

# KAJIAN DAYA DUKUNG DAN SISTEM PENGELOLAAN BUDIDAYA UDANG WINDU YANG BERKELANJUTAN

Tri Widiyanto, Iman Rusmana, M. Badjoeri, Widi Riyanto, Wawan Darmawan, Ester Rosita, M. Maryatno

## ABSTRAK

Data Statistik Perikanan Indonesia tahun 2002 tentang produksi Nasional udang windu memperlihatkan terjadinya penurunan yang cukup berarti, dari 98.350 ton tahun 1992, menjadi 83.193 ton tahun 1994 dan 74.824 ton tahun 1998. Penurunan kualitas air dan daya dukung lahan menjadi salah satu penyebab kegagalan usaha tersebut. Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut: menganalisis profil kualitas air dan mengidentifikasi karakteristik lingkungan pada kawasan sistem tambak udang, mendapatkan jenis isolat dan sifat karakteristik bakteri yang potensial sebagai agen bioremediasi, senyawa metabolit toksik, dan mencari komposisi jenis mikroba dan waktu inokulasi yang memberikan hasil optimal pada proses bioremediasi. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mikrobiota dan Laboratorium Hidrodinamika Puslit Limnologi LIPI. Uji coba lapangan dilakukan pada tambak didaerah perbatasan Karawang dan Subang. Persiapan dan penyiapan inokulum bakteri dilakukan di Lab. Mikrobiota Puslit Limnologi-LIPI, Cibinong. Kondisi tambak udang pada umumnya masih mempunyai potensi untuk dioperasikan. Ketersediaan sumber air untuk budidaya, baik sumber air asin, maupun air tawar relative kurang, pada umumnya para petani mengalami sedikit kesulitan dalam menjaga stabilitas kondisi salinitas air. Hasil analisis pola pertumbuhan udang pada uji skala pilot memperlihatkan bahwa pada bak perlakuan pertumbuhannya relatif lebih cepat dari bak kontrol yang tidak diinokulasi bakteri. Penambahan agen bioremediasi secara keseluruhan dapat meningkatkan kondisi kualitas air. Hasil uji skala lapangan memperlihatkan bahwa pada terdapat perbedaan hasil antara kolam perlakuan dan kolam pembandingan. Tingkat kelangsungan hidup pada kolam percobaan yang tidak menggunakan agen bioremediasi (tanpa penambahan inokulan bakteri) memperlihatkan bahwa udang hanya mampu bertahan hidup sampai umur 21 hari, sedangkan tingkat kelangsungan hidup pada kolam percobaan adalah sebesar 80%, dan pada kolam pembandingan sebesar 50%. Produksi biomassa udang yang didapat pada kolam percobaan sekitar 6,0 ton.ha<sup>-1</sup>, sedangkan pada kolam pembandingan sekitar 3,9 ton.ha<sup>-1</sup>.

Kata kunci: kualitas air, tambak udang, berkelanjutan, agen bioremediasi, kelangsungan hidup, dan produksi.

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara penghasil udang windu (*Penaeus monodon* Fab.) ke tiga di dunia dengan potensi sumberdaya alam (lahan) yang sangat luas. Namun saat ini kondisinya tidak menggembirakan. Data Statistik Perikanan Indonesia tahun 2002 tentang produksi Nasional udang windu memperlihatkan terjadinya penurunan yang cukup berarti, dari 98.350 ton tahun 1992, menjadi 83.193 ton tahun 1994 dan 74.824

ton tahun 1998. Penurunan kualitas air dan daya dukung lahan menjadi salah satu penyebab kegagalan usaha tersebut.

Tekanan terhadap lingkungan tambak udang dapat berasal dari dalam maupun dari luar sistem itu sendiri. Tekanan dari dalam antara lain terjadinya akumulasi bahan organik (sisa pakan, kotoran udang dan *self purification* tidak berjalan dengan seimbang), serta menurunnya kualitas lahan dalam hal ini kerusakan sistem sedimen tambak. Sedangkan faktor luar adalah tercemarnya sumber air yang digunakan sebagai air baku di dalam tambak udang, serta pengelolaan tata ruang lingkungan tambak yang tidak beraturan. Banyak sekali sumber air baku (terutama air tawar) yang digunakan sebagai pembuangan dari berbagai aktivitas industri, pertanian dan domestik, begitu juga dengan saluran sumber air asin yang masih tidak beraturan. Kondisi tersebut sangat perlu mendapat perhatian yang untuk mengembalikan kelangsungan usaha budidaya.

Kegiatan dalam kajian ini akan menekankan pada faktor internal kerusakan tambak, maupun faktor eksternal dengan menganalisis daya dukung sistem perairan tersebut. Kerusakan internal banyak disebabkan oleh akumulasi senyawa organik dari sisa pakan tambahan dan tidak berjalannya proses *self purification*, sehingga akan terjadi produksi senyawa metabolit toksik (hidrogen sulfida, ammonia, nitrit dan nitrat), penurunan kandungan *trace* elemen yang terdapat pada sedimen. Sedangkan faktor eksternal lebih ditekankan pada identifikasi dan karakterisasi kemampuan daya dukung lingkungan perairannya.

Akumulasi bahan organik pada sistem sedimen dan air tambak udang sudah dapat dideteksi sejak awal masuknya pakan tambahan (pellet) ke dalam sistem tambak. Kondisi tersebut dapat dilihat dari terdapatnya kandungan senyawa nitrat, nitrit dan ammonia dalam sistem tambak. Kandungan senyawa tersebut menunjukkan peningkatan mulai hari ke 15 setelah tanam. Pada waktu tersebut kandungan senyawa ammonium pada sistem sedimen sudah mencapai 500  $\mu$  mol dan total  $\text{NO}_3$  dan  $\text{NO}_2$  mencapai 15  $\mu$  mol. Sedangkan kandungan nitrogen organik terlarut pada hari ke tiga sudah mencapai konsentrasi sekitar 100 – 120  $\mu$  mol (Burford, *et.al.* 2002).

Semua senyawa metabolit toksik akan terakumulasi pada sistem sedimen dan pada konsentrasi yang tinggi akan terdifusi dalam sistem air tambak. Pengendalian senyawa metabolit toksik yang akan dilakukan melalui mekanisme bioremediasi, dengan memanfaatkan mikroba *indigenous*. Sedangkan pada sistem sedimen tambak permasalahan yang sering timbul adalah menurunnya *trace* elemen. Hal ini terjadi pada tambak yang mempunyai umur sudah tua sehingga pertumbuhan udang terhambat, walaupun sudah diperlakukan dengan makanan tambahan yang optimal. Oleh karena itu perlu dikaji dengan pendekatan reklamasi sistem sedimen untuk memperbaiki ekosistem mikro yang terdapat dalam sedimen.

Pola budidaya intensif atau semi-intensif yang banyak dikembangkan dalam usaha budidaya, selain akan menyebabkan kerusakan internal tambak, juga berakibat pada kerusakan lingkungan secara regional di areal atau wilayah tersebut. Oleh karena itu perlu dilihat kemampuan daya dukung dari sistem perairan di sekitarnya. Berbagai tipe perairan pesisir mempunyai tingkat kepekaan dan daya dukung yang berbeda, sehingga diperlukan pengelolaan yang spesifik untuk masing-masing tipe perairan tersebut.

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut: Menganalisis profil kualitas air dan mengidentifikasi karakteristik lingkungan pada kawasan sistem tambak udang, Mendapatkan jenis isolat dan sifat karakteristik bakteri yang potensial sebagai agen bioremediasi, senyawa metabolit toksik, Melihat perubahan populasi dan distribusi mikroba dalam sistem perairan tambak dan lingkungannya, Mencari komposisi jenis mikroba dan waktu inokulasi yang memberikan hasil optimal pada proses bioremediasi senyawa metabolit toksik, Menganalisis pola perkembangan udang dengan pendekatan bioremediasi dan relokasi sedimen pada skala laboratorium.

Sedangkan sasaran yang akan dicapai dalam kegiatan ini adalah didapatkannya isolat bakteri indigenus dari tambak sebagai agen bioremediasi senyawa metabolit toksik, Mendapatkan data profil pertumbuhan udang pada sistem tambak udang, Treidentifikasinya daya dukung sistem perairan untuk mengembangkan tambak udang yang berkelanjutan.

## **METODOLOGI**

### **Tempat dan waktu penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mikrobiota dan Laboratorium Hidrodinamika Puslit Limnologi LIPI. Sampel air dan sedimen diambil dari perairan tambak daerah Subang, Kendari, Tangerang. Uji coba lapangan dilakukan pada tambak di daerah perbatasan Karawang dan Subang. Uji coba lapangan tersebut dilakukan pada satu periode masa tanam. Persiapan dan penyiapan inokulum bakteri dilakukan di Lab. Mikrobiota Puslit Limnologi-LIPI, Cibinong. Tahapan kegiatan yang dilakukan meliputi : identifikasi potensi ekosistem perairan tambak sebagai pendukung kelangsungan produksi, uji coba skala pilot, dan uji coba budidaya skala lapangan. Beberapa parameter kimia fisika, dan biologis serta laju pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang dianalisis secara rutin setiap 10 hari sekali.

### **Identifikasi potensi ekosistem perairan tambak untuk kelangsungan produksi**

Beberapa langkah yang dilakukan untuk mendapatkan identifikasi, meliputi : pengumpulan data primer dan sekunder, yang diambil secara langsung melalui survey atau observasi dari lapangan, Dinas, Lembaga atau Instansi terkait. Beberapa jenis data yang diambil meliputi : tingkat kualitas dan kuantitas sumber air, luasan lahan potensial, data sosial dan ekonomi masyarakat, jumlah usaha budidaya yang telah berjalan, data kualitas tanah dan produksi tahunan.

### **Identifikasi karakteristik lahan, sumber air dan analisis kelayakan.**

Data-data tentang karakteristik lahan, meliputi : kesuburan tanah, kualitas dan kuantitas sumber air baku dilakukan analisis kemampuan daya dukung wilayah tersebut untuk pengembangan usaha budidaya dan model budidaya yang diterapkan. Selain itu dalam tahapan kegiatan penelitian ini juga dilakukan : kajian kondisi fisika, kimia dan biologis sistem perairan tambak. Beberapa data primer dan sekunder diambil secara tidak langsung.

### **Uji Skala Pilot**

Empat buah bak *fiber glass* ukuran  $0,5 \times 1,2 \times 2,0 \text{ m}^3$ , masing-masing diisi dengan tanah sedimen kering sebanyak  $0,12 \text{ m}^3$  dengan ketebalan  $\pm 5 \text{ cm}$ . Sedimen tersebut diambil dari tambak tradisional di Kecamatan Teluk Naga Kabupaten



Tangerang. Sebelum digunakan, sedimen dihomogenkan terlebih dahulu dengan jalan diaduk sampai merata. Masing-masing bak percobaan diisi campuran air laut dan air tawar dengan salinitas 2 ‰ (d disesuaikan dengan data kualitas air di tambak tempat pengambilan sampel air dan sedimen) sebanyak 1 m<sup>3</sup>. Air laut yang digunakan berasal dari Taman Impian Jaya Ancol. Sebelum digunakan bak-bak uji diaerasi dan dibuat sirkulasi air searah jarum jam dengan dipasang pipa paralon 2 inchi panjang 35 cm, yang ditempatkan pada sisi bak percobaan selama 7 hari (Gambar 6). Selain itu disiapkan satu bak yang lain dengan volume 1 m<sup>3</sup> yang akan digunakan untuk proses adaptasi udang percobaan (sebelum dilakukan penebaran pada bak percobaan). Proses adaptasi dilakukan selama tiga hari. Selama waktu adaptasi diamati kebugaran udang dan diberi makan pellet Chuen Hin Nomor 3, yang diproduksi oleh PT Grobes Indo Makmur, Pantai Indah Kapuk, Jakarta Utara, Indonesia, lisensi dari Taiwan. Jenis pellet tersebut merupakan pakan yang digunakan selama uji sinergisme aktivitas skala pilot ini.

Pada setiap bak uji, ditebar anakan udang windu (*Penaeus monodon*) yang diperoleh dari tambak di Karawang umur 40 hari sebanyak masing-masing 50 ekor dengan berat rata-rata 0,75 gram dan panjang rata-rata 4,7 cm. Pemberian pakan dilakukan 3 kali sehari dengan jumlah sebesar 5 - 10% dari berat total udang yang ditebar. Inokulasi pertama kombinasi bakteri uji dan produk pembanding (EM4) dilakukan tiga hari setelah penebaran udang. Inokulasi selanjutnya dilakukan setiap 10 hari sekali. Sebanyak 100 ml dari masing-masing suspensi isolat bakteri nitrifikasi umur tiga hari dengan konsentrasi  $4 \times 10^8$  cfu/ml dan suspensi isolat bakteri denitrifikasi umur 5 hari dengan konsentrasi  $5 \times 10^9$  cfu/ml digunakan sebagai inokulan.

Perlakuan dalam percobaan ini meliputi :

- A : Kontrol, yaitu perlakuan yang tidak inokulasi bakteri.
- B : Gabungan antara isolat (bakteri nitrifikasi dan denitrifikasi) 1
- C : Gabungan antara isolat (bakteri nitrifikasi dan denitrifikasi) 2
- D : Produk komersial, EM4 No.P.44.21.384/I/ Indonesia *Kyusei Nature*

#### *Farming Sociates.*

Pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang, kandungan amonia, nitrat, nitrit, serta jumlah populasi bakteri diamati setiap 11 hari sekali. Parameter kualitas air yang diamati meliputi salinitas, pH, suhu, kandungan oksigen terlarut, turbiditas dan konduktifitas, diamati setiap 3 hari sekali. Waktu pengamatan dilakukan selama 55 hari. Pengukuran berat udang dilakukan dengan timbangan *analytical balance*. Diambil udang uji sebanyak 30-40% dari total udang yang ditebar, ditimbang dan diukur panjang total udang, yaitu mulai dari bagian ujung rostrum sampai ujung ekor. Penimbangan udang dilakukan dengan cara menghilangkan terlebih dahulu sisa-sisa air yang terdapat pada udang dengan kertas tissue, dan dimasukkan dalam *beaker glass* volume 1000 ml yang sudah diberi air sebanyak 500 ml.

### Uji Skala Lapangan

Sebanyak masing-masing dua isolat bakteri nitrifikasi dan denitrifikasi yang terbaik dalam uji sinergisme skala pilot digunakan untuk agen bioremediasi pada skala lapangan. Rancangan percobaan yang digunakan adalah terdiri dari dua perlakuan, yaitu:

- A. Inokulasi bakteri uji (nitrifikasi dan denitrifikasi).
- B. Inokulasi agen bioremediasi produk komersial AQZ.

Pada tahap persiapan, masing-masing kolam dikerfingkan selama satu minggu, bagian sedimen tambak diangkat lumpurnya, dan dilakukan perbaikan saluran *inlet* dan *outlet* airnya. Kemudian diisi air yang berasal dari kolam tandon dengan salinitas (kandungan garam) 2,4%, sampai kedalaman air 80 cm dan dibiarkan selama 7 hari. Selanjutnya disaponin untuk menghilangkan anakan ikan dan udang-udang kecil. Benur umur 14 hari (PL 14) di tebar dengan kepadatan 30 ekor per m<sup>2</sup>. Masing-masing kolam percobaan luasnya sekitar 2000 m<sup>2</sup>, dan setiap kolam dipasang satu kincir dan satu aerogel untuk menggerakkan air dan aerasi kolam.

Inokulasi bakteri dilakukan setiap 10 hari sekali. Jumlah suspensi bakteri yang digunakan sebagai inokulan disesuaikan dengan umur udang. Udang umur 1 – 2 bulan jumlah inokulan bakteri sebanyak 50 liter dengan kepadatan sekitar 10<sup>9</sup> cfu/ml. Udang umur 2-3 bulan jumlah inokulan ditingkatkan menjadi 75 liter. Udang umur 3-4 bulan jumlah inokulan bakteri sebanyak 100 liter.

Pengamatan parameter kualitas air dilakukan setiap 10 hari sekali. Beberapa parameter kualitas air yang diamati meliputi : kandungan amonia, nitrit, nitrat (metoda spektrofotometer), total populasi bakteri heterotrofik pada sedimen dan air (metoda pengenceran bertingkat), kandungan oksigen terlarut, pH, kecerahan, salinitas, konduktivitas, suhu (*Water Quality Checcher*, Horiba U 200), total nitrogen, dan total fosfat (metode spektrofotometer). Pertumbuhan udang diamati setiap 20 hari sekali.

Pakan yang digunakan adalah Mefk Manggalindo Omega, P0 – P3, yang diproduksi oleh PT Manggalindo Group, Jakarta, dengan kandungan nutrisi protein ≥ 42 – 45%, lemak ≥ 5 – 6%, serat ≤ 3%, kalsium ≤ 4,5% dan fosfat ≥ 1,5%. Pemberian pakan diperhitungkan sebanyak 15% dari berat biomassa udang yang terdapat di kolam percobaan. Pemberian pakan dilakukan sehari tiga kali pada umur 0 – 1 bulan, 4 hari sekali pada umur 1 – 2 bulan, 5 hari sekali pada umur 2 – 3 bulan, dan 6 hari sekali pada umur 3 – 4 bulan.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Identifikasi potensi ekosistem perairan tambak untuk kelangsungan produksi

Tiga lokasi digunakan sebagai referensi kondisi tambak di Indonesia, yaitu: Tangerang, Serang, dan Kendari. Pengambilan data primer dan sekunder parameter fisika, kimia, air dan sedimen tidak secara langsung dibiayai oleh kegiatan ini. Kondisi fisik dan pola tanam tambak sampling dapat dilihat pada Tabel 1. Secara umum keadaan parameter kimia dan biologis kualitas air pada ketiga tambak pengambilan contoh air dan sedimen cukup baik, namun pada tambak rakyat di Tangerang mempunyai suhu dan salinitas yang tinggi, mencapai 31,4°C dan 3,8‰ (Tabel 2). Hal tersebut disebabkan oleh kondisi tambak yang dangkal dengan kedalaman air sekitar 80 cm. Sedangkan salinitas

air yang tinggi disebabkan oleh sistem pergantian air yang tidak sempurna, yaitu hanya mengandalkan pasang surut air laut. Poernomo (1988) mengemukakan bahwa salinitas yang optimal untuk budidaya udang windu sekitar 1,5-2,5‰ dan pertumbuhan udang akan terhambat pada salinitas air sebesar 3,5-4,0‰.

Parameter pH, oksigen terlarut, konsentrasi nitrit dan amonia dari ketiga tambak kondisinya masih relatif baik untuk pertumbuhan udang. Nilai pH dari ketiga tambak pengambilan sampel berkisar antara 7,8-8,7, oksigen terlarut nilainya antara 5,0-6,8 mg/l, konsentrasi nitrit antara 0,001-0,016 mg/l, dan konsentrasi amonia antara 0,06-0,36 mg/l. Lester dan Pante (1992) mengemukakan bahwa nilai pH, oksigen terlarut dan konsentrasi amonia yang dianjurkan dalam usaha budidaya udang adalah sebagai berikut pH : 7,0-9,0; oksigen terlarut sekitar 3,5 mg/l-jenuh; dan amonia yang aman bagi pertumbuhan udang adalah lebih kecil dari 0,25 mg/l.

Tabel 1. Kondisi fisik dan pola budidaya pada ketiga tambak tempat pengambilan contoh air dan sediment

| No. | Kondisi fisik                                  | Serang         | Kendari        | Tangerang                           |
|-----|--|----------------|----------------|-------------------------------------|
| 1.  | Luasan kolam (m <sup>2</sup> )                 | 3000           | 3600           | 6000                                |
| 2.  | Padat penebaran (ekor benur / m <sup>2</sup> ) | 12             | 20             | 1                                   |
| 3.  | Kedalaman air (cm)                             | 120            | 100            | 80                                  |
| 4.  | Umur udang dari mulai tebar (hari)             | 21             | 100            | 60                                  |
| 5.  | Aerasi/sirkulasi air                           | kincir, 4 buah | kincir, 2 buah | tidak ada                           |
| 6.  | Sistem budidaya                                | intensif *     | semi-intensif  | ekstensif/polikultur dengan bandeng |
| 7.  | Pergantian air                                 | pompa          | pompa          | pasang surut                        |

\* Berdasarkan teknologi yang digunakan, tetapi padat penebaran rendah karena merupakan operasional awal (tidak berproduksi selama sekitar 4 tahun).

Jumlah total bakteri heterotrofik yang hidup pada badan air memperlihatkan kecenderungan yang meningkat dengan bertambahnya umur udang atau waktu tebar. Pada tambak udang yang baru tebar (umur udang masih muda), jumlah bakteri heterotrofiknya lebih kecil dan jumlahnya semakin tinggi pada tambak udang yang menjelang panen. Pada tambak di Serang (PT Indokor), dengan umur udang atau waktu tebar 21 hari memperlihatkan jumlah bakteri heterotrofik yang paling kecil, yaitu sekitar  $2,8 \times 10^4$  cfu/ml pada badan air dan  $2,6 \times 10^6$  cfu/gram pada sedimen. Sedangkan tambak di Kendari - Sulawesi dengan umur udang mencapai 100 hari memperlihatkan jumlah bakteri heterotrofik yang paling tinggi, yaitu sebesar  $6,9 \times 10^9$  cfu/ml pada badan air dan  $23,3 \times 10^9$  cfu/gram pada sedimen.



Tabel 2. Kondisi kualitas air pada tambak pengambilan contoh air dan sedimen

| No. | Parameter                      | Satuan    | Serang            | Kendari            | Tangerang         |
|-----|--------------------------------|-----------|-------------------|--------------------|-------------------|
| 1.  | pH                             |           | 7,6-7,9           | 7,2-7,5            | 8,3-8,8           |
| 2.  | Konduktifitas                  | mS/cm     | 28,0              | 63,4               | 57,6              |
| 3.  | Turbiditas                     | NTU       | 33,2              | 55,7               | 100,0             |
| 4.  | DO                             | mg/l      | 6,8               | 6,2                | 5,0               |
| 5.  | Salinitas                      | %         | 1,7               | 2,6                | 3,8               |
| 6.  | Suhu air                       | °C        | 29,0              | 30,5               | 31,4              |
| 7.  | Amonia                         | mg/l      | 0,37              | 0,11               | 0,06              |
| 8.  | Nitrit                         | mg/l      | 0,001             | 0,016              | 0,001             |
| 9.  | Bakteri heterotrofik badan air | c fu/ml   | $2,8 \times 10^4$ | $6,9 \times 10^9$  | $2,8 \times 10^5$ |
| 10. | Bakteri heterotrofik sedimen   | c fu/gram | $2,6 \times 10^6$ | $23,3 \times 10^9$ | $5,3 \times 10^6$ |

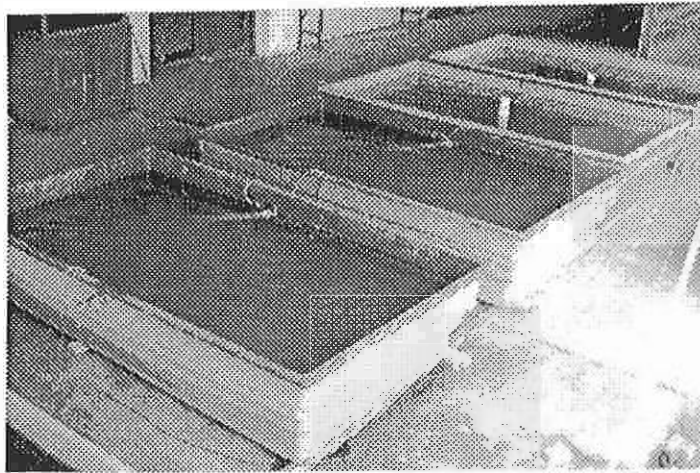
Jumlah bakteri pada sedimen lebih tinggi dari pada di badan airnya. Kondisi tersebut diakibatkan oleh adanya kandungan nutrisi yang berbeda, yang berasal dari sisa pakan tambahan (pellet). Devaraja, *et al.* (2002) melaporkan bahwa kandungan bakteri heterotrofik pada badan air tambak sistem intensif dengan produksi 4,9-5,8 ton ha<sup>-1</sup>, berkisar antara  $1,8 \times 10^4$  c fu/ml sampai  $6,3 \times 10^4$  c fu/ml. Sedangkan kandungan bakteri heterotrofik pada sedimen sebesar  $1,2 \times 10^6$  c fu/gram. Oleh karena itu kondisi bakteri heterotrofik pada ketiga tambak pengambilan sampel tersebut masih relatif baik untuk kelangsungan hidup udang yang dibudidayakan.

Berdasarkan data-data tersebut maka kondisi tambak udang pada umumnya masih mempunyai potensi untuk dioperasikan. Pola budidaya yang diterapkan sebaiknya disesuaikan dengan kondisi iklim waktu akan mulai melakukan penebaran. Hal ini mengingat akan ketersediaan sumber air untuk budidaya, baik sumber air asin, maupun air tawar. Pada umumnya para petani mengalami sedikit kesulitan dalam menjaga stabilitas kondisi salinitas air dan ketersediaan untuk pergantian air, sehingga akan merangsang peningkatan senyawa metabolit toksik pada sistem tambak udang. Hal ini menjadi salah satu penyebab utama timbulnya kerusakan tambak udang.

#### Uji Skala Pilot

Komposisi isolat yang digunakan pada uji ini adalah SDTT5 dan ASRT2 serta KDTST3 dan ASLT3. Hal ini mengingat keterbatasan sarana dan prasarana yang tersedia. Pemilihan gabungan isolat SDTT5 dan ASRT2 berdasarkan dari hasil seleksi bertingkat sampai pada uji sinergisme, isolat tersebut memberikan hasil yang baik. Sedangkan pemilihan gabungan isolat KDTST3 dan ASLT3 selain hasil seleksi, isolat tersebut juga mempunyai tingkat adaptasi yang baik pada media cair SWC 10% (yang hampir menyerupai kondisi alamiah tambak udang, media dengan kandungan nutrisi

yang rendah). Percobaan pada uji sinergisme aktivitas skala pilot dapat dilihat pada Gambar 1.

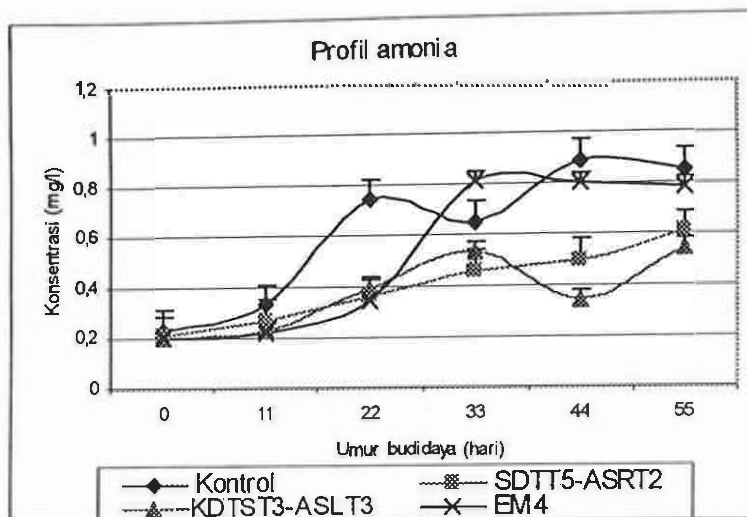


Gambar 1. Bak-bak pada uji sinergisme skala pilot.

Profil senyawa amonia pada masing-masing bak perlakuan memperlihatkan hasil yang berbeda. Kandungan amonia pada bak kontrol cenderung lebih tinggi dari bak perlakuan. Kandungan senyawa amonia secara umum terjadi peningkatan, dengan semakin lamanya pemeliharaan udang. Kandungan senyawa amonia tertinggi dicapai pada pengamatan hari ke-55 di bak kontrol (tanpa inokulasi), yaitu sebesar 0,89 mg/l. Sedangkan kandungan terkecil pada waktu yang sama terjadi pada bak perlakuan KDTST3 dan ASTL3, dengan konsentrasi sebesar 0,39 mg/l. Kandungan amonia pada setiap bak perlakuan memasuki hari ke-22 memperlihatkan konsentrasi yang lebih rendah dari bak kontrol. Kandungan amonia pada bak kontrol cenderung selalu lebih tinggi dari bak perlakuan, yaitu berkisar antara 0,22 mg/l– 0,89 mg/l. Kemudian diikuti oleh bak perlakuan EM4, sekitar 0,2 mg/l–0,8 mg/l. Sedangkan pada bak perlakuan SDTT5 dan ASRT2 kandungan amonia berkisar 0,20–0,6 mg/l dan pada bak perlakuan KDTST3 dan ASLT3 berkisar 0,20 mg/l–0,46 mg/l.

Hal tersebut mengindikasikan bahwa penambahan inokulan bakteri (isolat terpilih) mempengaruhi proses penurunan senyawa amonia pada sistem perairan. Isolat bakteri nitrifikasi yang diinokulasikan akan mengoksidasi senyawa amonia. Kandungan amonia pada sistem perairan budidaya sangat menentukan tingkat kelangsungan hidup dan pertumbuhan udang. Konsentrasi amonia sebesar 0,52 mg/l menyebabkan pertumbuhan udang terhambat sekitar 50% (Boyd, 1990). Sedangkan Wickins (1976) mengemukakan bahwa kandungan amonia sebesar 0,45 mg/l akan menghambat laju pertumbuhan udang sebesar 50% dan pada kadar amonia 1,29 mg/l sudah dapat membunuh beberapa jenis udang *Penaeid*. Konsentrasi senyawa amonia yang baik untuk budidaya udang adalah lebih kecil dari 0,4 mg/l (Boyd dan Fast, 1992; Boyd, 1990). Profil kandungan amonia pada bak percobaan dapat dilihat pada Gambar 2.





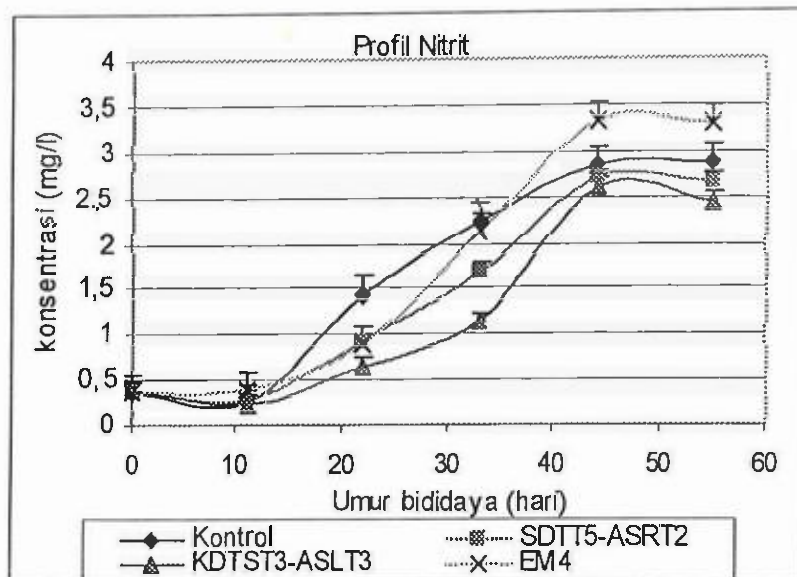
Gambar 2. Profil senyawa amonia pada uji skala pilot

Profil kandungan senyawa nitrit pada setiap bak percobaan memperlihatkan kecenderungan yang hampir sama dengan amonia. Pada bak kontrol yang tidak diinokulasi bakteri dan bak kontrol dengan inokulasi produk EM4 kandungan senyawa nitrit lebih tinggi. Kandungan senyawa nitrit juga cenderung meningkat dengan semakin lamanya waktu budidaya. Konsentrasi nitrit tertinggi dicapai pada pengamatan hari ke-44 di bak perlakuan EM4, yaitu sebesar 3,32 mg/l dan pada waktu yang sama konsentrasi terendah di bak perlakuan KDTST3 dan ASLT3, yaitu sebesar 2,60 mg/l. Kandungan senyawa nitrit pada perlakuan cenderung lebih rendah dari bak kontrol.

Perbedaan kandungan senyawa nitrit yang nyata antara kolam percobaan dan kolam pembanding menunjukkan bahwa, kelompok bakteri denitrifikasi dapat bekerja dengan baik dalam mereduksi senyawa nitrit menjadi bentuk gas-gas nitrogen dan mengeluarkannya dari sistem tambak udang. Senyawa nitrit yang berasal dari oksidasi amonia oleh bakteri nitrifikasi dan dari hasil reduksi senyawa nitrat akan direduksi oleh kelompok bakteri denitrifikasi yang diinokulasi ke dalam tambak. Philippot dan Hojberg (1999) mengemukakan bahwa bakteri denitrifikasi mempunyai peranan yang penting (utama) dalam menghilangkan senyawa nitrat dan nitrit dari air permukaan dan air limbah secara biologis. Saat terjadi reduksi amonia oleh kelompok bakteri nitrifikasi tidak dapat mengeluarkan senyawa nitrogen dari sistem perairan, kelompok bakteri tersebut hanya melakukan perubahan transformasi menjadi bentuk senyawa nitrogen yang lainnya.

Penambahan inokulan bakteri terseleksi dapat menurunkan kandungan senyawa nitrit pada perairan bak uji. Walaupun secara keseluruhan kandungan senyawa nitrit pada bak percobaan masih layak untuk pertumbuhan udang. Penambahan jumlah inokulum bakteri diharapkan dapat memberikan pengaruh yang nyata terhadap penurunan nitrit pada perairan budidaya. Tidak nyatanya pengaruh pemberian inokulan bakteri nitrifikasi dan denitrifikasi terhadap konsentrasi nitrit kemungkinan disebabkan oleh rendahnya kedalaman air dan terkontrolnya kondisi air pada bak percobaan yang digunakan pada uji skala pilot ini. Dengan kedalaman air sekitar 50 cm menyebabkan

terjadinya sirkulasi air yang lebih sempurna, sehingga tidak memungkinkan terbentuknya bagian yang anaerobik. Selain itu juga disebabkan oleh terkontrolnya jumlah pakan yang ditambahkan, sehingga tidak terjadi penumpukan sisa pakan. Kedua faktor tersebut yang membedakan kondisi bak uji skala pilot dengan kondisi lingkungan tambak sebenarnya, yang mencapai kedalaman air sekitar 120 cm dengan sirkulasi air yang tidak merata dan pemberian pakan yang cenderung berlebihan. Secara keseluruhan kandungan nitrit pada bak uji coba masih baik untuk pertumbuhan udang (Gambar 3). Konsentrasi nitrit yang masih baik untuk pertumbuhan udang adalah  $\leq 4$  mg/l (Boyd, 1990).

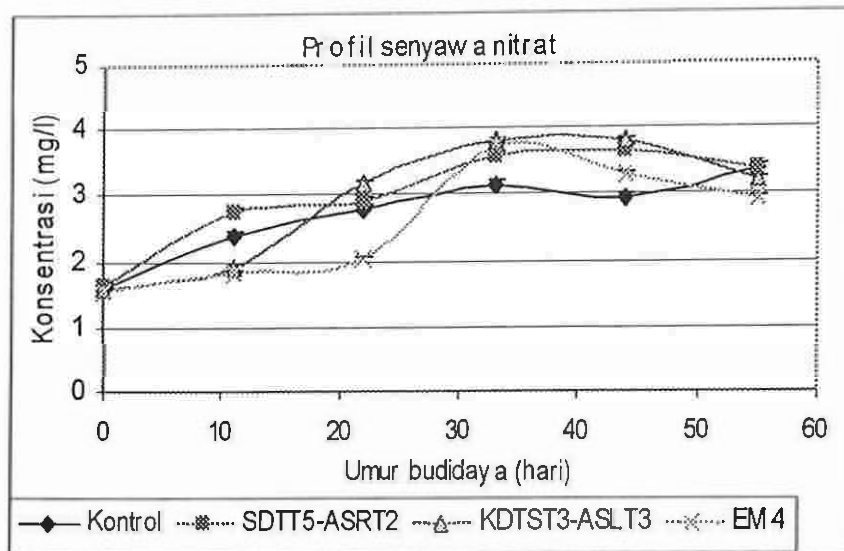


Gambar 3. Profil senyawa nitrit pada uji skala pilot

Kandungan senyawa nitrat memperlihatkan bahwa pada perlakuan dengan inokulasi bakteri kecenderungannya lebih tinggi dari kontrol. Konsentrasi tertinggi dicapai pada pengamatan hari ke-44 sebesar 8,82 mg/l pada bak perlakuan KDTST3 dan ASLT3 dan pada saat yang sama konsentrasi terendah sebesar 2,95 mg/l yang terjadi pada bak kontrol tanpa penambahan inokulum bakteri. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan kelompok isolat bakteri nitrifikasi terseleksi dapat meningkatkan aktivitas oksidasi amonia menjadi nitrat. Akan tetapi senyawa nitrat yang dihasilkan tersebut belum dapat direduksi secara sempurna oleh isolat bakteri denitrifikasi. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh belum seimbangannya komposisi antara bakteri nitrifikasi dan denitrifikasi yang diinokulasikan ke dalam bak percobaan. Beberapa kelompok mikroorganisme yang dapat melakukan proses denitrifikasi tersebut antara lain: *Trichodesmium*, *Synechococcus*, *Thermus thermophilus*, *Staphylococcus*, dan *Bacillus* (Potter 2003). Selain itu juga terdapat kelompok bakteri fotosintetik yang dapat melakukan aktivitas reduksi nitrit dan nitrous oksid, yaitu *Rhodobacter sphaeroides* (Sabaty *et al.* 1999). Profil senyawa nitrat dapat dilihat pada Gambar 4.

Sedangkan profil kualitas air seperti pH, suhu, dan oksigen terlarut memperlihatkan fluktuasi yang berbeda. Profil pH pada bak kontrol tanpa inokulasi

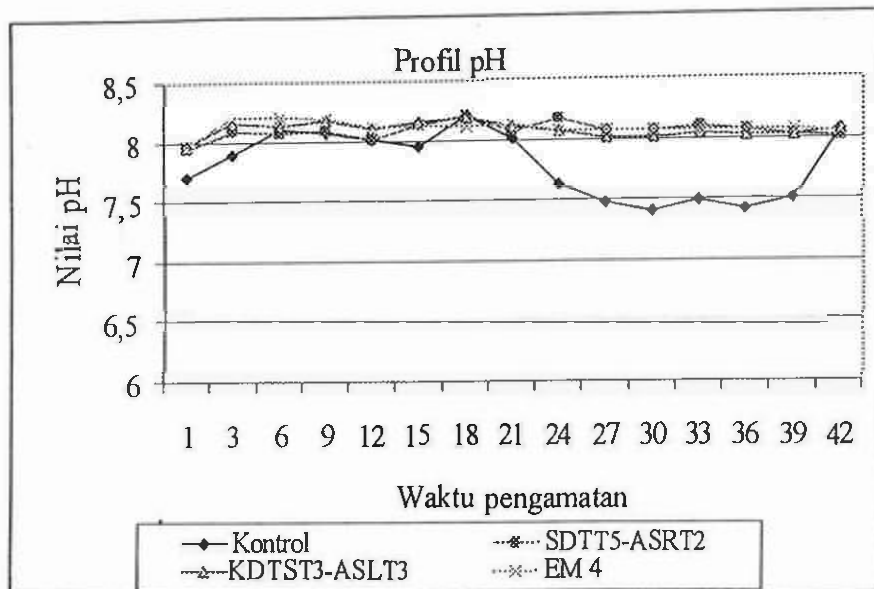
bakteri sekitar 7,4 – 8,2. Sedangkan pada bak perlakuan dan bak kontrol positif (EM4) kondisi pH cukup stabil, yaitu berkisar antara 7,9–8,2. Nilai pH pada bak kontrol tanpa inokulasi bakteri mengalami penurunan pada masa pemeliharaan memasuki hari ke-24 sampai hari ke-39, dan pada hari ke-42 mengalami peningkatan. Hal ini diduga berhubungan dengan diproduksi senyawa amonia, pada pemeliharaan hari ke-22 sampai hari ke-44, dimana kandungan amonia pada bak kontrol cukup tinggi.



Gambar 4. Profil senyawa nitrat pada uji skala pilot

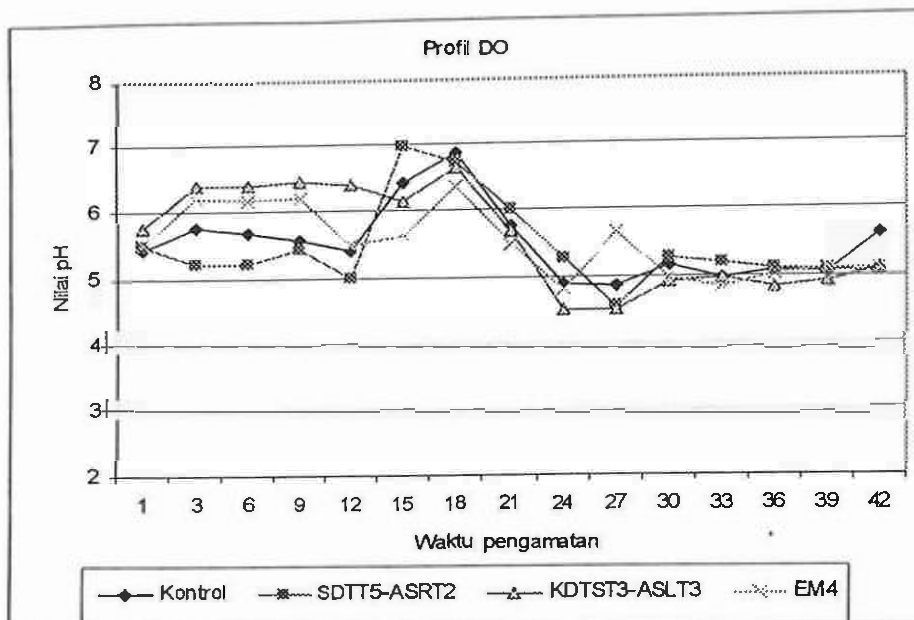
Dalam proses oksidasi amonia oleh kelompok bakteri nitrifikasi akan dihasilkan asam nitrous oksida, yaitu saat terjadinya perubahan senyawa hidroksilamin oleh aktivitas enzim hidroksilamin oksidoreduktase menjadi nitrat. Profil pH pada masing-masing bak percobaan dapat dilihat pada Gambar 5. Nilai pH yang baik untuk budidaya udang adalah sekitar 7–9 (Boyd dan Fast, 1992). Sedangkan menurut Tsai (1989), Poernomo, (1996) kisaran nilai pH yang optimal untuk udang windu stadia di atas pascalarva adalah sekitar 8,0–8,5. Geoff dan Maguire (1992) mengemukakan bahwa pH 3,7 pada salinitas air 30 permil menyebabkan kematian udang *P. Monodon* Fab. Oleh karena itu kisaran pH yang terdapat pada bak percobaan masih memungkinkan untuk pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang secara normal, sehingga faktor pH tidak berpengaruh terhadap tingkat kelangsungan hidup pada uji skala pilot ini.





Gambar 5. Profil nilai pH pada uji skala pilot.

Profil kandungan oksigen pada bak percobaan berkisar antara 4,48–6,86 mg/l. Kandungan oksigen terendah terdapat pada bak perlakuan KDTST3 dan ASLT3 pada pengamatan hari ke-24. Oksigen terlarut pada semua bak percobaan mengalami penurunan pada pengamatan hari ke-24 sampai hari ke-42. Hanya pada bak kontrol tanpa inokulasi yang sedikit meningkat kandungan oksigen terlarutnya pada hari ke-42. Akan tetapi kandungan oksigen terlarut pada semua bak percobaan masih relatif baik untuk pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang uji. Boyd dan Fast (1992) mengatakan bahwa kandungan oksigen terlarut yang masih baik untuk pertumbuhan udang adalah sekitar 3,5 mg/l – jenuh. Kandungan oksigen yang optimal untuk pertumbuhan udang windu adalah sekitar 4–8 mg/l (Tiengsongrusmee, 1980 dan Poernomo, 1996). Oleh karena itu faktor kandungan oksigen pada setiap bak percobaan tidak berpengaruh terhadap kelangsungan hidup udang uji. Profil fluktuasi kandungan oksigen terlarut dapat dilihat pada Gambar 6. Sedangkan kondisi salinitas air selama percobaan berkisar antara 20–25 permil.



Gambar 6. Profil kandungan oksigen terlarut pada uji skala pilot.

Hasil analisis jumlah populasi bakteri memperlihatkan bahwa pada bak kontrol tanpa penambahan isolat, populasi bakteri menunjukkan jumlah yang lebih kecil, yaitu sebesar  $2,2 \times 10^3$  cfu/ml pada badan air dan  $3,2 \times 10^4$  cfu/g pada sedimen. Sedangkan pada bak perlakuan dan kontrol positif dengan EM4 mempunyai populasi yang relatif tinggi, yaitu sekitar  $1,6 \times 10^4$  cfu/ml pada badan air dan  $1,4 \times 10^5$  cfu/g pada sedimen. Populasi bakteri heterotrofik pada sistem perairan tambak sekitar  $1,8 - 6,3 \times 10^4$  cfu/ml (Devaraja *et al.* 2002). Hal ini diduga bahwa populasi bakteri heterotrofik pada bak percobaan masih relatif baik untuk kelangsungan hidup udang uji. Selain itu juga mengindikasikan bahwa penambahan inokulan isolat uji mempengaruhi jumlah populasi bakteri yang terdapat pada kolam percobaan, memang masih belum diketahui apakah bakteri tersebut merupakan isolat yang diinokulasi, karena tidak dilakukan penanda pada isolat yang diinokulasikan.

Sebagai salah satu parameter penting dalam uji skala pilot adalah tingkat kelangsungan hidup dan laju pertumbuhan hewan uji (udang). Hasil analisis tingkat kelangsungan hidup udang memperlihatkan bahwa pada perlakuan gabungan isolat denitrifikasi dan nitrifikasi masing-masing SDDT5-ASRT2 dan KDTST3-ASLT3 mencapai 70% dan 78%, sedangkan pada kontrol positif dengan produk komersial EM4 tingkat kelangsungan hidupnya mencapai 68%. Tingkat kelangsungan hidup pada bak kontrol tanpa inokulasi hanya mencapai 58%. (Tabel 3). Hasil tersebut terlihat bahwa gabungan isolat SDDT5-ASRT2 dan KDTST3-ASLT3 memperlihatkan hasil yang lebih baik.

Penambahan inokulum bakteri terseleksi berpengaruh terhadap tingkat kelangsungan hidup udang uji. Hal ini berhubungan dengan peranan bakteri tersebut dalam memperbaiki tingkat kualitas air, diantaranya kandungan amonia dan nitrit. Isolat bakteri nitrifikasi (ASRT2 dan ASLT3) yang diinokulasi akan mengoksidasi senyawa

amonia yang terdapat pada bak percobaan, menjadi nitrit ataupun nitrat. Senyawa nitrit atau nitrat tersebut kemudian oleh kelompok bakteri denitrifikasi (SDTT5 dan KDTST3) akan direduksi menjadi gas nitrogen. Oleh karena itu senyawa amonia dan nitrit yang terdapat pada bak percobaan akan terkontrol jumlahnya, sehingga konsentrasi amonia dan nitrit pada bak percobaan relatif kecil. Hal ini dapat dilihat dari hasil analisis kandungan amonia, nitrit, dan nitrat pada bak percobaan. Kandungan senyawa amonia dan nitrit pada bak kontrol memperlihatkan kecenderungan yang lebih tinggi dari pada bak perlakuan. Sedangkan kandungan senyawa nitrat pada bak perlakuan cenderung lebih tinggi dari pada bak kontrol. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh tidak seimbangannya antara populasi kelompok bakteri nitrifikasi dan denitrifikasi yang diinokulasi. Jumlah bakteri nitrifikasi yang terlalu tinggi akan menyebabkan terjadinya penumpukan senyawa nitrit atau nitrat, karena tidak diikuti oleh proses denitrifikasi yang berperan dalam mereduksi senyawa nitrit atau nitrat menjadi gas nitrogen. Oleh karena itu masih perlu dilakukan analisis optimalisasi untuk mendapatkan komposisi inokulum bakteri nitrifikasi dan denitrifikasi yang sempurna dalam menghilangkan senyawa amonia, nitrat, dan nitrit dari sistem tambak udang.

Hasil analisis pola pertumbuhan udang memperlihatkan bahwa pada bak perlakuan relatif lebih cepat dari bak kontrol yang tidak diinokulasi bakteri (Gambar 7). Pertambahan panjang rata-rata pada bak kontrol sebesar 1,8 cm, sedangkan pada bak perlakuan masing-masing EM 4 sebesar 2,3 cm, SDTT5 dan ASRT2 sebesar 2,0 cm serta KDTST3 dan ASLT3 sebesar 2,2 cm (Tabel 3). Pertambahan berat rata-rata memperlihatkan perbedaan antara bak kontrol dan bak perlakuan, dan EM4 (Tabel 3). Pada bak kontrol dengan produk EM4 memperlihatkan laju pertumbuhan yang paling baik. Kondisi tersebut berhubungan dengan tingkat kelangsungan hidup yang berbeda. Pada bak kontrol dengan EM4 mempunyai tingkat kelangsungan hidup yang lebih rendah, sedangkan jumlah pakan yang ditambahkan sama. Hal ini menyebabkan rata-rata udang pada bak kontrol EM4 mendapatkan jumlah pakan yang lebih tinggi dari bak perlakuan gabungan SDTT5 dan ASRT2 serta KDTST3 dan ASLT3.

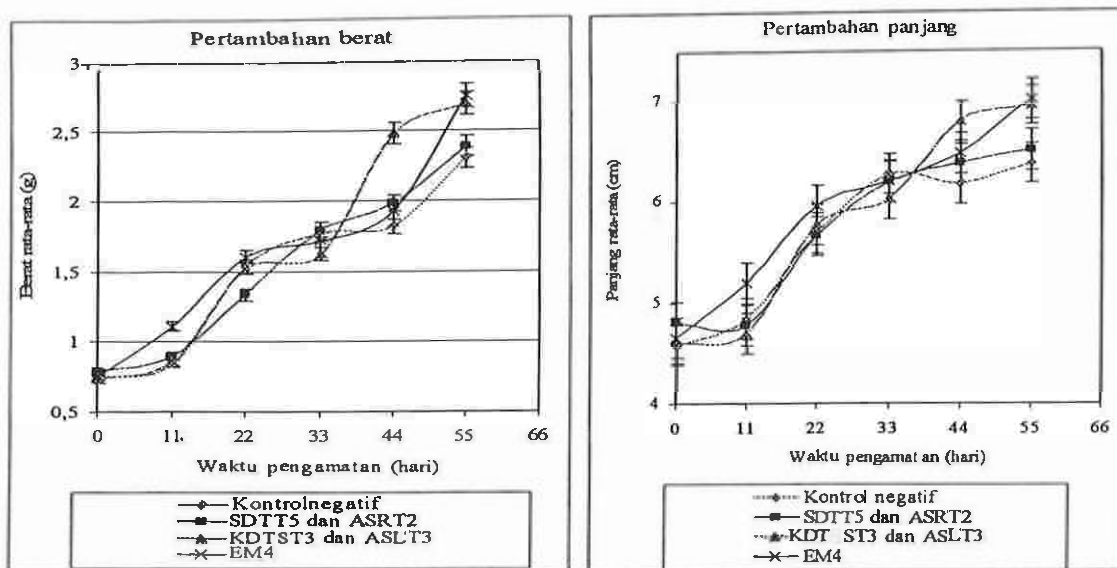
Tabel 3. Tingkat kelangsungan hidup dan pertumbuhan *Penaeus monodon* pada uji skala pibt.

| No. | Perlakuan                 | Tingkat Kelangsungan Hidup (%) | Pertambahan Berat rata-rata (gram) | Pertambahan Panjang rata-rata (cm) |
|-----|---------------------------|--------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 1.  | Kontrol (tanpa inokulasi) | 58                             | 1,60                               | 1,8                                |
| 2.  | SDDT5 dan ASRT2           | 70                             | 1,61                               | 2,0                                |
| 3.  | KDTST3 & ASLT3            | 78                             | 1,97                               | 2,2                                |
| 4.  | Kontrol positif (EM 4)    | 68                             | 2,00                               | 2,3                                |

Secara umum kondisi kualitas air pada setiap bak percobaan masih memungkinkan untuk pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang uji. Oleh karena itu terjadinya perbedaan tingkat kelangsungan hidup dan pertumbuhan udang pada masing-masing bak percobaan disebabkan oleh pengaruh penambahan inokulasi bakteri terseleksi. Dari hasil analisis pada tahapan seleksi ini, maka dipilih isolat denitrifikasi



dan nitrifikasi yang potensial untuk uji lapangan di tambak udang. Isolat-isolat tersebut adalah SDTT5, KDTST3, ASRT2, dan ASLT3.

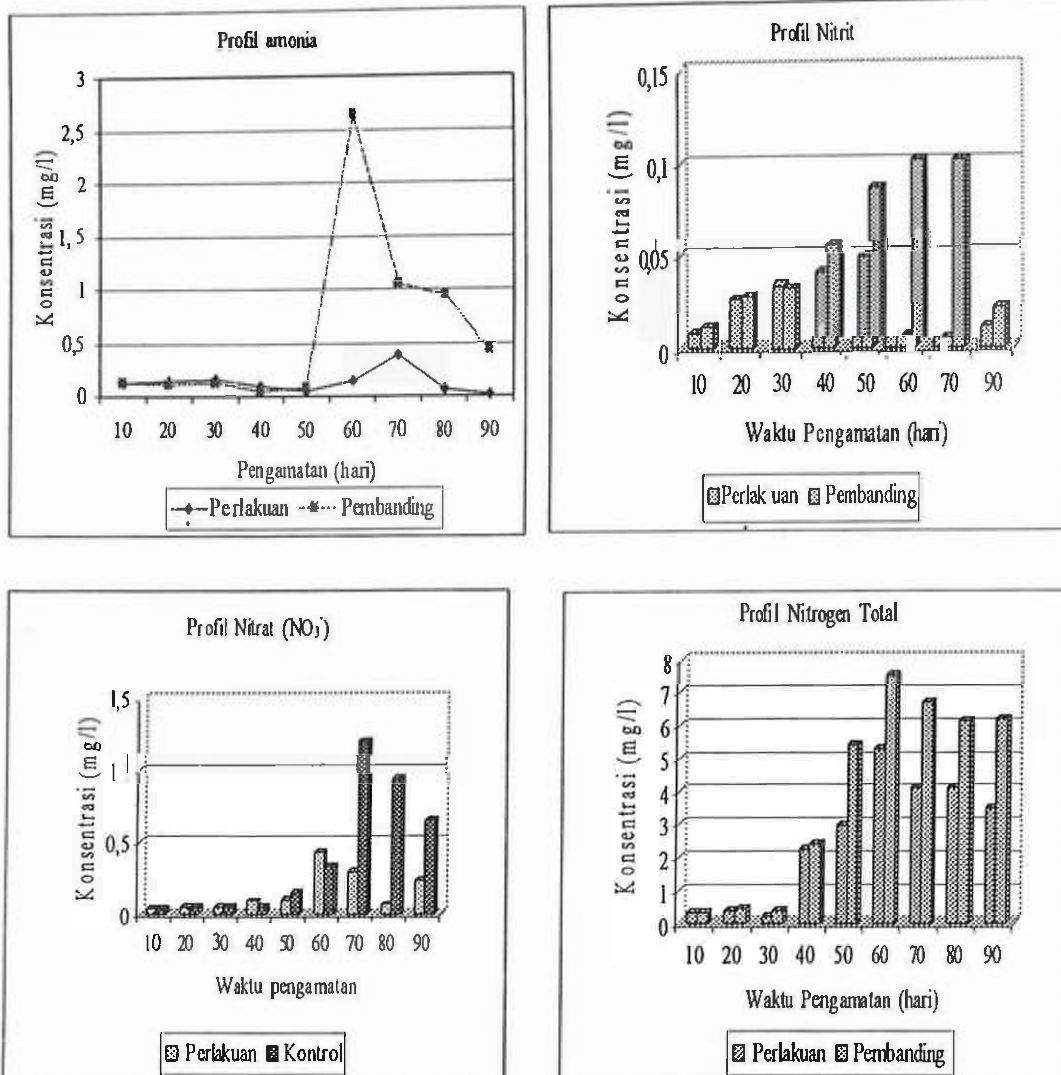


Gambar 7. Pola pertumbuhan udang pada uji skala pilot

### Uji Skala Lapangan

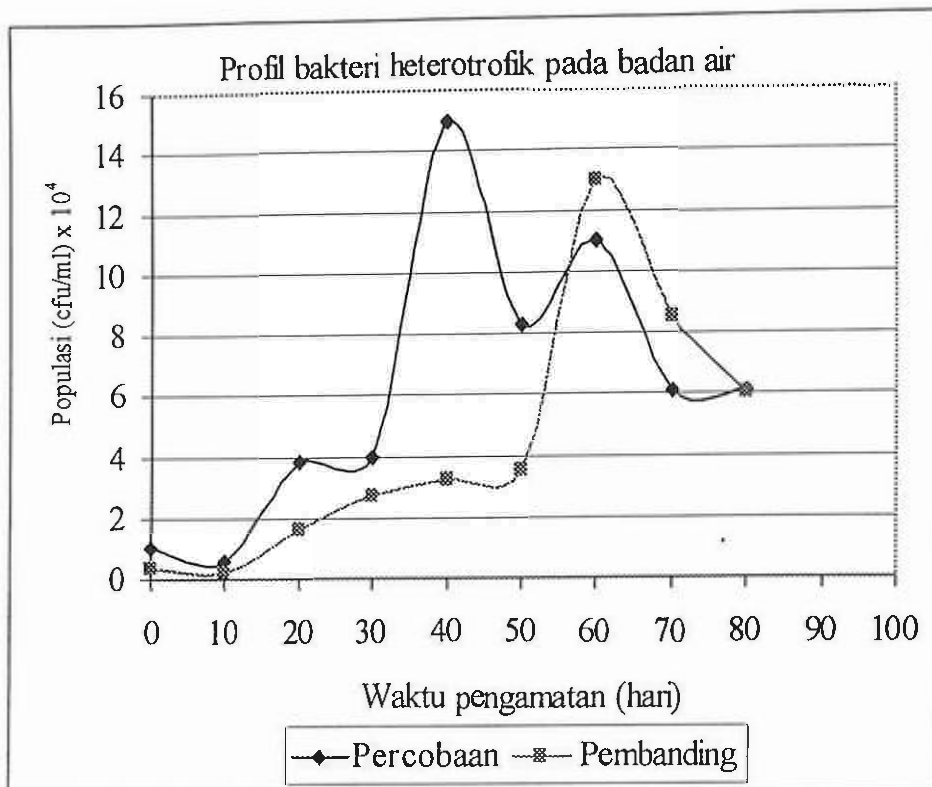
Uji ini dilakukan di tambak rakyat dengan pola intensif di Karawang. Isolat yang digunakan adalah gabungan antara SDTT5, KDTST3, ASLT3, dan ASRT2. Pemberian isolat dilakukan setiap 10 hari sekali, sebanyak masing-masing 50 liter. Sebagai pembanding digunakan produk komersial Aquazym. Analisis kualitas air dilakukan setiap 10 hari sekali dan pengukuran pertumbuhan udang dilakukan setiap 20 hari sekali. Mekanisme inokulasi dan aktivitas pengambilan sampel air dan sedimen dapat dilihat pada Lampiran 2, 3, dan 4.

Profil perubahan amonia antara kolam percobaan dan kolam pembanding terdapat perbedaan yang relatif nyata. Konsentrasi senyawa amonia, nitrit, dan nitrat pada kolam percobaan lebih rendah dari kolam pembanding. Konsentrasi senyawa tersebut baik pada kolam percobaan maupun pembanding memperlihatkan kecenderungan terjadi peningkatan dengan semakin lamanya umur udang. Profil kandungan senyawa amonia, nitrit, dan nitrat dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Profil kandungan senyawa amonia, nitrit, nitrat, dan nitrogen total pada kolam percobaan dan kolam pembanding pada uji skala Lapangan di Kabupaten Karawang

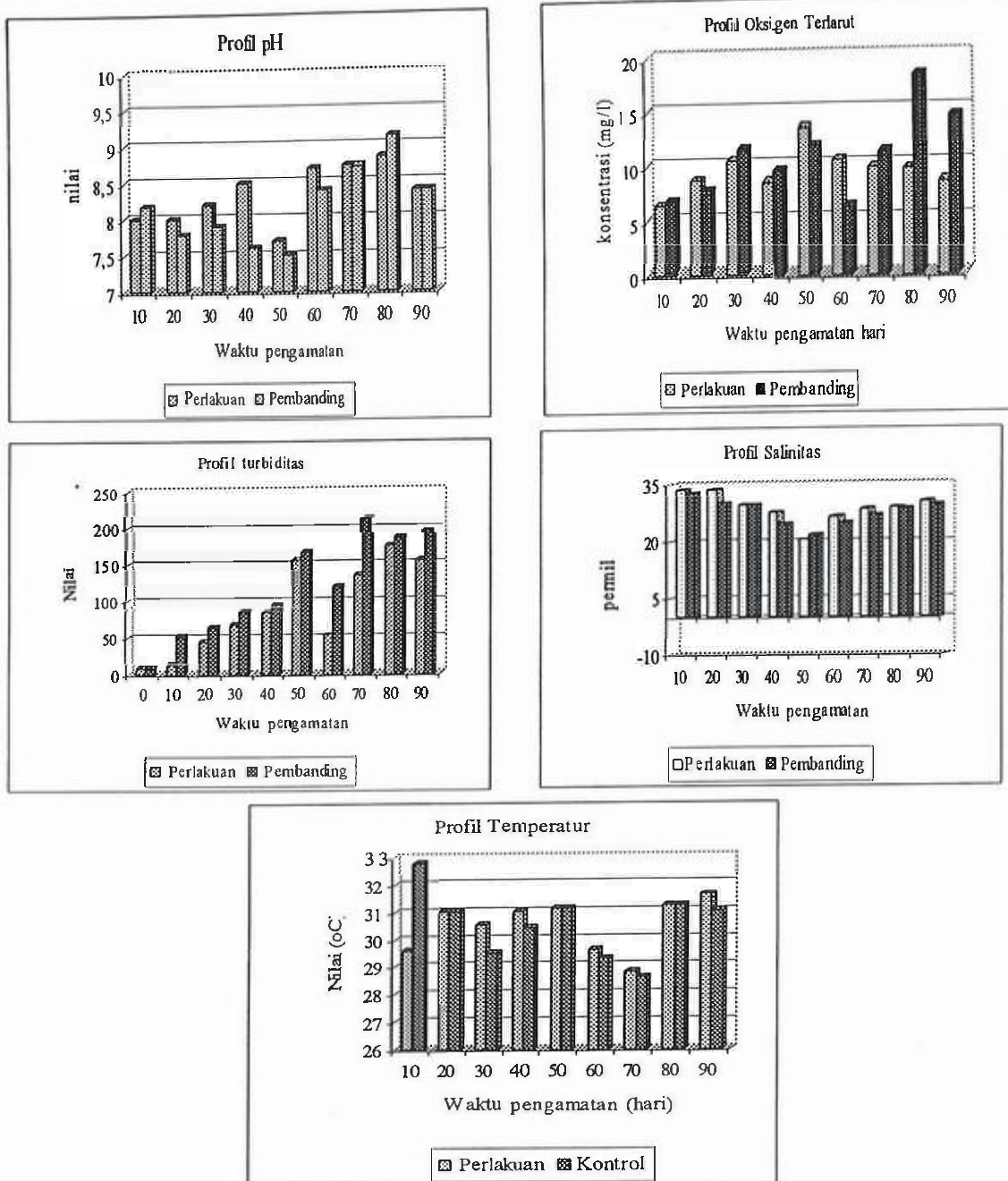
Populasi bakteri pada badan air kolam percobaan paling tinggi sebesar  $14,5 \times 10^4$  *cfu/ml* dan pada sedimen sebesar  $11,0 \times 10^7$  *cfu/g*. Sedangkan pada badan air kolam pembanding sebesar  $12,3 \times 10^4$  *cfu/ml* dan sedimen  $10,2 \times 10^7$  *cfu/g*. Populasi mikroorganisme dari masing-masing kolam pada uji skala lapangan juga memperlihatkan profil yang berbeda. Pada awal tanam populasi bakteri heterotrofik pada badan air relatif rendah, kemudian mengalami peningkatan sampai pada umur udang 40 hari. Mamasuki umur udang 50 hari mengalami sedikit penurunan dan meningkat kembali pada umur udang 60 hari (Gambar 9).



Gambar 9. Profil populasi bakteri heterotrofik pada badan air kolam percobaan dan kolam pembanding pada uji skala Lapangan di Kabupaten Karawang.

Beberapa parameter kualitas air tambak uji (pH, oksigen terlarut, turbiditas, salinitas, dan temperatur) memperlihatkan fluktuasi yang masih berada pada kisaran yang baik untuk pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang uji (Gambar 10). Parameter terakhir dalam uji skala lapangan adalah tingkat kelangsungan hidup (*Survival Rate*) dan laju pertumbuhan (*Growth Rate*) hewan uji (udang windu). Tingkat kelangsungan hidup pada kolam percobaan yang tidak menggunakan agen bioremediasi (tanpa penambahan inokulan bakteri) memperlihatkan bahwa udang hanya mampu bertahan hidup sampai umur 21 hari, sedangkan tingkat kelangsungan hidup pada kolam percobaan adalah sebesar 80%, dan pada kolam pembanding sebesar 50%.





Gambar 10. Profil parameter pH, oksigen terlarut, turbiditas, salinitas, dan temperatur pada kolam percobaan dan kolam pembanding pada uji skala Lapangan di Kabupaten Karawang.

Produksi biomassa udang yang didapat pada kolam percobaan sekitar  $6,0 \text{ ton.ha}^{-1}$ , sedangkan pada kolam pembanding sekitar  $3,9 \text{ ton.ha}^{-1}$ . Produk biomassa udang dan kegiatan pemanenan udang dapat dilihat pada (Lampiran 5). Hasil tersebut

memperlihatkan bahwa pada kolam uji dengan perlakuan agen bioremediasi isolat terseleksi memberikan hasil yang berbeda.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan data-data parameter kualitas air, maka kondisi tambak udang pada umumnya masih mempunyai potensi untuk dioperasikan. Pola budidaya yang diterapkan sebaiknya disesuaikan dengan kondisi iklim atau waktu mulai melakukan penebaran. Hal ini mengingat keterbatasan sumber air yang tersedia (baik air laut maupun air tawarnya). Tingkat kelangsungan hidup udang pada uji skala pilot memperlihatkan bahwa penambahan bakteri agen bioremediasi terseleksi dapat meningkatkan kelangsungan hidup udang windu sampai 78% di bandingkan dengan kontrol yang senilai 58%. Uji skala lapangan memperlihatkan bahwa pemanfaatan isolat agen bioremediasi terseleksi mampu meningkatkan produksi biomassa udang sampai 6,0 ton.ha<sup>-1</sup> memperlihatkan produksi biomassa yang lebih baik dari pada kolam pembanding sebanyak 4 ton.ha<sup>-1</sup>. Beberapa nilai parameter kualitas air (ammonia, nitrit, dan nitrit) pada uji skala lapangan juga memperlihatkan kandungan yang lebih rendah pada kolam perlakuan dari pada kolam pembanding.

### Saran

1. Berdasarkan hasil yang telah dicapai pada tahapan kegiatan ini, maka masih perlu dilakukan uji coba skala lapangan lagi, sebelum diaplikasikan secara menyeluruh.
2. Perlu dilakukan kajian untuk budidaya selain udang windu.

### Daftar Pustaka

- Adelman, I.R. and L.L. Smith, Jr. 1970. Effect of hydrogen sulfide on Northern Pike Eggs and Sac Fry. *Trans Americans Fish. Soc. Amer. Proc.* 26: 355 – 357.
- Alabaster, J.S. and R. Lloyd. 1981. *Water quality criteria for freshwater fish*. FAO. Butter worth. London
- Alexander, M. 1999. *Biodegradation and Bioremediation*. Second Edition. Academic Press. New York. P. 453
- Atlas, R.M. and R. Bartha. 1998. *Microbial Ecology. Fundamental and Applications*. The Benjamin/Cumming Publ. Co. California.
- Boyd, A.W. 1990. *Water Quality in Pond for Aquaculture*. Auburn University. Birmingham Publishing Co. Alabama. p. 147.
- Boyd, A.W. and A.W. Fast. 1992. Pond monitoring and management *In* Fast, A.W. and Lester L.J. (Eds). *Marine Shrimp Culture : Principles and Practices*, pp. 497-514.
- Bouchard, D.C., Williams, M.K. and R.Y. Surrampoll. 1992. Nitrate contamination of ground water : Sources and potential health effects. *J. Am. Water Work. Assoc.* 84: 85 – 90.
- Brock, T.D. and M.T. Madigan. 1991. *Biology of Microorganisms*. Prentice Hall. New Jersey.
- Buccanan, E.R. and N.E. Gibbon. 1974. *Bergeys Manual of Determinative Bacteriology*. Williams and Welkins Co. Baltimore.

- Burford, M.A., N.P. Preston, P.M. Glibert and W.C. Dennison. 2002. Tracing the fate of  $^{15}\text{N}$ -enriched feed in an intensive shrimp system. *Aquaculture*. **206**: 199 – 216
- Cappuccino, G.J. and Natalie S. 1983. *Microbiology : A Laboratory Manual*. Addison - Wesley Publishing Company Inc. California, USA. pp. 31-35.
- Chin, S.T. and J.C. Chen. 1987. Acute toxicity of ammonia to larvae of the tiger prawn (*Penaeus monodon* Fab.). *Aquaculture*. **55** : 297 – 309.
- Chen, J-C. and C-Y. Lin. 1995. Respon of oxygen consumption, ammonia-N excretion and urea-N excretion of *Penaeus chinensis* exposed to ambient ammonia at different salinity and pH Levels. *Aquaculture*. **136**: 243 -255.
- Chen, J-C. and Y-Z. Kou. 1992. Effect of ammonia on growth and molting of *Penaeus japonicus* Juveniles. *Aquaculture*. **104**: 249-260.
- Cleseri, L.S., A.E. Greenberg and R.R. Trussel. 1989. Standard methode for the examination of water and wastewater. Port city Press. Baltimore.
- Devaraja, T.N., F.M. Yusoff and M. Shariff. 2002. Changes in bacterial population and shrimp production in pond treated with comercial microbial products. *Aquaculture*. **206** : 245 – 256.
- Fast, A.W. 1992. Penaeid growth systems: An Overview. *In* Fast, A.W. and Lester L.J. (Eds). *Marine Shrimp Culture : Principles and Practices*, pp. 345 –354.
- , Penaeid extensive growout systems. *In* Fast, A.W. and Lester L.J. (Eds). *Marine Shrimp Culture: Principles and Practices*, pp. 355 –368.
- , Penaeid semi-intensive growout systems. *In* Fast, A.W. and Lester L.J. (Eds). *Marine Shrimp Culture: Principles and Practices*, pp. 369 –380.
- , Penaeid intensive growout systems. *In* Fast, A.W. and Lester L.J. (Eds). *Marine Shrimp Culture: Principles and Practices*, pp. 381 – 390.
- Foster, R.P. and L. Goldstein. 1969. Formation of excretory products. *In* Hoar, W.S., Randall, J.C. (Eds). *Fish Physiology*. Academic Press. New York
- Graaf, A.A., A. Mulder, P. Bruijn, M.S.M. Jetten, L.A. Robertson and J.G. Kuenen. 1995. Anaerobic oxidation of ammonium is a biologically mediated process. *App. Environ. Microbiol.* **4** : 1246 –1251.
- Grody, C.P. and C.D.M. Filipe. 2000. Ecological engineering of bioreactor for wastewater treatment. *J. Water, Air and Soil Pollution*. **310**: 117 – 132.
- Hallin, S and P-E. Lindgren. 1999. PCR detection of genes encoding nitrit reductase in denitrifying bacteria. *Appl. Enveron. Microbiol.* **4** : 1652 – 1657.
- Hargreaves, J.A. 1988. Nitrogen biogeochemistry of aquaculture Pond. *Aquaculture*. **166**: 181 -212.
- Jetten, S.S.M., M. Wagner, J. Fuerst, M. Loosdrecht, G. Kuenen and M. Strous. 2001. Microbiology and application of the anoxigenic ammonium oxidation (Anammox) Process. *J. Environ. Biohecnol.* **12**: 283 –288.
- Muir, P.R., Sutton, D.C. and L.Owens. 1991. Nitrate toxicity to *Penaeus monodon* protezoa. *Mar. Biol.* **108** : 67 –71.
- Pierce, H. R. Week, J.M. and J.M. Prappas. 1993. Nitrat toxicity to five species of marine fish. *J. World. Aquacult. Soc.* **24**: 105 – 107.
- Rychly, J. 1980. Nitrogen balance in trout: 2 Nitrogen excfetion and retention after feeding diets with varying protein and carbohydrate levels. *Aquaculture*. **20** : 343 – 350.

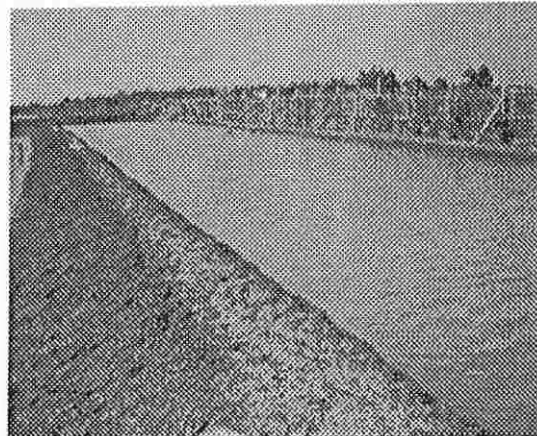


- Sabar, F. dan T Widiyanto. Profil senyawa karbon organik pada sistem perairan tambak udang windu. 1998. Hasil-hasil penelitian Puslitbang Limnologi LIPI tahun 1997-1998. Pusat Penelitian dan Pengembangan Limnologi LIPI. Cibinong- Bogor.
- Schwedler, T.E., C.S. Tuccer and M.H. Bealeu. 1985. Non-infectious diseases. *In*. Tucker (Ed). Channel Catfish Culture. Development in Aquaculture and Fisheries Science. Vol. 15. Elsevier, New York.
- Widiyanto, T. dan F. Sabar dan V. Indarwati. 1998. Profil nitrogen dan fosfat total pada perairan system budidaya (tambak udang). Hasil penelitian Puslit Limnologi LIPI tahun 1997 -19998. Puslit Limnologi LIPI.
- Vollenweider, R.A. and J. Kerekes. 1980. The leading concept as basis for controlling eutrophication philosophy and preliminary result of the OECD programme on eutrophication in Jenkins, C.H. (Ed). Eutrophication of Deep Lakes. Progress in Water Technology. 12 : 5 - 38.

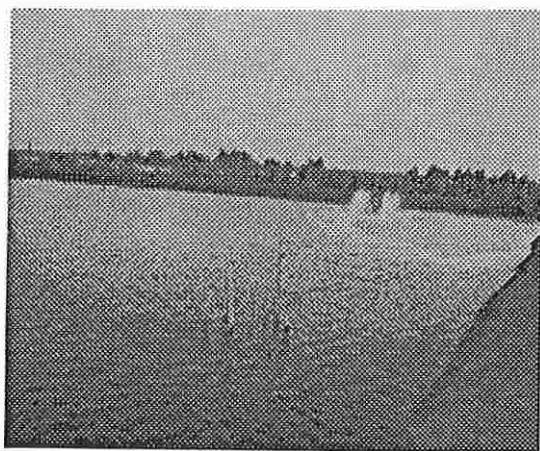
Lampiran 1. Lokasi tambak tempat uji coba skala lapangan di Karawang Jawa Barat.



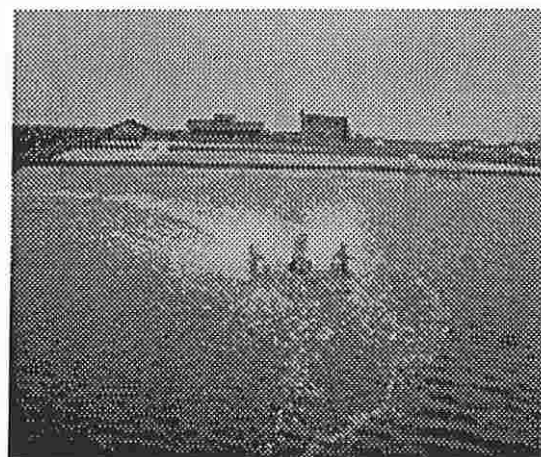
Persiapan tanam Pemanding



Kolam tandon air laut



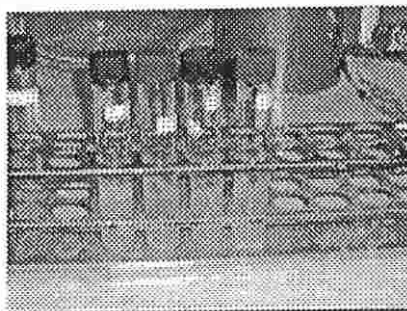
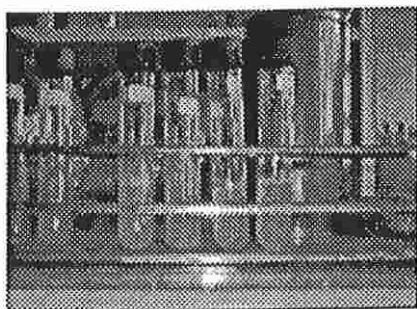
Tambak Pemanding



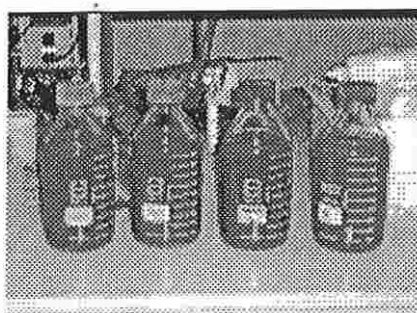
Tambak Percobaan



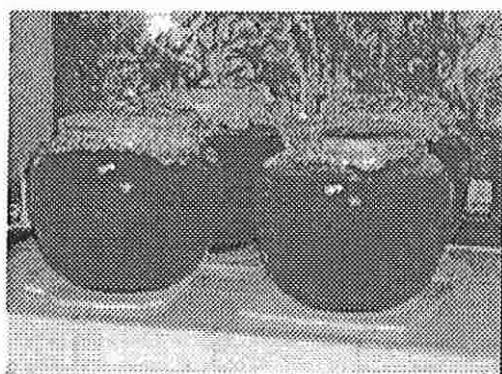
Lampiran 2. Inokulan bakteri terseleksi untuk agen bioremediasi pada uji skala lapangan



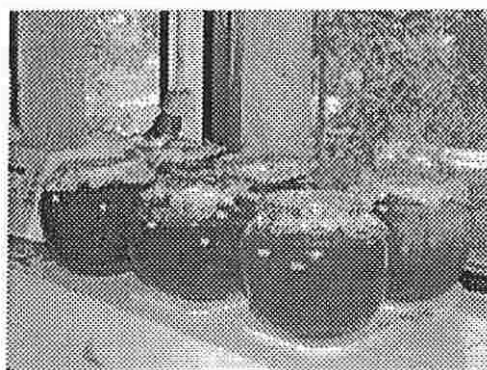
Kultur Inokulan bakteri 20 ml



Kultur inokulan bakteri 500



Kultur inokulan bakteri ASRT2, ASLT3 volume 5000 ml



Kultur inokulan bakteri SDTT5 dan KDTST3 5000 ml



Lampiran 3. Introduksi inoculan isolat bakteri agen bioremediasi pada uji coba skala lapangan



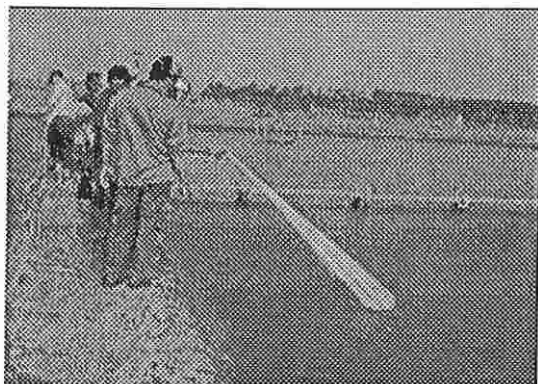
Persiapan inokulasi bakteri agen bioremediasi



Inokulasi bakteri agen bioremediasi



Lampiran 4. Monitoring kualitas air dan perkembangan udang pada uji coba skala lapangan





Lampiran 5. Produk biomasa udang dan kegiatan pemanenan pada uji skala lapangan di Kabupaten Karawang.

