

## **BIOINDIKATOR KOMUNITAS MAKROZOOBENTHOS UNTUK MONITORING DEGRADASI EKOSISTEM DI SUNGAI MENTAYA KALIMANTAN TENGAH**

**Prabang Setyono**

Pembangunan dermaga CPO (*crude palm oil*) minyak kelapa sawit (*Elaeis guineensis*, Jacq.) di Sungai Mentaya Kalimantan Tengah memungkinkan terjadinya perubahan terhadap keberadaan komunitas makrozoobenthos. 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. Makrozoobenthos merupakan salah satu bagian dari mata rantai tersebut. Makrozoobenthos merupakan komponen biotik sungai dan estuarin yang sangat strategis untuk dikaji mekanisme adaptasi enzimatisnya terhadap pencemaran karena memiliki daya adaptasi terhadap dampak pencemaran yang terjadi. Adaptasi yang terjadi kemungkinan karena kemampuannya dalam mensintesis alloenzim sebagai salah satu mekanisme pertahanan diri terhadap bahan pencemar tersebut.

Prinsip terjadinya mutan atau perubahan pada tingkat gen berarti terjadi perubahan lingkungan, sehingga munculnya alloenzim sebagai enzim adaptif sangat signifikan dalam mendeteksi terjadinya mutan lebih dini dan akurat bila dibandingkan dengan menggunakan pengamatan secara visual. Metode zimogram alloenzim dapat dipakai untuk menunjukkan adanya variasi enzim dalam satu spesies. Dalam suatu kelompok komunitas didapatkan spesies indikator bila terjadi degradasi ekosistem. Metode zimogram alloenzim merupakan salah satu cara untuk mendapatkan variasi intraspecies indikatornya sebagai mekanisme adaptasi biokimia. Berdasarkan hal tersebut maka monitoring proses degradasi ekosistem dengan ditandai munculnya alloenzim sebagai enzim adaptif sebagai mekanisme adaptasi terhadap cekaman lingkungan akibat tumpahan minyak CPO terdeteksi secara dini. Biomonitoring dengan menggunakan parameter kualitas air dan dinamika struktur komunitas makrozoobenthos melalui kajian zimogram alloenzim sangat efektif bila dilakukan secara sinergis. Biomonitoring seharusnya ditunjukkan dengan perubahan pada tingkat molekuler sebagai *biomarkers* sehingga dapat diperlakukan sebagai bioindikator. Upaya konservasi sumberdaya alam di

daerah sungai dan estuarin sangat efektif bila menggunakan metode zimogram alloenzim yang didasarkan pada biologi molekuler sehingga terjadinya degradasi ekosistem di sungai sedini mungkin dapat terdeteksi.

Penelitian ini merupakan eksplorasi untuk mendapatkan metode yang efektif dalam memonitor terjadinya degradasi ekosistem daerah sungai, khususnya masalah penurunan tingkat keanekaragaman hayati dengan menggunakan konsep zimogram komponen alloenzim dari makrozoobenthos. Hipotesis yang muncul adalah apakah komunitas makrozoobenthos untuk beradaptasi terhadap lingkungan perairan yang terpapar tumpahan minyak CPO dengan mekanisme pengeluaran komponen alloenzim sebagai enzim adaptif? Enzim adaptif merupakan enzim yang teridentifikasi sebagai akibat adanya proses adaptasi terhadap lingkungan yang tercemar tumpahan minyak CPO serta hipotesis selanjutnya apakah metode tersebut dapat dijadikan sebagai cara biomonitoring degradasi ekosistem di sungai yang efektif?

Enzim kompleks penyusun alloenzim yang dijadikan kajian terhadap cemaran minyak CPO meliputi jenis E.C.1 Oksidoreduktase meliputi ADH (Alkohol Dehidrogenase), MDH (Malat Dehidrogenase) dan  $\alpha$ -GPD (Glyserolphosphat Dehidrogenase); E.C.2 Transferase yaitu PGM (Phosphoglucomutase); E.C.3 Hidrolase yaitu Esterase dan E.C.5 Isomerase yaitu GPI (Glukosa Phosphat Isomerase) (Welsch, et al., 1996; Harris and Hopkinson, 1976; Davies, 2003; Nagodawithana, 1977 dan Dillman, 1977). Keenam enzim tersebut berdasarkan proses metabolismenya berkaitan dengan proses adaptasi makrozoobenthos dan mangrove terhadap tumpahan minyak CPO di sungai Mentaya Kalimantan Tengah. Enzim  $\alpha$ -GPD dan esterase bersifat lipogenik sehingga sangat berpengaruh pada proses adaptasi terhadap cemaran minyak CPO yang banyak ikatan esternya. Enzim esterase akan memotong ikatan ester. Sifat minyak CPO yang berada di atas air sungai karena berat jenisnya lebih kecil dari air akan mempengaruhi penurunan kadar DO. Respirasi pada mangrove dan makrozoobenthos memerlukan oksigen sehingga enzim yang berkaitan dengan proses glikolisis sangat berpengaruh pada proses adaptasi. Enzim yang berperan pada proses respirasi adalah GPI, MDH, ADH dan PGM. Enzim GPI bersifat reversible dan berperan sentral (regulator) sehingga banyak isoenzimnya. Preparasi sampel hepatopankreas udang mengikuti prosedur Sugama & Prijono (1998) serta Shaw dan Prasad (1970).

Elektroforesis dengan metode Spencer, dengan medium gel pati dapar elektrolit; 12,11 gr Tris; 11,6 gr asam malat; 3,72 gr Na<sub>2</sub>EDTA; 2,46 gr MgSO<sub>4</sub>, ditambah dengan air suling hingga 1 liter pH 7,4. Gel dapar berupa 20 ml gel elektrolit ditambah 180 ml air suling, untuk ukuran frim 18x15x0,6 cm (Shandom U 77, England). Metoda analisis *crude enzym* berupa zimogram mengikuti prosedur yang dikembangkan oleh Sugama & Prijono (1998).

Analisis alloenzim menghasilkan pita yang terbentuk sebagai gambaran alel dari lokus yang diperiksa dengan menggunakan metode gel pati dapar. Adanya perbedaan jarak migrasi pita/zimogram menandakan bahwa lokus yang diperiksa polimorfik. Bila hanya terdapat satu pita dengan jarak migrasi yang sama berarti monomorfik. Variasi genetik suatu populasi dapat diukur dengan menghitung proporsi lokus polimorfik dari tiap populasi yang diperiksa. Hasil nilai heterogenitas alloenzim di atas untuk menjelaskan dari hipotesis 1 tentang kemungkinan adanya variasi alloenzim pada komunitas makrozoobenthos dalam beradaptasi terhadap lingkungan yang terpapar tumpahan minyak CPO. Adaptasi biokimia spesies indikator makrozoobenthos yang berupa *Macrobrachium rosenbergii* de Man. beradaptasi terhadap kondisi lingkungan terpapar tumpahan minyak CPO dengan mengeluarkan alloenzim enzim  $\alpha$ -GPD, GPI, EST.

Indek diversitasnya (ID) menggunakan ID Simpson untuk mengetahui tingkat pencemaran di lokasi penelitian. Proses pencemaran merupakan gejala menuju proses degradasi ekosistem. Degradasi ekosistem secara lebih dini dapat dideteksi pada aras molekuler yaitu dengan mengetahui zimogram alloenzim sebagai mekanisme adaptasi terhadap bahan pencemar tersebut. Alloenzim terjadi akibat munculnya enzim adaptif sebagai mekanisme adaptasi terhadap lingkungan yang tercemar. Monitoring degradasi ekosistem pada tahap awal berdasarkan hasil penelitian dapat dirumuskan dengan mengetahui adanya komponen alloenzim di lokasi terpapar dan menghubungkannya dengan faktor lingkungan sebagai variabel bebasnya. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah faktor lingkungan fisik dan kimia perairan yang meliputi suhu, DO (*Dissolved Oxygen*), BOD (*Biological Oxygen Demand*), COD (*Chemical Oxygen Demand*), pH, TSS (*Total Suspended Solids*), TDS (*Total Dissolved Solids*), daya hantar listrik dan potensial redoks serta kandungan minyak. Variabel terikatnya adalah parameter

pengamatan frekuensi alel sampel makrozoobenthos. Hubungan antara variabel bebas parameter fisika kimia air sungai dengan variabel terikat parameter frekuensi alel dilakukan analisis regresi dan korelasi (Steel dan Torrie, 1993). Pada kondisi air yang terpapar limbah tumpahan minyak CPO menurunkan DO (oksigen terlarut) sebesar 48,12 %, Potensial redoks sebesar 40,59 %, di sisi lain meningkatkan TDS (bahan terlarutnya) sebesar 46,52 %, BOD, COD, Kandungan Minyak sekitar 3 kali, DHL 5 kali, TSS 4 kali, Suhu air dan pH sedimen 10 % dan pH air 38 % jika dibandingkan dengan kontrol.

Kondisi kualitas air sungai Mentaya Kalimantan Tengah dijadikan sebagai habitat udang *Macrobrachium rosenbergii* de Man. selama satu tahun 2004 pada Tabel dibawah.

Tabel. Data Rerata Parameter Kualitas Perairan Sungai Mentaya (Gol C) Per Tahun 2004 (Jn-Ap=Jan-April, M-Ag=Mei-Agustus dan Sp-D =September-Desember)

Parameter Kualitas Air	BAKU MUTU	Lokasi Kontrol			Lokasi Dermaga CPO			Lokasi Menuju Muara		
		Jn-Ap n=10	M-Ag n=10	Sp-D n=10	Jn-Ap n=10	M-Ag n=10	Sp-D n=10	Jn-Ap n=10	M-Ag n=10	Sp-D n=10
DO (oksigen terlarut) ppm	3	5,4	5,2	5,7	2,7	2,6	2,5	3,1	3,4	3,2
pH air	5-8	3,5	3,7	3,9	4,7	5,5	5,1	4,2	4,3	4,7
Suhu °C	normal	30,1	29,9	30,2	32,6	33,1	34,2	33,0	31,4	32,7
Electric Conductivity µS (Daya hantar listrik) air	2500	98	101	102	450	540	530	168	170	169
TDS (Total Dissolved Solid) ppm	1000	26	27	27	58	57	57	33	34	34
TSS (Total Suspended Solid) ppm	400	15	18	17	67	74	71	26	32	35
BOD ppm	6	5	6	5	16	15	16	12	12	13
COD ppm	50	20	25	23	65	67	65	48	50	51
Potensial redoks sediment mV	-	101	104	103	42	40	43	78	80	81
pH sedimen	-	5,96	5,81	5,90	6,49	6,48	6,51	5,71	5,74	5,72
Kandungan Minyak (ppm)	1	0,02	0,01	0,07	0,89	1,39	1,57	0,12	0,09	0,10

\* Baku mutu berdasarkan Usulan Penetapan Baku Mutu Air dan Peruntukan Sungai Mentaya di Kalteng kerjasama Pemda Kalteng-PPLH UGM 1992 dan PP no.82 th 2001. (n=jumlah data observasi)

Tabel diatas menunjukkan bahwa pada kondisi air yang terpapar limbah tumpahan minyak CPO menurunkan DO (oksigen terlarut) sebesar 48,12 %, Potensial redoks sebesar 40,59 % serta menaikkan TDS (bahan terlarut) sebesar 46,52 % jika dibandingkan dengan kontrol. Daya hantar listrik mengalami kenaikan hampir 5 kali dari kontrol, sementara disisi lain TDS naik disebabkan karena bahan cemaran tumpahan minyak CPO menyumbangkan garam-garam yang terionisasi dan larut dalam air sungai.

Hal ini yang menyebabkan tingkat kelarutan bahan tersebut di dalam perairan besar, sehingga cemaran minyak CPO tersebut yang menyumbangkan nilai TDS tinggi. Daya hantar listrik (DHL) atau konduktivitas menggambarkan banyaknya garam yang terionisasi atau terlarut dalam air. Daya hantar listrik air merupakan indikator total konsentrasi ion di dalam air (Sudarmadji, 1991). Tingginya DHL pada daerah Dermaga CPO disebabkan adanya input tumpahan minyak CPO sebagai sumber peningkatan kadar garam-garaman. DHL di daerah kontrol relatif lebih kecil menunjukkan kondisi lebih asam karena sesuai kondisi ambien perairan sungai. TSS adalah jumlah bahan tersuspensi dengan diameter lebih dari 1 mm yang tertahan pada kertas saring dengan diameter pori-pori 0,45 mm. TSS terdiri dari lumpur dan pasir halus serta jasad renik. Penyebab utama TSS adalah adanya erosi tanah yang terbawa ke badan air meskipun tergolong masih ringan (Lampiran 9). TSS tertinggi di daerah Dermaga CPO karena daerah bantaran sungai telah terjadi perubahan tata lahan aslinya yang diakibatkan oleh pembangunan prasarana Dermaga CPO. TSS di daerah Dermaga CPO terjadi kenaikan yang *signifikan* yaitu sekitar 4 kali jika dibandingkan dengan daerah kontrol. TSS pada kisaran 67 – 71 ppm di daerah Dermaga CPO akan sedikit mempengaruhi kehidupan organisme di sungai Mentaya sehingga tidak terlalu signifikan untuk dijadikan faktor pembatas terhadap kehidupan organisme perairan. TDS adalah jumlah bahan-bahan terlarut dengan diameter kurang dari  $10^{-6}$  sampai  $10^{-3}$  mm. TDS berupa senyawa-senyawa kimia dan bahan-bahan lainnya yang tidak tersaring pada kertas saring berdiameter 0,45 mm. Besarnya TDS sangat dipengaruhi oleh hasil pelapukan, limpasan (*run off*) dari tanah, dan pengaruh antropogenik (limbah domestik dan industri). TDS di daerah Dermaga CPO tergolong besar karena tumpahan minyak CPO sebagian tidak larut dalam air sungai namun mengapung di permukaan karena berat jenisnya lebih kecil daripada air namun sebagian lagi larut.

Oksigen terlarut (DO) merupakan kebutuhan dasar oksigen untuk kehidupan organisme didalam air. Dekomposisi bahan organik dan oksidasi bahan anorganik dapat mengurangi kadar DO sampai angka nol. DO di daerah Dermaga CPO sangat rendah bahkan dapat membuat kondisi organisme di perairan sungai Mentaya menjadi tertekan. Hal ini dimungkinkan oleh adanya lapisan minyak CPO di permukaan air sungai sehingga menutupi proses pertukaran oksigen terlarut dengan oksigen di udara. Di sisi

lain terjadi kenaikan BOD, COD, pH sedimen, TDS, suhu serta pH air. Hal ini sangat dipengaruhi oleh *inflow* tumpahan CPO dari proses pemuatan minyak CPO dari truk tangki ke kapal tanker CPO. BOD menunjukkan jumlah oksigen yang dikonsumsi oleh proses respirasi mikroba aerob. Nilai BOD tertinggi terdapat di Dermaga CPO karena di daerah tersebut banyak terdapat tumpahan minyak CPO serta bahan organik dari kegiatan perluasan Dermaga CPO yang membuat input bahan organik bertambah. Minyak CPO tersebar di perairan dalam bentuk terlarut, membentuk lapisan film yang tipis di permukaan emulsi, dan bagian yang terserap. Interaksi dari bentuk minyak CPO di perairan sangat kompleks dan dipengaruhi oleh nilai *specific gravity*, titik didih, tekanan permukaan, viskositas, kelarutan dan penyerapan. Kandungan minyak di Dermaga CPO rata-rata 0,99 yang menunjukkan jumlah yang relatif dapat mengganggu proses pertukaran oksigen dengan udara di atas permukaan air sungai. Sifat minyak CPO yang terapung di permukaan akan mengurangi penetrasi cahaya ke dalam air sungai. Fardiaz (1992) menyebutkan bahwa pada kedalaman 2 meter intensitas cahaya pada perairan tercemar minyak CPO akan turun sebanyak 90 %, selain itu lapisan minyak CPO juga akan menghambat masuknya oksigen ke dalam perairan sehingga nilai DO turun drastis.

Berdasarkan derajat pencemaran menurut Lee (1978) sebagai pembandingan terhadap kondisi perairan sungai Mentaya yang terpapar tumpahan minyak CPO terlihat bahwa daerah dermaga CPO yang terpapar minyak CPO mempunyai derajat pencemaran sedang berdasar parameter DO 2,0 – 4,4 ppm, BOD 5,0 – 15 ppm dan TSS 50 – 100 ppm. Indeks diversitas tumbuhan di daerah terpapar 1,3 sehingga dapat digolongkan dalam daerah tercemar sedang, di daerah kontrol mempunyai indeks diversitas 3,5. Kondisi seperti ini merupakan proses degradasi ekosistem muara sungai Mentaya Kalimantan Tengah yang sedang berlangsung selama adanya tumpahan minyak CPO sejak tahun 1997.

Hubungan cemaran tumpahan minyak CPO dengan parameter kualitas air sungai yang meliputi DO, pH air, suhu, daya hantar listrik, TDS, TSS, BOD, COD, potensial redoks dan pH sedimen di lokasi yang terpapar minyak CPO. Regresi yang digunakan adalah persamaan regresi linier ganda (*multiple linier regression*); dimana Y merupakan variabel terikat dan X merupakan variabel bebas.

Y = frekuensi alel,  $X_1$  = DO;  $X_2$  = pH air;  $X_3$  = Suhu;  $X_4$  = DHL;  $X_5$  = TDS;  $X_6$  = TSS;  $X_7$  = BOD<sub>5</sub>;  $X_8$  = COD;  $X_9$  = Pot.Redoks;  $X_{10}$  = pH Sedimen;  $X_{11}$  = Kand. Minyak

Persamaan Garis Regresi Linier Ganda Frekuensi Alel Hepatopankreas (Y) *Macrobrachium rosenbergii* de Man. dengan Parameter Kualitas Air (Xi) di Daerah Terpapar Tumpahan Minyak CPO (tingkat signifikansi 90 %) adalah  $Y = 25,116 + 7,103X_1 + 5,024X_2 - 1,209X_3 - 0,037X_4 - 0,102X_5 - 0,056X_6 + 0,075X_7 + 0,123X_8 - 0,175X_9 - 0,623X_{10} + 0,284X_{11}$ . Hubungan parameter kualitas air dengan frekuensi alel hepatopankreas udang yang signifikan pada derajat kepercayaan 90 % terdapat pada pH sedimen dan kandungan minyak. Hal ini menunjukkan bahwa tumpahan minyak CPO di sungai secara langsung mempengaruhi frekuensi alel hepatopankreas udang sehingga mempengaruhi munculnya variasi alloenzim. Variabel kualitas air pH sedimen juga mempengaruhi secara signifikan terhadap munculnya variasi alloenzim. Habitat udang *Macrobrachium rosenbergii* de Man. di sedimen sangat dipengaruhi oleh pH sedimen. Perubahan pH sedimen yang ekstrim menyebabkan udang melakukan adaptasi dengan mengeluarkan alloenzim sebagai mekanisme pertahanan diri. Hasil regresi linier ganda frekuensi alel hepatopankreas menunjukkan bahwa variabel  $X_{10}$  (pH sedimen) dan  $X_{11}$  (kandungan minyak) berperan secara independen dalam mempengaruhi frekuensi alel hepatopankreas. Habitat udang di sedimen sungai Mentaya secara langsung dipengaruhi oleh pH sedimennya serta kelarutan material-material organik dan anorganik yang mempengaruhi adaptasi udang yang bersifat *deposit feeder*. Variabel kandungan minyak sebagai bahan cemaran di sungai Mentaya secara umum mempengaruhi proses timbulnya variasi alloenzim pada akar dan daun mangrove *Sonneratia caseolaris* L. serta udang *Macrobrachium rosenbergii* de Man. Hal tersebut mengindikasikan bahwa bahan cemaran tumpahan minyak CPO di sungai menyebabkan spesies indikator beradaptasi terhadap kondisi cekaman lingkungan tersebut dengan mekanisme pengeluaran alloenzim.

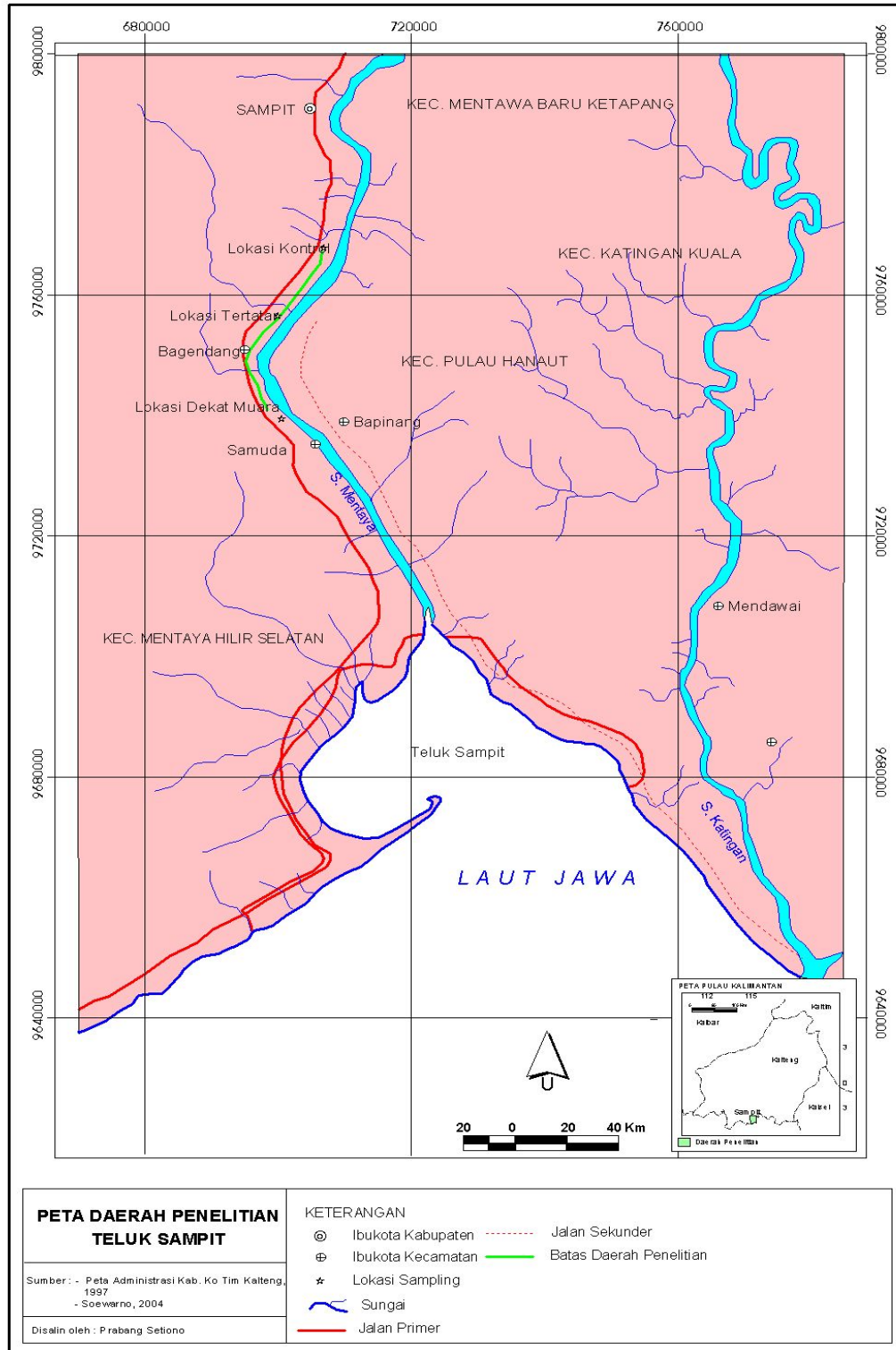
Pengaruh cemaran tumpahan minyak CPO secara statistik signifikan terhadap perubahan frekuensi alel hepatopankreas pada udang *Macrobrachium rosenbergii* de Man. Frekuensi alel merupakan bentuk adanya variasi alloenzim, sehingga variasi alloenzim sangat beralasan jika dijadikan sebagai indikator terjadinya pencemaran. Komponen alloenzim tersebut dapat dimanfaatkan sebagai suatu cara untuk monitoring

terjadinya degradasi ekosistem perairan yang tercemar tumpahan minyak CPO. Analisis di atas sebagai penjelasan hipotesis 2 untuk merumuskan cara monitoring degradasi ekosistem secara dini di sungai Mentaya yang efektif dengan menggunakan komponen alloenzim pada makrozoobenthos.



## DAFTAR PUSTAKA

- Chanda, (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 Technique in Molecular Biology. ICSU Press. Paris. France p: 101-111.
- Dillmann, W.H., Schwartz, H.L., Silva, E., Surks, M.I., and Oppenheimer, J.H., 1977. *Alpha-amanitin administration results in a temporary inhibition of hepatic enzyme induction by triiodothyronine: further evidence favoring a long-lived mediator of thyroid hormone action*. Endocrinology, Vol 100, 1621-1627.
- Harris, H and Hopkinson, D.A., 1976. *Handbook of Enzyme Electrophoresis in Human Genetics*. Oxford : American Elsevier Publishing Company Inc.
- Lee, T.D., 1978. *Handbook of Variables of Environmental Impact Assesment*. Arbor: an Arbor Science Publisher Inc.
- Nagodawithana, T.W., Whitt, J.T., and Cutaia, A.J., and Jos. Schlitz Brewing Co., Milwaukee. 1977. *Study of the Feedback Effect of Ethanol on Selected Enzymes of the Glycolytic Pathway*. WI 53201. J. Am. Soc. Brew. Chem. 35:0179.
- Steel, R.G.D. and Torrie, J.F., 1993. *Prinsip dan Prosedur Statistika*. Alih bahasa B. Sumantri. Gramedia, Jakarta.
- Welsch, F., Terry, K.K., Stadman, D.B., and Elswick, B.A., 1996. Linking embryo dosimetry and teratogenic response to 2-methoxyethanol at different stages of gestation in mice. *Occup. Ilyg.*, 2: 121-130.



Gambar . Lokasi Penelitian Di Daerah Sungai Mentaya Kalimantan Tengah (1°56' 24,836184"N/LS : 109°39' 27,818413"E/BT)

Kepada Yth,  
Sekretariat Seminar Nasional (Agit/Ajie)  
d/a. PUSLIT Limnologi – LIPI  
Kompleks LIPI Cibinong  
Jl. Raya Bogor km 46 Cibinong BOGOR 16911  
Telp (021) 8757071 Fax (021)-8757076

---

---

SIP:  
Prabang Setyono  
d/a. Fakultas MIPA Universitas Sebelas Maret (UNS)  
Jl. Ir. Sutami no.36A Kentingan SURAKARTA  
Telp (0271) 663375

---

---