

LAPORAN TEKNIS DIPA 2008

**KAJIAN DAYA DUKUNG DAN SISTEM
PENGELOLAAN PERAIRAN BUDIDAYA
UDANG WINDU YANG BERKELANJUTAN**

Peneliti Utama :

Sekar Larashati, M.Si.



**PUSAT PENELITIAN LIMNOLOGI
LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA
2008**

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur ke hadirat Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya, laporan teknis kegiatan penelitian DIPA dengan judul tolok ukur Kajian Daya Dukung dan Sistem Pengelolaan Perairan Budidaya Udang Windu yang Berkelanjutan, Program Penelitian dan Penguasaan Teknologi, Pusat Penelitian Limnologi-LIPI tahun anggaran 2008 dapat diselesaikan.

Pada kesempatan ini kami menyampaikan ucapan banyak terima kasih kepada:

1. Kepala Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
2. Kepala Kedeputusan Ilmu Pengetahuan Kebumian LIPI
3. Kepala Pusat Penelitian Limnologi-LIPI
4. Kepala Bidang Produktivitas Perairan Darat, Puslit Limnologi-LIPI
5. Bapak Dr. Tri Widiyanto, M.Si sebagai Pemegang Komitmen Kegiatan DIPA 2008
6. Rekan-rekan peneliti, teknisi dan administrasi di lingkungan Puslit Limnologi-LIPI
7. Anggota tim kegiatan penelitian ini

Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi yang membacanya. Kami menyadari hasil kegiatan penelitian yang telah dicapai masih jauh dari sempurna, sehingga saran dan kritikan diperlukan untuk menyempurnakan penelitian selanjutnya.

Cibinong, Desember 2008

Peneliti Utama

DAFTAR ISI

	halaman
COVER SAMPUL DEPAN	i
SAMPUL DALAM	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR.....	v
KAJIAN DAYA DUKUNG DAN SISTEM PENGELOLAAN PERAIRAN BUDI DAYA UDANG WINDU YANG BERKELANJUTAN	
ABSTRAK.....	1
PENDAHULUAN	2
a. Latar Belakang	3
b. Perumusan Masalah	8
c. Tujuan dan Sasaran	10
METODOLOGI.....	11
1. Peremajaan Isolat Bakteri Bioremediasi	11
2. Produksi Biomassa Bakteri Bioremediasi Skala 15 L	11
3. Persiapan Tambak Uji dan Kontrol.....	12
4. Monitoring Kualitas Air.....	12
5. Analisa Kandungan Logam Berat Toksik Pada Tambak Uji dan Kontrol	13
6. Seleksi Bakteri Yang Resisten Timbal (Pb).....	13
7. Isolasi Bakteri Tahan Krom (Cr)	13
8. Uji Resistensi Bakteri Dalam Cr(VI) Konsentrasi Tinggi	13
9. Pengamatan Morfologi dan Kurva Pertumbuhan.....	14
10. Uji Daya Penyisihan Cr(VI).....	14
HASIL DAN PEMBAHASAN	15
1. Inokulasi Bakteri Bioremediasi ke Dalam Tambak Udang	15
2. Kualitas Fisik dan Kimia Air Tambak	17
3. Kualitas Biologi Air Tambak	25

4. Seleksi Bakteri Yang Resisten Terhadap Timbal (Pb).....	27
5. Sampel Air Inlet Dan Outlet Reaktor Pengolah Limbah Pelapisan Logam	28
6. Isolat Bakteri Dari Inlet Dan Outlet Reaktor	29
7. Kemampuan Resistensi dan Penyisihan Krom (VI)	30
KESIMPULAN	33
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN	36

DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 1. Komposisi dan Jumlah Inokulum Kultur Bakteri Yang Diinokulasikan Ke Dalam Tambak	16
Tabel 2. Konsentrasi Logam Berat Tertentu Dalam Air Ketiga Tambak.....	25
Tabel 3. Kualitas Air Inlet dan Outlet Reaktor Pengolah Limbah Pelapisan Logam.....	28
Tabel 4. Jumlah Koloni Bakteri Dalam Outlet Reaktor Pada Beberapa Konsentrasi Cr(VI) Dalam Medium PYE 25%	29
Tabel 5. Pengelompokan Koloni Berdasarkan Bentuk Koloni dan Bentuk Sel.....	31
Tabel 6. Nilai Daya Penyisihan Isolat Bakteri Tahan Krom (VI).	33

DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 1. Tambak A dan Tambak B Yang Dijadikan Tambak Uji	17
Gambar 2. Pengambilan Sampel Dan Pengukuran Kualitas Air Tambak.....	18
Gambar 3. Profil Suhu Air Tambak Uji Dan Kontrol Selama 70 Hari Masa Pertumbuhan Udang	18

Gambar 4. Profil Salinitas Air Tambak Uji dan Kontrol Selama 70 Hari Masa Pertumbuhan Udang.....	19
Gambar 5. Profil Oksigen Terlarut Air Tambak Uji dan Kontrol Selama 70 Hari Masa Pertumbuhan Udang	20
Gambar 6. Profil pH Air Tambak Uji dan Kontrol Selama 70 Hari Masa Pertumbuhan Udang	21
Gambar 7. Profil Konduktivitas Air Tambak Uji dan Kontrol Selama 70 Hari Masa Pertumbuhan Udang	22
Gambar 8. Profil Turbiditas Air Tambak Uji dan Kontrol Selama 70 Hari Masa Pertumbuhan Udang.....	22
Gambar 9. Konsentrasi Amonium, Nitrit dan Nitrat Pada Tambak Uji dan Kontrol Selama 60 Hari Masa Pertumbuhan.....	23
Gambar 10. Total Bakteri Heterotrof dan Vibrio Pada Tambak Uji dan Kontrol	26
Gambar 11. Isolat-Isolat Bakteri Yang Ditumbuhkan Pada Media Yang Mengandung Pb 10 mg/L.	27
Gambar 12. Isolat KDTTP1B Yang Tumbuh Pada Media Dengan Konsentrasi Pb 25 mg/L. Keterangan: a,b,c Adalah Jamur Yang Mengkontaminasi Media Pertumbuhan Bakteri.....	27
Gambar 13. Koloni bakteri Yang Ditumbuhkan Dalam Medium Yang Mengandung Krom (VI) Memiliki Ukuran Koloni Yang Lebih Besar.....	29
Gambar 14. A) Koloni Isolat Nomor 77 Pada Perbesaran 100-200x Yang Muncul di Tepi Kertas Saring (Warna Hitam); (B) Isolat Nomor 77 Muncul di Sekeliling Kertas Saring (Perbesaran 10x); (C) Koloni Isolat Nomor 77 Yang Baru Muncul, Tanpa Mikroskop Koloni Ini Tidak Terlihat.....	30
Gambar 15. Kurva Pertumbuhan ke Enam Isolat Bakteri Tahan Krom (VI)	32

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

Sekar Larashati

ABSTRAK

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. Salah satu permasalahan yang sering muncul dan menjadi kendala dalam usaha budidaya perairan adalah dihasilkannya senyawa metabolit toksik, meliputi: amonia, nitrat, nitrit dan hidrogen sulfida. Oleh karena itu pada sistem tambak udang cenderung terjadi proses eutrofikasi, yang secara tidak langsung akan merangsang pertumbuhan mikroorganisme penyebab penyakit. Banyak produk komersial agen bioremediasi yang telah beredar di pasar, tetapi belum dapat menyelesaikan permasalahan yang terjadi pada aktivitas produksi udang.

Pendekatan proses bioremediasi yang akan dikaji dalam kegiatan penelitian ini adalah pengendalian senyawa metabolit toksik, penghambatan pertumbuhan bakteri penyebab penyakit dalam tambak udang, dan kajian isolat bakteri pengakumulasi logam berat. Kegiatan ini bertujuan untuk mencari teknologi budidaya udang secara berkelanjutan, pengendalian pertumbuhan mikroba penyebab penyakit dan kandungan logam berat pada sistem perairan tambak udang dan estuarin (lingkungan sekitar). Penelitian ini bertempat di Laboratorium Mikrobiota, Laboratorium Basah Puslit Limnologi LIPI serta Laboratorium Mikrobiologi Fakultas MIPA IPB. Metodologi yang digunakan adalah mengaplikasikan bakteri agen bioremediasi terseleksi ke dalam sistem tambak udang dan seleksi isolat bakteri yang potensial sebagai bioremoval logam berat (Pb, dan Cr(VI)). Kemudian dianalisis beberapa parameter kimia, fisika, dan biologisnya pada tambak skala lapangan dan kemampuan bioremoval di laboratorium.

Pemberian isolat bakteri bioremediasi ke dalam tambak uji dan kontrol dengan komposisi, jumlah dan selang waktu tertentu memberikan hasil pertumbuhan udang tidak sampai 120 hari. Hasil analisa virus white spot menunjukkan hasil yang negatif. Senyawa amonium, nitrit dan nitrat pada tambak uji dan kontrol selama percobaan berada di bawah ambang batas. Konsentrasi kadmium (Cd) dalam air tambak uji berada di atas ambang batas air untuk akuakultur. Beberapa bakteri yang mampu tumbuh dalam medium yang mengandung logam berat telah didapat yaitu bakteri yang tumbuh dalam medium mengandung Pb 10 mg/L serta Cr(VI) 250 mg/L. Hasil uji pengukuran daya penyisihan Cr(VI) di dapatkan bahwa isolat nomor 15 memiliki daya penyisihan tertinggi.

Kata kunci : budidaya udang, bioremediasi, bakteri agen bioremediasi amonium, nitrit, nitrat, bakteri penyebab penyakit, bioremoval, logam berat (timbal dan krom (VI))

PENDAHULUAN

Udang sebagai komoditas ekspor memiliki peran yang cukup signifikan, namun mengalami peningkatan volume yang lebih rendah jika dibandingkan dengan komoditas ekspor lainnya. Volume ekspor udang pada tahun 2000 adalah 116.187 ton dan meningkat menjadi 143.550 ton pada tahun 2004 atau hanya 5,58% (Nurdjana, 2005). Penurunan kualitas air dan daya dukung lahan menjadi salah satu penyebab menurunnya volume ekspor udang tersebut.

Lingkungan tambak udang mengalami tekanan yang dapat berasal dari dalam dan luar sistem itu sendiri. Tekanan dari dalam antara lain terjadinya akumulasi bahan organik (sisa pakan, kotoran udang dan *self purification* yang tidak berjalan dengan seimbang), serta menurunnya kualitas lahan dalam hal ini kerusakan 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 sumber air baku (terutama air tawar) yang digunakan berasal dari pembuangan berbagai aktivitas industri,

pertanian dan domestik, begitu juga dengan saluran sumber air asin yang masih tidak beraturan. Sehingga sumber air baku tersebut mengandung zat pencemar di antaranya logam berat seperti Hg, Pb, dan Cd.

Akumulasi bahan organik pada sedimen dan air tambak udang sudah dapat dideteksi sejak awal masuknya pakan tambahan (pellet) ke dalam tambak. Kondisi tersebut dapat dilihat dari terdapatnya kandungan senyawa nitrat, nitrit dan amonia dalam tambak dan tumbuhnya bakteri penyebab penyakit. Kandungan senyawa tersebut menunjukkan peningkatan mulai hari ke 15 setelah tanam. Pada waktu tersebut kandungan senyawa ammonium pada sistem sedimen sudah mencapai $500 \mu \text{ mol}$ dan total NO_3 dan NO_2 mencapai $15 \mu \text{ mol}$. Sedangkan kandungan nitrogen organik terlarut pada hari ke tiga sudah mencapai konsentrasi sekitar $100 - 120 \mu \text{ mol}$ (Burford, *et.al.* 2002).

Semua senyawa metabolit toksik akan terakumulasi pada sedimen dan pada konsentrasi yang tinggi akan terdifusi dalam sistem air tambak. Pengendalian senyawa metabolit toksik yang akan dilakukan adalah melalui mekanisme bioremediasi, dengan memanfaatkan konsorsium bakteri *indigenous*. Bakteri-bakteri tersebut diisolasi dari lingkungan berkarakteristik perairan tambak yang memiliki kemampuan dalam mempercepat proses dekomposisi senyawa organik dan menurunkan senyawa toksik.

Tercemarnya sumber air baku oleh logam berat selain didapat dari proses alam yang terjadi pada batu-batuan dan gunung berapi juga di antaranya berasal dari proses industri, pertambangan, pestisida. Beberapa logam berat seperti Pb, Hg, Cr (VI), dan Cd adalah jenis logam berat yang tidak esensial bagi makhluk hidup dan memiliki tingkat toksisitas tinggi. Salah satu logam berat berbahaya adalah kromium (Cr) yang banyak digunakan dalam kegiatan industri, pertanian, dan rumah tangga. Logam ini, dalam bentuk Cr(III), dibutuhkan oleh organisme dalam jumlah kecil, tetapi dalam jumlah besar dapat menimbulkan kerugian. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa logam ini, dalam bentuk Cr(VI), bersifat toksik, mutagenik, dan karsinogenik.

Cara-cara pengolahan limbah dan pemulihan lingkungan yang tercemar oleh logam berat telah banyak dilakukan, di antaranya dengan cara fisika dan kimia seperti menggunakan adsorpsi oleh karbon aktif dan penggunaan Fe untuk

presipitasi logam berat. Namun biasanya cara fisika kimia tersebut menemukan kendala seperti biaya dan efisiensi penurunan logam berat.

Usaha pemulihan lingkungan dari pencemaran oleh logam berat juga dapat dilakukan dengan cara bioremediasi, yaitu dengan memanfaatkan mikroorganisme yang dapat menghilangkan bahan pencemar dari lingkungan. Berbagai jenis bakteri dengan kemampuan aktivitas metabolismenya diketahui dapat menghilangkan atau mengurangi logam berat di lingkungan. Pemanfaatan bakteri dapat digunakan sebagai teknologi alternatif atau pelengkap yang perlu dikembangkan sebagai salah satu pendekatan secara biologis yang ekonomis dan ramah lingkungan.

a. Latar Belakang

Perkembangan produksi udang saat ini mengalami penurunan yang sangat nyata. Hal tersebut secara garis besar disebabkan oleh: penurunan daya dukung, peningkatan serangan penyakit, penurunan daya tahan tubuh, dan kerusakan sedimen. Sistem teknologi yang dikembangkan masih bersifat parsial, sehingga tidak atau belum dapat menyelesaikan permasalahan yang timbul. Oleh karena itu sangat mendesak untuk dilakukan pengkajian pengelolaan yang bersifat menyeluruh dan berkelanjutan.

Kerusakan internal banyak disebabkan oleh akumulasi senyawa organik dari sisa pakan tambahan dan tidak berjalannya proses *self purification*, sehingga terjadi produksi senyawa metabolit toksik (hidrogen sulfida, ammonia, nitrit dan nitrat), penurunan kandungan *trace* elemen yang terdapat pada sedimen. Kerusakan pada faktor internal tambak dapat merangsang pertumbuhan mikroorganisme penyebab penyakit.

Daya dukung suatu sistem perairan sangat tergantung dari komponen ekologis yang terdapat dalam ekosistem wilayah tersebut. Keseimbangan faktor fisik, kimia dan biologis harus selalu diperhitungkan dalam pengembangan usaha budidaya tambak. Kondisi inilah yang masih belum banyak dilakukan oleh para pengambil kebijakan yang masih didominasi oleh kepentingan ekonomis semata. Sebagai akibat dari pola pikir yang demikian sering menjadi bumerang bagi kelangsungan usaha itu sendiri.

Pengembangan kegiatan budidaya udang secara ekologis akan merubah struktur komunitas dari sistem perairan. Hal ini disebabkan oleh adanya masukan dan eksploitasi energi dalam sistem tersebut, sehingga sering terjadi ketidak seimbangan antara energi yang masuk dan yang dihasilkan. Dalam sistem usaha budidaya terdapat kecenderungan terjadinya kelebihan energi dan eksploitasi, yang pada akhirnya akan mengganggu stabilitas ekosistem. Kondisi tersebut dipercepat dengan menumpuknya usaha budidaya dalam suatu wilayah yang pada awalnya dianggap paling menguntungkan secara ekonomis. Hal ini terjadi pada sistem perairan di sepanjang Pantai utara Jawa.

Lebih lanjut Memed (1989) melaporkan bahwa pengembangan budidaya udang yang dipantau di pesisir Karawang Jawa Barat, memberikan dampak: 1) terjadinya perubahan tata guna lahan, 2) perubahan pola pengelolaan sumber-sumber air tawar, 3) perubahan jaringan irigasi dan 4) perubahan fungsi morfologis sungai-sungai pembuangan yang dijadikan sebagai pemasok air tawar, serta 5) terjadinya perubahan aspek-aspek kelautan di wilayah pesisir.

Pesatnya perkembangan budidaya udang, menimbulkan permasalahan yang cukup beragam dan multi dimensi. Kondisi tersebut pada akhirnya akan menurunkan tingkat produktivitas tambak. Faktor degradasi lingkungan sangat berkaitan dengan terlampauinya kemampuan daya dukung sistem perairan tersebut. Oleh karena itu sangat perlu dilakukan kegiatan penataan ulang di lingkungan pesisir perairan. Sehingga akan meningkatkan produktivitas tambak dan kelangsungan budidaya.

Kerusakan ekosistem perairan tambak sering dideteksi dengan menurunnya kualitas beberapa parameter: fisik, biologis dan kimia air. Faktor kimia, antara lain meliputi: kandungan H_2S , NH_3 , NO_2 dan NO_3 . Faktor biologis, meliputi: komposisi dan distribusi mikroba, benthos, fitoplankton, zooplankton, dan blooming mikroorganisme penyebab penyakit dan algae, serta perubahan pada sistem sedimen. Proses fisika, kimia dan biologis perlu dipahami secara seksama, sebagai dasar pijakan untuk dapat mengelola ekosistem tambak dengan baik. Hal ini berguna untuk meningkatkan dan mempertahankan produktivitasnya.

Senyawa metabolit toksik seperti H_2S , NH_3 , NO_2 dan NO_3 merupakan salah satu faktor penghambat dalam usaha budidaya perairan. Senyawa tersebut

diproduksi oleh aktivitas mikroba dalam kondisi mikroaerofilik dan hasil sekresi dari biota yang dibudidayakan. Kelompok bakteri fermentatif dalam lingkungan yang mikroaerofilik akan memproduksi H_2S dalam aktivitas metabolismenya. Senyawa ammonia banyak diproduksi oleh aktivitas bakteri ammonifying dan senyawa nitrit merupakan senyawa antara hasil metabolisme kelompok bakteri nitrifikasi.

Senyawa amonia juga merupakan salah satu hasil produk akhir pada metabolisme ikan atau hewan air. Senyawa tersebut dikeluarkan dari dalam tubuh melalui insang dan akan terabsorpsi dalam sistem perairan. Sekitar 60 – 90 % dari total senyawa nitrogen yang dihasilkan oleh hewan air (ikan) merupakan senyawa ammonia (Foster dan Goldstein, 1978; Rychly, 1980). Sedangkan senyawa nitrat dalam sistem perairan budidaya juga menunjukkan konsentrasi yang lebih tinggi dari sistem perairan umum. Muir, dkk. 1991. Menunjukkan bahawa kandungan senyawa nitrit dalam sistem perairan budidaya akan terjadi peningkatan sekitar 2,26 – 4,52 mg/L. Kondisi tersebut akan lebih tinggi pada sistem budidaya resirkulasi, peningkatannya dapat mencapai 500 mg/L (Pierce, *et.al.*. 1993). Senyawa nitrat dalam sistem perairan juga dihasilkan dari sampah tanaman atau air tanah pertanian yang diperlakukan dengan pemupukan (Bouchard, 1992). Senyawa nitrit merupakan hasil metabolisme antara perubahan ammonia menjadi nitrat dan proses denitrifikasi.

Kandungan senyawa amonia yang tinggi pada perairan akan menghambat laju ekskresi ammonia dari dalam tubuh organisme aquatik, sehingga kandungan ammonia dalam tubuhnya meningkat. Kondisi ini berpengaruh terhadap tingkat pH darah dan efek selanjutnya terhadap gangguan reaksi enzimatik pada organisme aquatik tersebut. Konsentrasi ammonia yang tinggi pada badan air juga akan berpengaruh terhadap permeabilitas ikan dengan air. Kandungan ammonia yang tinggi berpengaruh terhadap : peningkatan konsumsi oksigen oleh jaringan, merusak insang dan mengurangi kemampuan darah dalam transport oksigen. Hewan air yang hidup pada lingkungan dengan kandungan ammonia tinggi secara fisiologis akan terjadi kerusakan pada jaringan ginjal, tiroid dan limpha. Tingkat toksisitas senyawa ammonia terhadap hewan budidaya (udang) juga tergantung dari beberapa faktor kondisi lingkungan tambak itu sendiri. Pada kondisi

lingkungan tambak udang dengan nilai pH yang tinggi, tingkat toksisitasnya akan semakin menurun. Hal ini disebabkan banyak senyawa amonia akan berubah menjadi senyawa ion ammonium (Boyd, 1990).

Sumber utama senyawa metabolit toksik dalam sistem peraitan budidaya adalah senyawa protein. Senyawa tersebut berasal dari pakan tambahan (pellet) yang banyak digunakan oleh para petani (pengusaha) untuk merangsang atau mempercepat pertumbuhan hewan budidaya (ikan atau udang). Keberadaan senyawa protein dalam sistem perairan dapat dilihat dari kandungan total senyawa organik nitrogen (TON) dan kandungan total karbon organik (TOC) atau total organik material (TOM).

Tambak memiliki komunitas mikroba alami yang mampu melakukan dekomposisi senyawa kompleks. Populasi bakteri bergantung pada ketersediaan substrat dalam lingkungan tersebut. Bakteri nitrifikasi akan meningkat jika kandungan amonia dalam perairan meningkat demikian juga sebaliknya. Namun, laju nitrifikasi tidak hanya dipengaruhi oleh ketersediaan amonia tapi juga faktor lingkungan seperti suhu, oksigen terlarut, dan pH. Sehingga jika proses nitrifikasi tidak meningkat sebagaimana meningkatnya amonia, maka ada faktor lingkungan yang menghambat proses tersebut, bukan karena ada penurunan bakteri nitrifikasi (Boyd & Gass, 1998).

Proses bioremediasi senyawa metabolit toksik tidak lepas dari aktivitas metabolisme mikroba. Hal tersebut juga terjadi pada proses pembentukan senyawa metabolit toksiknya. Dimana sebagai sumber utamanya adalah senyawa organik yang terdapat dalam sistem perairan atau lingkungan. Dalam mekanisme tersebut terjadi proses mineralisasi protein dan senyawa karbon organik lainnya, seperti karbohidrat dan lemak yang melibatkan aktivitas oksidasi dan reduksi senyawa karbon, nitrogen, sulfur dan fosfat. Selain itu juga berasal dari aktivitas fermentasi. Proses tersebut terjadi pada kondisi lingkungan aerobik maupun anaerobik (Grady dan Filipe, 2000).

Beberapa kelompok mikroba yang aktif dalam mekanisme bioremediasi senyawa metabolit toksik secara alamiah antara lain : *Nitrosomonas*, *Nitrobacter* dengan aktivitas enzim amonia oksidase, hidrosilamin oksidase dan nitrit dehidrogenase. Selain itu juga terdapat kelompok bakteri fototrof (*Cyanobacter*,

Rhodospirillum, *Rhodobacter*) melalui aktivitas asimilasinya (Paerl, 1993) dan beberapa kelompok bakteri yang hidup pada lingkungan dengan kandungan oksigen yang relatif rendah antara lain : *Chromatium*, *Chlorobium* dan *Pelodiction* serta kelompok bakteri fotosintetik anoksigenik. Pada kondisi anaerobik juga terdapat kelompok bakteri anamox, yang mampu mengoksidasi ammonia dengan bantuan senyawa nitrit. Selain itu Sharif et al., 2001 dalam Farzanfar (2006) menyatakan bahwa bakteri dari jenis *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter* dan *Cellulomonas* digunakan untuk mempercepat proses dekomposisi dan pengurangan bahan organik di perairan adalah.

Adanya logam berat di lingkungan menyebabkan terjadinya kontak antara logam berat dengan makhluk hidup lain, di antaranya dengan mikroorganisme. Beberapa mikroorganisme berperan dalam siklus biogeokimia logam berat toksik di lingkungan dan dapat melakukan bioremoval lingkungan yang mengandung logam berat. Mikroorganisme yang dapat melakukan remediasi logam berat di antaranya adalah bakteri, contohnya yaitu *Bacillus* sp, *Pseudomonas* sp, *Escherichia coli*, dan bakteri pereduksi sulfat (SRB) (Gupta et al., 2000). Kebanyakan bakteri yang digunakan untuk bioremoval atau bioremediasi logam berat diisolasi dari tempat yang tingkat cemaran logam beratnya tinggi.

Mikroorganisme yang dapat melakukan remediasi logam berat di antaranya resisten terhadap logam berat itu sendiri. Resistensi tersebut merupakan kemampuan mikroorganisme untuk mendetoksifikasi logam berat dalam selnya. Mekanisme “efflux”, kompleksasi ion logam, dan reduksi logam berat ke bentuk yang tidak toksik merupakan mekanisme resistensi yang dapat dimiliki oleh mikroorganisme (Nies, 1999). Ketiga proses mekanisme resistensi tersebut dapat melibatkan reaksi redoks antara logam berat dan mikroorganisme, sehingga mempengaruhi kelarutan dan toksisitas logam berat (Spain, 2003). Berdasarkan hal tersebut maka mikroorganisme digunakan untuk melakukan remediasi atau mereduksi logam berat di lingkungan.

b. Perumusan Masalah

Proses eutrofikasi pada sistem tambak udang tidak dapat dihindari, dan berpotensi dihasilkannya senyawa metabolit toksik, dan penurunan daya dukung

sistem perairan tambak secara luas. Selain faktor internal tersebut, juga disebabkan karena penurunan kualitas sumber air baku yang disebabkan oleh adanya pencemaran logam berat, yang banyak dihasilkan dari aktivitas industri. Toksisitas akibat logam berat di dalam sel disebabkan karena logam tersebut dapat berikatan dengan gugus SH dari asam amino sehingga menyebabkan inhibisi enzim. Logam berat juga dapat mengganggu kerja ion-ion fisiologis seperti logam Cd yang mengganggu kerja ion Zn atau Ca (kalsium). Senyawa oksianion logam berat apabila tereduksi dalam sel dapat menghasilkan radikal bebas yang akan berikatan dengan DNA (Nies, 1999).

Kondisi tersebut pada akhirnya akan mengganggu kelangsungan usaha. Secara alamiah di dalam sistem tambak udang dapat melakukan proses *self purification* terhadap senyawa metabolit toksik, oleh beberapa mikroorganisme, namun proses tersebut berjalan tidak seimbang dengan jumlah masuknya senyawa metabolit toksik yang dihasilkan dan keberadaan logam berat dari sumber air baku. Semakin berkembangnya kebutuhan udang mendorong terjadinya pemaksaan peningkatan produksi atau pemanfaatan lahan. Hal tersebut menyebabkan terjadinya kerusakan lingkungan secara menyeluruh.

Berbagai permasalahan tersebut perlu diatasi secara terpadu, baik pengelolaan dari dalam sistem tambak itu sendiri, maupun dari pengaruh luarnya. Pengelolaan dari sistem tambak diantaranya dengan peningkatan kemampuan *self purification*. Hal ini dapat dilakukan dengan meningkatkan aktivitas kelompok mikroorganisme *indigenous* dan restorasi sedimen. Beberapa kelompok mikroorganisme yang mampu melakukan proses *self purification* antara lain: kelompok bakteri pengoksidasi nitrit dan amonia, pereduksi sulfit dan pereduksi nitrat, serta penghambat pertumbuhan bakteri penyebab penyakit dan sumber karotenoid. Kelompok bakteri tersebut perlu dikondisikan untuk dapat lebih aktif dalam melakukan metabolismenya, sehingga dapat mengimbangi jumlah senyawa metabolit toksik yang terdapat dalam sistem perairan tambak.

Mekanisme pemanfaatan senyawa metabolit toksik oleh bakteri tersebut akan menghasilkan produk akhir berupa : gas nitrogen, sulfat, CO₂ dan biomassa bakteri. Selain itu, perbaikan dari dalam sistem tambak juga dapat dilakukan dengan penataan kembali sistem sedimen, sehingga akan terjadi perbaikan

kondisi, menyangkut fisik, kimia maupun biologis. Sedangkan untuk mendapatkan pola pengembangan usaha budidaya yang berkelanjutan perlu juga dilakukan kajian daya dukung wilayah tersebut, baik itu dilihat dari sumberdaya air baku, sosial ekonomis dan lahannya.

Masalah utama dari pencemaran logam berat adalah karena logam tersebut dapat terakumulasi sampai pada rantai makanan (Suhendrayatna, 2001). Oleh karena itu diperlukan suatu mekanisme yang efektif untuk memulihkan lingkungan yang tercemar oleh logam berat. Sedangkan pencemaran logam berat pada sumber air baku dapat di kontrol dengan memanfaatkan bakteri *indigenous* bioremoval logam berat yang diisolasi dari perairan estuarin kemudian dioptimasi pertumbuhannya di laboratorium agar proses bioremoval dapat berlangsung optimal. Isolat bakteri tersebut diharapkan juga dapat diaplikasikan pada sistem pengolahan limbah yang mengandung logam berat.

c. Tujuan dan Sasaran

Tujuan:

Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk memanfaatkan berbagai kelompok mikroorganisme *indigenous* tambak udang sebagai agen bioremediasi senyawa toksik dan bioremoval logam berat, untuk menjaga kelangsungan produksi udang. Adapun tujuan yang akan dicapai pada kegiatan tahun anggaran 2008 ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan komposisi jenis, dan waktu inokulasi untuk aplikasi bakteri bioremediasi di tambak udang
2. Menganalisa pola perkembangan kualitas air dan sedimen tambak, pertumbuhan udang di tambak masyarakat dengan aplikasi bakteri bioremediasi
3. Mendapatkan isolat bakteri yang dapat dijadikan agen bioremoval logam berat yang dapat diaplikasikan pada pengolahan limbah dan lingkungan tambak udang yang tercemar logam berat.
4. Menganalisa pola kelangsungan hidup dan perkembangan udang dengan teknologi bioremediasi.

Sasaran:

Sedangkan sasaran yang akan dicapai dalam kegiatan ini adalah

1. Optimasi teknologi bioremediasi pada sistem tambak udang windu dengan isolat bakteri *indigenous*.
2. Mengetahui karakteristik isolat bakteri yang resisten dan mampu menurunkan logam berat untuk aplikasi lingkungan perairan tambak dan pengolahan limbah.

METODOLOGI

1. Peremajaan isolat bakteri bioremediasi

Isolat bakteri yang digunakan dalam penelitian ini adalah isolat bakteri denitrifikasi, nitrifikasi, *Bacillus*, dan fotosintetik anoksigenik yang berasal dari koleksi laboratorium mikrobiologi dengan kode KDTS3, ASL2, DA, dan IR9. Masing-masing isolat dari kultur stok digoreskan pada tabung miring berisi media Luria Bertani Agar (LA) untuk isolat KDTS3 dan ASL2 serta media Sea Water Complete (SWC) untuk isolat DA dan IR9. Isolat KDTS3, ASL2, dan DA diinkubasi selama 24-48 jam sedangkan isolat IR9 diinkubasi selama 5 hari. Lampu pijar 40 watt digunakan selama inkubasi bakteri IR9. Semua isolat tersebut diinkubasi pada suhu ruang. Selanjutnya isolat yang tumbuh digunakan sebagai kultur kerja.

2. Produksi biomassa bakteri bioremediasi skala 15 L

Masing-masing isolat bakteri dari kultur kerja diinokulasikan ke dalam 10 mL media cair yang sesuai dengan media pertumbuhannya kemudian diinkubasi sesuai dengan kondisi lingkungan masing-masing isolat. Selanjutnya suspensi masing-masing bakteri tersebut sebanyak 10% (v/v) diinokulasikan ke dalam 100 mL media pertumbuhannya kemudian diinkubasi sesuai dengan kondisi lingkungan masing-masing isolat. Untuk isolat KDTS3, ASL2, dan DA inkubasi dilakukan juga dengan pengocokan 100 rpm. Prosedur yang sama juga dilakukan untuk mengkultur isolat-isolat tersebut di dalam 500 mL media pertumbuhan.

Selanjutnya 500 mL inokulum diinokulasikan ke dalam botol-botol kultur berskala 15 L kemudian diinkubasi pada suhu ruang selama 3-7 hari. Masing-masing kultur bakteri tersebut diinokulasikan ke dalam tambak kontrol dan uji pada jumlah dan komposisi tertentu dengan selang waktu 10 hari sekali.

3. Persiapan tambak uji dan kontrol

Tambak yang digunakan dalam penelitian ini berlokasi di Kronjo, Tangerang. Pada awal penelitian di gunakan 3 tambak uji dengan luas 2000 m² (tambak A), 7000 m² (tambak B) dan 1700 m² (tambak C). Udang yang digunakan adalah udang windu dengan padat tebar 10 ekor/m², waktu pemeliharaan sekitar 120 hari. Benur udang didapat dari teluk Gong, Tangerang. Sumber air berasal dari sungai di sekitar tambak. Tahap persiapan tambak dilakukan dengan pengisian air tambak menggunakan pompa sampai ketinggian air sekitar 60 cm kemudian dilanjutkan sampai 80 cm. Dilakukan pengecekan awal terhadap kualitas air tambak menggunakan water quality checker (WQC) horiba. Penebaran benur dilakukan pada pagi hari sekitar jam 08.00. Aklimatisasi benur sebelum dimasukkan ke tambak sekitar 1 jam. Pakan udang diberikan setiap hari sebanyak 3-4 kali tergantung umur udang.

4. Monitoring kualitas air

4.1 Kualitas fisika-kimia air tambak

Monitoring kualitas air dilakukan dalam selang waktu 10 hari. Parameter yang diamati adalah parameter fisika-kimia dan biologi. Parameter fisika-kimia meliputi pH, suhu, salinitas, kekeruhan dan oksigen terlarut yang diukur menggunakan alat water quality checker Horiba sedangkan konsentrasi total nitrogen (TN), total fosfat (TP), amonia, nitrit dan nitrat diukur menggunakan metode spektrofotometer.

4.2. Kualitas biologi air tambak

Total koloni bakteri heterotrof dan vibrio dari sampel air tambak dihitung menggunakan metode total plate count. Sampel air tambak sebanyak 10 mL dimasukkan ke dalam tabung reaksi berisi 90 mL akuades steril menghasilkan pengenceran 10⁻¹ dan seterusnya ke pengenceran berikutnya. Sebanyak 0,1 mL

dari pengenceran tersebut dituang dan digores di atas media SWC agar untuk bakteri heterotrof dan media TCBS agar untuk bakteri vibrio. Kultur kemudian diinkubasi selama 1-5 hari dan dihitung jumlah koloninya per mililiter.

5. Analisa kandungan logam berat toksik pada tambak uji dan kontrol

Kandungan logam berat toksik yaitu Cu, Cd, Pb, Hg dan Cr (VI) pada masing-masing tambak uji di analisa di laboratorium hidrokimia Puslit Limnologi-LIPI. Sampel air tambak diambil dan dimasukkan ke dalam botol Schott 250 mL selanjutnya dimasukkan ke dalam lemari pendingin sebelum dianalisa menggunakan AAS.

6. Seleksi bakteri yang resisten Timbal (Pb)

Bakteri hasil isolasi dari lingkungan perairan tambak ditumbuhkan pada media Luria Bertani Agar yang mengandung logam berat Pb 10 dan 25 mg/L dan diinkubasi selama 24-72 jam pada suhu ruang.

7. Isolasi Bakteri Tahan Krom (Cr)

Sebanyak 100 uL air inlet dan outlet reaktor pengolahan limbah pelapisan logam, yang terdapat di Laboratorium Pengendalian Pencemaran Puslit Limnologi LIPI Cibinong, diaduk dengan pengaduk vortex lalu disebar pada medium padat PYE 25% yang mengandung krom(VI) 0-25 mg/L. Sebaran diinkubasi selama 2 hari pada suhu 30°C. Bakteri-bakteri yang muncul pada medium dengan kandungan krom tertinggi kemudian ditumbuhkan kembali pada medium padat PYE 25% dengan konsentrasi krom(VI) yang sama. Isolat-isolat yang diperoleh kemudian disimpan pada agar miring dalam lemari pendingin. Peremajaan isolat dilakukan dengan cara menumbuhkan biakan stok sebanyak satu mata ose di dalam medium cair PYE 25% dengan konsentrasi krom(VI) yang sama.

8. Uji Resistensi Bakteri dalam Cr(VI) konsentrasi tinggi

Disiapkan kertas saring berdiameter 7 mm steril yang telah direndam dalam larutan K_2CrO_4 dengan konsentrasi 250 mg Cr(VI)/L selama semalam dan telah dikeringkan dalam inkubator (40°C, 2 jam). Kertas saring tersebut kemudian

diletakkan di atas sebaran kultur bakteri (diameter 5 mm) pada medium agar $\text{PYE}_{\text{Cr-25}}$ 25%. Biakan diinkubasikan dalam suhu 30°C selama 48 jam. Munculnya koloni bakteri pada pinggiran kertas saring menandakan bakteri tersebut tahan terhadap krom (VI) pada konsentrasi 250 mg/L. Pengamatan koloni dilakukan dengan menggunakan mikroskop digital merk DinoLite. Sebagai kontrol negatif, digunakan kertas saring berkrom yang diletakkan pada medium agar tanpa bakteri. Sedangkan sebagai isolat pembandingan digunakan bakteri *Alcaligenes* sp. dan *Pseudomonas stutzeri* yang diberi perlakuan yang sama dengan isolat uji.

9. Pengamatan Morfologi dan Kurva Pertumbuhan

Isolat bakteri tahan krom dikelompokkan berdasarkan warna koloni, bentuk koloni, dan bentuk sel bakteri. Dari masing-masing kelompok diambil satu koloni yang memiliki ukuran diameter terbesar untuk diamati kurva pertumbuhannya dan uji lainnya. Pengamatan kurva pertumbuhan dilakukan dengan menginokulasikan 2% kultur bakteri dalam medium cair $\text{PYE}_{\text{Cr-25}}$ 25%. Biakan diinkubasikan pada suhu 30°C sambil di-*shaker* dengan kecepatan 100 rpm. Setiap 2 jam dilakukan pengukuran *optical density* (OD) menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 610 nm hingga didapatkan garis kurva yang mendatar (pertumbuhan stasioner).

10. Uji Daya Penyisihan Cr(VI)

Sebanyak 100 μL isolat bakteri yang telah diremajakan, ditumbuhkan dalam 5,0 mL medium cair $\text{PYE}_{\text{Cr-25}}$ 25% pada inkubator bersuhu 30°C sambil diaduk pada kecepatan 100 rpm hingga fase pertumbuhan eksponensial tercapai. Selanjutnya 1,0 mL kultur diambil dan dimasukkan ke dalam tabung eppendorf. Biakan disentrifus pada kecepatan 8000 g selama 6 menit pada suhu 20°C . Pelet bakteri kemudian dicuci tiga kali dengan 1,0 mL medium cair $\text{PYE}_{\text{Cr-25}}$ 25%; pada tiap pencucian, pelet bakteri dipisahkan dari supernatan dengan sentrifugasi. Setelah dicuci, pelet bakteri diresuspensi dalam 1,0 mL medium cair $\text{PYE}_{\text{Cr-25}}$ 25% dan diinkubasi selama 2 jam pada suhu 30°C sambil di-*shaker* pada kecepatan 100 rpm. Setelah dua jam, kultur bakteri diaduk dalam pengaduk *vortex* dan dipipet sebanyak 100 μL untuk perhitungan jumlah sel menggunakan metoda

pengenceran bertingkat. Sisa kultur sebanyak 0,9 mL disentrifus pada kecepatan 8000 g dan suhu 20°C selama 6 menit. Supernatan dipisahkan kemudian dianalisis kadar Cr⁶⁺ dalam supernatan secara spektrofotometri menggunakan metoda difenil karbazid.

Untuk mengetahui jumlah krom yang diserapkan oleh isolat, dilakukan juga pengukuran kadar awal Cr⁶⁺ dalam medium sebelum inkubasi. Sebagai kontrol untuk mengetahui adanya penyisihan krom oleh medium, digunakan medium tanpa bakteri yang diinkubasikan pada kondisi yang sama. Daya penyisihan isolat didefinisikan sebagai jumlah krom(VI) yang hilang dari medium tiap satuan waktu untuk setiap sel isolat, yang dihitung menurut persamaan:

$$\text{Daya Penyisihan (mg Cr}^{6+} \cdot \text{menit}^{-1} \cdot \text{sel}^{-1}) = \frac{A - f_k}{B \times T}$$

dimana:

- A : selisih kadar Cr⁶⁺ (dalam satuan mg/L) sebelum dan sesudah inkubasi dalam medium kultur uji.
- f_k : selisih kadar Cr⁶⁺ (dalam satuan mg/L) sebelum dan sesudah inkubasi dalam medium kontrol tanpa bakteri.
- B : Jumlah sel dalam kultur uji (sel/L)
- T : Waktu uji (menit)

Isolat yang memiliki nilai daya penyisihan tertinggi digunakan dalam pengujian selanjutnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Inokulasi bakteri bioremediasi ke dalam tambak udang

Tambak uji yang digunakan diberi kode tambak A, tambak B, dan tambak C (Gambar 1). Sedangkan tambak kontrol tidak diinokulasikan bakteri bioremediasi. Komposisi bakteri bioremediasi yang diinokulasikan ke dalam tambak uji adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Komposisi dan jumlah inokulum kultur bakteri yang diinokulasikan ke dalam tambak.

Hari	Tambak	Komposisi dan jumlah inokulum (L/ha)			
		ASL2	KDTS3	DA	IR9
0	A	150	-	-	-
	B	-	150	-	-
	C	-	-	-	150
10	A	150	75		
	B	107		21	
	C	176		44	
20	A	75	-	75	75
	B	64	64	-	-
	C	88	88	-	-
30	A	150	75	-	75
	B	64	43	21	43
	C	88	88	88	88
40	A	x	x	x	x
	B	43	21	-	-
	C	176	-	-	-
50	A	x	x	x	x
	B	64	43	-	43
	C	88	88	-	88
60	A	x	x	x	x
	B	x	x	x	x
	C	265	265	265	-
70	A	x	x	x	x
	B	x	x	x	x
	C	x	x	x	x

Keterangan: - = tidak diberi kultur bakteri, *x = tidak diberi kultur bakteri karena udang mati.

Perbedaan komposisi dan jumlah bakteri yang diberikan pada tiap tambak dilakukan untuk mengetahui komposisi dan jumlah bakteri yang memberikan hasil optimum bagi kondisi kualitas air dan pertumbuhan udang windu. Pada hari ke 40, inokulasi bakteri tidak dilakukan di tambak A karena udang mengalami kematian, selanjutnya pada hari ke 60 tambak B mengalami kondisi yang sama dan akhirnya pada hari ke 70 penelitian tidak dilanjutkan lagi karena udang pada ketiga tambak mengalami kematian. Kemungkinan udang terkena virus, namun hasil identifikasi virus white spot pada udang yang mati menunjukkan hasil yang negatif (Lampiran 1). Pada tubuh udang, tepatnya di sekitar kepala ditemukan bintik-bintik kuning. Sumber virus dapat berasal dari larva yang terinfeksi virus, air yang terkontaminasi virus, dan hewan akuatik yang lain yang membawa virus tersebut misalnya kepiting, rebon, dan zooplankton.



Gambar 1. Tambak A dan tambak B yang dijadikan tambak uji

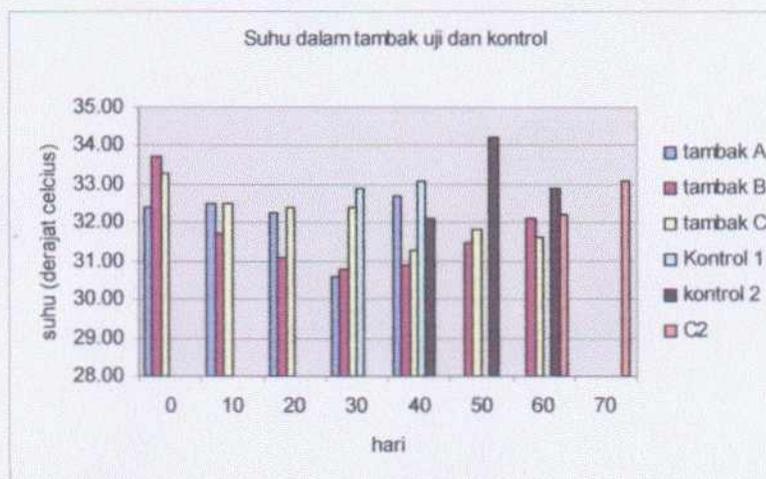
2. Kualitas fisik dan kimia air tambak

Pertumbuhan udang windu dipengaruhi oleh faktor lingkungan fisika dan kimia perairan tambak seperti suhu, pH, salinitas, oksigen terlarut, dan kekeruhan. Aktivitas pengukuran kualitas air tambak dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Pengambilan sampel dan pengukuran kualitas air tambak

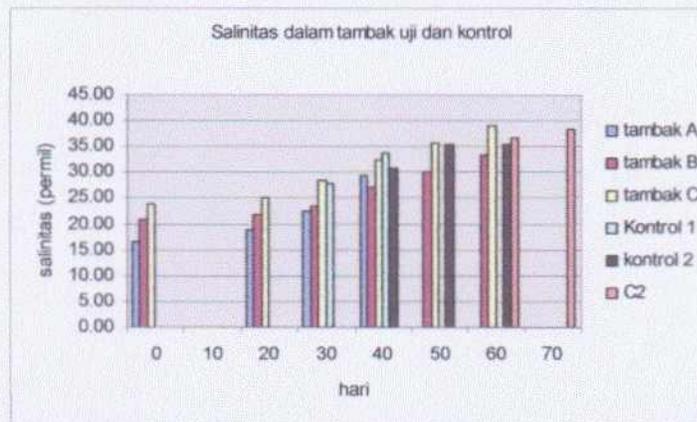
Hasil rata-rata suhu pada air tambak A menunjukkan kisaran 30,6-32,7°C, tambak B berkisar antara 30,8-33,72°C, dan tambak C 31,3-33,3°C (gambar 3). Pada tambak kontrol 2 dimana pengukuran dimulai pada hari ke-30, suhu berkisar antara 32,1-34,24°C.



Gambar 3. Profil suhu air tambak uji dan kontrol selama 70 hari masa pertumbuhan udang

Suhu rata-rata air tambak di lingkungan tropis berkisar antara 30-31°C (Feliatra, 2003). Boyd (1990) menyatakan bahwa pada daerah beriklim tropis suhu air tambak tinggi sepanjang tahun dan adanya perbedaan suhu udara antara musim kemarau dan musim hujan mempengaruhi suhu dalam air tambak. Selain itu penetrasi matahari juga mempengaruhi variasi suhu dalam air tambak. Buwono (1993) dalam Feliatra (2003) menyebutkan bahwa suhu optimum untuk pertumbuhan udang berkisar antara 25-30°C dan kisaran suhu yang masih dapat ditolerir adalah 18-35°C. Suhu juga berpengaruh terhadap pertumbuhan mikroorganisme yang berperan dalam mengurai senyawa kompleks.

Salinitas juga berperan penting pada pertumbuhan udang di perairan tambak. Hasil pengukuran menunjukkan kisaran salinitas pada tambak A adalah 16,6-29,5 per mil, tambak B 21-33,3 per mil, dan tambak C 23-39,1 per mil. Sedangkan pada kontrol 2 kisaran salinitasnya adalah 30,8-35,4 per mil (gambar 4).

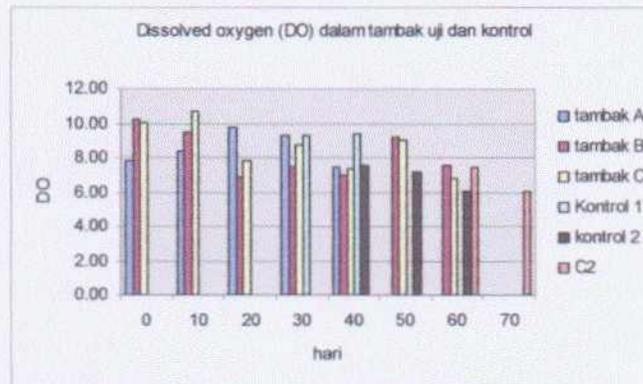


Gambar 4. Profil salinitas air tambak uji dan kontrol selama 70 hari masa pertumbuhan udang.

Pada hari ke-10 terjadi kerusakan pada alat pengukuran sehingga data tidak didapat. Profil menunjukkan kecenderungan kenaikan salinitas pada masing-masing tambak. Sumartini dan Aspiriyanto (1996) dalam Feliatra (2003) menyatakan bahwa udang tumbuh dengan baik pada salinitas 30 per mil dan cepat tumbuh pada salinitas 10 per mil. Kisaran salinitas untuk pertumbuhan udang adalah 10-35 per mil. Salinitas juga berpengaruh pada aktivitas mikroorganisme.

Feliatra & Bianchi (1993) dalam Feliatra (2003) menyatakan bahwa adanya peningkatan salinitas dapat menurunkan aktivitas bakteri nitrifikasi.

Oksigen terlarut atau dissolved oxygen (DO) berperan dalam proses respirasi udang dan perombakan senyawa organik oleh bakteri heterotrof. Hasil pengukuran oksigen terlarut di air tambak A menunjukkan kisaran 7,41-9,78 mg/L, tambak B berkisar antara 6,85-10,23 mg/L dan tambak C berkisar antara 6,77-10,7 mg/L, sedangkan kontrol 2 berkisar antara 6,07-7,58 mg/L (gambar 5).

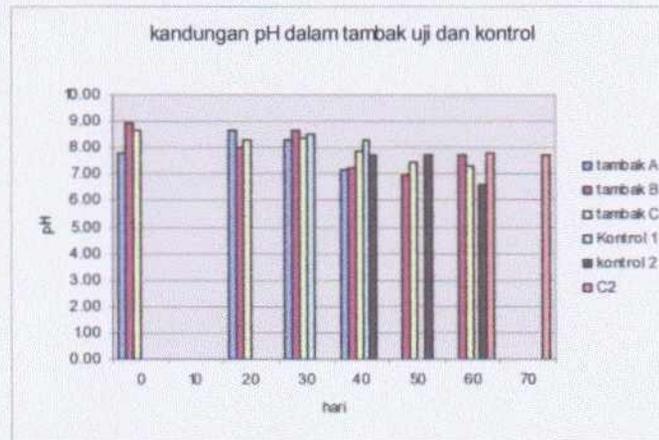


Gambar 5. Profil oksigen terlarut air tambak uji dan kontrol selama 70 hari masa pertumbuhan udang

Buwono (1993) menyatakan bahwa konsentrasi oksigen terlarut yang mendukung pertumbuhan udang berkisar antara 5-10 mg/L. Aktivitas bakteri nitrifikasi juga dipengaruhi oleh oksigen terlarut di perairan. Gunderson & Mountain (1973) dalam Feliatra (2003) menyatakan bahwa laju nitrifikasi menurun jika konsentrasi oksigen terlarut berada di bawah 0,3 mg/L.

Nilai pH di tambak A berkisar antara 7,17-8,68, tambak B berkisar antara 6,98-8,94, dan tambak C berkisar antara 7,34-8,69, sedangkan tambak kontrol 2 berkisar antara 6,58-7,74 (Gambar 6). Air tambak udang di Bengkalis Riau memiliki nilai pH 7,0-7,7 Feliatra (2003). Sumartini & Aspriyanto menyatakan bahwa nilai pH tersebut normal bagi pertumbuhan udang. Aktivitas bakteri perombak di lingkungan perairan tambak juga dipengaruhi oleh pH. Umumnya bakteri memiliki kisaran pH pertumbuhan 2-11, dengan pH optimum pada 6,5-7,5 (Moat & Foster, 1995). Wong-Chong (1975) menyatakan bahwa pH optimum pertumbuhan bakteri nitrifikasi adalah 7-8. *Aktivitas bakteri nitrosomonas juga

dipengaruhi oleh pH, dimana aktivitas bakteri tersebut akan menurun seiring dengan meningkatnya nilai pH.



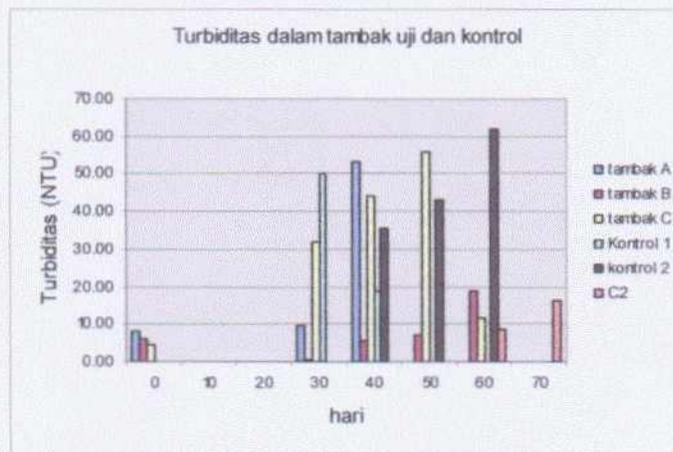
Gambar 6. Profil pH air tambak uji dan kontrol selama 70 hari masa pertumbuhan udang

Konduktivitas berhubungan dengan salinitas, semakin tinggi salinitas maka konduktivitas pun akan semakin tinggi (Boyd, 1990). Air tawar umumnya memiliki nilai konduktivitas 20-1500 mS/cm. Nilai konduktivitas pada tambak uji dan kontrol dalam penelitian ini berkisar antara 4-58,6. Tingginya nilai konduktivitas dapat disebabkan oleh suhu yang meningkat sehingga meningkatkan proses perombakan bahan organik. Pada penelitian ini, nilai konduktivitas tambak A berkisar antara 4-45,2 mS/cm, tambak B berkisar antara 19,2-50,64 mS/cm, dan tambak C berkisar antara 10,12-58,6 mS/cm (Gambar 7).



Gambar 7. Profil konduktivitas air tambak uji dan kontrol selama 70 hari masa pertumbuhan udang

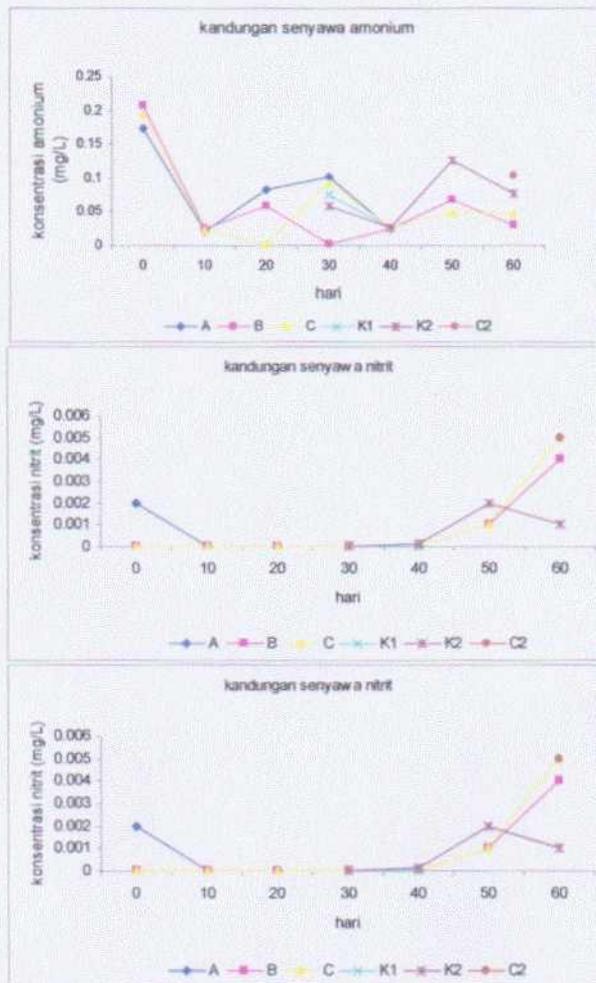
Turbiditas suatu kolam tambak dapat dipengaruhi oleh sedimentasi saat air sungai dipompa untuk mengairi tambak. Hasil pengukuran turbiditas pada tambak A menunjukkan kisaran antara 8,2-53,4 NTU, tambak B 0,75-18,6 NTU, dan tambak C 4,40-55,6 NTU sedangkan tambak kontrol 2 berkisar antara 35,4-61,8 NTU (Gambar 8).



Gambar 8. Profil turbiditas air tambak uji dan kontrol selama 70 hari masa pertumbuhan udang

Hasil analisa konsentrasi amonium, nitrat dan nitrit pada tambak A,B,C, dan kontro dapat dilihat pada gambar 9. Konsentrasi amonium (NH_4) di air pada

tambak A sampai hari ke-40 menunjukkan kisaran antara 0,025-0,173 mg/L, konsentrasi nitrit 0,000-0,002 mg/L, dan konsentrasi nitrat 0,078-0,189 mg/L. Sedangkan konsentrasi amonium tambak B sampai hari ke-60 berkisar antara 0,002-0,207 mg/L, konsentrasi nitrit berkisar antara 0,000-0,004 mg/L, dan konsentrasi nitrat berkisar antara 0,000-0,218 mg/L. Tambak C sampai hari ke 60 memiliki konsentrasi amonium berkisar antara 0,002-0,194 mg/L, nitrit berkisar antara 0,000-0,005 mg/L dan nitrat berkisar antara 0,055-0,234 mg/L. Tambak yang dijadikan kontrol baru pada hari ke-30, namun hanya tambak kontrol 2 yang mampu bertahan sampai hari ke-60. Konsentrasi amonium pada tambak kontrol 2 berkisar antara 0.026- 0,126 mg/L, nitrit berkisar antara 0,000-0,002 mg/L dan nitrat berkisar antara 0,000-0,255 mg/L.



Gambar 9. Konsentrasi amonium, nitrit dan nitrat pada tambak uji dan kontrol selama 60 hari masa pertumbuhan.

Amonia merupakan sumber energi bagi bakteri nitrifikasi yang dihasilkan dari amonifikasi bahan organik yang ada di kolam. Bentuk amonia yang tidak terionisasi yaitu NH_3 dilaporkan bersifat toksik bagi biota akuakultur, namun beberapa penelitian menyebutkan amonium juga bersifat toksik, terutama pada kadar pH rendah, meskipun kadar toksiknya kurang dibandingkan dengan NH_3 . Toksisitas amonia ini dikarenakan sifatnya yang berdaya larut tinggi pada lemak dan mudah berdifusi antar membran sel (Chen & Koun, 1993 dalam Frias-espericueta et al., 2000).

Nitrit bersifat toksik pada ikan karena dapat berikatan dengan hemoglobin membentuk methemoglobin dan besi (Fe^{2+}) pada bagian heme dioksidasi menjadi Fe^{3+} sehingga tidak bisa berikatan dengan oksigen, akibatnya ikan mengalami anemia. Pada hewan crustaceae, meskipun bagian hemenya mengandung tembaga (Cu), namun kemungkinan nitrit juga dapat bersifat toksik bagi crustaceae. Batas aman konsentrasi nitrit bagi pertumbuhan post larva udang adalah 4,5 mg/L (Boyd, 1990). Dalam penelitian ini konsentrasi nitrit pada ketiga tambak uji dan kontrol masih dalam batas yang aman, bahkan pada beberapa tambak sejak awal pengamatan sampai hari ke-50 tidak terdeteksi. Pemberian bakteri bioremediasi dapat berperan dalam menurunkan konsentrasi nitrit di perairan tambak. Toksisitas nitrit di air payau dipengaruhi oleh kandungan kalsium dan klorida, dimana toksisitasnya cenderung menurun dengan adanya konsentrasi kalsium dan klorida yang tinggi (Crawford & Allen, 1977; Perrone & Meade, 1977; Russo et al., 1981 dalam Boyd, 1990).

Beberapa data menyebutkan adanya kandungan logam berat pada air yang digunakan untuk akuakultur. Air sungai dan kanal yang digunakan untuk tambak udang di Thailand dilaporkan memiliki kandungan logam berat yang melebihi ambang batas. Berdasarkan Boyd (1990), Badan perlindungan lingkungan Amerika menetapkan ambang batas aman konsentrasi logam berat untuk air akuakultur, sebagai berikut: kadmium (Cd) 10 $\mu\text{g/L}$, kromium (Cr) 100 $\mu\text{g/L}$, tembaga (Cu) 25 $\mu\text{g/L}$, timbal (Pb) $\mu\text{g/L}$, merkuri (Hg) 0,1 $\mu\text{g/L}$, dan seng (Zn) 100 $\mu\text{g/L}$. Pengukuran konsentrasi logam berat tertentu pada awal penelitian di tiga tambak uji memperlihatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 2. Konsentrasi logam berat tertentu dalam air ketiga tambak

No.	Tambak	Parameter/satuan				
		Total tembaga (Cu) µg/L	Total kadmium (Cd) µg/L	Total timbal (Pb) µg/L	Total merkuri (Hg) µg/L	Krom (VI) (Cr VI) µg/L
1	A	20,25	32,84	14,73	0,18	0,01
2	B	7,02	23,82	6,86	0,10	<0,01
3	C	6,20	14,02	2,25	0,11	0,02

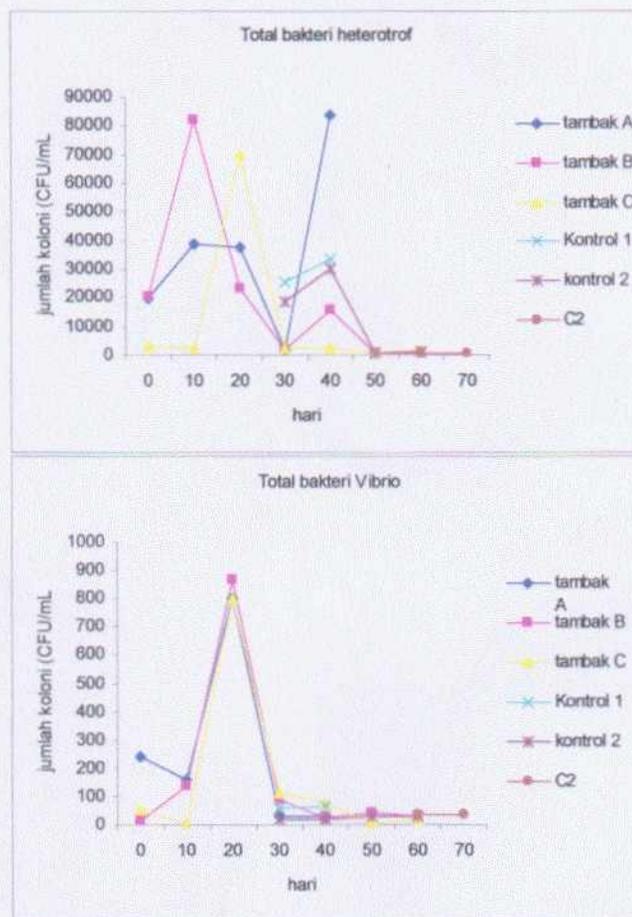
Dari hasil tersebut tampak bahwa konsentrasi Cd di air tambak melebihi batas aman yang ditentukan bagi perairan untuk akuakultur. Sedangkan konsentrasi logam berat lainnya masih dalam batas yang aman. Sumber air untuk tambak di Kronjo ini berasal dari air sungai di sekitar tambak. Kemungkinan sumber Cd dapat berasal dari sampah rumah tangga yang mengandung Cd, seperti battere, plastik, dan cat. Selain itu limbah industri yang mengandung Cd juga bisa menjadi sumber kontaminan.

3. Kualitas biologi air tambak

Dalam penelitian ini parameter yang diamati untuk kualitas biologi adalah total bakteri heterotrof dan bakteri vibrio dalam air tambak. Secara umum, total bakteri heterotrof pada ketiga tambak uji sampai hari ke 50 mengalami fluktuasi, namun pada hari ke 30 total koloni bakteri heterotrof berada pada jumlah terendah. Pada tambak A, sampai hari ke -40 total bakteri heterotrof berkisar antara $1,5 \times 10^3$ - $8,3 \times 10^4$ CFU/mL, Pada tambak B sampai hari ke 60 berkisar antara $3,6 \times 10^2$ - $2,3 \times 10^4$ CFU/mL, tambak C sampai hari ke 60 berkisar antara 5×10^2 - $6,9 \times 10^4$ CFU/mL, dan kontrol 2 berkisar antara $3,5 \times 10^2$ - 3×10^4 CFU/mL.

Profil total bakteri heterotrof pada masing-masing tambak cenderung rendah. Bakteri heterotrof berperan dalam proses perombakan bahan organik di perairan tambak dan biasanya memiliki korelasi yang kuat dengan kandungan oksigen terlarut di perairan. Meningkatnya kandungan bahan organik di perairan tambak seperti sisa pakan dan feses serta faktor lingkungan yang mendukung akan meningkatkan aktivitas bakteri heterotrof. Aplikasi bakteri bioremediasi di perairan tambak ini diharapkan mampu menjaga keseimbangan bakteri heterotrof.

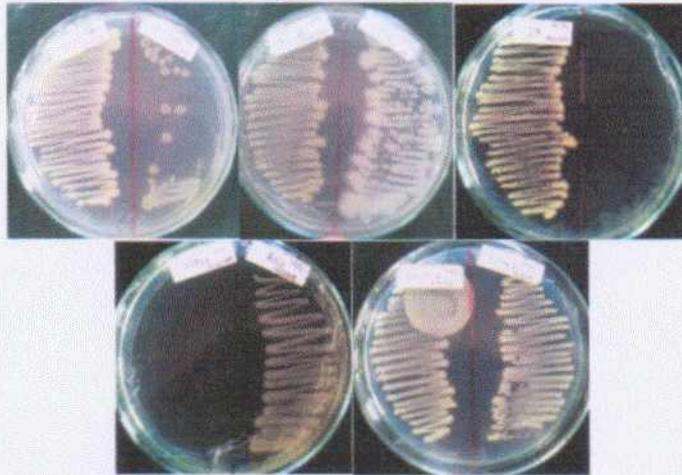
Total bakteri *Vibrio* pada tambak uji dan kontrol pada hari ke-20 mengalami peningkatan namun sejak awal pengamatan sampai hari ke-70 total bakteri *Vibrio* berada di bawah batas aman (Gambar 10). Jumlah koloni per mL bakteri *Vibrio* pada tambak A berkisar antara $0,27 \times 10^2 - 8 \times 10^3$ CFU/mL, tambak B berkisar antara $0,13 \times 10^2 - 8,6 \times 10^2$ CFU/mL, tambak C berkisar antara $0 - 8 \times 10^2$ CFU/mL, dan tambak kontrol 2 berkisar antara $0,2 \times 10 - 0,3 \times 10$ CFU/mL. Profil bakteri *Vibrio* dalam air tambak uji cenderung rendah meski pada hari ke 20 mengalami peningkatan. Pemberian bakteri agen bioremediasi diketahui dapat mengontrol kualitas air tambak namun juga dapat berfungsi untuk menurunkan populasi bakteri *Vibrio*. Vaseeharan & Ramasamy (2002) melaporkan bahwa Bakteri jenis *Bacillus* dapat digunakan sebagai agen untuk mengontrol pertumbuhan bakteri *Vibrio* di akuakultur.



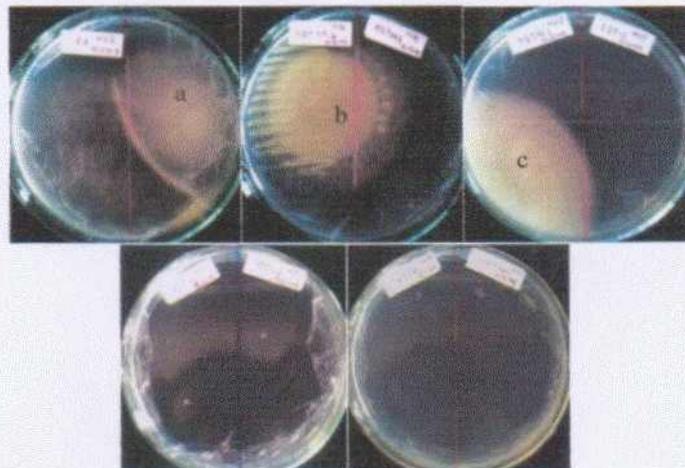
Gambar 10. Total bakteri heterotrof dan *Vibrio* pada tambak uji dan kontrol

4. Seleksi bakteri yang resisten terhadap timbal (Pb)

Bakteri yang digunakan untuk bioremediasi tambak udang diuji kemampuan resistensinya terhadap logam berat timbal (Pb) pada konsentrasi 10 dan 25 mg/L. Isolat yang diuji resistensinya adalah isolat ASL2, KDTS3, DA, KDTM1, KDTM3, KDTM4, SDT12, dan KDTTP1B. Hasil menunjukkan bahwa bakteri bioremediasi dan bakteri lainnya yang diisolasi dari perairan muara dan tambak mampu tumbuh pada konsentrasi 10 mg/L (Gambar 11).



Gambar 11. Isolat-isolat bakteri yang ditumbuhkan pada media yang mengandung Pb 10 mg/L.



Gambar 12 . Isolat KDTTP1B yang tumbuh pada media dengan konsentrasi Pb 25 mg/L. Keterangan: a,b,c adalah jamur yang mengkontaminasi media pertumbuhan bakteri

5. Sampel air inlet dan outlet reaktor pengolah limbah pelapisan logam

Laboratorium Pengendalian Pencemaran di Puslit Limnologi LIPI telah mengembangkan reaktor kolom pengolahan limbah cair Cr(VI) yang berasal dari produk akhir limbah pelapisan logam berdasarkan reaksi reduksi-oksidasi antara Cr(VI) dan Fe(0) yang menghasilkan Cr(III) dan Fe(II) dan Fe(III). Reaksi ini meningkatkan pH pada sistem dan membentuk Cr(III) dalam bentuk *insoluble hydroxide* atau *solid solution* $(Cr_x Fe^{1-x})(OH)_3$ sebagai hasil reduksi kromat. Hasil analisis terhadap beberapa parameter fisika kimia air inlet dan outlet reaktor pada penelitian pendahuluan dapat dilihat pada Tabel 3. Tingginya kandungan ion logam Cr(VI), Fe(II), dan Fe(III) memberikan kemungkinan adanya isolat bakteri tahan logam yang hidup dalam reaktor tersebut dan mampu menurunkan konsentrasi Cr(VI) yang bersifat toksik. Dengan demikian isolat bakteri tersebut dapat dimanfaatkan untuk bioremediasi Cr(VI) di perairan.

Tabel 3. Kualitas air inlet dan outlet reaktor pengolah limbah pelapisan logam

Parameter	Satuan	Sampel air	
		Inlet reaktor (air limbah)	Outlet reaktor (hasil pengolahan)
pH		2,33	5,67
Suhu	°C	28,5	27,5
Oksigen terlarut	mg O ₂ /L	5,91	3,17
Konduktivitas	uS/cm	1168	164,6
Cr (VI) terlarut	mg/L	32,379	0,095
Total Cr (VI)	mg/L	39,364	2,638
Fe (II) total	mg/L	0,181	100,043
Fe (II) terlarut	mg/L	0,181	68,062
Fe (III) total	mg/L	0,984	58,301
Fe (III) terlarut	mg/L	0,984	50,838
Sulfat (SO ₄ ²⁻)	mg SO ₄ ²⁻ /L	86,818	19,594
Sulfida (S ²⁻) total	mg S ²⁻ /L	tak terdeteksi	2,562

6. Isolat bakteri dari inlet dan outlet reaktor

Dari hasil isolasi bakteri, didapatkan bahwa pada inlet reaktor tidak ditemukan adanya pertumbuhan koloni bakteri. Walau demikian, pada medium agar yang disebar air inlet reaktor ditemukan koloni jamur yang tumbuh subur. Berlainan dengan itu, air outlet reaktor selain ditumbuhi jamur juga ditemukan banyak koloni bakteri. Dari biakan outlet reaktor, hanya 95 koloni bakteri yang berhasil diambil dari medium agar yang mengandung 25 mg Cr(VI)/L untuk dimurnikan karena koloni sisanya mulai tertutup jamur yang ikut muncul (Tabel 4).

Tabel 4. Jumlah koloni bakteri dalam outlet reaktor pada beberapa konsentrasi Cr(VI) dalam medium PYE 25%

	Konsentrasi Cr(VI):		
	0 mg/L	20 mg/L	25 mg/L
Jumlah Koloni Bakteri	344 (pengenceran 1000x)	166 (tanpa pengenceran)	134 (tanpa pengenceran)

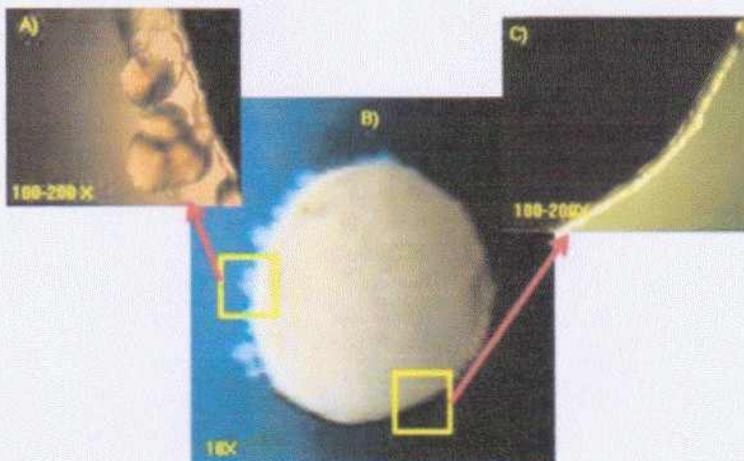
Yang cukup menarik adalah bahwa ukuran koloni bakteri yang muncul dalam medium yang mengandung krom lebih besar dari ukuran koloni bakteri dari medium tanpa krom (Gambar 13). Hal ini menimbulkan dugaan bahwa krom memberi pengaruh positif terhadap pertumbuhan bakteri tahan krom.



Gambar 13. Koloni bakteri yang ditumbuhkan dalam medium yang mengandung krom (VI) memiliki ukuran koloni yang lebih besar.

7. Kemampuan resistensi dan penyisihan Krom (VI)

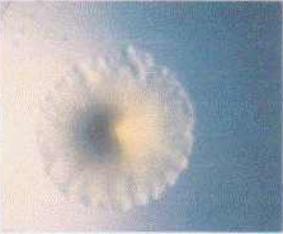
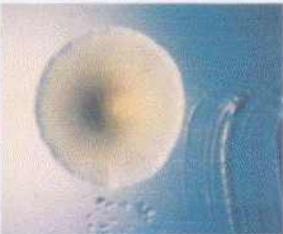
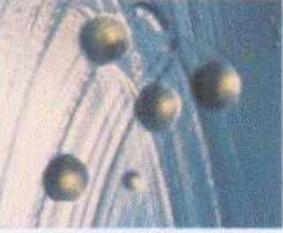
Dari uji resistensi bakteri pada konsentrasi Cr(VI) 250 mg/L, hanya satu isolat bakteri yang tidak dapat hidup dalam konsentrasi ini, yaitu isolat nomor 94, sedangkan 94 isolat lainnya dapat tumbuh. Ke-94 isolat bakteri dari outlet reaktor memiliki resistensi terhadap krom (VI) yang lebih baik dari bakteri pembanding yaitu *Alcaligenes* sp. dan *Pseudomonas stutzeri*, karena koloni kedua isolat ini tidak muncul setelah 24 jam inkubasi. Bentuk koloni yang muncul dari tepi kertas saring dapat dilihat dalam Gambar 14.



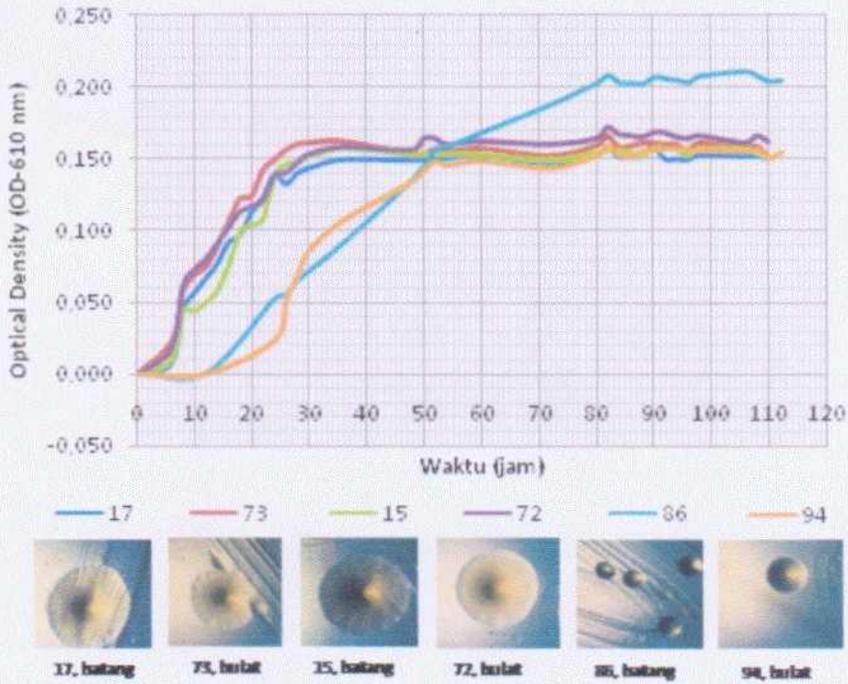
Gambar 14. A) Koloni isolat nomor 77 pada perbesaran 100-200x yang muncul di tepi kertas saring (warna hitam); (B) isolat nomor 77 muncul disekeliling kertas saring (perbesaran 10x); (C) koloni isolat nomor 77 yang baru muncul, tanpa mikroskop koloni ini tidak terlihat.

Terdapat enam kelompok bakteri yang memiliki bentuk morfologi koloni dan sel yang berbeda. Keenam kelompok ini dapat dilihat pada Tabel 5. Dari masing-masing keenam kelompok ini, diambil isolat yang memiliki ukuran diameter koloni terbesar yang akan diuji lanjut. Diharapkan koloni berukuran terbesar memiliki daya tahan terhadap Cr(VI) yang paling baik. Isolat yang akan diuji lanjut adalah isolat nomor 15, 17, 72, 73, 86, dan 94.

Tabel 5 . Pengelompokan koloni berdasarkan bentuk koloni dan bentuk sel

Tampilan Koloni		Keterangan
1	koloni melebar dengan tepi seperti kerang, 	Bentuk sel: 1. Batang = 58 Koloni 2. Bulat = 4 koloni Diameter : 1,60 -0,35 mm Warna : putih susu
2	koloni melebar dengan tepi lebih halus, 	Bentuk sel: 1. Batang = 13 koloni 2. Bulat = 2 koloni Diameter : 1,55 - 0,9 mm Warna: putih susu
3	Koloni membulat, 	Bentuk sel: 1. Batang = 9 Koloni (warna kuning lemon) 2. Bulat = 2 koloni (warna putih susu) Diameter: 0,8 - 0,2 mm

Kurva tumbuh dari ke enam isolat yang ditumbuhkan dalam medium cair PYE_{Cr-25} 25% dapat dilihat pada Gambar 15. Dari kurva tersebut terlihat bahwa isolat 15, 17, 72, dan 73 yang memiliki bentuk koloni yang hampir sama ternyata memiliki pola kurva yang hampir sama pula, sehingga ada dugaan bahwa keempat isolat ini merupakan bakteri yang sama.



Gambar 15. Kurva pertumbuhan ke enam isolat bakteri tahan krom (VI).

Hasil uji daya penyisihan Cr(VI) dari ke enam isolat dapat dilihat pada Tabel 5. Dari uji ini didapatkan bahwa isolat nomor 15 memiliki daya penyisihan Cr(VI) terbesar dengan nilai $4,11 \times 10^{-8} \mu\text{g Cr(VI)}/\text{jam}/\text{sel}$ bakteri sedangkan daya penyisihan terkecil dimiliki oleh isolat nomor 94 dengan nilai daya penyisihan sebesar $5,47 \times 10^{-10} \mu\text{g Cr(VI)}/\text{jam}/\text{sel}$ bakteri. Tingginya daya penyisihan isolat ini diduga disebabkan oleh laju pertumbuhannya yang relatif cepat dibandingkan isolat 94 dan 86, dengan fase pertumbuhan eksponensial tercapai dalam waktu 18 jam. Oleh karena itu, isolat nomor 15 berpotensi untuk dijadikan agen bioremediasi untuk Cr(VI) dalam lingkungan perairan.

Tabel 6. Nilai Daya Penyisihan Isolat Bakteri Tahan Krom (VI).

Nomor Isolat	Daya Penyisihan Rata-rata ($\mu\text{g Cr(VI)}/\text{jam}/\text{sel bakteri}$)	Peringkat
15	$4,11 \times 10^{-8}$	1
17	$1,52 \times 10^{-9}$	5
72	$6,25 \times 10^{-9}$	2
73	$2,46 \times 10^{-9}$	3
86	$1,91 \times 10^{-9}$	4
94	$5,47 \times 10^{-10}$	6

KESIMPULAN

Pemberian isolat bakteri bioremediasi ke dalam tambak uji dan kontrol dengan komposisi, jumlah dan selang waktu tertentu memberikan hasil pertumbuhan udang tidak sampai 120 hari. Hasil analisa virus white spot menunjukkan hasil yang negatif. Senyawa amonium, nitrit dan nitrat pada tambak uji dan kontrol selama percobaan berada di bawah ambang batas. Konsentrasi kadmium (Cd) dalam air tambak uji berada di atas ambang batas air untuk akuakultur. Beberapa bakteri yang mampu tumbuh dalam medium yang mengandung logam berat telah didapat yaitu bakteri yang tumbuh dalam medium mengandung Pb 10 mg/L serta Cr(VI) 250 mg/L. Hasil uji pengukuran daya penyisihan Cr(VI) di dapatkan bahwa isolat nomor 15 memiliki daya penyisihan tertinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2002. Statistik Perikanan Indonesia. Departemen Perikanan dan Kelautan. Jakarta
- Boyd, A.W. 1990. Water Quality in Pond for Aquaculture. Auburn University. Birmingham Publishing Co. Alabama. p. 147.

LAMPIRAN

Hasil pemeriksaan sampel udang dengan analisa *polymerase chain reaction* (PCR)



DEPARTEMEN KELAUTAN DAN PERIKANAN
BALAI RISET PERIKANAN BUDIDAYA AIR TAWAR
LABORATORIUM RISET KESEHATAN IKAN
Jl. Sempur No. 1 BOGOR, Phone: 0251 313200, Fax: 0251 327890

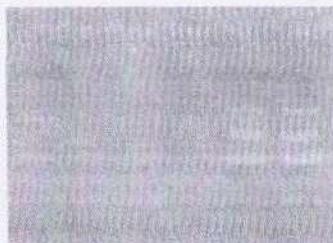
HASIL PEMERIKSAAN SAMPEL UDANG

Tanggal : 02 September 2008
Pemilik Sampel : LIPI Cibinong
Jenis Sampel/Umur : *Penaeus Monodon*
Alamat : Cibinong

NO	SAMPEL	ORGAN	ANALISA PCR IQ2000 Detection kit			
			WSSV	TSV	IHHNV	IMNV
1	NO 1 - 5	Insang	Negatif	nt	nt	nt
2	NO 6 - 9	Insang	Negatif	nt	nt	nt

nt = not tested

WSSV



M 1 2 3 4 4

Keterangan:

- M = marker
- 1 = sampel no 1 - 5
- 2 = sampel no 6 - 9
- 3 = negatif control
- 4 = positif control

02 September 2008
Petugas Lab

Mikdarulbah
NIP. 080.128.208