EDUCTUM: Journal Research
Vol. 4, No. 4, Juli 2025, pp. 131~137

The Effect of C:N Ratio Level on Water Quality Parameters and Growth of Whiteleg Shrimp (Litopenaeus vannamei) with a Non-Water Exchange Cultivation System Using Molasses as an Organic Carbon Source

Pohan Panjaitan[1]
[1]Program Studi Produksi Peternakan, Universitas HKBP Nommensen, Indonesia
Email: drpohanpanjaitan@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu kendala utama pengembangan budidaya intensif adalah akumulasi nitrogen anorganik beracun yang harus dijaga sangat rendah dengan pertukaran air yang sering atau daur ulang air melalui biofilter. Studi ini menjelaskan metode lain untuk menghilangkan nitrogen anorganik menggunakan populasi bakteri heterotrofik yang ditambah dengan penambahan zat karbon, molase, untuk meningkatkan rasio umpan C:N di bawah kondisi laboratorium. Tujuan utama studi laboratorium adalah untuk mengetahui korelasi tingkat rasio C:N dengan kadar amonia, nitrit, oksigen terlarut, pH dan pertumbuhan udang dalam budidaya udang Penaeus monodon dengan *Zero Water Exchange Model* (ZWEM) menggunakan molase sebagai sumber karbon. Ditemukan bahwa penambahan tetes tebu pada tambak udang dengan ZWEM berperan dalam menghilangkan amonia dan nitrit. Selain itu, pemberian molase pada tangki laboratorium meningkatkan pertumbuhan dan persentase pertambahan berat udang serta meningkatkan populasi bakteri heterotrof.
Keyword: Nitrogen Tak Organik; Bakteri Heterotrofik; Model Budidaya Udang Tanpa Pertukaran Air; Molase; Tingkat Rasio C:N

ABSTRACT

One of the main obstacles to development of intensive aquaculture is the accumulation of toxic inorganic nitrogen which should be kept very low by frequent water exchange or recycling of the water through a biofilter. This study describes another method of removing inorganic nitrogen using heterotrophic bacteria population of which was augmented by the addition of a carbonaceous substance, molasses, to increase the feed C:N ratio under laboratory condition. The principal aim of laboratory study was to establish correlation C:N ratio level with levels of ammonia, nitrite, dissolved oxygen, pH and shrimp growth in Penaeus monodon shrimp culture with Zero Water Exchange Model (ZWEM) using molasses as carbon resource. It was found that addition of molasses to shrimp farming with ZWEM had role in removing ammonia and nitrite. Also, application of molasses to laboratory tanks increased the growth and percentage weight gain of shrimps and increased the population of heterotrophic bacteria.
Keyword: Inorganic Nitrogen; Heterotrophic Bacteria; Shrimp Cultivation Model Without Water Exchange; Molasses; C:N Ratio Level

Corresponding Author:
Pohan Panjaitan,
Universitas HKBP Nommensen,
Jl. Sutomo No.4A, Perintis, Kec. Medan Tim., Kota Medan, Sumatera Utara 20235, Indonesia
Email: drpohanpanjaitan@gmail.com

1. INTRODUCTION

Umumnya pertukaran air secara rutin dilakukan untuk mengurangi konsentrasi amonia, nitrit dan bahan organik serta mencegah ledakan pertumbuhan alga dalam budidaya udang secara intensif. Perlu diketahui bahwa umumnya unit tambak udang di Indonesia, airnya yang tercemar dengan limbah dari unit tambak lain yang sudah memiliki kualitas rendah (*Csavas*, 1994) dan mengandung parasit serta mikroorganisme patogen lainnya (*Csavas*, 1994; *Landesman*, 1994).

Selanjutnya, air di unit tambak budidaya udang tidak dapat dibuang lagi sembarangan ke perairan umum atau sungai karena sudah ada peraturan lingkungan yang melarang pembuangan ke lingkungan

(*Avnimelech*, 1999). Dengan demikian, industri budidaya udang di Indonesia ini sudah seharusnya menggunakan *system* tertutup tanpa pergantian air.

Namun, masalah utama yang dihadapi oleh industri budidaya udang dengan *sistem tanpa pergantian air* adalah eutrofikasi yang cepat di unit tambak, akibat dari peningkatan konsentrasi nutrisi (amonia dan nitrit) dan bahan organik selama periode budidaya (*Thakur* dan *Lin*, 2003).

Bakteri heterotrofik dalam sistem akuakultur dapat menggunakan nitrogen dalam sisa-sisa pakan, feses dan urine yang selanjutnya akan dikenal sebagai nitrogen dalam *detritus* (*Wheeler* dan *Kirchman*, 1986). Penambahan monosakarida seperti glukosa dapat meningkatkan penerapan NH4+ oleh bakteri heterotrofik di perairan laut (*Hoch* et al., 1994). Penambahan bahan karbon dapat mengurangi nitrogen tak organik dalam wadah percobaan ikan (*Avnimelech*, 1999), sekaligus menghasilkan *protein sel tunggal* untuk ikan (*Avnimelech* dan *Mokady*, 1988; *Avnimelech* et al., 1989), mengurangi biaya pakan dan pemompaan air (*Avnimelech* et al., 1992; 1994; *Kochba* et al., 1994; *Avnimelech*, 1999). Sumber bahan karbon yang digunakan di unit tambak dapat berupa sorgum dan tepung terigu (*Avnimelech* et al., 1994).

Goldman et al. (1987) melaporkan bahwa tidak ada ditemukan nitrogen tak organik pada substrat yang memiliki level *C : N ratio* lebih dari 10,0 : 1. Selanjutnya *Tezuka* (1990) melaporkan bahwa regenerasi nitrogen meningkat dengan menurunnya level *C : N ratio* pada substrat organik. Sebaliknya tidak ada ditemukan regenerasi amonia pada substrat dengan level *C : N ratio* lebih besar dari 15,0 : 1.

Lebih lanjut, memanipulasi rasio *C : N* adalah metode paling efektif untuk pengendalian nitrogen tak organik dalam sistem akuakultur (*Avnimelech*, 1999). Penambahan bahan karbon secara efektif memperkecil konsentrasi nitrogen tak organik dan menghasilkan *protein sel tunggal* dalam sistem akuakultur jika sumber karbon yang tersedia memiliki rasio *C : N* lebih tinggi dari 15,0 : 1 (*Avnimelech*, 1992; *Avnimelech*, 1994). *Avnimelech* (1999) melaporkan bahwa pertumbuhan ikan di kolam yang diberi perlakuan dengan rasio *C : N* = 16,6 : 1 secara signifikan lebih tinggi daripada ikan yang dibudidayakan di kolam yang diberi perlakuan dengan rasio *C : N* = 11,1 : 1. Juga *McInton* (2000) telah menumbuhkan udang putih berhasil di tambak dengan sistem tanpa pergantian air menggunakan pakan dari biji-bijian.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara ilmiah pengaruh level *C : N ratio* terhadap parameter kualitas air dan parameter biologi pertumbuhan udang vaname dengan sistem budidaya udang tanpa pergantian air dengan menggunakan *molasses* sebagai sumber karbon organik.

2. RESEARCH METHOD

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama dua bulan, yaitu mulai Maret sampai dengan April 2025 di panti benih udang daerah Kecamatan Pantai Cermin, Kabupaten Serdang Bedagai, Provinsi Sumatra Utara.

B. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan selama penelitian ini antara lain: tangki berbahan *fiberglass* dilengkapi dengan peralatan aerasi berkapasitas 160 liter berbentuk oval sebagai wadah pemeliharaan udang, alat pemeriksa kualitas air *Horiba Model U-10*, timbangan digital, alat tulis, dan lain-lain termasuk *laptop*. Air diaerasi dengan batu aerasi dan dipupuk dua minggu sebelum penebaran udang untuk menumbuhkan *fitoplankton*.

C. Jenis Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dengan percobaan pemeliharaan udang tanpa pergantian air dengan menggunakan *molasses* sebagai sumber karbon. Ada lima perlakuan yang diuji dalam penelitian, antara lain: (1) perlakuan tanpa menggunakan *molasses* dengan rasio *C:N* = 6,5 : 1; (2) perlakuan menggunakan *molasses* dengan level rasio *C:N* = 15,0 : 1; (3) perlakuan menggunakan *molasses* dengan level rasio *C:N* = 17,5 : 1; (4) perlakuan menggunakan *molasses* dengan level rasio *C:N* = 20,0 : 1; dan (5) perlakuan menggunakan *molasses* dengan level rasio *C:N* = 22,5 : 1.

Setiap perlakuan memiliki tiga ulangan dan alokasi tangki untuk setiap perlakuan diacak. Tangki diaerasi dengan tiga aerator yang digantung di kolom air. Volume tangki 160 liter dipertahankan konstan dengan menambahkan 2 liter air tawar (*air ledeng*) setiap minggu untuk mengganti air yang hilang akibat penguapan.

Setiap tangki ditebar dengan 4 ekor udang atau setara dengan kepadatan udang 30 ekor m^{-2} (*Allan* dan *Maguire*, 1992). Rata-rata bobot individu pada saat penebaran adalah 5,014 ± 0,336 gram dan udang diberi pakan udang komersial (*Taiwan Company Product*) dengan kandungan protein kasar 38%. Laju pemberian pakan yang diterapkan dalam percobaan adalah 5% dari berat badan per hari selama penelitian (sesuai rekomendasi perusahaan pakan), dan jumlah *molasses* yang diberikan pada masing-masing tangki disesuaikan dengan perlakuan (tingkat rasio pakan *C:N*) dan tingkat pakan harian. Pakan udang diberikan ke setiap tangki dua kali sehari (50% dari total pakan yang dibutuhkan pada pukul 08.00 dan 18.00) seperti yang dilakukan di kolam budidaya ikan oleh *Avnimelech* et al. (1992), sedangkan *molasses* diaplikasikan sekali sehari pada pukul 08.00 pagi.

Tingkat rasio *C:N* pakan dihitung dengan membagi total *input carbon* dengan total *input nitrogen* yang digunakan dalam budidaya udang (*Avnimelech* et al., 1989; *Avnimelech* et al., 1992a; *Avnimelech* et al., 1994; *Kochba* et al., 1994; *Avnimelech*, 1999). Sumber karbon utama budidaya udang berasal dari pakan dan *molasses*, sedangkan sumber nitrogen utama adalah pakan. Selanjutnya, kandungan nitrogen pakan ditentukan dengan asumsi bahwa 30% protein pakan mengandung 4,65% nitrogen (*Avnimelech*, 1999). Oleh karena itu, kandungan nitrogen pakan dengan protein lebih dari 30% dihitung dengan konversi asumsi tersebut, sedangkan kandungan karbon pakan dan *molasses* yang digunakan pada penelitian ini adalah masing-masing 38,5% dan 29,71%.

Jumlah *molasses* yang dibutuhkan per 1 gram pakan pada setiap perlakuan adalah 0,00; 1,68; 2,17; 2,67; dan 3,16 gram masing-masing perlakuan. Selanjutnya, bakteri heterotrof yang diukur pada setiap perlakuan berasal dari bakteri alami air laut yang digunakan (*Avnimelech*, 1999).

D. Pengukuran dan Analisis Kualitas Air

Salinitas, suhu, pH dan oksigen terlarut dalam air diukur menggunakan alat pengukur kualitas air *Horiba* (Model U-10). Sebelum pengukuran parameter kualitas air tersebut, alat pengukur kualitas air *Horiba* dikalibrasi secara manual seperti yang dijelaskan dalam buku petunjuk. Konsentrasi amonia, nitrit dan nitrat dalam air diukur secara fotometrik menggunakan *Palintest Photometer*, berdasarkan *metode indofenol*, *metode diazotisasi*, dan *metode reduksi/diazotisasi kadmium* untuk amonia, nitrit, dan nitrat.

Jumlah bakteri heterotrof ditentukan dengan menghitung koloni yang tumbuh pada cawan *Tryptone Soya Agar* (*TSA*) dengan 10% NaCl (*Johnsen* et al., 1993). Sebelum bakteri ditumbuhkan di media agar, pengenceran serial dibuat dalam larutan garam fisiologis yang terdiri dari 9% NaCl (*Sohier* dan *Bianchi*, 1985). Jumlah bakteri dinyatakan dalam *unit pembentuk koloni per ml air* (*CFU* ml^{-1}) (*Smith*, 1998).

E. Tingkat Kelangsungan Hidup Udang, Pertumbuhan, dan Rasio Konversi Pakan

Penelitian dilakukan selama delapan minggu. Setiap dua minggu dilakukan penimbangan berat badan total udang (W) untuk setiap wadah percobaan. Demikian juga, jumlah udang hidup (N) di setiap tangki dihitung. Selanjutnya dicatat jumlah pakan yang digunakan pada setiap tangki (Wf). Rata-rata bobot badan (Wa) dihitung dengan membagi W dengan N. Rata-rata keseluruhan nilai sintasan (%), laju pertumbuhan udang (gram/hari), persentase pertambahan bobot (%), dan rasio konversi pakan (*FCR*) ditentukan oleh persamaan berikut di bawah ini seperti yang digunakan dalam studi akuakultur umum (*Balazs*, 1973; *Bages* dan *Sloane*, 1981; *Tseng* et al., 1998).

Percobaan budidaya udang di tangki *fiberglass* dilakukan selama delapan minggu. Setiap dua minggu dilakukan penimbangan berat badan total udang untuk setiap wadah percobaan. Demikian pula, jumlah udang hidup (N) di setiap tangki dihitung. Selanjutnya dihitung jumlah pakan yang digunakan pada masing-masing tangki (Wf). Rata-rata bobot badan (Wa) dihitung dengan membagi W dengan N. Tingkat kelangsungan hidup udang (%), laju pertumbuhan udang (gram/hari) dan rasio konversi pakan (*FCR*) ditentukan dengan rumus di bawah ini seperti yang digunakan dalam studi akuakultur umum (*Tseng* et al., 1998).

1. Tingkat Kelangsungan Hidup (%)

$$= \frac{(N_0 - N_t)}{N_0} x100\% \quad (1)$$

2. Pertumbuhan (gram/hari)

$$= \frac{(W_t - W_0)}{N_0} \quad (2)$$

3. Rasio Konversi Pakan (FCR)

$$= \frac{\sum w_f}{\Delta w} \quad (3)$$

Dimana:

- N_0 dan N_t adalah jumlah udang yang dibudidayakan pada setiap tangki pada waktu awal (t_0) dan waktu *t*,
- W_0 dan W_t adalah rata-rata berat badan udang pada waktu awal (t_0) dan waktu *t*,
- *t* adalah periode waktu pemeliharaan udang,
- $\sum w_f$ adalah jumlah total pakan yang digunakan pada setiap tangki, dan
- Δw adalah pertambahan dari total berat udang di setiap tangki untuk waktu budidaya *t*.

F. Analisis Data

Data penelitian dianalisis dengan menggunakan perangkat lunak *Statistica Versi 6.1* dan dengan *ANOVA satu arah* (*Steel* and *Torrie*, 1980) untuk mengevaluasi efek dari masing-masing perlakuan. Homogenitas varians dan normalitas semua kumpulan data diuji menggunakan *uji Cochran*. Tes *Tukey* digunakan untuk membedakan antara rata-rata perlakuan dari setiap percobaan setelah analisis *ANOVA* (*Steel* dan *Torrie*, 1980).

3. RESULTS AND DISCUSSION

A. Pengaruh Perlakuan yang Berbeda Parameter Kualitas Air

Level rasio *C:N* pakan berpengaruh nyata terhadap konsentrasi amonia dan nitrit seperti terlihat dalam Tabel 1. Konsentrasi amonia dan nitrit pada percobaan menurun secara nyata seiring dengan peningkatan level rasio *C:N* pakan, kecuali kadar amonia pada perlakuan level rasio *C:N* = 17,5 : 1 yang lebih tinggi secara nyata dibandingkan dengan perlakuan lainnya, dan tidak terdapat perbedaan yang nyata pada konsentrasi amonia dan nitrit antara perlakuan level *C:N* = 20,0 : 1 dan perlakuan level *C:N* = 22,5 : 1.

Hasil ini menggambarkan bahwa penambahan *molasses* sebagai sumber karbon jelas memiliki peran dalam reduksi nitrogen tak organik melalui pertumbuhan bakteri, karena jumlah bakteri meningkat sebagai respons terhadap level rasio *C:N* yang cenderung meningkat. Hal ini dibuktikan dari hasil analisis yang menunjukkan bahwa konsentrasi amonia dan nitrit memiliki hubungan negatif dengan jumlah bakteri.

Hasil penelitian ini sesuai dengan yang diselidiki oleh beberapa penulis (*Tezuka*, 1990; *Hoch* et al., 1994) yang menemukan bahwa penambahan karbon mengurangi nitrogen tak organik karena meningkatnya serapan NH_4^+ oleh bakteri. Juga dilaporkan sebelumnya bahwa kolam tanpa pertukaran air yang menggunakan karbon memungkinkan untuk mengontrol akumulasi nitrogen tak organik melalui rasio karbon terhadap nitrogen yang seimbang dari pakan (*Avnimelech* et al., 1989; 1992; 1994; *Avnimelech*, 1998; 1999). Selanjutnya *Stuart* et al. (2009) memelihara udang windu *Penaeus monodon* dalam model tanpa pertukaran air menggunakan sumber karbon harian (tepung tapioka) untuk mempromosikan komunitas mikroba dan meningkatkan kualitas air.

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa level rasio *C:N* berpengaruh nyata terhadap konsentrasi oksigen terlarut. Analisis statistik lebih lanjut menunjukkan bahwa nilai oksigen terlarut air menurun secara signifikan dengan meningkatnya level rasio *C:N* pakan. Konsentrasi oksigen terlarut dalam percobaan cenderung menurun selama masa penelitian. Penjelasan untuk hasil ini dapat disebabkan karena peningkatan kadar rasio *C:N* pakan dalam budidaya udang merangsang pertumbuhan bakteri yang pada gilirannya membutuhkan oksigen untuk pertumbuhannya. Selanjutnya, terjadi penurunan konsentrasi oksigen terlarut seiring peningkatan rasio *C:N* pakan.

Penjelasan ini didukung oleh hasil penelitian yang membuktikan bahwa konsentrasi oksigen terlarut memiliki korelasi negatif yang signifikan dengan jumlah bakteri heterotrofik (*Sun* et al., 2001). Telah diamati sebelumnya bahwa bakteri memberikan kontribusi sebanyak 77% dari total konsumsi oksigen di kolam ikan (*Olah* et al., 1987). Demikian pula, *Visscher* dan *Duerr* (1991) menyelidiki bahwa populasi mikroba mengonsumsi oksigen terlarut tingkat tinggi di tambak udang.

Penelitian ini juga mengamati bahwa level rasio *C:N* pakan berpengaruh signifikan terhadap jumlah total bakteri heterotrofik, sebagaimana ditampilkan dalam Tabel 1. Terjadi peningkatan jumlah total bakteri heterotrofik yang signifikan dengan peningkatan level rasio *C:N* pakan. Terungkap dengan jelas bahwa bakteri membutuhkan karbon dari *molasses* untuk memperbanyak sel mereka. *Azzam* dkk. (1983) menyatakan bahwa karbon seperti glukosa digunakan oleh bakteri alami. Selanjutnya, penambahan glukosa meningkatkan jumlah bakteri heterotrofik dalam air (*Parsons* et al., 1981; *Middleboe* et al., 1995).

Demikian pula, beberapa peneliti sebelumnya (*Avnimelech* et al., 1992; 1994; *Kochva* et al., 1994; *Avnimelech*, 1999) menemukan bahwa jumlah bakteri heterotrofik meningkat sebagai respons terhadap peningkatan level rasio *C:N*. *Moriarty* (1986) juga menunjukkan bahwa terjadi peningkatan jumlah bakteri sebagai akibat dari peningkatan karbon dalam masukan pakan budidaya udang penaeid.

B. Pengaruh Perlakuan yang Berbeda Terhadap Parameter i Pertumbuhan Udang

Level rasio *C:N* pakan tidak berpengaruh nyata terhadap kelangsungan hidup udang dalam percobaan. Penelitian ini menunjukkan bahwa tingkat kelangsungan hidup pada semua perlakuan tinggi (100%). Level rasio *C:N* pakan berpengaruh nyata terhadap laju pertumbuhan udang dan rasio konversi pakan pada akhir percobaan. Diamati bahwa dalam percobaan, rasio konversi pakan menurun dengan meningkatnya level rasio *C:N* pakan, kecuali pada perlakuan rasio *C:N* = 20,0 : 1 yang menunjukkan laju pertumbuhan dan persentase pertambahan bobot yang lebih tinggi secara signifikan, serta rasio konversi pakan yang lebih rendah dibandingkan dengan perlakuan lainnya, termasuk perlakuan rasio *C:N* = 22,5 : 1.

Hasil ini membuktikan bahwa penambahan bahan karbon secara efektif menghilangkan nitrogen tak organik dan menghasilkan *protein sel tunggal* dalam sistem akuakultur jika sumber karbon yang tersedia memiliki rasio karbon:nitrogen lebih tinggi dari 15,0 : 1 (*Avnimelech* et al., 1992, 1994; *Avnimelech*, 1999). Selanjutnya, *Avnimelech* (1999) melaporkan bahwa pertumbuhan ikan di kolam yang diperlakukan dengan rasio karbon:nitrogen 16,6 : 1 secara signifikan lebih tinggi daripada ikan yang dibudidayakan di kolam dengan rasio *C:N* = 11,1 : 1, sementara tingkat kematian ikan, konversi pakan, dan koefisien biaya pakan pada perlakuan dengan level *C:N* = 16,6 : 1 secara signifikan lebih rendah daripada perlakuan dengan *C:N* = 11,1 : 1.

Juga, *McIntosh* (2000) telah berhasil membudidayakan udang vaname di tambak dengan model tanpa pertukaran air menggunakan pelet berbahan dasar biji-bijian dengan level rasio *C:N* = 20,0 : 1.

Hasil ini mungkin disebabkan oleh komunitas heterotrofik dalam budidaya udang tanpa pertukaran air yang mengembangkan *floc* penyusun sel bakteri (*McIntosh*, 2000), dan flokulasi sel tersebut dapat terjadi secara mandiri atau dalam kombinasi dengan partikel pakan (*Harris* dan *Mitchell*, 1973; *Avnimelech* et al., 1989). *Floc* yang mengandung protein tinggi, asam amino, dan unsur mikro tertentu, dapat langsung dikonsumsi oleh udang omnivora seperti udang putih (*Tacon* et al., 2002). Konsumsi *floc* ini oleh udang atau ikan berkontribusi terhadap nutrisi udang dan daur ulang nutrisi tambak yang efisien menjadi biomassa udang (*McIntosh*, 2000).

Rosenberry (2001) menyatakan bahwa sistem budidaya tanpa pergantian air menghasilkan udang putih sepuluh kali lebih banyak daripada tambak semi-intensif biasa dan empat puluh kali lebih banyak dibandingkan tambak ekstensif. *Stuart* dkk. (2009) juga mengungkapkan bahwa pertumbuhan udang windu *Penaeus monodon* secara signifikan lebih besar ketika dilakukan penerapan karbon dalam budidaya udang dengan model tanpa pergantian air.

4. CONCLUSION

Konsentrasi amonia dan nitrit menurun secara signifikan dengan meningkatnya level rasio *C:N* pakan pada budidaya udang dengan sistem tanpa pertukaran air menggunakan *molasses* sebagai sumber karbon. Sementara itu, pertumbuhan udang meningkat secara nyata dan rasio konversi pakan menurun seiring dengan naiknya level rasio *C:N* pakan.

Hasil ini menyiratkan bahwa penggunaan *molasses* sebagai sumber karbon organik berperan penting dalam menurunkan nitrogen tak organik dan meningkatkan laju pertumbuhan udang.

Berdasarkan parameter kualitas air dan parameter pertumbuhan udang, maka perlakuan yang terbaik adalah pada level rasio *C:N* pakan sebesar 20,0 : 1.

REFERENCES

Avnimelech, Y. (1998). Minimal discharge from intensive fish ponds. *Journal of the World Aquaculture Society, 29*(1), 32–37.

Avnimelech, Y. (1999). Carbon/nitrogen ratio as a control element in aquaculture systems. *Aquaculture, 176*(3-4), 227–235.

Avnimelech, Y., & Mokady, S. (1988). Protein biosynthesis in circulated fishponds. In R. S. V. Pullin, T. Bhukaswan, K. Tonguthai, & J. L. Maclean (Eds.), *The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture* (pp. 301–309).

Avnimelech, Y., Diab, S., Kochva, M., & Mokady, S. (1992). Control and utilization of inorganic nitrogen in intensive fish culture ponds. *Aquaculture and Fisheries Management, 23*(4), 421–430.

Avnimelech, Y., Kochva, M., & Diab, S. (1994). Development of controlled intensive aquaculture systems with a limited water exchange and adjusted carbon to nitrogen ratio. *The Israel Journal of Aquaculture - Bamidgeh, 46*(3), 119–131.

Avnimelech, Y., Lacher, M., Raveh, A., & Zur, O. (1981). A method for the evaluation of conditions in a fish pond sediment. *Aquaculture, 23*(1-4), 361–365.

Avnimelech, Y., Mokady, S., & Schroeder, G. L. (1989). Circulated ponds as efficient bioreactors for single cell protein production. *The Israel Journal of Aquaculture - Bamidgeh, 41*(2), 58–66.

Avnimelech, Y., Mozes, N., Diab, S., & Kochva, M. (1995). Rates of organic carbon and nitrogen degradation in intensive fish ponds. *Aquaculture, 134*(3-4), 211–216.

Azam, F., Fenchel, T., Field, J. G., Meyer-Reil, L. A., & Thingstad, F. (1983). The ecological role of microbes in the sea. *Marine Ecology Progress Series, 10*, 257–263.

Bages, M., & Sloane, L. (1981). Effects of dietary protein and starch levels on growth and survival of *Penaeus monodon* (Fabricius) postlarvae. *Aquaculture, 25*(2-3), 117–128.

Balazs, G. H. (1973). Preliminary studies on the preparation and feeding of crustacean diets. *Aquaculture, 2*, 369–377.

Boyd, C. E. (1995). Proceeding Special Session on Shrimp Farming. In C. L. Browdy & J. S. Hopkins (Eds.), *Aquaculture* (pp. 183–199). San Diego, USA.

Burford, M. A., Thompson, P. J., McIntosh, P., Bauman, R. H., & Pearson, D. C. (2003). Nutrient and microbial dynamics in high-intensity, zero-exchange shrimp ponds in Belize. *Aquaculture, 219*(1-4), 393–411.

Chamberlain, G. W. (2001). Managing zero water–exchange ponds. In B. Rosenberry (Ed.), *World Shrimp Farming 2001* (Vol. 14, pp. 11–18).

Csavas, I. (1994). Important factors in the success of shrimp farming. *Journal of the World Aquaculture Society, 25*(1), 34–56.

Findlay, R. H., King, G. M., & Watling, L. (1989). Efficacy of phospholipid analysis in determining microbial biomass in sediments. *Applied and Environmental Microbiology, 55*(11), 2888–2893.

Goldman, J. C., Caron, D. A., & Dennet, M. R. (1987). Regulation of gross growth efficiency and ammonium regeneration in bacteria by substrate C:N ratio. *Limnology and Oceanography, 32*(6), 1239–1252.

Gottschalk, G. (1986). *Bacterial metabolism*. Springer.

Hargreaves, J. A. (1998). Nitrogen biogeochemistry of aquaculture ponds. *Aquaculture, 166*(3-4), 181–212.

Harris, R. H., & Mitchell, R. (1973). The role of polymers in microbial aggregation. *Annual Review of Microbiology, 27*, 27–50.

Hoch, M. P., & Kirchman, D. L. (1995). Ammonium uptake by heterotrophic bacteria in the Delaware estuary and adjacent coastal waters. *Limnology and Oceanography, 40*(5), 886–897.

Hoch, M. P., Fogel, M. L., & Kirchman, D. L. (1994). Isotope fractionation during ammonium uptake by marine microbial assemblages. *Geomicrobiology Journal, 12*(2), 113–127.

Hopkins, J. S., DeVoe, M. R., & Holland, A. F. (1995). Environmental impacts of shrimp farming with special reference to the situation in the Continental United States. *Estuaries, 18*(1), 25–42.

Hopkins, J. S., Hamilton, R. D., Sandifer, P. A., Browdy, C. L., & Stokes, A. D. (1993). Effect of water exchange rates on production, water quality, effluent characteristics, and nitrogen budgets of intensive shrimp ponds. *Journal of the World Aquaculture Society, 24*(3), 304–320.

Johnsen, R. I., Nielsen, O. G., & Lunestad, B. T. (1993). Environmental distribution of organic waste from a marine fish farm. *Aquaculture, 118*(3-4), 229–244.

Jorgensen, N. O. G., Kroer, N., Coffin, R. B., Yang, X. H., & Lee, C. (1993). Dissolved free amino acids, combined amino acids, and DNA as sources of carbon and nitrogen to marine bacteria. *Marine Ecology Progress Series, 98*(1-2), 135–148.

Kautsky, N., Rönnbäck, P., Tedengren, M., & Troell, M. (2000). Ecosystem perspectives on management of disease in shrimp pond farming. *Aquaculture, 191*(1-3), 145–161.

Kirchman, D. L., Meon, B., Cottrell, M. T., Hutchins, D. A., & Weeks, D. W. B. (2000). Carbon versus iron limitation of bacterial growth in the California upwelling regime. *Limnology and Oceanography, 45*(8), 1681–1688.

Kochva, M., Diab, S., & Avnimelech, Y. (1994). Modelling of nitrogen transformation in intensively aerated fish ponds. *Aquaculture, 120*(1-2), 95–104.

Landesman, L. (1994). Negative impact of coastal aquaculture development. *Journal of the World Aquaculture Society, 25*, 12–17.

McIntosh, R. P. (2000). Changing paradigms in shrimp farming: III. Pond design and operation considerations. *Global Aquaculture Advocate, 3*, 42–44.

Middelboe, M., Borch, N. H., & Kirchman, D. L. (1995). Bacterial utilization of dissolved free amino acids, dissolved combined amino acids and ammonium in the Delaware Bay estuary: Effects of carbon and nitrogen limitation. *Marine Ecology Progress Series, 128*, 109–120.

Montoya, R. A., Lawrence, A. L., Grant, W. E., & Velasco, M. (2002). Simulation of inorganic nitrogen dynamics and shrimp survival in an intensive shrimp culture system. *Aquaculture Research, 33*, 81–94.

Moriarty, D. J. W. (1986). Bacterial productivity in ponds used for culture of penaeid prawns. *Microbial Ecology, 12*, 259–269.

Olah, J., Sinha, R. P., Ayyappan, S., Purushothaman, C. S., & Radheyshyam, S. (1987). Sediment consumption in tropical undrainable fish ponds. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie, 72*, 297–305.

Parsons, T. R., Albright, L. J., Whitney, F., Wong, C. S., & Williams, M. P. J. (1981). The effect of glucose on the productivity of sea water: An experimental approach using controlled aquatic ecosystems. *Marine Environmental Research, 4*, 229–242.

Ritvo, G., Dixon, J. B., Lawrence, A. L., Samocha, T. M., Neill, W. H., & Speed, M. F. (1998). Accumulation of chemical elements in Texas shrimp pond soils. *Journal of the World Aquaculture Society, 29*, 422–430.

Rivera-Monroy, V. H., Bahamon, N., Torres, L. A., Newmar, F., & Twilley, R. R. (1999). The potential use of mangrove forest as nitrogen sinks of shrimp aquaculture pond effluents: The role of denitrification. *Journal of the World Aquaculture Society, 30*, 12–24.

Rosenberry, B. (2001). New shrimp farming technology: Zero-exchange, environmentally friendly, super-intensive. In *World Shrimp Farming 2001* (Vol. 14, pp. 5–10). Shrimps News International.

Rosenberry, R. (1993). Production drops 16% in 1993. In *World Shrimp Farming 1993*. *Aquaculture Digest* (December), 1–19.

Schroeder, G. L. (1978). Autotrophic and heterotrophic production of microorganisms in intensely-manured fish ponds, and related fish yields. *Aquaculture, 14*, 303–325.

Smith, P. T. (1996). Physical and chemical characteristics of sediment from farms and mangrove habitats on the Clarence River, Australia. *Aquaculture, 146*, 47–83.

Smith, P. T. (1998). Effect of removing accumulated sediments on the bacteriology of ponds used to culture *Penaeus monodon*. *Asian Fisheries Science, 10*, 355–370.

Sohier, L. P., & Bianchi, M. A. G. (1985). Development of a heterotrophic bacterial community within a closed prawn aquaculture system. *Microbial Ecology, 11*, 353–369.

Steel, R. G. D., & Torrie, J. H. (1980). *Principles and procedures of statistics: A biometrical approach* (2nd ed.). McGraw-Hill.

Stuart, J., Frank, E., Coman, G. J., Jackson, C. J., & Sarah, A. G. (2009). High-intensity, zero water-exchange production of juvenile tiger shrimp, *Penaeus monodon*: An evaluation of artificial substrates and stocking density. *Aquaculture, 293*, 42–48.

Sun, Y., Zhang, S., Chen, J., & Song, J. (2001). Supplement and consumption of dissolved oxygen and their seasonal variations in shrimp pond. *Marine Science Bulletin, 3*, 89–96.

Tacon, A. G. J. (2001). Minimizing environmental impacts of shrimp feeds. *Global Aquaculture Advocate, 4*, 34–35.

Tacon, A. G. J., Cody, J. J., Conquest, L. D., Divakaran, S., Forster, I. P., & Decamp, O. E. (2002). Effect of culture system on the nutrition and growth performance of Pacific white shrimp *Lipopenaeus vannamei* (Boone) fed different diets. *Aquaculture Nutrition, 8*, 121–137.

Tezuka, Y. (1990). Bacterial regeneration of ammonium and phosphate as affected by the carbon:nitrogen:phosphorus ratio of organic substrates. *Microbial Ecology, 19*, 227–238.

Thakur, D. P., & Lin, C. K. (2003). Water quality and nutrient budget in closed shrimp (*Penaeus monodon*) culture systems. *Aquacultural Engineering, 27*, 159–176.

Tseng, K. F., Su, H. M., & Su, M. S. (1998). Culture of *Penaeus monodon* in a recirculating system. *Aquaculture, 17*, 138–147.

Visscher, P. T., & Duerr, E. O. (1991). Water quality and microbial dynamics in shrimp ponds receiving bagasse-based feed. *Journal of the World Aquaculture Society, 22*, 65–76.

Wheeler, P. A., & Kirchman, D. L. (1986). Utilization of inorganic and organic nitrogen by bacteria in marine systems. *Limnology and Oceanography, 31*, 998–1009.