

EKSISTENSI KOPROSTANOL DAN BAKTERI *COLIFORM* PADA LINGKUNGAN PERAIRAN SUNGAI, MUARA, DAN PANTAI DI JEPARA PADA MONSUN TIMUR

Tri Yuni Atmojo^{*1,2}; Tonny Bachtiar^{1,2,3}; Ocky Karna Radjasa^{2,3};
Agus Sabdono^{2,3}

- 1) Program Magister Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana Universitas Diponegoro, Jl. Imam Bardjo SH. No.5. Semarang, 50238
- 2) Jurusan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, Semarang, 50275
- 3) Pusat Studi Pesisir dan Laut Tropis, Universitas Diponegoro, Semarang, 50275
- *) Koresponden : Bappedal Propinsi Jawa Tengah, Jl. Setiabudi Komplek Diklat Propinsi Jawa Tengah (kode pos 50263), Srandol, Semarang, Tlp./Fax : 24.7478813 e-mail : atmojost@yahoo.com.

Abstrak

Limbah domestik merupakan salah satu sumber utama pencemaran di perairan pantai pada negara yang sedang berkembang, namun kurang mendapatkan perhatian serius dibandingkan dengan pencemaran oleh industri. Dengan terus meningkatnya aktivitas manusia di wilayah pesisir dan kesadaran akan pentingnya lingkungan bersih bagi kesehatan, estetika dan alasan ekologis lainnya, deteksi tentang kontaminasi limbah menjadi penting untuk diketahui secara lebih baik.

Selama ini indikator kontaminasi limbah domestik ditentukan berdasarkan jumlah mikroorganisme intestinal khususnya kelompok bakteri coliform. Koprostanol diusulkan sebagai alternatif indikator limbah domestik, sehingga diperlukan kajian eksistensi koprostanol untuk persyaratan kelayakannya sebagai indikator, serta bakteri coliform sebagai pembanding.

Penelitian dilakukan lingkungan sungai, muara dan pantai di sungai Ciliwung Jakarta. Hasil menunjukkan bahwa koprostanol dapat terdeteksi pada sedimen dan tidak terdeteksi pada kolom air. Eksistensi koprostanol didapatkan nilai tertinggi pada lingkungan perairan sungai ($5,81\mu\text{g/g}$) dibandingkan muara ($5,63\mu\text{g/g}$), dan pantai ($2,93\mu\text{g/g}$). Bakteri total coliform terdeteksi pada kolom air maupun sedimen pada lingkungan perairan sungai ($2,8 \times 10^4 - 4,3 \times 10^4$) sel/100 ml, muara ($0 - 4 \times 10^3$) sel/100 ml, dan tidak terdeteksi pada lingkungan perairan pantai, sementara fecal coliform terdeteksi di lingkungan perairan sungai ($2 \times 10^4 - 4,3 \times 10^4$) sel/100 ml, dan muara ($0 - 4 \times 10^4$ sel/100 ml), namun tidak terdeteksi pada lingkungan perairan pantai.

Kata kunci : *Koprostanol, Limbah domestik, Indikator pencemaran, Coliform*

I. Pendahuluan

Sungai Demaan merupakan sungai yang terletak di Kabupaten Jepara dan melintasi beberapa Kecamatan, antara lain Batealit, Tahunan, dan Jepara dengan jumlah penduduk ± 219.225 jiwa. Dilihat dari tingkat kepadatan penduduk pada ketiga wilayah kecamatan ini, dapat

digolongkan pada kelas III, namun beban kontaminan akibat buangan domestik yang diterima oleh sungai Demaan secara langsung dapat disaksikan, yaitu banyak dijumpai saluran buangan domestik di sekitar sungai. Bachtiar (2002), menyatakan bahwa sekitar 50 – 70% dari beban

organik di sungai pada daerah perkotaan di Indonesia berasal dari limbah domestik. Tingginya kontribusi limbah domestik terhadap lingkungan mendorong perlunya informasi tentang sumber dan keberadaannya di lingkungan terutama pada perairan. Peningkatan sumber limbah mengakibatkan sungai sebagai badan penerima limbah menjadi semakin berat untuk dapat mengurangnya (Wardhana, 2001).

Musim kemarau menyebabkan debit air sungai menjadi semakin kecil yang berpengaruh terhadap penurunan laju sedimen dasar, sehingga deteksi tentang kontaminasi limbah menjadi penting untuk diketahui secara lebih baik (Bachtiar, 2002).

Selama ini salah satu indikator tentang adanya kontaminan limbah domestik ditentukan berdasarkan jumlah mikroorganisme intestinal khususnya kelompok bakteri *coliform* (Chapra, S.C, 1997). Aktifitas manusia di wilayah pesisir yang semakin meningkat, telah menyebabkan terjadinya tekanan lingkungan. Peningkatan volume limbah industri yang bersifat toksik dan bersuhu tinggi, serta menurunnya kandungan oksigen terlarut pada perairan pantai dan perubahan salinitas merupakan kendala utama penggunaan organisme indikator karena dapat mengakibatkan kematian organisme (Walker *et al.*, 1982). Selain itu, beberapa mikroorganisme tertentu termasuk *Escherichia coli* dapat memasuki status *Viable But Nonculturable (VBNC)* akibat tekanan lingkungan sehingga tidak terdeteksi dengan prosedur standar analisa (Radjasa, 2001). Koprostanol memiliki sifat yang spesifik karena koprostanol hanya terdapat pada kotoran manusia dan hewan tingkat tinggi (mamalia) (Walker *et al.*, 1982). Dengan sangat spesifiknya sumber koprostanol tersebut, keberadaan koprostanol di

alam dapat digunakan sebagai indikator kontaminasi limbah domestik (Bachtiar *et al.*, 1999). Dijelaskan pula bahwa koprostanol telah banyak digunakan sebagai indikator kontaminasi limbah domestik di negara-negara dengan lintang tinggi, namun di negara tropis (Indonesia) belum digunakan.

Koprostanol sebagai alternatif indikator yang diusulkan, menurut Coakley and Long (1990), harus dapat memenuhi persyaratan : a) mempunyai hubungan yang spesifik dengan sumber tertentu, b) dapat ditentukan secara kuantitatif, dan c) bersifat cukup konservatif. Walker *et al.* (1982) mendapatkan koprostanol hasil reduksi kolesterol oleh bakteri dan merupakan sterol fekal dominan yaitu 40 – 60 % dari total sterol yang dihasilkan oleh manusia. Menurut Hatcher *et al.* (1977), keberadaan sterol fekal koprostanol di lingkungan perairan telah menunjukkan bahwa koprostanol merupakan indikator kimia untuk kontaminasi limbah domestik. Untuk itu perlu dilakukan kajian eksistensi koprostanol dan bakteri *coliform* pada berbagai kondisi lingkungan dengan variasi pencemaran.

I. Metode

2.1. Pengukuran kualitas air

Pengukuran kualitas perairan dilakukan secara langsung di lapangan dengan *Water Quality Checker TOA WQC-22A*, yang meliputi : *Temperatur* (° C), *Dissolved Oksigen* (DO), pH, dan salinitas.

2.2. Sampling

Sampel meliputi air dan sedimen. Untuk sampel sedimen dasar permukaan (0-4 cm dari permukaan) diambil dengan menggunakan *Ekman grab sampler*. Posisi pengambilan sampel ditentukan dengan menggunakan *Garmin GPS seri 12/12XL/12CX/48/II PLUS* yang

meliputi sungai (Demaan), Muara (Pantai Kartini), dan pantai Jepara masing-masing dua ulangan. Sampel sedimen ditempatkan dalam botol dan disimpan dalam cooler selama di lapangan. Selanjutnya sampel ditempatkan di laboratorium pada suhu 5° C sebelum dilakukan analisis selanjutnya.

2.3. Analisa Koprostanol

Analisa koprostanol dilakukan di laboratorium Kimia dan Fisika Pusat (LAKFIP) UGM Yogyakarta dengan menggunakan metoda (GC) yang telah dilakukan oleh Bachtiar *et al.* (1996).

Konsentrasi koprostanol dihitung berdasarkan *Relative Response Factor* (RRF) dari *reference solution* yang mengandung 6 µg koprostanol dan 6,9 µg *reference standard* (C18 : OH). RRF ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$RRF = \left(\frac{mg_{COP}(std)}{area_{COP}(std)} \right) \times \left(\frac{area_{C_{18}:OH}(std)}{mg_{C_{18}:OH}(std)} \right) \dots (1)$$

Berdasarkan nilai RRF tersebut, berat dan konsentrasi koprostanol dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\mu g_{COP} = \frac{RRF \times Area_{Kopros} \times \mu g_{IS}}{Area_{IS}} \quad (2)$$

$$\frac{\mu g}{g} Cop = \frac{Berat\ Koprostanol}{Berat\ Sampel} \quad \dots \quad (3)$$

Dimana :

RRF = *Relative Response Factor*
 mg Cop. (Std) = Berat koprostanol standar
 area Cop. (Std) = Luas area koprostanol standar
 µg Cop = Berat koprostanol pada sampel.
 area Cop = Luas area koprostanol pada sampel.
 µg IS = Berat internal standar.
 area IS = Luas area internal standar.
 µg/g Cop = Konsentrasi koprostanol.
 g = Berat residu sampel

2.4. Analisa Bakteri Coliform

Menurut Pelczar dan Chan (1988), pemeriksaan organisme *coliform* menggunakan media selektif dan diferensial yang dilakukan dengan 3 (tiga) langkah, yaitu meliputi :

1. Uji penduga (*presumptive test*).

Pada uji penduga digunakan media *LB Broth* sebagai media tumbuh bakteri. Tabung-tabung fermentasi yang menghasilkan gas pada uji penduga menunjukkan adanya bakteri *coliform* positif. Pada tabung-tabung fermentasi yang positif ini kemudian dilanjutkan ke uji tahapan selanjutnya yaitu uji penguat.

2. Uji penguat (*confirmed test*).

Dari hasil uji penduga yang positif lalu diinokulasikan pada media uji penguat *brilliant green lactose bile broth* (BGLB) sebagai media selektif. Diinkubasikan pada suhu 37°C untuk total *coliform* dan 44°C untuk *fecal coliform* selama 48 jam ± 3 jam. Tabung-tabung fermentasi yang terdapat gas dalam tabung Durham berarti uji penguat positif terdapat bakteri *coliform*.

3. Uji lengkap (*completed test*)

Hasil yang positif pada uji penguat dilanjutkan uji lengkap yaitu digoreskan dengan menggunakan ose ke permukaan media Endo-agar dari tabung-tabung fermentasi yang positif pada tes penguat. *Fecal coliform* ditunjukkan dengan warna metalik setelah diinkubasi pada suhu 37°C selama 24 jam.

4. Perhitungan Jumlah Bakteri Coliform

Metode yang digunakan untuk perhitungan bakteri *coliform* adalah metode MPN (*Most Probable Number*) seri 3 tabung. MPN bakteri *coliform* dihitung berdasarkan jumlah tabung yang positif pada uji penguat, atau

jumlah tabung positif pada uji lengkap (Winarno, 1986). Perhitungan MPN didasarkan atas jumlah tabung yang bereaksi positif dan negatif dari 3 pengenceran yang berurutan.

2.5. Analisa Kandungan Organik Total Sedimen

Untuk menentukan kandungan organik total di sedimen ditentukan dengan menggunakan metode pengabuan (SNI 06-2505-1991 sk SNI M-71-1990-03). Kandungan total organik dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\text{TOC (\%)} = \frac{W_s - W_r}{W_s} \times 100 \%$$

Dimana :

W_s = berat sampel sedimen kering

W_r = berat inorganik residu

2.6. Analisa Karakteristik Sedimen

Tahap penentuan ukuran butir dan jenis sedimen dilakukan melalui dua tahap, yaitu pengayakan kering (*dry sieving*) dan pengayakan basah (*wet sieving*) (SNI 03-3962-1995). Berat masing-masing sampel

yang telah mengalami beberapa perlakuan dapat ditentukan persentase berat ukuran butir. Dengan metode segitiga SHEPARD dapat ditentukan klas sedimen, dan kurva kumulatif untuk mendapatkan distribusi ukuran butir sedimen. Ukuran butir dan jenis sedimen ditentukan berdasarkan 3 kategori yaitu :

1. Pasir (*Sand*) dengan ukuran 63 s/d 2000 μm ;
2. Debu (*Silt*) dengan ukuran 2 s/d 63 μm ;
3. Lempung (*Clay*) dengan ukuran < 2 μm .

2.7 Analisa Statistik

Data yang diperoleh dianalisis dengan Sidik Ragam (ANOVA) dan uji lanjutan dengan Uji Beda Nyata Terkecil (BNT 5 %) dan uji antar

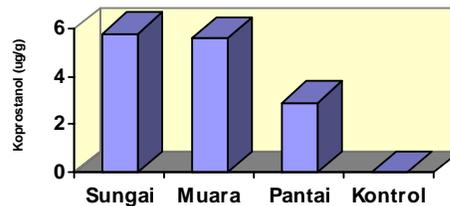
perlakuan dengan perangkat lunak SPS 2000 (Hadi, 2000) yang meliputi:

1. Uji beda eksistensi antara koprostanol dan bakteri *coliform* pada lingkungan perairan sungai, muara, dan pantai;
2. Uji beda eksistensi antara koprostanol dan bakteri *coliform* pada kolom air dan sedimen.

II. Hasil dan Pembahasan

3.1. Eksistensi Koprostanol

Eksistensi koprostanol rata-rata tertinggi terdapat pada lingkungan perairan sungai, dan mengalami penurunan yang signifikan pada lingkungan perairan muara serta pantai, dengan eksistensi tersaji pada Gambar 1 sebagai berikut



Gambar 1.
Konsentrasi koprostanol pada sedimen lingkungan perairan Sungai Demaan, Muara, dan pantai Jepara

Tingginya koprostanol di perairan sungai disebabkan oleh dekatnya sumber buangan domestik pada aliran sungai Demaan, serta rendahnya laju transpor koprostanol menuju muara dan pantai. Saat penelitian dilakukan bertepatan pada monsun timur yang ditandai dengan musim kemarau, yang pada umumnya debit air sungai relatif kecil (Koesmaryono dan Handoko, 1988

Debit air sungai yang kecil ini (Tabel 2) akan berpengaruh terhadap penurunan laju sedimen muatan dasar, sementara koloid koprostanol yang teradsorpsi pada partikel lempung akan

terangkut relatif lebih lambat dibandingkan jika debit air sungai besar. Selain itu, penurunan debit air sungai tersebut tidak diikuti oleh penurunan debit buangan limbah domestik, dan bahkan meningkat sesuai dengan pertambahan jumlah penduduk, sehingga perairan sungai terlihat semakin pekat oleh berbagai limbah, termasuk limbah domestik.

Tabel 2. Kualitas rata-rata perairan Jepara (sungai Demaan).

Stasiun	Dalam (m)	DO (mg/l)	Suhu (°C)	pH	Salinitas (‰)
Sungai	0,85	6,88	29	6,49	0
Muara	0,85	0,49	25,06	7,33	22,4
Pantai	5,13	4,95	27	7,79	28
Kontrol	10,1	2,99	27,1	7,73	28,3

Berkurangnya konsentrasi koprostanol di perairan muara dan pantai, disebabkan karena muara dan pantai sebagai penerima seluruh material yang berasal dari sungai memiliki turbulensi yang tinggi akibat pengaruh gelombang pasang dan surut. Material yang ringan seperti jenis lempung akan mengalami dinamika yang lebih tinggi, sebagaimana ditemukan (Tabel 3).

Tabel 3. Kandungan organik dan ukuran butir sedimen perairan Jepara

Stasiun	TOC (%)	Prosentase Ukuran Butir (phi)		
		Sand	Silt	Clay
Sungai	19,44	8,75	23,2	68,65
Muara	19,54	8,45	28,3	63,25
Pantai	24,64	9,65	27,4	62,95
Kontrol	40,11	1,4	12,1	86,5

Menurut Mc Dowell dan O'Connor (1977), partikel lempung (*clay*) dikelompokkan menjadi partikel yang paling halus sehingga dinamika atau sebaran pada perairan laut lebih tinggi dibandingkan dengan partikel debu dan pasir halus, serta partikel pasir kasar. Teradsorpsinya koloid koprostanol pada lempung tersebut yang menyebabkan tingginya dinamika koprostanol di perairan muara maupun laut.

Namun, dengan jarak dengan relatif dekat dengan sumber buangan domestik telah mengakibatkan rendahnya penurunan konsentrasi koprostanol pada muara. Kondisi ini diyakini dengan ditemukannya konsentrasi lempung (*clay*) di muara yang tidak ada beda secara signifikan dengan konsentrasi pada sungai, sebagaimana dapat ditunjukkan pada tabel 3.

Selain itu, terdapatnya beberapa bakteri pendegradasi koprostanol pada berbagai lingkungan perairan (Munir, 2004) juga dapat berakibat berkurangnya konsentrasi koprostanol. Berdasarkan uji yang telah dilakukan terhadap isolat bakteri pada lokasi perairan di ketiga daerah, yaitu perairan Jakarta, Semarang dan Jepara terdapat bakteri pendegradasi koprostanol. Dari 359 isolat yang diuji didapatkan 234 isolat bakteri pendegradasi koprostanol, atau dengan kata lain 65,18% bakteri yang ditemukan adalah bakteri pendegradasi koprostanol.

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian berkaitan dengan degradasi koprostanol oleh aktivitas bakteri. Switzer-House dan Dutka (1978) menunjukkan bahwa koprostanol dan kolesterol dapat terdegradasi secara alamiah sampai 90% dalam 2 minggu oleh populasi *indigenous* mikroba. Mereka meyakini bahwa perombakan koprostanol merupakan rangkaian bertahap dan melibatkan bervariasi bakteri. Hasil identifikasi kolesterol memperlihatkan dua genera bakteri yang tumbuh secara baik pada media dengan penambahan koprostanol maupun kolesterol, yaitu : *Flavobacterium spp* dan *Pseudomonas spp*.

Barlett (1987) dalam meneliti tentang laju degradasi koprostanol pada beberapa sistem perairan secara alamiah, dengan media uji a) lumpur limbah domestik, b) lumpur limbah domestik yang diencerkan 10 kali dengan air laut, dan c) sedimen buatan (pasir bersih : lumpur limbah domestik, 4 : 1), yang ditempatkan pada tanki dengan air yang mengalir dan air yang statis. Hasil yang diperoleh konsentrasi koprostanol pada lumpur limbah domestik berkurang menjadi < 15% dari konsentrasi awal setelah 30 hari, sedangkan pada sedimen buatan, konsentrasi

koprostanol secara prinsip tidak berubah setelah 54 hari.

Penjelasan beberapa peneliti di atas menunjukkan bahwa koprostanol mengalami proses biodegradasi, namun Bachtiar (2002), dalam penelitiannya mendapatkan koprostanol pada sedimen yang tua. Temuan ini menunjukkan bahwa laju degradasi koprostanol di alam lebih lambat dibandingkan masuknya koprostanol di alam, dan atau diduga koprostanol pada konsentrasi tertentu tidak mengalami degradasi, sehingga eksistensinya di alam tetap terdeteksi.

Eksistensi koprostanol yang hanya terdeteksi pada sedimen perairan disebabkan sifat koprostanol yang tidak larut dalam air (Walker *et al*, 1982) dan mengalami flokulasi (Bachtiar, 2002). Proses flokulasi merupakan proses bergabungnya mikroflok-mikroflok menjadi makroflok atau flok yang berukuran lebih besar. Koloid koprostanol akan teradsorpsi oleh material organik yang terdapat pada koloid lempung dalam proses flokulasi karena sifat lempung yang dapat menyerap zat organik. Koloid koprostanol yang telah terflokulasi dengan koloid lempung, kemudian mengalami transpor bersama sedimen lempung oleh adanya pola arus, selain yang terendapkan (Bachtiar, 2002).

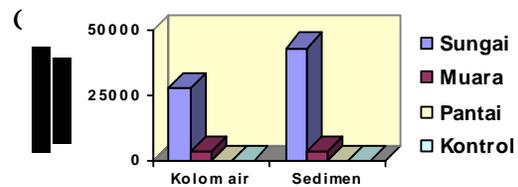
Limbah domestik merupakan material organik dan teradsorpsi pada sedimen lempung, sehingga pola penyebaran limbah domestik pada suatu perairan pantai dapat diketahui berdasarkan pola penyebaran sedimen dasar perairan. Hakanson and Jansson (1983) menyatakan bahwa untuk dapat mengetahui kondisi lingkungan pada suatu perairan, sedimen dasar perairan dapat berperan sebagai bank informasi. Dijelaskan pula oleh Coakley and Poulton (1991), bahwa analisis sedimen akan sangat bermanfaat untuk merunut transpor sedimen terkontaminasi, sedangkan menurut Bachtiar (2002), koprostanol lebih teradsorpsi pada lempung (*clay*).

Selain itu, tidak terdeteksinya koprostanol pada kolom air disebabkan penelitian yang dilakukan pada monsun Timur yang ditandai dengan musim kemarau dan pada umumnya

kondisi perairan tenang. Pada kondisi perairan yang tenang ini menyebabkan proses pengendapan material berjalan lebih cepat, sehingga konsentrasi koprostanol yang berada di kolom air konsentrasinya sangat rendah dan tidak dapat terdeteksi oleh peralatan laboratorium pada saat analisis.

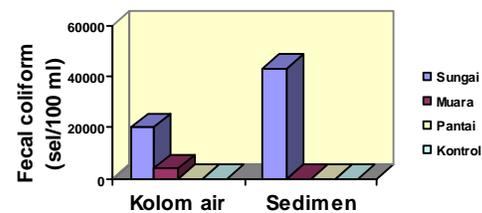
3.2. Eksistensi Bakteri *Coliform*

Pola bakteri *total coliform* menunjukkan bahwa lingkungan perairan sungai mempunyai jumlah yang tertinggi dibandingkan dengan muara dan pantai, bahkan perbedaan nilai *total coliform* antara lingkungan sungai dengan muara dan pantai signifikan, sebagaimana dapat dijelaskan pada



Gambar 2. Nilai *total coliform* pada kolom air dan sedimen lingkungan perairan Sungai Demaan, Muara, dan Pantai Jepara

Kecenderungan yang sama ditemukan pada *fecal coliform* rata-rata pada lingkungan perairan sungai yang mempunyai konsentrasi tertinggi dengan perbedaan nilai yang signifikan dibandingkan dengan lingkungan perairan muara dan pantai, yang dapat dijelaskan pada Gambar 3 sebagai berikut.



Gambar 3. Nilai *fecal coliform* pada kolom air dan sedimen lingkungan perairan Sungai Demaan, Muara, dan Pantai Jepara

Berkurangnya nilai *total* dan *fecal coliform* pada perairan muara dan pantai disebabkan oleh ketidak mampuan *coliform* hidup dan berkembangbiak di lingkungan

perairan muara dan pantai yang memiliki kadar garam yang tinggi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara umum, parameter DO, suhu, dan pH pada lingkungan perairan sungai, muara, dan pantai di 3 (tiga) daerah penelitian mempunyai kondisi yang relatif sama. Kondisi secara prinsip yang membedakan antara lingkungan perairan sungai dengan muara dan pantai di ketiga daerah penelitian adalah kadar salinitas. Berdasarkan hasil pengukuran lapangan, lingkungan perairan sungai tidak dipengaruhi oleh salinitas karena kadarnya 0, sementara muara dan pantai mencapai nilai di atas 20‰ (Tabel 2).

Manahan (1994), menyatakan bahwa kadar garam yang tinggi akan mempengaruhi tekanan osmotik pada dinding sel bakteri, dan dapat merusak dinding sel, yang berakibat kematian bagi bakteri. Selain itu menurut Barlett (1987), perubahan salinitas dari yang rendah ke tinggi dapat mempengaruhi tingkat kematian bakteri (Radjasa, 2001), menyatakan bahwa ada beberapa golongan bakteri yang dapat mengalami status. *Viable But Nonculturable* (VBNC). VBNC adalah suatu keadaan dimana mikroba kelompok tertentu kehilangan kemampuan untuk membentuk koloni dan berkembang biak akibat tekanan lingkungan, sehingga tidak terdeteksi pada media yang digunakan secara rutin untuk menumbuhkannya. Adapun beberapa faktor yang mempengaruhi fenomena tersebut antara lain kadar garam (*salinitas*).

Selain itu, rendahnya daya adaptasi *coliform* terhadap perubahan tekanan lingkungan berakibat kematian di perairan muara. Perbedaan kondisi lingkungan air sungai dan pantai juga disebabkan karena muara merupakan tempat bertemunya air sungai dengan arus pasang-surut yang berlawanan dan menyebabkan suatu pengaruh yang kuat pada sedimen, pencampuran air, dan ciri-ciri fisik lainnya, sehingga menghasilkan sifat yang berbeda antara air laut dan sungai yang memerlukan tingkat adaptasi yang tinggi bagi organisme. Selain itu muara mempunyai salinitas yang fluktuatif tergantung pada pasang surut, dan pada

banyaknya aliran air tawar yang masuk (Supriharyono, 2002).

IV. Kesimpulan

Hasil penelitian tentang eksistensi koprostanol dan bakteri *coliform* yang dilakukan di lingkungan perairan sungai, muara, dan pantai di Jepara dapat disimpulkan :

- 1) Eksistensi koprostanol dapat terdeteksi pada sedimen perairan sungai (5,81 µg/g), muara (5,63 µg/g), dan pantai (2,93 µg/g) namun tidak terdeteksi pada kolom.
- 2) Eksistensi *total coliform* dapat terdeteksi pada kolom air dan sedimen dengan nilai *total coliform* di perairan sungai tertinggi ($2,8 \times 10^4$ - $4,3 \times 10^4$) sel/100 ml dan muara ($0,4 \times 10^3$) sel/100 ml serta tidak terdeteksi di perairan pantai.
- 3) Eksistensi *fecal coliform* dapat terdeteksi pada kolom air dan sedimen, sementara nilai *fecal coliform* pada lingkungan perairan sungai tertinggi (2×10^4 - $4,3 \times 10^4$) sel/100 ml dan berbeda signifikan terhadap perairan muara ($0 - 4 \times 10^3$) sel/100 ml, tetapi pada perairan pantai tidak terdeteksi

DAFTAR PUSTAKA

- Bachtiar, T., J. P. Coakley, and M. J. Risk, Tracing sewage-contaminated sediment in Hamilton Harbour using selected geochemical indicators, *Sci. Total. Environ.* 179: 3-16, 1996
- Bachtiar, T. Harun S, Suriharyono N, dan Dadang K. M, Pemanfaatan Koprostanol Sebagai Indikator Pencemaran Limbah Domestik di Perairan Semarang, *Jurnal Epidemiologi Indonesia* : 3 (2) : 12 - 20, 1999
- Bachtiar, T, *Koprostanol sebagai indikator kontaminasi dan perunut alamiah limbah domestik di perairan pantai Banjir Kanal Timur Semarang*, Disertasi, ITB, Bandung, 2002

- Bartlett, P. D. Degradation of coprostanol in an experimental system, *Mar. Poll. Bull.*, 18 (1): 27-29, 1987
- Chapra, S. C., *Surface Water Quality Modelling*, McGraw-Hill, Singapore, 1997
- Coakley, J. P. and D. J. Poulton, Tracer for fine sediment transport in Humber Bay, Lake Ontario, *J. Great. Lake. Res.* 17: 289-303, 1991
- Dutka, B. J., A. S. Y. Chau, and J. Coburn, Relationship between bacterial indicators of water pollution and fecal steroid. *Wat. Res.*, 8: 1047-1055, 1974
- Hatcher, P. G., L. E. Keister, and P. A. McGillivray, Steroids as sewage specific indicators in New York Bight sediment, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 17: 491-498, 1977
- Hakanson, L. and M. Jansson, *Prinsiples of lake Sedimentology*, Springer-Verlag, 316p, 1983
- Koesmaryono Y dan Handoko, *Klimatologi Dasar*, Bahan Pengajaran Jurusan Geofisika Dan Meteorology, FMIPA-IPA, IPB, 1988
- McDowell, M. D. and B. A. O'Connor, *Hydroulic Behaviour of Estuaries*, The Macmillan Press ltd, London, 1977
- Munir, M, *Isolasi dan identifikasi bakteri pendegradasi koprostanol dari lingkungan sungai muara dan perairan pantai pada monsoon timur (studi kasus pada Jakarta, Semarang dan Jepara)*, Thesis, tidak dipublikasi, Program Pasca Sarjana, Magister Ilmu Lingkungan, UNDIP, Semarang, 2004
- Pelczar, J., E.C.S, and Chan., *Dasar-dasar Mikrobiologi*. UI-Press. Jakarta. (diterjemahkan oleh Ratna Siri Hadioetomo *et al*). hlm 131-157, 1986
- Phosman, *Sediment transport and Sedimentation in the estuaries environment*, pp: 158-179. In Lauff, G.H. (ed.) *Estuaries*. Publ.83, American Association for The Advancement of Science, Washington DC, 1967
- Radjasa, O. K., *Viable But Non Culturable (VBNC)*. Modul Mata Kuliah Mikrobiologi Laut Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Universitas Diponegoro, Semarang, 2001
- Supriharyono, *Pelestarian dan Pengelolaan Sumber Daya Alam di Wilayah Pesisir Tropis*, PT. Gramedia Pustaka Utama Jakarta, 2002
- Walker, R. W., C. K. Wun, and W. Litsky, *Coprostanol as an indicator of fecal pollution*, Paper No. 1420, Massachusettes Agriculture Experiment