

Biomonitoring Degradasi Ekosistem Akibat Limbah CPO di Muara Sungai Mentaya Kalimantan Tengah dengan Metode Elektromorf Isozim Esterase

Biomonitoring of ecosystem degradation caused by CPO waste of Mentaya River in Central Kalimantan use of esterase isozym electromorf method

PRABANG SETYONO¹, ENDANG SUTARININGSIH SOETARTO²

¹ Jurusan Biologi FMIPA, Universitas Sebelas Maret (UNS), Surakarta 57126.

² Fakultas Biologi, Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta 55281.

Diterima: 27 Pebruari 2008. Disetujui: 28 Mei 2008.

ABSTRACT

The impact of CPO (Crude Palm Oil) dock activity in Mentaya River of Central Borneo caused degradation of ecosystem, particularly on both mangrove and macrozoobenthos community. One of methods used for monitoring of ecosystem degradation was to determine species that were still survive under the polluted conditions. These survival species were assumed to synthesize alloenzyme that can be used as indicator. Alloenzyme was synthesized as an effort of adaptation processes toward environmental pressures caused by CPO spill on Mentaya River. Alloenzyme would be expressed as phenotypic and genotypic adaptation processes or phenotypic plasticity. Research was carried out, consisted of field research included collecting sample and environmental data (oil content, temperature, pH, electric conductivity and redox potential), and laboratory research included series analysis of water quality (DO, BOD, COD, pH, TSS, TDS) and also alloenzyme content of *Soneratia caseolaris* L. and *Macrobrachium rosenbergii* de Man. The alloenzyme of root and leaves mangrove and prawn's hepatopancreas was analyzed using Spencer starch gel electrophoresis modified method of exposed on sucrose solution. Separated components of alloenzyme were detected by special staining for Esterase isozyme. The results revealed that *Soneratia caseolaris* L. and *Macrobrachium rosenbergii* de Man were bioindicator organisms for the polluted site by oil spills from CPO loading activities. The polluted river water by oil spill from CPO activities decreased redox potential, DO, increased oil content, DHL, water temperature, pH sediment, pH water, TDS, BOD, COD, TSS. Gel electrophoretical analysis demonstrated that Mangrove *Soneratia caseolaris* synthesized alloenzyme consisted of complex enzymes such as EST in its root and leave cells. Those enzymes were nearly similar to those of *Macrobrachium rosenbergii*. The oil spill from CPO have ester bonding so its adaptation mechanism with release Esterase isozyme to hydrolysis process. The similar component of the isozyme are promising enzyme used as a tool for biomonitoring and an effective methods for detection of early river ecosystem degradation.

© 2008 Jurusan Biologi FMIPA UNS Surakarta

Key words: CPO, Isozym

PENDAHULUAN

Daerah muara sungai yang merupakan daerah transisi antara lingkungan air tawar dan asin rentan terhadap perubahan lingkungan. Pembangunan dermaga CPO (*crude palm oil*) minyak kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di muara sungai Mentaya, Kalimantan Tengah memberikan dampak negatif terhadap keberadaan komunitas mangrove maupun makrozoobentos. Minyak sawit merupakan bahan baku oleokimia karena mengandung lemak alkohol, metil ester, dan asam lemak. Minyak CPO terdiri dari fraksi padat yang merupakan asam lemak jenuh (miristat 1%; palmitat 45%; stearat 4%) serta fraksi cair merupakan asam lemak tidak jenuh (oleat 39%; linoleat 11%). CPO Indonesia mempunyai kualitas rendah karena hampir 90% tidak mengandung β karoten (C40H56 BM:536,85) yang larut dalam minyak dan menyebabkan

warna kuning/jingga. CPO diekstrak dari daging buah (mesokarp). Sifat fisik CPO adalah warna orange/jingga, bau khas, bentuk pasta, kadar air: $3,7589 \times 10^{-3}$ mL/g CPO, indeks bias 1,4692, massa jenis 0,8948 g/mL dengan kelarutan pada eter dan cukup larut dalam aseton, sedikit larut dalam etanol dan tidak larut dalam air payau akan mengalami proses adaptasi dengan lingkungan estuarin (Defense, 1985).

Keberadaan mangrove yang paling menonjol dan tidak dapat digantikan oleh ekosistem lain adalah kedudukannya sebagai mata rantai yang menghubungkan kehidupan ekosistem laut dan ekosistem daratan. Makrozoobentos merupakan salah satu bagian dari mata rantai tersebut. Mangrove maupun makrozoobentos merupakan komponen biotik estuarin yang sangat strategis untuk dijadikan bioindikator pencemaran karena memiliki daya adaptasi terhadap dampak pencemaran tumpahan CPO yang terjadi. Adaptasi yang terjadi kemungkinan karena kemampuannya dalam mensintesis isozim sebagai salah satu mekanisme pertahanan diri terhadap bahan pencemar tersebut.

Bioindikator adalah kelompok atau komunitas organisme yang saling berhubungan, yang keberadaannya atau perilakunya sangat erat berhubungan dengan kondisi

▼ Alamat Korespondensi:

Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta, 57126
Tel.: +62-271-663375 Fax.: +62-271-663375
Email: prabangsetyono@gmail.com

lingkungan tertentu sehingga dapat digunakan sebagai satu petunjuk atau uji kuantitatif. Isozim dapat mengakibatkan proses transkripsi dalam gen yang berbeda sehingga dapat menyebabkan terjadinya modifikasi pada proses translasi, serta dapat menyebabkan ekspresi dari struktur morfologi yang berbeda. Dinamika isozim terjadi seiring dengan dinamika gen, sehingga sangat beralasan apabila dinamika isozim digunakan untuk menentukan perubahan lingkungan khususnya yang mengarah pada degradasi ekosistem. Mutasi atau perubahan pada tingkat gen pada dasarnya terjadi karena perubahan lingkungan, sehingga dinamika isozim sangat berarti dalam mendeteksi terjadinya mutasi secara lebih dini dan akurat dibandingkan menggunakan pengamatan secara visual. Menurut Singer dan Berg (1991) wujud ekspresi gen pada organisme adalah protein, polipeptida ini terbentuk melalui rangkaian proses transkripsi dan translasi. Badel dan Tatum (1963) mengemukakan hipotesis mengenai keterkaitan antara gen dan enzim, yaitu *one gene one enzyme* yang kemudian berkembang menjadi *one gene one polypeptide*, karena enzim merupakan protein yang tersusun oleh polipeptida, maka sifat-sifat protein juga melekat pada enzim. Wiseman (2000) menyatakan bahwa biomonitoring seharusnya ditunjukkan dengan perubahan pada tingkat molekuler sebagai biomarker sehingga dapat diperlakukan sebagai bioindikator.

Dengan mengetahui keanekaragaman isozim maka akan semakin besar kemungkinan mengetahui proses dinamika struktur komunitas dalam ekologi yang dapat digunakan untuk memonitoring proses degradasi ekosistem. Sungai Mentaya, Kalimantan Tengah yang saat ini dijadikan pusat transportasi perairan serta industri hulu sangat rawan terhadap proses degradasi ekosistem akibat pencemaran tumpahan minyak CPO, sehingga perlu penelitian untuk mencegah sedini mungkin terjadinya degradasi ekosistem tersebut. Kovacs (1992) menyebutkan bahwa makrozoobentos dapat dijadikan organisme indikator karena mempunyai sifat spesifik terhadap perubahan kualitas air. Makrozoobentos yang migrasi karena terbawa aliran air dari hulu sungai ke estuarin mengalami proses adaptasi dengan lingkungan estuarin. Dinamika sedimen akibat terjadi akumulasi material yang terbawa oleh aliran sungai juga secara tidak langsung mempengaruhi pola adaptasi mangrove itu sendiri. Hal inilah yang dapat diasumsikan timbulnya variasi alloenzim sehingga pada tingkat degradasi ekosistem dapat dideteksi dari dinamika isoenzimnya. Menurut Ives *et al.* (1999) timbulnya variasi dalam suatu populasi tergantung pada sensitifitasnya terhadap fluktuasi perubahan lingkungan, yakni interaksi antar spesies yang ada. Setiap spesies akan menunjukkan efek yang berbeda dalam menanggapi suatu kompetisi, dan biodiversitas yang meningkat pada suatu komunitas akan sangat mendukung terwujudnya stabilitas komunitas tersebut. Bioindikator adalah kelompok atau komunitas organisme yang saling berhubungan, yang keberadaannya atau perilakunya sangat erat berhubungan dengan kondisi lingkungan tertentu, sehingga dapat digunakan sebagai satu petunjuk atau uji kuantitatif (Ellenberg, 1991). Struktur komunitas organisme perairan dipengaruhi oleh sifat fisika dan kimia air, antara lain: kecepatan arus, padatan tersuspensi, suhu air, DO, pH, BOD dan amoniak (Hellawell, 1986). Biomonitoring dengan menggunakan parameter kualitas air dan dinamika struktur komunitas mangrove dan makrozoobentos melalui kajian elektromorf isozim sangat efektif apabila dilakukan secara sinergis

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan di daerah muara Sungai Mentaya, Kalimantan Tengah. Penelitian lapangan ini membutuhkan waktu kurang lebih satu tahun, dilanjutkan uji laboratorium terhadap variasi isozim esterase di PAU Bioteknologi UGM Yogyakarta.

Bahan dan alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi bahan kimia untuk analisis kualitas air, yaitu: pH stick (Merck), larutan MnSO₄, KOH-KJ, H₂SO₄ pekat, Na₂S₂O₃ 0,025 N. Alat yang digunakan meliputi aerator dan perlengkapannya, saringan udang dari nilon, modifikasi alat pengambil cuplikan sedimen (*Eijkman grab*), botol akua volume 500 mL untuk sampling air; pengukur potensial redoks metode tanah jenuh air dengan Eh-meter tipe 42D SN-730692 (Jerman); pengukur DO dan BOD dengan oksigenmeter dari YSI Incorporated, model 51B SN: 95 H 36111 (Simpson Electric Co., Yellow Spring Ohio 45387-0279, Amerika Serikat); pengukur salinitas air dengan refraktometer (N.O.W, 0-100 ppt, Jepang), pengukur suhu dan pH air dengan pH meter electric (Ciba-Corning, Jepang), pengukur panjang kerang dengan jangka sorong (Trickle Brand, seri 880703), pengukur kadar NH₃ dengan spectrophotometer/colorimeter (Perkin Elmer, Jerman Barat).

Cara penelitian

Tahap persiapan

Penentuan lokasi pengambilan sampel bersifat *purposive random sampling*. Penetapan untuk peletakan area kajian dan pencuplikan sampel menggunakan metode transek. Setiap transek berjarak 1 km mulai dari lokasi daerah yang tercemar sampai muara sungai. Tiap transek berjarak 5 km dengan jarak titik sampling tiap 0,5 km mulai dari lokasi daerah yang tercemar sampai 10 km menuju muara sungai dan 10 km ke hulu menuju daerah kontrol. Sampel diambil di daerah muara Sungai Mentaya Kalimantan Tengah pada saat air surut maksimal. Dibuat garis transek yang berupa plot kuadrat ukuran 20 x 20 meter untuk golongan mangrove baik yang berupa pohon (diameter batang > 10 cm) dan diukur sekitar 1,3 meter dari pangkal batang. Lokasi penentuan plot untuk sampel makrozoobenthos juga 20 x 20 meter dari batas mangrove menuju ke arah pantai. Sampel makrozoobenthos dikumpulkan dalam "keramba" hingga waktu pengambilan sampel untuk dibawa ke laboratorium tiba. Tiap sampel dengan ulangan 3 kali.

Pengamatan kualitas air, faktor fisik, dan faktor klimatik

Kualitas air yang diamati meliputi: suhu, kelembaban udara dan intensitas cahaya, DO, BOD, pH, padatan tersuspensi, potensial redoks dan NH₃. Faktor fisik yang diamati berdasarkan zonasi relief, air dan substrat. Faktor klimatik diamati meliputi curah hujan dan kelembaban.

Pengujian elektromorf isozim esterase

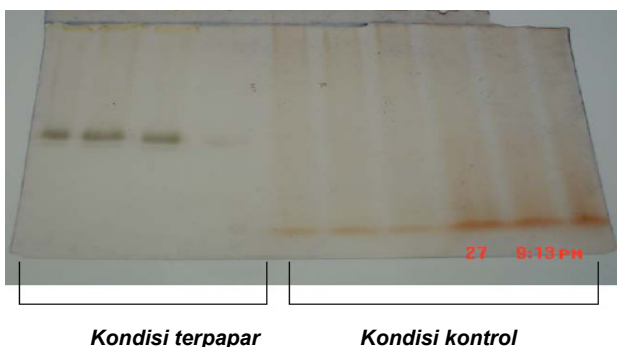
Material biologi yang diuji adalah sampel daun dan akar tumbuhan mangrove *S. caseolaris* serta hepatopankreas udang *M. rosenbergii*. Metode uji isozim yang digunakan mengikuti Widmer *et al.* (1986) dengan bahan gel polyacrylamid. Pembuatan khemikalia mengikuti Chung (1987), Chanda (1996), dan Bachrudin (1996).

HASIL DAN PEMBAHASAN

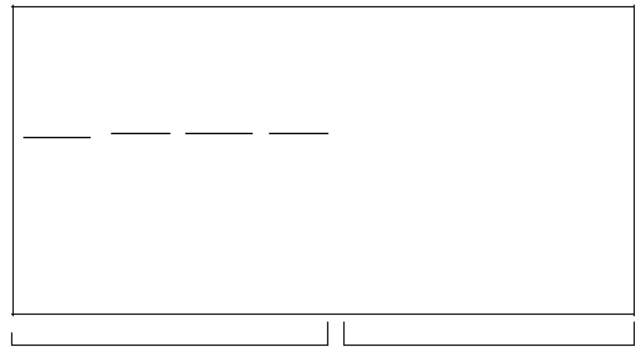
Pola pita isozim

Enzim dapat diklasifikasikan menjadi oksidoreduktase, transferase, hidrolase, liase, isomerase dan ligase. Enzim esterase termasuk golongan enzim hidrolase, sedangkan enzim glukosa 6 fosfat isomerase termasuk dalam klasifikasi enzim isomerase. Enzim tidak dapat mengubah kesetimbangan reaksi, tetapi mempercepat tercapainya kesetimbangan dengan menstabilkan keadaan transisi serta tidak menggeser posisi. Isozim merupakan bentuk ekspresi enzim yang mempunyai fungsi katalitik yang sama namun tingkat isoelektisitasnya berbeda-beda, muatan listrik serta berat molekulnya juga berbeda-beda. Isozim sebagai ragam yang berbeda dari enzim yang sama, dan mempunyai fungsi yang identik/serupa dan muncul pada individu yang sama. Isozim juga merupakan bentuk polimorfisme enzim akibat tekanan lingkungan khususnya dampak limbah CPO. Keuntungan penggunaan isozim sebagai bioindikator pencemaran adalah alel-alel resesif gen penentu isozim dapat teramati. Sejumlah loci isozim juga dapat diamati dengan jelas serta identifikasi dapat dilakukan pada jaringan yang berbeda, yaitu: akar dan daun mangrove *S. caseolaris*. Hal ini digambarkan oleh kenampakan pita-pita pada gel elektroforesis. Analisis enzimatik bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai kadar dan lokasi metabolit dalam sel hidup. Kesulitan-kesulitan yang dihadapi dalam analisis enzim disebabkan adanya kerusakan status fisiologik serta perubahan status fisikokimia dan kadar metabolit pada jaringan. Pada saat jaringan dihancurkan, gradien-gradien kadar kompartemen-tal kemungkinan berubah, serta kemungkinan merupakan suatu perubahan non linier. Enzim dapat meningkatkan kecepatan reaksi sebesar 10^{14} kali pada keadaan tertentu. Enzim esterase merupakan enzim yang berfungsi untuk mengkatalisis antibodi, mengantisipasi temperatur rendah, dan degradasi dinding sel. Esterase mempunyai spesifitas rendah dengan substrat ester karboksilat. Munculnya isozim esterase pada sampel daun dan akar *S. caseolaris* yang terpapar pencemaran limbah CPO menunjukkan terjadinya proses degradasi dinding sel organ tumbuhan tersebut, sementara pada kontrol tidak di temukan. Limbah CPO merupakan bahan organik kaya akan ikatan ester, sehingga proses reaksi netralisasinya dengan menggunakan enzim ester tersebut. Proses itulah yang akan memunculkan isozim esterase khususnya allozim baik pada udang maupun tumbuhan mangrove.

Hasil elektroforesis pada udang *M. rosenbergii* diperlihatkan pada Gambar 1., sedangkan hasil elektroforesis pada tumbuhan mangrove *S. caseolaris* diperlihatkan pada Gambar 3.

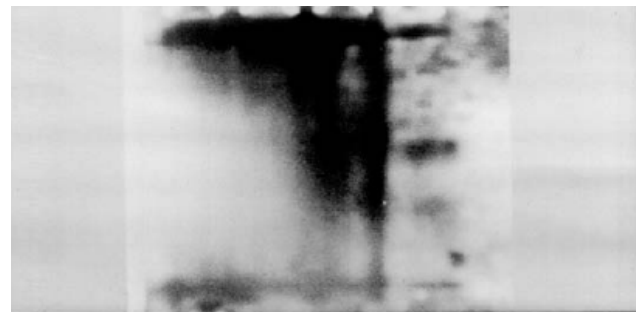


Gambar 1. Ekspresi pita isozim esterase dengan berat molekul 55×10^3 dalton (White *et al.* 1978) pada udang *M. rosenbergii* di bandingkan dengan kontrol.



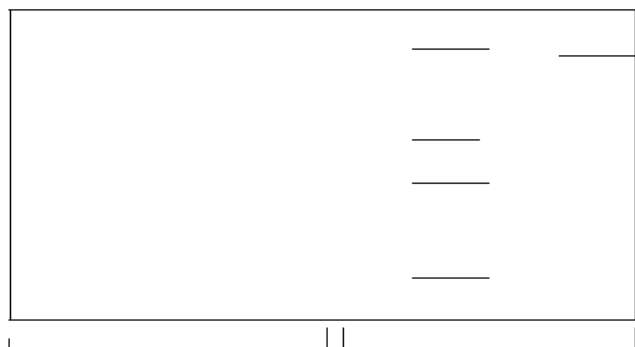
Kondisi terpapar **Kondisi kontrol**

Gambar 2. Zimogram isozim esterase sampel makrozoobentos udang *M. rosenbergii* yang dibandingkan dengan kontrol.



Kondisi Kontrol **Kondisi Terpapar**

Gambar 3. Ekspresi pita isozim esterase dengan berat molekul 55×10^3 dalton (White *et al.* 1978) pada mangrove *S. caseolaris* di bandingkan dengan kontrol.



Kondisi Kontrol **Kondisi Terpapar**

Gambar 4. Zimogram isozim esterase sample mangrove *S. caseolaris* yang dibandingkan dengan kontrol.

Berdasarkan gambar zimogram di atas terlihat secara jelas bahwa pada kondisi terpapar limbah tumpahan CPO minyak kelapa sawit, maka akan muncul isozim esterase baik pada *S. caseolaris* maupun *M. rosenbergii*. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi terpapar bahan pencemar akan muncul reaksi adaptasi secara biokimia, yaitu: dengan mengeluarkan isozim esterase sebagai mekanisme pertahanan terhadap kondisi lingkungan yang

tidak menguntungkan. Karakter limbah tumpahan CPO berupa minyak nabati yang terdiri dari ikatan-ikatan ester. Mekanisme adaptasi terhadap bahan tersebut dengan mengeluarkan isozim esterase bertujuan untuk mempercepat reaksi hidrolisis maupun sintesis ikatan ester.

Isozim merupakan bentuk molekul majemuk suatu enzim dalam satu individu atau populasi dari satu spesies. Isozim dapat diidentifikasi dengan materi dari berbagai bagian jaringan tumbuhan mangrove *S. caseolaris*, misalnya akar dan daunnya. Sifat isozim sebagai penanda morfologi dikontrol oleh gen majemuk dan faktor lingkungan yang telah tercemar limbah tumpahan CPO di perairan sungai Mentaya, sedangkan sifat isozim sebagai penanda genetik atau biokimia, maka sifat resesif akan muncul. Bonde *et al.* (1993) mengatakan bahwa ada tiga fenomena biokimia yang muncul dari analisis isozim esterase, yaitu: adanya perbedaan alel-alel pada lokus tunggal, lokus ganda yang mengkode enzim tunggal serta proses translasi dan pembentukan isozim sekunder. Penyebab timbulnya isozim menurut Sofro (1994) adalah: (i) adanya lokus gen majemuk yang menyandi rantai polipeptida enzim yang strukturnya berlainan; (ii) adanya alelisme majemuk (allozim) pada satu lokus yang menentukan versi rantai polipeptida tertentu yang strukturnya berlainan; (iii) adanya pembentukan isozim sekunder akibat modifikasi pasca penerjemahan struktur enzim.

Individu heterozigot yang membawa dua macam alel pada umumnya akan menunjukkan pola isozim yang lebih kompleks dibandingkan individu homozigot. Apabila isozimnya monomerik (hanya terdiri atas satu rantai polipeptida), maka isozim yang tampak pada heterozigot akan menggambarkan suatu campuran sederhana polipeptida yang tampak pada kedua homozigot yang bersangkutan. Apabila isozimnya multimerik (mengandung dua rantai polipeptida atau lebih) biasanya terdapat isozim hibrida tambahan yang tidak dijumpai pada kedua jenis homozigotnya. Perbedaan penting antara alelisme majemuk dan lokus majemuk sebagai penyebab pembentukan isozim, ialah: alelisme majemuk menyebabkan perbedaan antara masing-masing anggota spesies dalam pola isozim yang ada, sedangkan lokus majemuk pada umumnya lazim untuk semua anggota spesies, sehingga mempengaruhi pembentukan keseluruhan pola isozim. Suatu alel muncul akibat adanya mutasi gen atau adaptasi terhadap zat pencemar tumpahan CPO, yang selanjutnya akan mengakibatkan perubahan struktur protein yang disandi. Secara matematis suatu alel dianggap jarang apabila frekuensi alelnya kurang dari frekuensi polimorfik (< 1%). Alel mutan yang muncul apabila tidak merugikan akan muncul pada populasi generasi berikutnya. Menurut Rider dan Taylor (1980) alel pada kebanyakan lokus isozim di alam bersifat kodominan, sehingga mudah membedakan antara individu homozigot dan heterozigot.

Teknik elektroforesis untuk pemisahan enzim didasarkan pada tiga prinsip yaitu perbedaan atas dasar berat molekul, perbedaan tipe muatan dan perbedaan sifat hidropobitasnya. Enzim yang dapat dilihat pada gel disebut elektromorf. Jika populasi mempunyai lebih dari satu elektromorf maka disebut polimorf. Hal ini menunjukkan adanya lebih dari dua alel untuk gen yang dikodekan enzim. Isozim yang dihasilkan oleh alelanya atau pada lokus yang sama disebut sebagai allozim. Ekspresinya dapat berupa *multiple genetic locus* maupun *multiple genetic allele*. Setiap pita yang muncul dari hasil elektroforesis diinterpretasikan dalam alel/lokus. Lokus merupakan lokasi kromosom, sedangkan alel merupakan bentuk alternatif gen tunggal. Penentuan lokasi lokus dengan menggunakan metode FISH (*fluorescence in situ hybridization*) dengan menggunakan probe (pelacak

gen). Semakin banyak isozimnya diperkirakan daya tahan terhadap stress lingkungan akibat limbah CPO semakin tinggi. Hal inilah yang menjadikan alasan pada lokasi terpapar limbah CPO penampakan polimorfisme pita isozim organisme udang *M. rosenbergii* maupun mangrove *S. caseolaris* sangat tampak jelas, namun pada lokasi kontrol tidak ditemukan polimorfisme pita isozim tersebut. Gel diposisikan pada puncak dan anoda di bagian bawah, untuk masing-masing lokus ditetapkan alelanya. Pita tunggal menunjukkan individu yang homozigot, sedangkan yang mempunyai dua pita atau lebih menunjukkan heterozigot.

Bentos dalam hal ini makrozoobentos berada pada kondisi yang tidak menguntungkan karena pencemaran limbah tumpahan CPO. Makrozoobentos udang *M. rosenbergii* tersebut melakukan adaptasi dengan mekanisme mengeluarkan isozim esterase. Tipe enzim tersebut merupakan enzim regulator, sehingga pada umumnya akan mempunyai isozim. Proses adaptasi terhadap bahan pencemar CPO akan memunculkan enzim pendatang yang berupa isozim. Variabilitas genotip yang besar akan mempengaruhi daya tahan hidup yang besar pula. Hal inilah yang melatarbelakangi makrozoobentos dijadikan bioindikator untuk deteksi dini terhadap pencemaran limbah CPO. Mikrobia tidak dijadikan sebagai bioindikator, karena mikrobia sendiri jarang menggunakan strategi isozim untuk menghadapi stress lingkungan yang diakibatkan oleh limbah CPO tersebut.

Jenis tumbuhan yang berasosiasi dengan mangrove *S. caseolaris* adalah: *Asplenium sp.*, *Blechnum sp.*, *Acanthus ilicifolius*, *Ipomea pescaprae*, *Melastoma sp.*, *Schleryae sp.*, *Cassia sp.*, *Hibiscus tiliaceus.*, *Ficus septica*, *Plumeria sp.*, *Cyperus sp.*, dan *Thespesia populnea*. Tumbuhan mangrove mayor yang terdapat di lokasi penelitian yang terpapar tumpahan minyak CPO dan dijadikan indikator adalah: *S. caseolaris*.

Parameter lingkungan

Faktor lingkungan sungai Mentaya, Kalimantan Tengah akan mempengaruhi daya adaptasi udang *M. rosenbergii* dan mangrove *S. caseolaris*. Data parameter lingkungan diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data parameter kualitas perairan sungai Mentaya, Kalimantan Tengah pada bulan Januari 2007.

Parameter	Satuan	Rerata kontrol	Rerata terpapar
DO (<i>dissolved oxygen</i>)	ppm	4,4	2,7
pH		3,5	4,7
Suhu	°C	30,1	32,6
Daya hantar listrik air (<i>water electric conductivity</i>)	µS	52	98
TDS (<i>total dissolved solid</i>)	ppm	58	26
BOD (<i>biological oxygen demand</i>)	ppm	5	16
COD (<i>chemical oxygen demand</i>)	ppm	20	65
Potensial redoks sedimen	mV	101	42
pH tanah		5,96	6,49

Berdasarkan data Tabel 1 terlihat bahwa air yang terpapar limbah tumpahan CPO akan menurunkan daya hantar listrik, DO (oksigen terlarut), potensial redoks serta TDS (bahan terlarutnya). Disisi lain terjadi kenaikan BOD, COD, pH tanah sediment suhu serta pH air. Bahan pencemaran tumpahan minyak CPO mengandung lemak alkohol, metil ester, asam lemak jenuh dan tidak jenuh relatif seimbang. Berat jenis pada suhu kamar 0,8948 gr/ml lebih kecil dibandingkan dengan berat jenis air sehingga

berada di atas permukaan air. Lapisan minyak CPO menghambat proses difusi oksigen bebas ke permukaan air sehingga kandungan oksigen terlarut berkurang secara drastis. Sifat polar dari bahan cemaran tumpahan minyak CPO menyebabkan nilai DHL bertambah. Pada kondisi perairan yang terpapar tumpahan minyak CPO maka lapisan minyak menutupi ujung akar mangrove *Sonneratia caseolaris* L. yang menyebabkan proses respirasi dan meristematis sel ujung akar terhambat. Proses penghambatan metabolisme yang terjadi di akar dapat dideteksi dengan teridentifikasinya isoenzim baru yang berupa Esterase. Nilai BOD dan COD yang naik serta DO yang turun drastis tersebut akan mempengaruhi proses adaptasi udang *Macrobrachium rosenbergii* dengan mekanisme mengeluarkan isoenzim Esterase.

KESIMPULAN

Adaptasi biokimia bioindikator komunitas mangrove *Sonneratia caseolaris* dan makrozoobentos *Macrobrachium rosenbergii* terhadap limbah tumpahan CPO di sungai Mentaya Kalimantan dengan mengeluarkan isozim esterase. Hal ini dapat dipakai sebagai metode biomonitoring degradasi ekosistem di muara sungai yang efektif dengan menggunakan dinamika elektromorf isozim dari bioindikator mangrove dan makrozoobentos. Tumpahan minyak CPO yang menutupi permukaan air

akan menurunkan DO dan menaikkan COD dan BOD serta menaikkan daya hantar listrik. Hal ini mempengaruhi proses adaptasi mangrove *Sonneratia caseolaris* L. dan udang *Macrobrachium rosenbergii* dengan mengeluarkan isoenzim Esterase.

DAFTAR PUSTAKA

- Bachrudin, Z. 1996. Petunjuk Laboratorium Isolasi, Identifikasi dan Pemurnian Protein. PAU Bioteknologi UGM. Yogyakarta
- Beadle, G. dan Edward Tatum, 1963. *Genetics and Modern Biology*. Vol.57. Philadelphia, PA: American Philosophical Society, pp.73, USA.
- Bonde, M.R., J.A. Micales and G.L.Peterson. 1993. The Use of Isozyme Analysis for Identification of Plant Pathogenic Fungi. *Journal Plant Disease* 77; P:961-968.
- Chanda, Virginia Benson (editor). 1996. *Current Protocols in Protein Science*. USA. John Wiley and Sons, Inc.
- Chung, M.C.M. 1987. Gene and Protein. A Laboratory Manual of Selected Techniquein Molecular Biology. ICSU Press. Paris. France p: 101-111.
- Deffense, 1985. Fractional of Palm Oil. *JAOCS*. Vol 62; p: 376-385.
- Ives,A.R, J.L. Klug, and K.Gross. 1999. Stability and Variability in Competitive Communities. *Journal of Sciences* Vol: 286. Iss:5439
- Kovacs, M. 1992. Biological Indicator of Environmental Pollution in Kovacs, M (ed) *Biological Indicator in Environment Protection*. Elles Honwood, New York.
- Singer, M. and P. Berg. 1991. *Genes and Genomes*. California University Science Books.
- Sofro, S.S.M. 1994. *Keanekaragaman Genetik*. Yogyakarta. Andi Offset.
- Wiseman, Allan. Ed. 2000. Biomonitoring, Extrapolation and Then Bioremediation for Ecorestoration. *Journal of Trends in Biotechnology*. Vol 19: p:7-8.