonia dan nitrit cukup tinggi adalah lingkungan kegiatan pembenihan ikan dan udang (Aquacop, 1983; Yakoeb, 1989; New & Valenti, 2004). Untuk mengatasi dampak negatif kandungan senyawa amonia dan nitrit yang tinggi pada kegiatan pembenihan dapat diterapkan pembenihan sistem resirkulasi (Aquacop, 1983; New, 2002). Pembenihan sistem resirkulasi dioperasikan dengan memanfaatkan kerja biofilter, yang bertumpu pada aktivitas bakteri nitrifikasi (Yongjiu Cai & Summerfelt, 1992; Summerfelt *et al.*, 2001), sehingga amonia dari kotoran larva dan sisa pakan dioksidasi menjadi nitrit, selanjutnya menjadi nitrat (Yakoeb, 1989; Mallasen & Valenti, 2006). Efektivitas biofilter dipengaruhi oleh jenis dan kelimpahan bakteri yang tumbuh, sehingga pada sistem biofilter yang baru dioperasikan diperlukan waktu yang cukup lama, 4-6 minggu, agar biofilter tersebut dapat berfungsi dengan baik (Summerfelt *et al.*, 2001). Salah satu upaya untuk mempercepat waktu aktivasi biofilter adalah dengan menambahkan bakteri bioremediasi ke dalam biofilter (Mishra *et al.*, 2001; Plaza *et al.*, 2001).

Efektivitas penggunaan bakteri untuk meningkatkan kualitas air limbah pemeliharaan ikan atau udang sangat dipengaruhi oleh jenis bakteri yang digunakan (Moriarty, 1999; Verschuere *et al.*, 2000; Suprpto, 2005). Hal tersebut, karena kehidupan bakteri sangat dipengaruhi oleh lingkungan (Atlas & Bartha, 1998). Populasi bakteri pada lingkungan dengan kandungan nutrisi dan fisika-kimia berbeda, secara umum akan berbeda pula (Madigan *et al.*, 1997). Hal lain yang perlu dicermati adalah bahwa mikroorganisme sangat sensitif terhadap perubahan suhu, pH, keberadaan senyawa toksik, konsentrasi senyawa kontaminan, kelembaban, konsentrasi nutrisi, dan kadar oksigen (Eweis *et al.*, 1998). Berdasarkan sifat mikroorganisme tersebut, maka penggunaan bakteri asli (*indigenos*) dari habitat kolam, tambak, dan bak fillter limbah diprediksi mempunyai potensi yang lebih baik dalam mengoksidasi senyawa amonia dari air limbah budidaya. Hal tersebut disebabkan bakteri *indigenos* memiliki kemampuan adaptasi yang lebih baik daripada bakteri yang diperoleh dari habitat lain, sehingga kemampuannya lebih stabil (Isnansetyo, 2005).

Teknologi terkini guna mengatasi problem limbah organik pada sistem budidaya ikan intensif, sekaligus meningkatkan produktivitas lahan budidaya adalah dengan menerapkan sistem heterotrof atau dikenal pula dengan istilah teknologi *Biofloc* (Anvimelech, 2007). Pencegahan akumulasi limbah nitrogen (NH_4 , NO_2) yang dihasilkan dari sisa pakan dan feses ikan dilakukan dengan memanfaatkan

populasi bakteri heterotrof, yang dipertahankan dengan cara mempertahankan C/N rasio di atas 10 dengan penambahan sumber karbon organik, seperti molase dan pati. Melalui penerapan sistem tersebut, diharapkan limbah yang dibuang dari kegiatan budidaya dapat diminimalkan (*zero waste aquaculture*).

Pengendalian Hayati (*Bio-control*)

Pengendalian hayati (*Bio control*) pada dasarnya adalah usaha untuk memanfaatkan dan menggunakan musuh alami sebagai pengendali populasi hama yang merugikan. Pengendalian hayati sangat dilatarbelakangi oleh berbagai pengetahuan dasar ekologi, terutama teori tentang pengaturan populasi oleh pengendali alami dan keseimbangan ekosistem. Musuh alami dalam fungsinya sebagai pengendali hama bekerja secara selektif tergantung kepadatan, sehingga keefektifannya ditentukan pula oleh kehidupan dan perkembangan hama yang bersangkutan. Ketersediaan lingkungan yang cocok bagi perkembangan musuh alami merupakan prasarat akan keberhasilan pengendalian hayati. Perbaikan teknologi introduksi, *mass rearing* dan pelepasan di lapangan akan mendukung dan meningkatkan fungsi musuh alami (Untung, 1995).

Pengendalian hayati dalam bidang hama dan penyakit tanaman sudah dirintis sejak lama. Beberapa aspek yang terkait dalam pengendalian sistem terpadu seperti penggunaan agen predator, antagonis, parasit, patogen, virus, pemakaian materi organik, pembentukan benih resisten, imunisasi atau vaksinasi dengan penggunaan patogen yang tidak ganas (*hyphovirulent*), penggunaan bahan kimia selektif, penggunaan senyawa sida bahan alam, pengaturan kondisi fisik seperti pengaturan pH, penanaman bergilir (rotasi) dan pengeringan (Yusriadi, 1997). Banyak keberhasilan telah dicapai dalam dunia 'pengendalian hayati', baik dalam skala laboratorium maupun dalam aplikasi di lapangan. Dari aspek pengendalian menggunakan agensia mikroba, berbagai isolat antagonist terutama bakteri, aktinomiset, dan jamur telah teridentifikasi dan teruji potensinya.

Pada bidang akuakultur, pemanfaatan musuh alami sangat penting dalam menjaga keseimbangan ekologis di bak atau kolam budidaya, karena dengan mengembalikan sumberdaya tersebut ke alam maka kualitas lingkungan, terutama dasar kolam dapat dipertahankan. Di alam, musuh alami dapat terus berkembang selama nutrisi dan faktor-faktor lain, seperti suhu dan pH, sesuai untuk pertumbuhannya. Proses pengendalian hayati pada dasarnya mengacu pada ekologi alami sehingga untuk menciptakan lingkungan yang sesuai untuk pertumbuhan

musuh alami tersebut harus dilakukan rekayasa lingkungan, seperti manipulasi suhu dan nutrisi bak atau kolam, sehingga sistem akuakultur dapat terus berlanjut. Penambahan bahan organik atau sumber karbon melalui pemupukan kolam dengan pupuk organik atau pupuk hayati merupakan upaya untuk memacu perkembangan mikroba yang antagonistik terhadap patogen (Maeda, 1999). Selanjutnya Maeda (1999) menyatakan bahwa kesehatan ikan baik di kolam budidaya maupun di perairan alami sangat tergantung pada tingkat resisten alamiah terhadap serangan mikroorganisme, dan keseimbangan biologis antara mikroorganisme yang menguntungkan dengan mikroorganisme yang merugikan di ekosistem tersebut. Jadi, dapat diartikan bahwa keberadaan mikroba positif dan mikroba negatif (merugikan) di lingkungan akuatik secara langsung berdampak pada pertumbuhan ikan (Maeda, 1999).

Sampai saat ini pengendalian penyakit dalam kegiatan budidaya ikan atau udang di Indonesia lebih tertumpu pada penggunaan disinfektan dan antibiotik meskipun tingkat keberhasilannya relatif kecil (Subasinghe, 1977 dalam Irianto, 2003). Penggunaan antibiotik yang tidak bijaksana telah meningkatkan kekhawatiran terhadap produk perikanan dan kesehatan manusia. Beberapa negara maju yang merupakan negara pengimpor produk perikanan Indonesia secara tegas melarang masuknya produk perikanan yang mengandung residu antibiotik. Murdjani (2004) menyatakan bahwa di era globalisasi pemasaran produk ke pasar internasional harus memenuhi beberapa kriteria, di antaranya adalah tidak mengandung residu antibiotik, pestisida serta bahan kimia lain. Hal tersebut merupakan sinyal bagi kita untuk secara bertahap meninggalkan penggunaan antibiotik menuju sistem pengendalian penyakit yang lebih ramah lingkungan dan kesehatan, melalui konsep biokontrol.

Dinyatakan oleh Austin & Austin (1999) dan Maeda (1999) bahwa kontrol biologis, salah satunya adalah dengan aplikasi probiotik, merupakan strategi pengendalian penyakit ikan yang prospektif. Secara mendasar model kerja probiotik untuk pengendalian hayati adalah melalui penghambatan populasi mikroba patogen melalui kompetisi dengan memproduksi senyawa-senyawa antimikroba atau melalui kompetisi nutrisi dan tempat pelekatan di dinding intestinum, serta stimulasi imunitas melalui peningkatan kadar antibodi organisme akuatik atau aktivitas makrofag (Gram *et al.*, 1999; Irianto, 2003). Beberapa senyawa yang dihasilkan oleh mikroba memiliki aktivitas imunostimulan pada hewan akuatik, misalnya Lipo Poli Sakarida (LPS), peptidoglikan dan glukon. Penggunaan probiotik sebagai

suplemen pakan ikan atau udang juga menunjukkan aktivitas imunostimulasi, paling tidak terlihat dari aktivitas lisozim yang mampu merusak dinding sel bakteri (Irianto, 2003). Widanarni (2004) melaporkan bahwa larva udang windu yang diberi pakan berupa artemia yang telah diperkaya dengan probiotik (bakteri *Vibrio alginolyticus*) pertumbuhannya mengalami peningkatan dibandingkan kontrol yang tanpa pengkayaan. Dikatakan pula bahwa mekanisme kerja dari probiotik ini adalah melalui perlindungan tubuh larva sehingga bakteri *Vibrio harveyi* tidak mampu melekatkan diri melekatkan diri ke tubuh udang. Selain mampu menghambat bakteri lain, ternyata bakteri tertentu juga mampu menghambat virus patogen ikan dan udang (Maeda, 1999). Bakteri strain VKM-124, *Pseudoalteromonas undina*, merupakan bakteri penghambat *vibrio* dan secara luas digunakan pada akuakultur, ternyata mampu menekan munculnya serangan *Baculo-like viruses* dan *Irido virus* penyebab kerusakan epitel udang, *Penaeus undina*. Dilaporkan pula oleh Vaseeharan & Ramasamy (2003), bahwa ekstrak sel *Bacillus subtilis* BT23 berpotensi sebagai agen biokontrol patogen *Vibrio harveyi*, penyebab penyakit *black gill disease*, yang diisolasi dari lingkungan budidaya udang windu (*Penaeus monodon*). Pengembangan sistem air plankton (green water) pada unit pembenihan udang windu juga dapat menekan populasi *V. harveyi* (Huervana *et al.*, 2006).

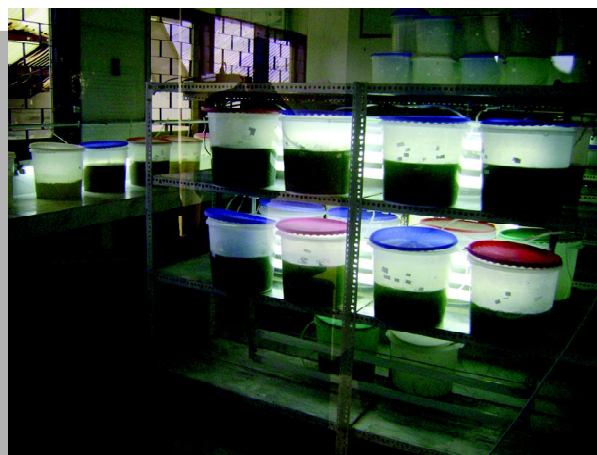
Pakan Alami

Salah satu kebutuhan larva yang harus tertangani secara maksimal adalah penyediaan pakan alami yang sesuai baik nilai gizi, ukuran maupun karakter fisik lainnya. Pakan alami merupakan organisme kecil yang memiliki peranan sangat besar dalam mendukung kehidupan larva ikan karena merupakan makanan awal dan sebagai makanan

utama. Kandungan gizi pakan alami yang tinggi khususnya asam amino dan enzim menjadikan keberadaanya sangat mutlak diperlukan bagi tumbuh dan berkembang larva. Berdasarkan karakter biologisnya pakan alami dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok besar, yaitu fitoplankton dan zooplankton. Fitoplankton merupakan jasad renik kelompok nabati yang memiliki kemampuan berfotosintesis sehingga disebut sebagai produsen primer perairan, sedangkan zooplankton memegang peranan sebagai konsumen primer, serta larva ikan merupakan konsumen sekunder (Satyani *et al.*, 2000 dalam Pamungkas & Khasani, 2006).

Keanekaragaman organisme renik yang dikenal sebagai pakan alami (*life food*) bagi larva ikan sangat besar dengan ukuran yang bervariasi dari nanoplankton (10^{-9}) sampai mikropilankton (10^{-6}). Jenis pakan alami renik yang sudah dikenal luas dan banyak dibudidayakan secara massal di panti-panti benih udang laut adalah: *chlorella*, *an spirulina*, *tetraselmis*, *chaetoceros*, sedangkan jenis pakan alami dengan ukuran lebih besar adalah rotifer (*Brachionus* sp.), Cladocera (*Moina*, *Daphnia*), dan Crustacea (*Artemia*).

Di samping kelompok mikroorganisme tersebut di atas, bakteri kini mulai dimanfaatkan sebagai pakan alami dalam akuakultur. Fenomena menarik mengenai pemanfaatan bakteri sebagai komponen pakan alami dinyatakan oleh Maeda (1999). Diinformasikan bahwa pada suatu sistem pembenihan yang menggunakan fitoalga sebagai pakan alami utama larva, sintasan benih udang, kepiting, dan ikan tidak berbeda nyata. Namun demikian, ketika spesies bakteri tertentu ditemukan bersama alga tersebut, ternyata tingkat sintasan benih meningkat secara signifikan. Oleh karena itu, selanjutnya bakteri tersebut dikultur bersama mikroalga sebagai pakan alami



Gambar 2. Laboratorium kultur fitoplakton di Balai Budidaya Laut, Situbondo

bagi larva ikan dan udang. Dalam kasus tersebut, mikroorganisme berperan ganda, baik dalam hal kontrol dominasi mikroorganisme patogen, menjaga kondisi lingkungan budidaya, maupun sebagai pakan alami. Dinyatakan pula oleh Schoyen *et al.* (2005), bahwa larva salmon dapat menggunakan protein bakteri yang mengalami lisis sebagai sumber nutrisi.

Pemanfaatan bakteri sebagai sumber nutrisi juga dikembangkan dalam konsep sistem heterotrof, yaitu memanfaatkan limbah nitrogen dari sisa pakan dan feses ikan, guna memacu perkembangan bakteri heterotrof. Peningkatan C:N rasio air pemeliharaan di atas 10, dengan menambahkan sumber C organik (seperti molase dan tepung), akan mendorong perkembangan bakteri heterotrof yang dikenal dengan *bio-flock* (Avnimelech, 2007). *Bio-flock* merupakan sumber nutrisi bagi ikan-ikan penyaring (*filter feeder*) seperti nila, udang galah, udang vaname, sehingga dapat menghemat biaya pakan dan mengatasi permasalahan limbah nitrogen (Brune *et al.*, 2003; Crab *et al.*, 2006; Azim & Little, 2008; Crab *et al.*, 2009). Meningkatnya produktivitas alami kolam secara signifikan memperbaiki efisiensi pakan (*feed conversion ratio*), sehingga biaya produksi dapat berkurang. Pesatnya perkembangan budidaya ikan intensif yang dibarengi penggunaan pakan buatan dalam jumlah besar berpotensi menghasilkan limbah organik dalam jumlah yang besar (Miller & Semmens, 2002). Hal tersebut tidak dapat dihindari karena ikan memanfaatkan hanya 20%-30% nutrisi pakan, sedangkan sisanya dikeluarkan dari tubuh ikan dan umumnya terkumpul dalam air (Brune, 2003). Menurut Craigh & Helfrich (2002), meskipun melalui manajemen yang sangat baik, pakan yang diberikan kepada ikan pasti akan menghasilkan limbah. Dari 100 unit pakan yang diberikan kepada ikan, biasanya sekitar 10% tidak termakan (terbuang), 10% merupakan limbah padatan (*solid waste*), dan 30% merupakan limbah cair (*liquid waste*) yang dihasilkan oleh ikan.

Peningkatan Mutu Pakan

Pakan merupakan komponen terbesar dari biaya produksi dalam kegiatan budidaya perikanan, mencapai 60%-70%. Permintaan pakan terus meningkat seiring pesatnya perkembangan kegiatan budidaya perikanan. Kondisi tersebut menyebabkan harga pakan juga meningkat, dikarenakan ketersediaan bahan baku sumber protein, seperti tepung ikan berfluktuasi dan masih harus diimpor (Ginting & Krisnan, 2006). Hal tersebut mendorong para pembudidaya dan perusahaan pakan skala kecil untuk mencari bahan baku pakan alternatif pengganti tepung ikan dan bungkil kedelai, yang tersedia secara

lokal, jumlahnya berlimpah dan terjaga kontinuitasnya. Beberapa bahan baku pakan lokal yang mempunyai potensi sebagai bahan baku pakan alternatif adalah yang berasal dari limbah industri pertanian seperti bungkil kelapa sawit, onggok singkong (Hadadi *et al.*, 2007) dan limbah peternakan seperti isi rumen (Wizna *et al.*, 2008).

Berdasarkan analisis proksimat beberapa limbah pertanian, sebagai bahan baku pakan ikan, masih didapatkan beberapa kelemahan. Bungkil kelapa sawit misalnya, memiliki keterbatasan nutrisi terutama kandungan karbohidrat bukan pati (*non-starch polysaccharides*, NSP) yang tinggi di dalam dinding sel (Ng & Chen, 2002; Ginting & Krisnan, 2006). Laelasari & Purwadaria (2004) menyatakan bahwa bungkil kelapa sawit mempunyai faktor pembatas yaitu kandungan serat kasar yang cukup tinggi dan daya cerna yang rendah serta mengandung zat anti nutrisi (Ng & Chen, 2004). Menurut Hadadi *et al.* (2007), kandungan serat kasar yang tinggi dan kualitas protein yang rendah pada bungkil sawit menyebabkan bahan baku tersebut perlu diolah lagi agar dapat digunakan sebagai bahan baku pakan ikan. Salah satu metode meningkatkan nilai nutrisi bahan pakan adalah melalui fermentasi.

Fermentasi merupakan proses pemecahan senyawa organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan melibatkan mikroorganisme. Fermentasi pakan mampu mengurai senyawa kompleks menjadi sederhana sehingga siap digunakan larva, dan sejumlah mikroorganisme diketahui mampu mensintesis vitamin dan asam-asam amino tertentu yang dibutuhkan oleh larva hewan akuatik. Supriyati *et al.* (1999) menyatakan bahwa pada proses fermentasi terjadi reaksi di mana senyawa kompleks diubah menjadi senyawa yang lebih sederhana dengan membebaskan molekul air. Fermentasi dengan menggunakan kapang memungkinkan terjadinya perombakan komponen bahan yang sulit dicerna menjadi lebih mudah dicerna, sehingga nilai nutrisinya meningkat. Fermentasi asam laktat pada kedelai terbukti menghilangkan kandungan sukrosa, menurunkan kadar rafinosa, aktivitas penghambat tripsin, dan faktor penghambat absorpsi lemak. Adapun fermentasi dengan *Aspergillus oryzae* terbukti meningkatkan kadar protein dan kadar peptida berukuran kecil serta menghilangkan penghambat tripsin (Irianto, 2003). Lebih lanjut dinyatakan bahwa fermentasi juga berfungsi sebagai salah satu cara pengolahan dalam rangka pengawetan bahan dan cara untuk mengurangi bahkan menghilangkan zat racun yang dikandung suatu bahan. Berbagai jenis mikroorganisme mempunyai kemampuan untuk mengkonversikan pati

menjadi protein dengan penambahan nitrogen anorganik melalui fermentasi.

Fermentasi biji rami (*Linum usitatissimum*) dengan inokulum bakteri asam laktat (*Lactobacillus acidophilus*) mampu mengurangi zat anti nutrisi (asam pitat) dan kandungan tannin dalam biji rami dari 2,45% menjadi 1,32% (Mukhopadhyay *et al.*, 2005). Hasil penelitian Wizna *et al.* (2005) menyatakan bahwa fermentasi limbah singkong menggunakan inokulum *Bacillus amyloliquefaciens* mampu mengurangi kandungan serat kasar hingga 48% dengan *treatment* fermentasi menggunakan 2% dosis inokulum selama 6 hari waktu fermentasi pada suhu 40°C.

Potensi besar mikroorganisme yang kini semakin disadari adalah fenomena sistem pencernaan pada organisme ruminansia yang melibatkan konsorsium mikroorganisme. Hardiyanto (2001) menyatakan bahwa isi rumen, dengan kandungan mikroorganisme penghasil enzim pencernaan, berpotensi sebagai *feed additive*. Isi rumen sapi mengandung 8,45% protein kasar; 1,23% lemak kasar; dan 33,53% serat kasar. Dinyatakan oleh Wizna *et al.* (2008) bahwa nilai nutrisi sagu dapat ditingkatkan melalui pencampuran isi rumen dalam bahan tersebut. Mikroorganisme, mikroflora isi rumen, menghasilkan enzim dan berperan dalam proses fermentasi sehingga ikatan polisakarida terurai menjadi senyawa lebih sederhana dan lebih mudah dicerna oleh ikan.

Upaya untuk meningkatkan ketersediaan nutrisi pada bungkil sawit dengan sasaran menekan kadar NSP dan meningkatkan kadar protein kasar telah dilakukan melalui fermentasi substrat padat menggunakan berbagai strain kapang, antara lain *Aspergillus niger* (Supriyati *et al.*, 1999) dan *Trichoderma koningii*, *Trichoderma viridae*, dan *Trichoderma harzianum* (Ginting & Krisnan, 2006). Kelompok mikroorganisme lain, bakteri, juga banyak dimanfaatkan dalam proses fermentasi bahan pakan dengan waktu lebih cepat, karena waktu generatifnya lebih pendek (Fardiaz, 1989). Berbagai jenis bakteri diisolasi dan dikaji efektivitasnya dalam fermentasi pakan.

Bacillus amyloliquefaciens diketahui sebagai mikroorganisme penghasil enzim selulase, merupakan enzim utama dalam merombak dan mengubah molekul karbohidrat kompleks menjadi komponen molekul yang lebih sederhana (Wizna, 2003 dalam Wizna, 2005a). Fermentasi pada limbah singkong dengan menggunakan *Bacillus amyloliquefaciens* sebagai inokulum dapat meningkatkan kandungan protein kasar hingga 360% dan mengurangi kandungan serat kasar hingga 32% (Wizna *et al.*, 2005b).

PENUTUP

Pemanfaatan bioteknologi berbasis mikroorganisme semakin nyata perannya dalam menunjang keberhasilan budidaya perikanan. Potensi mikroorganisme mereduksi limbah budidaya menjadi senyawa yang aman bagi ikan peliharaan dan lingkungan semakin prospektif untuk dikembangkan seiring kesadaran budidaya ramah lingkungan dan berkelanjutan. Teknologi pemanfaatan limbah pertanian yang cukup melimpah melalui fermentasi juga membuka harapan dalam mengatasi harga sumber protein pakan yang mahal dan masih merupakan bahan impor.

DAFTAR ACUAN

- Avnimelech, Y. 2007. Feeding with microbial flocs by tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. *Aquaculture*, 264: 140–147.
- Akbar. 2003. *Efisiensi nitrifikasi dalam sistem biofilter submerged bed, trickling filter, dan fluidized bed*. Skripsi Departemen Biologi Institut Teknologi Bandung, Bandung: xiv + 67 pp.
- Aquacop. 1983. Intensive larval rearing in clear water of *Macrobrachium rosenbergii* (de Man, Avenue stock), at The Centre Oceanologique du Pacifique, Tahiti. *CRC Handbook of Mariculture*, 1: 179–187.
- Atlas, R.M. & Bartha, R. 1998. *Microbial ecology*. Fundamental and Application 4th ed. Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., California: x + 675 pp.
- Austin, B. & Austin, D.A. 1999. Bacterial Fish Pathogens, Disease of Farmed and Wild Fish, 3rd (revised) ed. Springer-Praxis, Godalman, p. 263–296.
- Azim, M.E. & Little, D.C. 2008. The biofloc technology (BFT) in indoor tanks: Water quality, biofloc composition, and growth and welfare of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 283: 29–35.
- Bockemuhl, J., Roch, K., Wohlers, B., Aleksic, V., Aleksic, S., & Wokatsch, R. 1986. Seasonal distribution of facultative enteropathogenic vibrios (*Vibrio cholerae*, *vibrio mimicus*, *vibrio parahaemolyticus*) in the fresh-water of the Elbe River at Hamburg. *J. of Applied bacteriology. Society for Applied Biotechnology*. Blackwell Scientific Publication, New Castle, 60: 435–442.
- Beaumont, H.J.E., Mommers, N.G., Soto, L.A.S., Arp, D.J., Arciero, D.M., Hooper, A.B., Westerhoff, H.V., & Van-Spanning, R.J.M. 2002. Nitrite reductase of *Nitrosomonas europaea* is not essential for production of gaseous nitrogen and confers tolerance to nitrite. *J. of Bacteriology*, 184(9): 2557–2560.

- Bothe, H., Jost, G., Schlöter, M., Ward, B.B., & Witzel, K. 2000. Molecular analysis of ammonia oxidation and denitrification in natural environments. *FEMS Microbial Reviews*, 24: 673–90.
- Boyd, C.E. 1990. *Water quality in pond for aquaculture*. Birmingham Publishing Company, Alabama: ix + 147 pp.
- Brune, D.E., Schwartz, G., Eversole, A.G., Collier, J.A., & Schwedler, T.E. 2003. Intensification of pond aquaculture and high rate photosynthetic systems. *Aquacultural Engineering*, 28: 65–86.
- Castignetti, D. & Hollocher, T.C. 1984. Heterotrophic nitrification among denitrifiers. *Applied and Environmental Microbiology*, 47(4): 620–623.
- Cheng, W., Su-Mei Chen, Feng-I Wang, Pei-I Hsu, Chun-Hung Liu, & Jiann-Chu Chen. 2003. Effect of temperature, pH, salinity and ammonia on the phagocytic and clearance efficiency of giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* to *Lactococcus garvieae*. *Aquaculture*, 219: 111–121.
- Chia-Fuang Tsai. 1989. Good water quality management. Dalam: Akiyama (Ed.). 1989: *Proceeding of the South East Asia Shrimp Farm Management Workshop*, p. 56–63.
- Chuntapa, B., Powtongsook, S., & Menasveta, P. 2003. Water quality control using *Spirulina platensis* in shrimp culture tanks. *Aquaculture*, 220: 355–366.
- Crab, R., Kochva, M., Verstraete, W., & Avnimelech, Y. 2009. Bio-flocs technology application in over-wintering of tilapia. *Aquacultural Engineering*, 40: 105–112.
- Crab, R., Chielens, B., Wille, M., Bossier, P., & Verstraete, W. 2009. The effect of different carbon sources on the nutritional value of bioflocs, a feed for *Macrobrachium rosenbergii* postlarvae. *Aquaculture Research*, 1–9.
- Craig, S. & Helfrich, L.A. 2002. Understanding fish nutrition, feed, and feeding. Department of Fisheries and Wildlife Science. *Virginia Tech.*, 8 pp.
- Devaraja, T.N., Yusoff, F.M., & Shariff, M. 2002. Changes in bacterial populations and shrimp production in ponds treated with commercial microbial product. *Aquaculture*, 206: 245–256.
- Eweis. 1998. *Bioremediation Principles*. McGraw-Hill International Edition, Boston, 293 pp.
- Fardiaz, S. 1988. Fisiologi fermentasi. Pusat Antar Universitas. Institut Pertanian Bogor, 186 hlm.
- Foss, A., Vollen, T., & Oiestad, V. 2003. Growth and oxygen consumption in normal and O₂ supersaturated water, and interactive effects of O₂ saturation and ammonia on growth in spotted wolfish (*Anarhichas minor Olafsen*). *Aquaculture*, 224: 105–116.
- Ginting, S.P. & Krisnan, R. 2006. Pengaruh fermentasi menggunakan beberapa strain *Trichoderma* dan masa inkubasi berbeda terhadap komposisi kimiawi bungkil inti sawit. *Seminar Nasional Teknologi Peternakan dan Veteriner*, 939–944.
- Golz, W.J. 1995. Biological treatment in recirculating aquaculture systems. *Proceeding of Workshop for Agricultural Science*. Louisiana State University, Louisiana, 6–7 Desember 1995, 4 pp.
- Gram, L., Melchiorson, J., Lovold, T., Nielsen, J., & Spanggaard, B. 1999. Inhibition of *Vibrio anguillarum* by *Pseudomonas fluorescens* AH@, a possible probiotic treatment of fish. *Applied and Environmental Microbiology*, 65: 969–973.
- Hadadi, A., Herry, Setyorini, Surahman, A., & Ridwan, E. 2007. Pemanfaatan limbah sawit untuk bahan pakan ikan. *J. Budidaya Air Tawar*, 4(1): 11–18.
- Holt, J.G., Krieg, N.R., Sneath, P.A.H., Staley, J.T., & Williams, S.T. 1994. *Bergey's manual of determinative bacteriology*. 9th ed. William & Wilkins Company, Baltimore: xviii + 787 pp.
- Huervana, F.H., Joy, J., La Cruz, Y.D., & Caipang, C. 2006. Luminous *Vibrio harveyi* by green water, obtained from tank culture of tilapia, *Oreochromis mossambicus*. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 36(1): 17–23.
- Irianto, A. 2003. Probiotik Akuakultur. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta, 125 hlm.
- Irianto, A. 2005. Patologi ikan teleostei. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta, 243 hlm.
- Isnansetyo, A. 2005. Bakteri antagonis sebagai probiotik untuk pengendalian hayati pada akuakultur. *J. Perikanan*, 7(1): 1–10.
- Laelasari & Purwadaria, T. 2004. Pengkajian nilai gizi hasil fermentasi mutan *Aspergillus niger* pada substrat bungkil kelapa dan bungkil inti sawit. *Biodiversitas*, 5(2): 48–51.
- Lante, S. & Haryanti. 2006. Aplikasi probiotik pada budidaya udang windu. *Aquacultura Indonesiana*, 7(3): 145–155.
- Lewis, R.F. & Pramer, D. 1958. Isolation of *Nitrosomonas* in pure culture. *J. of Bacteriology*, 76(5): 524–528.
- Madigan, M.T., Martinko, J.M., & Parker, J. 1997. *Brock biology of microorganism* 9th ed. Englewood Cliff: Prentice Hall International, Inc. London: xv iii + 986 pp.
- Maeda, 1999. Note: Detailed information and references are available in the book of Maeda (1999); Microbial

- Processes in Aquaculture. The scientists who would like to read this book can obtain it by writing to JIRCAS. *Natl. Res. Inst. Aquaculture*, 102 pp.
- Maier, R., Pepper, I.L., & Gerba, C.P. 2000. *Environmental microbiology*. Academic Press, San Diego: xix + 570 pp.
- Mallasen, M. & Valenti, W.C. 2005. Larval development of the giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* at different ammonia concentration and pH values. *J. of The world Aquaculture Society*, 36(1): 32–41.
- Miller, D. & Semmens, K. 2002. Waste management in Aquaculture. Aquaculture Information Series. West Virginia University, 10 pp.
- Mishra, S., Jyot, J., Kuhad, R.C., & Lal, B. 2001. Evaluation of inoculum addition to stimulate in situ bioremediation of oily-sludge-contaminated soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 67(4): 1675–1681.
- Moriarty, D.J.W. 1999. Disease control in shrimp aquaculture with probiotic bacteria. *Proceeding of the 8th International Symposium on Microbial Ecology*, Atlantic Canada Society for Microbial Ecology, Halifax, 7 pp.
- Morinigo, M.A., Borrego, J.J., & Romero, P. 1986. Comparative study of different methods for detection and enumeration of *Salmonella* spp. in natural waters. *J. of Applied Bacteriology. Society for Applied Biotechnology*. Blackwell Scientific Publication, New Castle, 60: 443–453.
- Mukhopadhyay, N. & Ray, A.K. 2005. Effect of fermentation apparent total and nutrient digestibility of Linseed, *Linum usitatissimum*, meal in Rohu, *Labeo rohita*, fingerlings. *Acta Ichthyologica Et Piscatoria*, 35(2): 73–78.
- Murdjani, M. 2004. Problem solving penyakit di pembenihan udang. *Buku Panduan. Seminar Nasional Udang I. Temu Nasional I. Masyarakat Akuakultur Indonesia*. Jakarta, 11 pp.
- Nemergut, D.R. & Schmidt, S.K. 2002. Disruption of narH, narJ, and moaE inhibits heterotrophic nitrification in *Pseudomonas* strain M19. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(12): 6462–6465.
- New, M.B. 2002. *Farming freshwater prawn, a manual for the culture of giant river prawn (Macrobrachium rosenbergii)*. FAO Fisheries Technical Paper, Rome: Xiii + 207 pp.
- New, M.B. & Valenti, W.C. 2004. *Freshwater prawn culture: The farming of Macrobrachium rosenbergii*. Blackwell Science, Oxford: xix + 435 pp.
- Ng, W.K. & Chen, M.I. 2002. Replacement of soybean meal with palm kernel meal in practical diets for hybrids Asian-African catfish. *Aquaculture*, 12: 67–76.
- Ng, W.K. & Chen, M.I. 2004. Researching the use of palm kernel cake in aquaculture feeds. Fish Nutrition laboratory, University Sains Malaysia, Penang.
- Noga, E.J. 2000. Fish disease. Diagnosis and treatment. Blackwell Publishing, Iowa, 389 hlm.
- Odum, E.P. 1993. *Dasar-dasar ekologi*. 3th ed. Terjemahan Samingan, T. & Srigandono, B. 1993. *Fundamental of ecology*. Gadjah Mada University, Jogjakarta: xv + 697 hlm.
- Orunmuyi, M., Bawa, G.S., Adeyinka, F.D., Daudu, O.M., & Adeyinka, I.A. 2006. *Pakistan J. of Nutrition*, 5(1): 71–74.
- Pamungkas, W. & Khasani, I. 2006. Peningkatan Nilai Nutrisi Pakan Alami melalui Teknik Pengkayaan. *Media Akuakultur*, 1(2): 20–26.
- Pelczar, M.J. & Chan, E.C.S. 2005. *Dasar-dasar mikrobiologi Jilid 1*. Terjemahan dari *Elements of microbiology*, oleh Hadioetomo, R.S., Imas, T., Tjitrosomo, S.S., & Angka, S.L. UI-Press, Jakarta: viii + 443 hlm.
- Plaza, E., Trela, J., & Hultman, B. 2001. Impact of seeding with nitrification process efficiency. *Water Science and Technology*, 43(1): 155–164.
- Roberts, G.S. & Lewis, G. 2001. In situ analysis of *Nitrosomonas* spp. in wastewater treatment wetland biofilms. *Water Resources*, 35(11): 2731–2739.
- Ruiz, J.L.L. & Garrudo, M.E.G. 1994. Zeolite in marine nitrogen transformation. *Aquaculture Engineering*, 13: 147–152.
- Schimmel, J.P., Firestone, M.K., & Killham, K.S. 1984. Identification of heterotrophic nitrification in Sierran forest soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 48(4): 802–806.
- Schoyen, H.F., Froyland, J.R.K., Sahlstrom, S., Knutsen, S.H., & Skrede, A. 2005. Effects of autolysis and hydrolysis of bacterial protein meal grown on natural gas on chemical characterization and amino acid digestibility. *Aquaculture*, 248: 27–33.
- Schramm, A., de Beer, D., Wagner, M., & Amann, R. 1998. Identification and activities in situ of *Nitrospira* and *Nitrospira* spp. as dominant populations in a nitrifying fluidized bed reactor. *Applied and Environmental Microbiology*, 64(9): 3480–3485.
- Sigee, D.C. 2005. Freshwater microbiology. John Wiley & Sons, Ltd. England, 517 pp.
- Singhelton, P. & Sainsbury, D. 1978. *Dictionary of Microbiology*. John Wiley & Sons, Chichester: iii + 481 hlm.

- Sundu, B., Kumar, A., & Dingle, J.G. 2003. Perbandingan dua produk enzim komersial pencernaan beta mannan pada ayam pedaging yang mengkonsumsi bungkil kelapa sawit dengan level yang berbeda. *Prosiding Seminar Nasional Pemanfaatan Sumberdaya Hayati berkelanjutan*, p. 19–25.
- Supriyadi, H., Mangunwiryo, H., Maryono, & Effendi, J. 1995. Pencegahan penyakit bakterial pada ikan gurame dengan cara vaksinasi. *J. Pen. Perik. Indonesia*, 1(4): 28–35.
- Supriyati, Pasaribu, T., Hamid, H., & Sinurat, A. 1999. Fermentasi bungkil inti sawit secara substrat padat menggunakan *Aspergillus niger*. *JITV*, 3(2): 165–170.
- Summerfelt, S., William, J.B., & Tsukuda, S. 2001. Controlled Systems: Water reuse and recirculation. dalam Wedemeyer, G.A. (Ed.). 2001. *Fish hatchery management*. 2nd ed. American Fisheries Society, Bethesda, p. 285–396.
- Suprpto, H. 2005. Penelitian pendahuluan penggunaan *Bacillus* sp. sebagai probiotik untuk mengurangi jumlah bakteri *Vibrio* sp. pada hepatopankreas dan air pemeliharaan udang windu (*Penaeus monodon*). *J. Perikanan*, 7(1): 54–59.
- Taufik, I., Sutrisno, Yuliati, P., Supriyadi, H., Subandiyah, S., & Mutholib, I. 2005. Studi pengaruh suhu air terhadap bakteri bioremediasi (*Nitrosomonas* dan *Nitrobacter*) pada pemeliharaan benih patin siam (*Pangasius hypophthalmus*). *J. Pen. Perik. Indonesia*, 11(7): 59–63.
- Titah, H.S. & Slamet, A. 2004. Studi penurunan nitrogen amonia bekas tambak udang intensif dengan menggunakan *roughing biofilter horisontal*. *J. Purifikasi*, 5(1): 25–30.
- Untung, K. 1995. Dasar ekonomi pengelolaan penyakit tanaman terpadu. Risalah Kongres Nasional XII dan Seminar Ilmiah PFI, 6–8 Septembar 1993. Yogyakarta, 49–64.
- Vaseeharan, B. & Ramasamy, P. 2003. Control of pathogenic *Vibrio* spp. by *Bacillus subtilis* BT23, a possible probiotic treatment for black tiger shrimp *Penaeus monodon*. *Letters in Applied Microbiology*, 36: 83–87.
- Verschuere, L., Rombaut, G., Sorgeloos, P., & Verstraete, W. 2000. Probiotic bacteria as biological control agents in aquaculture. *Microbiology and Molecular Biology review*, 64: 655–671.
- Waluyo, L. 2005. Mikrobiologi Lingkungan. Universitas Muhammadiyah Malang Press. Malang, 381 hlm.
- Widanarni. 2004. Penapisan Bakteri Probiotik untuk Biokontrol Vibriosis pada Larva Udang Windu: Konstruksi Penanda Molekuler dan Esei Pelekatan. Disertasi. Institut Peranian Bogor, 268 hlm.
- Widiyanto, T. 2006. Seleksi bakteri nitrifikasi dan denitrifikasi untuk bioremediasi di tambak udang. Disertasi Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor: xv + 121 hlm.
- Wizna, Abbas, H., Rizal, Y., Kompiang, I.P., & Dharma, A. 2005a. Potensi bakteri *Bacillus amyloliquefaciens* sersasah hutan sebagai inokulum fermentasi pakan berserat tinggi. *J. Ilmiah Ilmu-ilmu Peternakan*, VIII(3): 212–220.
- Wizna, Abbas, H., Rizal, Y., Kompiang, I.P., & Dharma, A. 2005b. The potential of cellulolytic bacteria *Bacillus* sp. from forest litter in improving the quality of cassava waste as feed and its applications toward improving the productivity of poultry. HB XIII project research report. Faculty of Animal Husbandry, Andalas University, Padang.
- Wizna, Abbas, H., Rizal, Y., Kompiang, I.P., & Dharma, A. 2008. Improving the quality of sago pith and rumen content mixture as poultry feed through fermentation by *Bacillus amyloliquefaciens*. *Pakistan J. of Nutrition*, 7(2): 249–254.
- Yakoeb, A. 1989. *Ternakan benih udang galah secara intensif*. Jabatan Perikanan Kementerian Pertanian Malaysia, Kuala Lumpur: iii + 49 hlm.
- Yongjiu Cai & Summerfelt, R.C. 1992. Effect of temperature and size on oxygen consumption and ammonia excretion by walleye. *Aquaculture*, 104: 127–138.
- Yuasa, K., Panigoro, N., Bahmar, M., & Kholidin, E.B. 2003. *Panduan diagnosa penyakit ikan. Teknik diagnosa penyakit ikan budidaya air tawar di Indonesia*. Balai Budidaya Air Tawar Jambi, Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya dan Japan International Corporation Agency (JICA). Jambi, 265 hlm.
- Yusriadi. 1997. *Pengaruh Pemberian Mikroorganisme Antagonis terhadap Perkembangan Penyakit Layu Bakteri (Pseudomonas solanacearum) pada tanaman Kacang tanah*. Tesis. Program Pascasarjana IPB.
- Zonneveld, N.Z.A., Huisman, E.A., & Bonn, J.H. 1991. Prinsip-prinsip Budidaya Ikan. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 318 hlm.