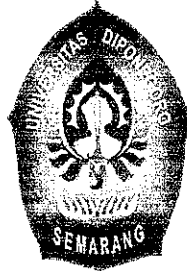


**KAJIAN EKSISTENSI KOPROSTANOL DAN BAKTERI *COLIFORM*
DI LINGKUNGAN PERAIRAN SUNGAI, MUARA, DAN PANTAI
PADA MONSUN TIMUR
(Studi Kasus Di Jakarta, Semarang, Dan Jepara)**



T E S I S

Disusun Oleh :

TRI YUNI ATMOJO

NIM. L4K 002 019

**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU LINGKUNGAN PROGRAM
PASCASARJANA UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2004**

TESIS

**KAJIAN EKISTENSI KOPROSTANOL DAN BAKTERI COLIFORM
DI LINGKUNGAN PERAIRAN SUNGAI, MUARA, DAN PANTAI
PADA MONSUN TIMUR
(Studi Kasus Di Jakarta, Semarang, Dan Jepara)**

Disusun oleh :

TRI YUNI ATMOJO

NIM. L4K 002 019

Menyetujui :

Pembimbing Utama

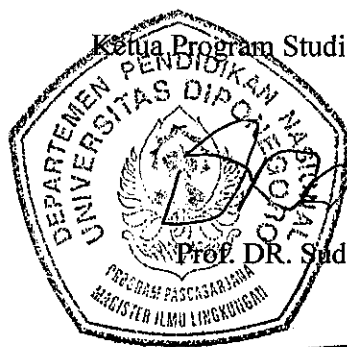
DR. Eng. Tonny Bachtiar, MSc

Pembimbing Kedua

DR. Ocky Karna Radjasa, MSc

Mengetahui :

Ketua Program Studi Magister Ilmu Lingkungan



Prof. DR. Sadharto. P. Hadi, MES

UPT-PUSTAK-UNDIP	
No. Daft.	3201/T/MIL/e/
Tgl.	30/12/04

Judul Tesis : Kajian Eksistensi Koprostanol dan Bakteri *Coliform* Di Lingkungan Perairan Sungai, Muara, dan Pantai pada Monsun Timur (Studi Kasus di Jakarta, Semarang, dan Jepara)

Nama Mahasiswa : TRI YUNI ATMOJO

Nomor Mahasiswa : L4K 0020019

Program Studi : Magister Ilmu Lingkungan

Konsentrasi : Rekayasa Lingkungan

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
pada tanggal 29 April 2004
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk di terima

Menyetujui :

Pembimbing Utama

DR. Eng. Tonny Bachtiar, MSc

Pembimbing Kedua

DR. Ocky Karna Radjasa, MSc

Penguji

Ir. Agus Hadiyanto, MT

Penguji

DR. Ir. Purwanto, DEA

Ketua Program Studi Magister Ilmu Lingkungan



Prof. DR. Sudharto. P. Hadi, MES

P E R N Y A T A A N

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan didalamnya tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi dan Lembaga Pendidikan lainnya.

Semua informasi dan pengetahuan yang diperoleh dari hasil penerbitan maupun yang belum atau tidak diterbitkan, dengan ataupun dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak, telah diberikan penghargaan dimana sumbernya dijelaskan didalam tulisan dan daftar pustaka dan isi tesis ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Semarang ,

Penulis,

TRI YUNI ATMOJO

NIM. L4K 002 019

BIO DATA PENULIS



Tri Yuni Atmojo, dilahirkan di Bantul, Yogyakarta pada 3 Januari 1972. Menyelesaikan pendidikan Sarjana Strata Satu (S1) pada tahun 1996 di Sekolah Tinggi Teknik Lingkungan, YLH Yogyakarta dengan predikat *cum laude*. Pada tahun 1996 hingga tahun 1997 bekerja sebagai supervisor pada perusahaan swasta asing di Jakarta, pada tahun 1998 diterima sebagai Pegawai Negeri Sipil (PNS) dan mengabdikan pada Instansi Badan Pengelolaan dan Pengendalian Dampak Lingkungan (BAPPEDAL) Propinsi Jawa Tengah hingga saat ini. Kursus-kursus yang pernah diikuti antara lain kursus AMDAL A, B, C, dan Penginderaan Jauh dan GIS untuk Sumberdaya. Tahun 2002 mendapatkan beasiswa dari Pemerintah Daerah Propinsi Jawa Tengah untuk melanjutkan pendidikan Pasca Sarjana (S2) di Program Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang. Mengambil judul “Kajian Eksistensi Koprostanol dan Bakteri *Coliform* di Lingkungan Perairan Sungai, Muara, dan Pantai Pada Monsun Timur (studi kasus di Jakarta, Semarang, dan Jepara) yang merupakan program Hibah Penelitian Terpadu Pasca Sarjana (HPTP) dari Ditjen DIKTI sebagai tesisnya untuk menyelesaikan pendidikan pada tahun 2004. Publikasi dengan judul yang sama pada Simposium Nasional Rekayasa Aplikasi Perancangan dan Industri Fakultas Teknik Universitas Muhamadiyah Surakarta 2003, Majalah Pengembangan Ilmu-Ilmu Kelautan Jurusan Ilmu Kelautan UNDIP 2004, dan Majalah Lingkungan Program Magister Ilmu Lingkungan tahun 2004.



*Ketika Allah telah menancapkan tongkatnya di muka bumi, tak
ada satu mahlukpun yang sanggup mencabutnya*

*Ketika Yang Kuasa berkehendak mengangkat derajat hambaNya, seberat
apapun rintangan menghadang akan disingkirkanNya*

KATA PENGANTAR

Tesis ini disusun untuk memenuhi tugas akhir pada Program Pasca Sarjana Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang. Tesis ini merupakan rangkaian akhir dari persyaratan dalam mencapai gelar kesarjanaan Program Pasca Sarjana (S2) yang telah di seminarkan dan mendapatkan tanggapan, koreksi dan penyempurnaan.

Tesis yang berjudul “Kajian Eksistensi Koprostanol dan Bakteri *Coliform* di Lingkungan Perairan Sungai, Muara, dan Pantai Pada Monsun Timur (studi kasus di Jakarta, Semarang, dan Jepara) merupakan Program Penelitian HPTP-I (Hibah Penelitian Terpadu Pasca Sarjana Tahun I) dibiayai oleh Ditjen DIKTI yang dimaksudkan untuk membantu percepatan masa studi bagi mahasiswa Program Pasca Sarjana Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang. Penelitian ini telah mendapatkan bimbingan serta arahan guna penyempurnaan isi dan tulisan sekaligus persetujuan dari dosen pembimbing dan penguji.

Untuk itu pada kesempatan ini kami mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada yang terhormat :

1. Prof. DR. Sudharto. P Hadi, MES sebagai Ketua Program Magister Ilmu Lingkungan;
2. DR. Eng. Tonny Bachtiar, MSc, sebagai dosen pembimbing 1;
3. DR. Ocky Karna Radjasa, MSc sebagai dosen pembimbing II;
4. DR. Ir. Agus Sabdono, Msc yang memberikan dukungan dalam penyelesaian tesis ini;
5. DR. Ir. Purwanto, DEA yang memberikan semangat dan perhatiannya;
6. Kepala Bappedal Propinsi Jawa Tengah sebagai Instansi kerja dimana saya mengabdikan, yang memberikan ijin untuk melanjutkan studi Program Pasca Sarjana;

7. Program BKD (Badan Kepegawaian Daerah) Propinsi Jawa Tengah yang memberikan beasiswa untuk melanjutkan studi Program Pasaca Sarjana;
8. Ditjen DIKTI melalui Program HPTP yang memberikan kesempatan untuk mengikuti penelitian dan bantuan biaya;
9. Kedua orang tua dan kakak tercinta yang berdoa di setiap saat untuk kesehatan dan dengan sabarnya menunggu kedatangan saya setiap minggu di Bantul, Yogyakarta;
10. Para Dosen, pengelola dan karyawan Program Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang, yang membimbing dan membantu penyelesaian tesis ini;
11. Teman-teman program HPTP yang bersama-sama memberikan masukan dan saran dalam menyelesaikan penelitian ini;
12. Teman-teman Magister Ilmu Lingkungan angkatan 2002 kelas reguler yang selama perkuliahan memberikan banyak kenangan yang indah;
13. Serta rekan-rekan lainnya yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, yang telah memberikan semangat, dorongan dan bantuannya dalam proses menyelesaikan tesis ini.

Semoga kebaikan dan ketulusan hati Bapak/Ibu/Saudara dalam membatu penyelesaian tesis ini mendapatkan imbalan dari Allah SWT, amien

Penulis,

Tri Yuni Atmojo

Abstract

Domestic waste is one of the major sources of the pollution in coastal waters of most developing countries, which has got less attention than industrial pollution. However, along with the increase of human activities in coastal areas coupled with the importance of clean environment for the health, esthetics, and ecological reasons, the detection of waste contamination has become important to be recognized.

So far, the indicator of domestic waste contamination has been intestinal microorganism, especially coliform bacteria. The microbial characteristics such as low tolerance against toxic substances high temperature, and salinity have been the major problem in using indicator organism. Therefore, alternative indicator is needed to solve the problem.

Coprostanol is a proposed alternative indicator in detecting domestic waste, thus, it is definitely important to study the existence of coprostanol and coliform bacteria in order to define its application either in water phase or sediment at the river, estuarine, and coastal at different areas with various contamination conditions (Jakarta, Semarang, and Jepara).

The research carried out from July to August 2003 of river, estuarine, and coastal of Ciliwung, Jakarta; Banjir Kanal Timur, Semarang, and Demaan, Jepara. The results showed that coprostanol was detected in sediment but not in the water phase at all location. The existence of coprostanol detected either at river is (5,81-23,38 µg/g, or estuarine is (1,04-12,51 µg/g, and coastal in use after (2,93-6,31 µg/g). Total coliform bacteria were detected both in water column and sediment of river ($2,80 \times 10^4 - 2,1 \times 10^4$) sel/100 ml, at estuarine ($0 - 2 \times 10^4$) sel/100 ml and coastal ($0 - 4 \times 10^3$) sel/100 ml, meanwhile fecal coliform bacteria were detected in environmental water of river ($2 \times 10^4 - 2,8 \times 10^4$) sel/100 ml, and at estuarine ($0 - 4 \times 10^3$) sel/100 ml, but not detected at coastal area.

The use of coprostanol to considered for the indicator alternative because the existence can influence by various condition at water of river and used of coliform bacteria as domestic waste contamination indicator require to be considered because owning various weakness.

Key Word: Coprostanol, Coliform, Domestic Waste, Pollution Indicator.

Ringkasan

Limbah domestik merupakan salah satu sumber utama pencemaran di perairan pantai pada negara yang sedang berkembang yang masih kurang mendapatkan perhatian serius bila dibandingkan dengan pencemaran oleh industri. Namun 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*. Sifat mikroorganisme yang mempunyai toleransi yang rendah terhadap tekanan lingkungan seperti bahan toksik, suhu tinggi, dan salinitas merupakan permasalahan utama organisme indikator, sehingga indikator alternatif sangat diperlukan.

Koprostanol diusulkan sebagai alternatif indikator limbah domestik, sehingga diperlukan kajian eksistensi koprostanol untuk persyaratan kelayakannya sebagai indikator. Kajian eksistensi dilakukan di kolom air dan sedimen pada lingkungan perairan sungai, muara, dan pantai di berbagai kondisi kontaminasi yang bervariasi (Jakarta, Semarang, dan Jepara).

Penelitian dilakukan pada bulan Juli-Agustus 2003 pada lingkungan sungai, muara dan pantai di sungai Ciliwung Jakarta, Banjir Kanal Timur di Semarang dan sungai Demaan di Jepara. Hasil menunjukkan bahwa koprostanol dapat terdeteksi pada sedimen dan tidak terdeteksi pada kolom air di ketiga lokasi. Eksistensi koprostanol didapatkan nilai tertinggi pada lingkungan perairan sungai (5,81-23,38 $\mu\text{g/g}$) dibandingkan muara (1,04-12,51 $\mu\text{g/g}$), dan pantai (2,93-6,31 $\mu\text{g/g}$). Bakteri total *coliform* terdeteksi pada kolom air maupun sedimen pada lingkungan perairan sungai ($2,80 \times 10^4 - 2,1 \times 10^4$) sel/100 ml, muara ($0 - 2 \times 10^4$) sel/100 ml, dan pantai ($0 - 4 \times 10^3$) sel/100 ml, sementara *fecal coliform* terdeteksi di lingkungan perairan sungai ($2 \times 10^4 - 2,8 \times 10^4$) sel/100 ml, dan muara ($0 - 4 \times 10^3$) sel/100 ml, namun tidak terdeteksi pada lingkungan perairan pantai.

Koprostanol dapat diperhitungkan sebagai alternatif indikator kontaminasi limbah domestik karena eksistensinya tidak terpengaruh oleh berbagai kondisi lingkungan perairan, sedangkan penggunaan bakteri *coliform* sebagai indikator kontaminasi limbah domestik perlu dipertimbangkan karena memiliki berbagai kelemahan.

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

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
BAB I. PENDAHULUAN	I-1
1.1. Latar Belakang Masalah	I-1
1.2. Identifikasi dan Perumusan Masalah	I-3
1.3. Tujuan Penelitian	I-6
1.4. Kegunaan Penelitian	I-6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
2.1. Landasan Teori	II-1
2.1.1. Pencemaran Limbah Domestik	II-1
2.1.2. Karakteristik Perairan Sungai, Muara, dan Pantai	II-4
2.1.3. Sedimen di Lingkungan Sungai, Muara, dan Pantai	II-6
2.1.4. Karakteristik Koprostanol (<i>5β-cholestan-3β-ol</i>)	II-7
2.1.5. Eksistensi Koprostanol di Alam	II-9
2.1.6. Bakteri <i>Coliform</i> Sebagai Indikator Pencemaran Limbah Domestik	II-11
2.1.7. Monsun	II-14
2.2. Original Penelitian	II-16
2.3. Hipotesis	II-17

BAB III	METODE PENELITIAN	III-1
3.1.	Tahapan Penelitian	III-1
3.2.	Ruang Lingkup/Fokus Penelitian	III-3
3.3.	Lokasi	III-3
3.4.	Variabel Penelitian/Fenomena yang Diamati	III-3
3.5.	Jenis dan Sumber Data	III-7
3.6.	Instrumen Penelitian	III-7
3.7.	Populasi dan atau Teknik Pengambilan Sampel	III-9
3.7.1.	Penetapan Stasiun Sampling	III-9
3.7.2.	Pengukuran Parameter Kualitas Perairan	III-9
3.7.3.	Sampling	III-10
3.8.	Teknik Analisa Data	III-10
3.8.1	Analisis Koprostanol	III-10
3.8.2.	Analisis Bakteri <i>Coliform</i>	III-12
3.8.3.	Analisis Kandungan Organik Total di Sedimen	III-20
3.8.4.	Analisis Karakteristik Sedimen	III-21
3.8.5.	Analisis Statistik	III-22
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	IV-1
4.1.	Rona Lingkungan Daerah Penelitian	IV-1
4.1.1.	Lokasi Penelitian Jakarta	IV-1
4.1.2.	Lokasi Penelitian Semarang	IV-5
4.1.3.	Lokasi Penelitian Jepara	IV-9
4.2.	Pembahasan	IV-13
4.2.1.	Eksistensi Koprostanol	IV-13

4.2.2.	Eksistensi Bakteri <i>Coliform</i>	IV-20
4.2.3	Potensi Koprostanol Sebagai Indikator Alternatif	IV-26
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	V-1
5.1.	Kesimpulan	V-1
5.2.	Saran	V-2

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Beberapa Organisme Patogen pada Badan Air.....	II – 3
Tabel 2.	Jenis dan Sumber Data	III – 7
Tabel 3.	Bahan	III – 7
Tabel 4	Peralatan	III – 8
Tabel 5.	Bahan Pembuatan Media LB	III – 13
Tabel 6.	Bahan Pembuatan Media BGLB	III – 13
Tabel 7.	Bahan Pembuatan Media Endo Agar	III - 14
Tabel 8.	Indeks MPN / 100 ml Untuk Berbagai Kombinasi Hasil Positif dan Negatif Memakai 3 Jumlah Tabung dengan Pengenceran 10 ml, 1 ml dan 0.1 ml	III – 19
Tabel 9.	Tingkat Kepadatan Penduduk Daerah Penelitian di Jakarta.	IV – 2
Tabel 10.	Kualitas Rata-rata Perairan Jakarta (Sungai Ciliwung).....	IV – 2
Tabel 11.	Kandungan Organik dan Ukuran Butir Sedimen Perairan Jakarta	IV – 3
Tabel 12.	Konsentrasi Koprostanol pada Sedimen Perairan Ciliwung, Muara Ancol Marina, dan Pantai Jakarta	IV - 3
Tabel 13.	Nilai <i>Total</i> dan <i>Fecal Coliform</i> pada Kolom Air dan Sedimen Perairan Sungai Ciliwung, Muara Ancol Marina dan Pantai Jakarta	IV - 4
Tabel. 14	Tingkat Kepadatan Penduduk Daerah Penelitian di Semarang. ...	IV - 6
Tabel 15.	Kualitas Rata-rata Perairan Semarang (Sungai Banjir Kanal Timur).	IV – 6
Tabel 16.	Kandungan Organik dan Ukuran Butir Sedimen Perairan Semarang.....	IV - 7

Tabel 17.	Konsentrasi Koprostanol pada Sedimen Perairan Sungai Banjir Kanal Timur, Muara, dan Pantai Semarang.....	IV - 7
Tabel 18.	Nilai <i>Total</i> dan <i>Fecal Coliform</i> pada Kolom Air dan Sedimen Perairan Sungai Banjir Kanal Timur, Muara, dan Pantai Semarang.....	IV - 8
Tabel 19.	Tingkat Kepadatan Penduduk daerah Penelitian Di Jepara.....	IV - 10
Tabel 20.	Kualitas Rata-rata Perairan Jepara (Sungai Demaan).....	IV - 10
Tabel 21.	Kandungan Organik dan Ukuran Butir Sedimen Perairan Jepara	IV- 11
Tabel 22.	Konsentrasi Koprostanol pada Sedimen Perairan Sungai Demaan, Muara, dan Pantai Jepara	IV – 11
Tabel 23.	Nilai <i>Total</i> dan <i>Fecal Coliform</i> pada Kolom Air dan Sedimen Perairan Sungai Demaan, Muara, dan Pantai Jepara	IV – 12
Tabel 24.	Hasil Analisis Eksistensi Koprostanol pada Lokasi dengan Kondisi Pencemaran yang Bervariasi	IV - 14
Tabel 25.	Hasil Analisis Eksistensi Koprostanol Rata-rata pada Lingkungan Perairan Sungai, Muara, dan Pantai di 3 (tiga) Lokasi Penelitian (Jakarta, Semarang, dan Jepara)	IV – 5
Tabel 26.	Eksistensi Koprostanol Rata-rata pada Kolom Air dan Sedimen ..	IV - 19
Tabel 27.	Hasil Analisis Eksistensi <i>Total Coliform</i> pada Lokasi dengan Kondisi Pencemaran yang Bervariasi	IV - 20
Tabel 28.	Hasil Analisis Eksistensi <i>Fecal Coliform</i> pada Lokasi dengan Kondisi Pencemaran yang Bervariasi	IV - 22

Tabel 29.	Hasil Analisis Eksistensi <i>Total Coliform</i> Rata-rata pada Lingkungan Perairan Sungai, Muara, dan Pantai di 3 (tiga) Lokasi Penelitian (Jakarta, Semarang, dan Jepara).....	IV – 23
Tabel 30.	Hasil Analisis Eksistensi <i>Fecal Coliform</i> Rata-rata pada Lingkungan Perairan Sungai, Muara, dan Pantai di 3 (tiga) Lokasi Penelitian (Jakarta, Semarang, dan Jepara).....	IV – 24

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Alur Pikir Pendekatan Penelitian.....	I - 5
Gambar 2.	Alur Pembentukan Koprostanol	II - 9
Gambar 3.	Tahapan Penelitian	III - 2
Gambar 4.	Lokasi dan Titik Sampling di Jakarta	III - 4
Gambar 5.	Lokasi dan Titik Sampling di Semarang	III - 5
Gambar 6.	Lokasi dan Titik Sampling di Jepara	III - 6
Gambar 7.	Tahapan Kegiatan Analisis Koprostanol	III - 11
Gambar 8.	Langkah Analisis Bakteri <i>Coliform</i>	III - 15
Gambar 9.	Konsentrasi Koprostanol pada Sedimen Lingkungan Perairan sungai Ciliwung, Muara Ancol Marina, dan Pantai Jakarta.....	IV - 3
Gambar 10.	Nilai <i>Total Coliform</i> pada Kolom Air dan Sedimen Lingkungan Perairan sungai Ciliwung, Muara Ancol Marina, dan Pantai Jakarta.....	IV - 4
Gambar 11.	Nilai <i>Fecal Coliform</i> pada Kolom Air dan Sedimen Lingkungan Perairan sungai Ciliwung, Muara Ancol Marina, dan Pantai Jakarta.....	IV - 5
Gambar 12.	Konsentrasi Koprostanol pada Lingkungan Perairan Sungai Banjir Kanal Timur, Muara dan Pantai Semarang	IV - 8
Gambar 13.	Nilai <i>Total Coliform</i> pada Kolom Air dan Sedimen Lingkungan Perairan Sungai Banjir Kanal Timur, Muara dan Pantai Semarang	IV - 9
Gambar 14.	Nilai <i>Fecal Coliform</i> pada Kolom Air dan Sedimen Lingkungan Perairan Sungai Banjir Kanal Timur, Muara dan Pantai Semarang	IV - 9

Gambar 15.	Konsentrasi Koprostanol pada Lingkungan Perairan Sungai Demaan, Muara, dan Pantai Jepara	IV - 12
Gambar 16.	Nilai <i>Total Coliform</i> pada Kolom Air dan Sedimen Lingkungan Perairan Sungai Demaan, Muara, dan Pantai Jepara	IV - 13
Gambar 17.	Nilai <i>Fecal Coliform</i> pada Kolom Air dan Sedimen Lingkungan Perairan Sungai Demaan, Muara, dan Pantai Jepara	IV - 13
Gambar 18.	Eksistensi Koprostanol pada 3 (tiga) lokasi Penelitian Ekosistem (Jakarta, Semarang, dan Jepara) di Lingkungan Perairan Sungai, Muara dan Pantai	IV - 14
Gambar 19.	Eksistensi Koprostanol Rata-rata pada Lingkungan Perairan Sungai, Muara, dan Pantai di 3 (tiga) lokasi Penelitian	IV - 16
Gambar 20.	Total Eksistensi <i>Total Coliform</i> Rata-rata pada Lingkungan Perairan Sungai, Muara, dan Pantai di 3 (tiga) lokasi Penelitian	IV - 20
Gambar 21.	Eksistensi <i>Fecal Coliform</i> Rata-rata pada Lingkungan Perairan Sungai, Muara, dan Pantai di 3 (tiga) lokasi Penelitian	IV - 22
Gambar 22.	Eksistensi <i>Total Coliform</i> pada 3 (tiga) lokasi Penelitian Ekosistem (Jakarta, Semarang, dan Jepara) di Lingkungan Perairan Sungai, Muara dan Pantai	IV - 23
Gambar 23.	Eksistensi <i>Fecal Coliform</i> pada 3 (tiga) lokasi Penelitian Ekosistem (Jakarta, Semarang, dan Jepara) di Lingkungan Perairan Sungai, Muara dan Pantai	IV - 24

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1.** 1. Tabel hasil pengukuran kondisi sedimen dan perairan tiap titik sampling di Jakarta
2. Tabel hasil pengukuran kondisi sedimen dan perairan tiap titik sampling di Semarang
3. Tabel hasil pengukuran kondisi sedimen dan perairan tiap titik sampling di Jepara
- Lampiran 2.** Tabel nilai RRF hasil perhitungan di 3 daerah penelitian
- Lampiran 3.** 1. Tabel berat sampel pada lokasi sampling di Jakarta
2. Tabel berat dan konsentrasi koprostanol pada lokasi sampling di Jakarta
- Lampiran 4.** 1. Tabel berat sampel pada lokasi sampling di Semarang
2. Tabel berat dan konsentrasi koprostanol pada lokasi sampling di Semarang
- Lampiran 5.** 1. Tabel berat sampel pada lokasi sampling di Jepara
2. Tabel berat dan konsentrasi koprostanol pada lokasi sampling di Jepara
- Lampiran 6-a.** Tabel nilai MPN berdasarkan tahapan penelitian analisa *coliform* Jakarta
- Lampiran 6-b.** Tabel nilai MPN berdasarkan tahapan penelitian analisa *coliform* Semarang
- Lampiran 6-c.** Tabel nilai mpn berdasarkan tahapan penelitian analisa *coliform* Jepara
- Lampiran 7.** Gambar sampel di 3(tiga) daerah yang di uji pada media BGLB
- Lampiran 8.** Gambar koloni *coliform* pada sampel di 3(tiga) daerah penelitian pada media agar ENDO
- Lampiran 9.** Hasil analisis statistik dengan sidik ragam (ANOVA) dengan sistem komputasi

- Lampiran 10.** Hasil perhitungan standart deviasi eksistensi koprostano di berbagai lingkungan
- Lampiran 11.** Hasil perhitungan standart deviasi eksistensi total *coliform* di berbagai lingkungan
- Lampiran 12.** Hasil perhitungan standart deviasi eksistensi *fecal coliform* di berbagai lingkungan
- Lampiran 13.** Hasil perhitungan standart deviasi eksistensi koprostanol di beberapa kota
- Lampiran 14.** Hasil perhitungan standart deviasi eksistensi *total coliform* di beberapa kota
- Lampiran 15.** Hasil perhitungan standart deviasi eksistensi *fecal coliform* di beberapa kota
- Lampiran 16.** Gambar lingkungan di 3 (tiga) lokasi penelitian (Jakarta, Semarang, Jepara)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang masalah

Sungai, muara, dan laut merupakan satuan ekosistem yang saling terkait, dimana akibat buangan dari kegiatan di daratan yang terangkut melalui aliran air sungai, baik limbah cair maupun padat dapat terakumulasi di muara dan laut (Supriharyono, 2002).

Anggapan bahwa laut merupakan “tempat sampah” baik yang berupa limbah domestik maupun limbah industri merupakan hal yang sulit dipungkiri. Laut mempunyai kemampuan daya urai yang relatif tinggi karena kapasitasnya luas, namun harus tetap diingat bahwa laut juga mempunyai keterbatasan untuk mengurai bahan atau polutan.

Perairan laut merupakan sumberdaya alam yang potensial untuk dikembangkan seperti untuk pariwisata disamping sebagai penghasil ikan, kerang-kerangan atau biota lainnya yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber pendapatan masyarakat. Untuk kepentingan pariwisata yang mempunyai daya jual yang relatif tinggi, perairan pantai dan laut harus dapat memberikan suatu layanan panorama yang indah dan sehat, serta aman bagi pengguna. Tuntutan masyarakat akan lingkungan yang bersih dan sehat serta alasan ekologis lainnya juga terus meningkat sejalan dengan meningkatnya kondisi sosial ekonomi masyarakat. Hal ini menunjukkan bahwa pengetahuan tentang pola penyebaran atau deliniasi daerah yang mengalami kontaminasi atau pencemaran di wilayah pesisir dan lautan merupakan hal yang penting.

Limbah domestik yang dapat berupa material organik dan material inorganik (Pamdey and Carney, 1991) merupakan salah satu sumber utama pencemaran di wilayah pantai. Pada daerah yang tidak mempunyai unit pengolahan limbah domestik, umumnya limbah hanya langsung dibuang ke badan air sungai, yang kemudian terangkut dan terendapkan sepanjang aliran sampai perairan pantai.

Pencemaran bahan organik, yang pada umumnya berasal dari limbah domestik, selain menyebabkan menurunnya kandungan oksigen terlarut, yang menyebabkan kebutuhan oksigen oleh biota yang ada tidak terpenuhi, juga mengandung banyak unsur lain yang membahayakan kesehatan seperti organisme patogen (Chapra, 1997). Limbah domestik yang selama ini dianggap kurang signifikan pengaruhnya terhadap perubahan kualitas perairan, perlu diwaspadai. Zat kontaminan atau pencemar diharapkan sedini mungkin dapat diketahui secara cepat dengan mencari dan menetapkan indikator kontaminasi atau pencemaran yang dapat menggambarkan kondisi lingkungan suatu perairan.

Pencemaran limbah domestik, khususnya di perairan pantai pada negara yang sedang berkembang masih kurang mendapatkan perhatian serius bila dibandingkan dengan pencemaran industri, terbukti dengan masih langkanya IPAL. Bachtiar (2002), menyatakan juga 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 keberadaanya di lingkungan terutama pada perairan.

Peningkatan sumber limbah mengakibatkan sungai sebagai badan penerima limbah menjadi semakin berat untuk dapat mengurainya (Wardhana, 1995), sejalan dengan waktu penelitian yang dilakukan pada bulan Juli dan Agustus, dimana bulan-bulan tersebut bertepatan dengan monsun timur yang ditandai dengan musim kemarau

(Prawirowardoyo, 1996). Musim kemarau menyebabkan debit air sungai menjadi semakin kecil yang berpengaruh terhadap penurunan laju sedimen dasar (Yang, 1996 dalam Widada, 2000), 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, 1997). Aktifitas manusia di wilayah pesisir yang semakin meningkat, telah menyebabkan terjadinya tekanan lingkungan, dimana 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).

1.2. Identifikasi dan Perumusan Masalah

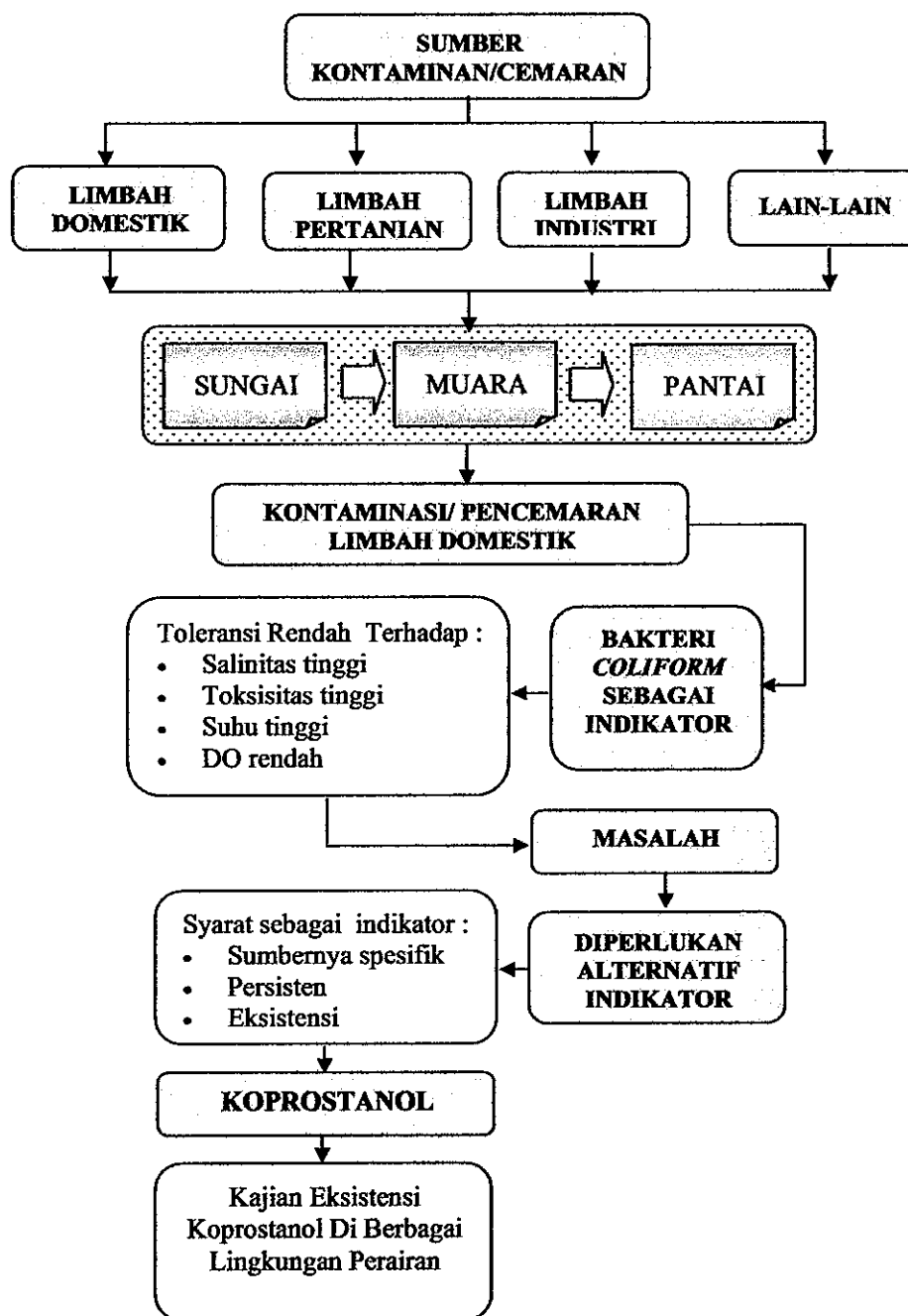
Permasalahan muncul manakala bakteri *coliform* yang digunakan sebagai indikator pencemaran limbah domestik tidak terdeteksi pada lingkungan perairan yang tidak sesuai dengan lingkungan ideal tumbuh dan berkembang biaknya bakteri,

sementara diduga kuat bahwa perairan tersebut tercemar oleh limbah domestik termasuk feces. (Bartlett, 1987), menyatakan perubahan salinitas rendah (tawar) ke salinitas tinggi (laut) akan mempengaruhi tingkat kematian bakteri, demikian juga akibat buangan limbah yang bersifat toksik dan bersuhu tinggi, serta rendahnya kandungan oksigen di perairan (Walker *et al.*, 1982). Selain itu, tekanan lingkungan antara lain, seperti : perubahan suhu yang mendadak, sinar, umur fisiologi kultur, tingkat kandungan nutrisi, kadar garam, xenobiotik, antibiotik, klorin, dan beberapa senyawa kimia lain, merupakan faktor-faktor yang dapat menyebabkan mikroba memasuki keadaan “*Viable But Nonculturable*” (VBNC) sehingga tidak terdeteksinya bakteri dengan prosedur standar analisisnya (Radjasa, 2001).

Koprostanol telah banyak diusulkan oleh para peneliti sebagai indikator pencemaran limbah domestik (Hatcher *et al.*, 1977, Hatcher dan McGillivary 1979, Brown dan Wade 1984, Dureth *et al.*, 1986, Holm dan Windsor 1990, Coakley dan Poulton 1991, Coakley *et al.*, 1992), namun untuk daerah tropis masih terbatas (Bachtiar, 2002).

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, dan 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 dengan alur pikir yang dapat dijelaskan pada Gambar 1 sebagai berikut :



Gambar 1. Alur pikir pendekatan

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan seperti tersebut di atas maka dalam penelitian ini mempunyai tujuan sebagai berikut :

1. Melakukan kajian eksistensi koprostanol dan bakteri *coliform* di kolom air dan sedimen di lingkungan perairan sungai, muara, dan pantai pada berbagai kondisi kontaminasi;
2. Melakukan kajian kelayakan koprostanol sebagai indikator alternatif kontaminasi limbah domestik pada lingkungan perairan sungai, muara, dan pantai dengan berbagai kondisi kontaminasi.

1.4. Kegunaan Penelitian

1. Memberikan informasi tentang potensi koprostanol sebagai alternatif indikator kontaminasi limbah domestik.
2. Memberikan informasi tentang adanya kelemahan pemanfaatan bakteri *coliform* sebagai indikator kontaminasi limbah domestik pada lingkungan dengan tekanan yang tinggi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Landasan Teori

2.1.1. Pencemaran Limbah Domestik

Limbah domestik merupakan salah satu sumber utama pencemaran di wilayah pantai. Pada daerah yang tidak mempunyai unit pengolahan limbah domestik, umumnya limbah langsung dibuang ke badan air sungai, yang kemudian terangkut dan terendapkan sepanjang aliran sampai perairan pantai. Akumulasi limbah tersebut di sedimen pada tingkat tertentu menyebabkan terjadinya pencemaran, khususnya pada perairan pantai yang dangkal dan bersifat semi tertutup (Bachtiar, 2002).

Pada tahun 1994, limbah domestik di kota Semarang sebesar 54,95 % dari total limbah. Debit limbah tahun 2002 pada sungai Banjir Kanal Timur dan kali Tambak Lorok didominasi oleh limbah domestik yaitu 4.690,7 m³/hari. Besarnya limbah domestik tersebut menunjukkan bahwa limbah domestik merupakan suatu masalah yang perlu mendapatkan perhatian yang besar, karena sekitar 50 – 75 % dari beban organik di sungai pada daerah pekotaan di Indonesia berasal dari limbah rumah tangga (Bachtiar, 2002).

Limbah domestik dapat berupa materi organik dan inorganik, baik dalam bentuk : a) gas, b) cairan dan c) padatan. Limbah padat dari sumber domestik dianggap bukan merupakan limbah bahan beracun dan berbahaya (B3), meskipun kadang-kadang terdapat juga limbah B3 (Pandey and Carney, 1991). Menurut Supriharyono (2002), pada umumnya limbah domestik juga mengandung sampah padat, termasuk tinja. Limbah domestik mempunyai beberapa sifat utama, antara lain : mengandung bahan organik dan padatan tersuspensi, sehingga BOD (*Biological*

Oxygen Demand) yang tinggi, padatan (organik dan anorganik) yang mengendap di dasar perairan yang akan terurai secara biologis, sehingga kandungan oksigen menjadi berkurang.

Pencemaran di laut dapat disebabkan oleh aktivitas manusia di darat maupun di laut. Pencemaran di wilayah perairan pantai umumnya disebabkan masuknya polutan dari daratan yang terangkut melalui sungai maupun saluran pembuangan lainnya (Harlemen, 1966). Pencemaran pesisir dan laut pada umumnya terjadi karena adanya pemusatan penduduk, pariwisata dan industrialisasi di daerah pesisir, sehingga wilayah pantai sangat rentan terhadap pencemaran lingkungan. Aktifitas-aktifitas tersebut baik langsung maupun tidak langsung dapat mengganggu kehidupan perairan laut dan pesisir.

Pencemaran limbah domestik, khususnya di perairan pantai, pada negara yang sedang berkembang masih kurang mendapatkan perhatian serius bila dibandingkan dengan pencemaran limbah industri. Hal ini terjadi karena limbah domestik dianggap mempunyai debit yang relatif sangat kecil. Anggapan ini jika ditinjau berdasarkan debit kumulatif limbah domestik yang timbul akan menjadi tidak tepat, karena peningkatan jumlah penduduk dan tingkat ekonomi berpengaruh terhadap penambahan tingkat konsumsi air yang pada akhirnya timbulan limbah juga meningkat, sehingga deteksi tentang kontaminasi limbah domestik menjadi penting untuk diketahui secara lebih baik. Pencemaran bahan organik, seperti limbah domestik, selain menyebabkan menurunnya kandungan oksigen terlarut, yang menyebabkan kebutuhan oksigen oleh biota yang ada tidak terpenuhi, juga mengandung banyak unsur lain yang membahayakan kesehatan seperti organisme patogen (Tabel 1) (Chapra, 1997)

Tabel 1. Beberapa Organisme Patogen pada Badan Air

Kategori	Organisme patogen
Bakteri	<i>Vibrio cholerae</i>
	<i>Salmonela</i>
	<i>Shigella</i>
	<i>Legionella</i>
Virus	<i>Hepatitis A</i>
	<i>Enteroviruses</i>
	<i>Polioviruses</i>
	<i>Echoviruses</i>
	<i>Coxsackieviruse</i>
	<i>Rotaviruses</i>
Protozoa	<i>Giardia lambia</i>
	<i>Entamoeba histolytica</i>
	<i>Cryptosporidium</i>
	<i>Naegleria fowleri</i>
Helminths	<i>Nematodes</i>
	<i>Schistosoma</i>
	<i>Haematobium</i>
Alga	<i>Anabaena flos-aquae</i>
	<i>Microcystis aeruginosa</i>
	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>

Sumber : (Chapra, 1997)

Untuk mengetahui pola penyebaran pencemaran di suatu perairan pantai pada berbagai kondisi musim, dapat dilakukan dengan menganalisa sedimen daerah tersebut. Analisis pengaruh pencemaran merupakan suatu hal yang penting guna memprediksi tingkat pengolahan dan kuantitas limbah domestik dan industri yang dapat ditolerir oleh sistem sirkulasi alamiah di suatu estuari atau perairan pantai. Berbagai limbah dari aktivitas manusia di daratan sebagian besar pada akhirnya akan mencapai perairan pantai, sebelum kemudian didistribusikan oleh dinamika air laut, baik sepanjang pantai maupun tegak lurus pantai (Dahuri, *et al.*, 2001).

Beberapa peneliti membedakan antara kontaminasi dan pencemaran (Alloway dan Ayres, 1994), kontaminasi digunakan untuk situasi dimana keberadaan suatu material di lingkungan tertentu secara jelas belum mengganggu fungsi suatu ekosistem, sedangkan pencemaran untuk kasus-kasus yang jelas mempunyai dampak yang mengganggu fungsi ekosistem dan jika ditinjau berdasarkan peraturan perundang-undangan yang ditetapkan telah melampaui ambang batas atau baku mutu.

2.1. 2. Karakteristik Perairan Sungai, Muara, dan Pantai

Daerah aliran sungai adalah sebuah kawasan yang dibatasi oleh pemisah topografi yang menampung, menyimpan dan mengalirkan curah hujan yang jatuh di atasnya ke sungai utama dan kemudian mengalir ke danau atau ke laut. Sebuah DAS merupakan suatu kumpulan beberapa sub DAS yang lebih kecil (Manahan, 1983).

Muara adalah perairan yang semi tertutup yang berhubungan bebas dengan laut, sehingga air laut yang memiliki salinitas tinggi dapat bercampur dengan air tawar (Supriharyono, 2000).

Air di daerah muara merupakan campuran antara air sungai dan air laut, akibatnya air di daerah ini mempunyai salinitas yang lebih rendah daripada lautan terbuka. Air tawar dari sungai yang memiliki densitas lebih kecil dari air laut cenderung untuk mengambang di atasnya. Di daerah ini juga terdapat fluktuasi perubahan salinitas yang berlangsung secara tetap yang berhubungan dengan gerakan air pasang. Masa air yang masuk ke dalam daerah muara pada waktu terjadi air surut hanya bersumber dari air tawar, akibatnya salinitas di daerah muara pada saat itu umumnya rendah. Pada waktu pasang, masa air masuk kedalam muara dari air laut bercampur dengan air muara, sehingga salinitas akan naik (Hutabarat dan Evans, 1985).

Menurut Supriharyono (2000), kombinasi pengaruh air laut dan tawar tersebut akan menghasilkan suatu komunitas yang khas, dengan kombinasi lingkungan yang bervariasi, antara lain :

1. Tempat bertemunya arus air sungai dengan arus pasang-surut, yang berlawanan menyebabkan suatu pengaruh yang kuat pada sedimentasi, pencampuran air, dan ciri-ciri fisika lainnya, serta membawa pengaruh besar pada biotanya
2. Pencampuran kedua masa air tersebut menghasilkan suatu sifat fisika lingkungan khusus yang tidak sama dengan sifat air sungai maupun air laut
3. Perubahan yang terjadi akibat adanya pasang-surut mengharuskan biota yang hidup di daerah ini mengadakan penyesuaian secara fisiologi dengan lingkungan sekelilingnya
4. Tingkat kadar garam di daerah muara tergantung pada pasang surut air laut, banyaknya aliran air tawar dan arus-arus lain, serta topografi daerah muara tersebut.

Karena relatif lebih murah dan mudah, perairan pesisir selama ini menjadi tempat pembuangan limbah dari berbagai macam kegiatan manusia baik yang berasal dari dalam wilayah pesisir maupun di luarnya (daratan dan lepas pantai). Pencemaran laut didefinisikan sebagai "dampak negatif" terhadap kehidupan biota, sumberdaya dan kenyamanan ekosistem laut serta kesehatan manusia dan nilai guna lainnya dari ekosistem laut yang disebabkan secara langsung maupun tidak langsung oleh pembuangan bahan-bahan atau limbah (termasuk energi) ke dalam laut yang berasal dari kegiatan manusia (Dahuri *et al.*, 1996).

Disamping itu sifat fisik wilayah pesisir dan lautan yang saling berhubungan dengan ekosistem lainnya (sungai, muara dan pantai) juga membebani pencemaran wilayah pesisir dan lautan. Misalnya kegiatan pengolahan pertanian dan kehutanan

(*up land*) yang buruk tidak saja merusak ekosistem sungai, tetapi juga akan menimbulkan dampak negatif pada perairan pesisir dan lautan.

Menurut Dahuri *et al.* (1996), sumber pencemaran perairan pesisir dan lautan dapat dikelompokkan menjadi 7 kelas, yaitu : industri, limbah cair pemukiman, limbah cair perkotaan, pertambangan, pelayaran, pertanian dan perikanan budidaya. Bahan pencemar utama yang terkandung dalam buangan limbah dari ketujuh sumber tersebut berupa : sedimen, unsur hara (*nutrien*), logam beracun dan pestisida.

2.1.3. Sedimen di lingkungan Sungai, Muara, dan Pantai

Sedimen adalah batuan mineral atau material organisme yang dipindahkan dari berbagai sumber dan jarak oleh udara, angin, es dan air, kemudian diendapkan pada suatu tempat sehingga sedimen meliputi seluruh material lepas dari dasar laut (Pipkin *et.al.*, 1987).

Pengendapan sedimen atau sedimentasi di sungai dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya adalah kecepatan arus sungai, kondisi dasar sungai, turbulensi dan diameter itu sendiri (Phosma, 1967).

Sedimentasi di daerah muara didominasi oleh substrat berlumpur, yang seringkali sangat lunak. Substrat berlumpur ini berasal dari sedimen yang dibawa ke dalam muara oleh air tawar maupun air laut. Pengangkutan partikel yang lebih besar oleh angin ke dalam estuaria seringkali penting artinya bagi daerah yang pantainya terletak dibelakang pantai penghalang. Air sungai mengangkut partikel lumpur dalam bentuk suspensi. Ketika partikel tersuspensi tersebut mencapai dan bercampur dengan air laut di muara, kehadiran berbagai ion yang berasal dari laut menyebabkan partikel lumpur menggumpal, membentuk partikel yang lebih besar dan berat kemudian mengendap membentuk dasar lumpur yang khas.

Gross (1990), berpendapat bahwa gelombang yang lemah hanya mampu memindahkan partikel-partikel lembut dan menyisakan pasir kasar dan kerikil di pantai, material butiran halus akan diendapkan ketika aksi gelombang relatif kecil. Thurman (1994), juga menambahkan bahwa daerah laut yang mempunyai aksi gelombang relatif kecil adalah dasar laut dalam, sedangkan yang besar mampu memindahkan partikel pasir, karena pelepasan energi secara tiba-tiba (seperti saat gelombang pecah) pada daerah yang sempit menyebabkan turbulensi yang mampu memindahkan partikel pasir.

2.1.4. Karakteristik Koprostanol (*5 β -cholestan-3 β -ol*)

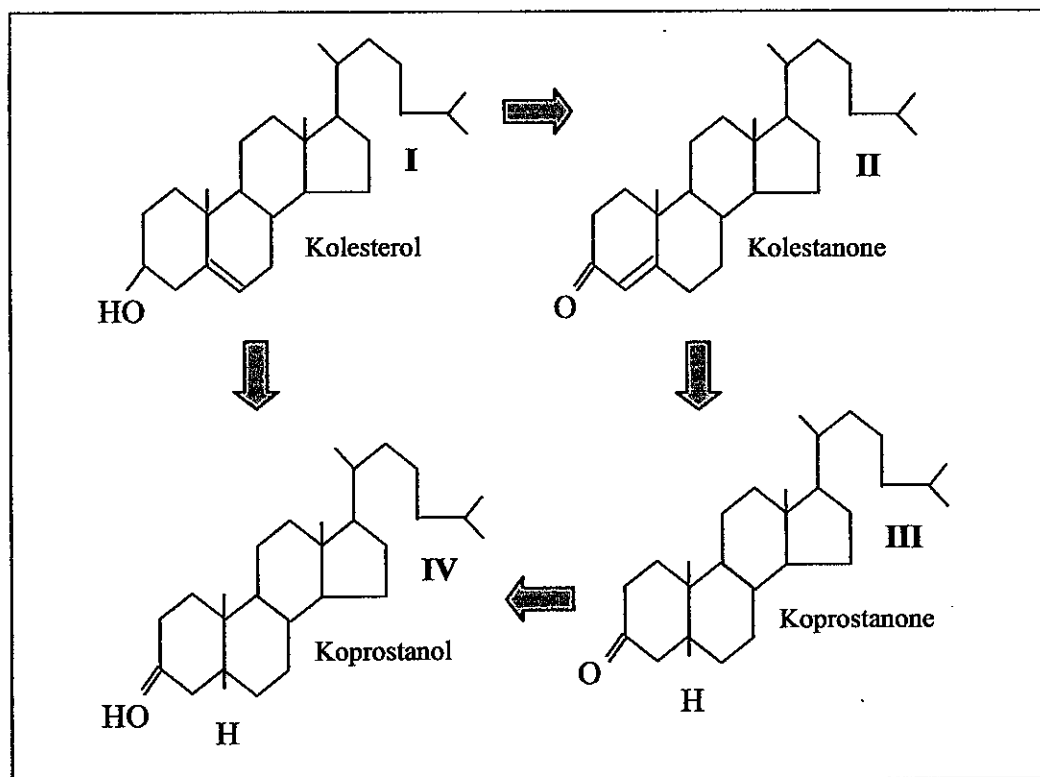
Koprostanol pertama kali diamati oleh Marcet pada pertengahan 1800, dengan mendapatkan zat yang dinamakannya *excretine*, yang merupakan hasil dari kristalisasi ekstrak alkohol pada feses manusia. Berdasarkan data titik leleh dan solubilitas diketahui bahwa zat tersebut mengandung koprostanol, yang pertama kali diisolasi dan diteliti karakteristiknya pada tahun 1896 oleh Bondzynski dan Humnicki (Walker *et al.*, 1982), dan mendapatkan bahwa koprostanol merupakan hasil reduksi kolesterol oleh bakteri. Koprostanol merupakan sterol fekal dominan yang dihasilkan manusia, dan merupakan 40 – 60 % dari total sterol yang dikeluarkan (Walker *et al.*, 1982). Selain itu, koprostanol juga dihasilkan secara spesifik oleh hewan mamalia, seperti orangutan, kera, babi, domba, sapi dan binatang pengerat, namun koprostanol tidak dihasilkan oleh biota laut dan unggas, kecuali ayam. Karena sumber koprostanol yang sangat spesifik, keberadaan koprostanol di alam berpotensi sebagai indikator kontaminasi limbah domestik di suatu lingkungan..

Menurut Hatcher *et al.* (1977), keberadaan sterol fekal koprostanol (*5 β -cholestan-3 β -ol*) di lingkungan perairan telah menunjukkan bahwa koprostanol merupakan indikator kimia untuk kontaminasi limbah domestik .

Pada suhu ruang, koprostanol merupakan padatan kristal berwarna putih yang mempunyai titik leleh 101° C, serta larut dalam ethanol, benzene, ether dan chloroform, tetapi tidak larut dalam air.

Struktur kimia koprostanol sangat mirip dengan kolesterol (Walker *et al.*, 1982), dimana perbedaannya hanya adanya ikatan rangkap pada C5 dan 6 pada kolesterol. Hidrogenasi pada ikatan rangkap kolesterol dapat menghasilkan pembentukan dua isomer yang berbeda satu dengan lainnya pada konfigurasi karbon 5 pada pertemuan lingkaran A dan B. Pada koprostanol, ikatan hidrogen pada karbon 5 dan -CH₃ pada carbon 10 keduanya mempunyai orientasi β (*konfigurasi cis*). Konfigurasi ini dinyatakan sebagai seri normal karena identik dengan konfigurasi *natural bile acids*. Secara alamiah, terdapat sterol jenuh disamping koprostanol yang ikatan hidrogennya mempunyai orientasi, yaitu kolesterol (*5 β -cholestan-3 β -ol*).

Secara biosintesis, ada dua alur pembentukan koprostanol yang telah diusulkan (Walker *et al.*, 1982). a). Alur pertama adalah akibat adanya hidrogenasi stereospesifik pada ikatan rangkap 5, 6 pada kolesterol ; b). alur kedua diawali dengan adanya konversi dari kolesterol menjadi kolestanone, dimana penurunan dari kolestanone akan membentuk koprostanone. Koprostanone ini yang kemudian penurunannya membentuk koprostanol, adapun alur pembentukannya dapat di jelaskan pada Gambar 2 sebagai berikut :



Gambar 2. Alur pembentukan koprostanol (Walker *et al.*, 1982)

Eyssen *et al.* (1972) mendapatkan bahwa sekitar 30% koprostanol yang terdapat pada feses manusia berada dalam bentuk ester. Ester ini dapat terbentuk oleh proses hidrogenasi ester kolesterol atau esterifikasi koprostanol. (Walker *et al.*, 1982)

2.1.5. Eksistensi koprostanol di alam

Umumnya limbah domestik didominasi oleh material organik, dimana padatan material organik limbah domestik saat masuk ke dalam perairan, sebagian terlarut dan sebagian lainnya tidak terlarut. Koprostanol merupakan bagian dari padatan material organik limbah domestik yang tidak terlarut dalam air (Walker *et al.*, 1982). Padatan material organik yang tidak terlarut ini akan terurai melalui proses biodegradasi, dan proses fisik yang menjadikan material tersebut menjadi partikel halus (*koloid*) (Pandey and Carney, 1991).

Material organik yang telah terurai menjadi partikel koloid, sebagian ada yang berinteraksi dengan air (*hidrofilik*) dan sebagian tidak bereaksi dengan air (*hidrofobik*) (Tan, 1992). Koprostanol mempunyai sifat yang tidak larut di air, sehingga dalam bentuk koloid koprostanol berpotensi sebagai *hidrofobik*. Suatu koloid *hidrofobik* mempunyai sifat dapat terflokulasi. Koloid sedimen lempung (*clay*) juga merupakan koloid *hidrofobik*. Koloid koprostanol akan teradsorpsi oleh material organik yang terdapat pada koloid lempung dalam proses flokulasi. Koloid koprostanol yang telah terflokulasi dengan koloid lempung, kemudian mengalami transpor bersama sedimen lempung oleh adanya pola arus dekat pantai. Hal ini menyebabkan sedimen lempung umumnya mempunyai kandungan organik total atau koprostanol yang lebih tinggi dibandingkan dengan sedimen debu (*silt*) dan pasir (*sand*). Namun demikian, material organik yang teradsorpsi pada sedimen dapat terlepas dengan adanya pencucian oleh pergerakan air.

Pola arus dekat pantai pada suatu daerah sangat dipengaruhi kondisi karakteristik setempat, seperti kondisi angin, gelombang, pasang surut, dan debit sungai yang akan mempengaruhi pembangkitan arus setempat. Kondisi batimetri perairan dan geomorfologi pantai akan mempengaruhi karakteristik arus dekat pantai, yang pada akhirnya memberikan pola yang spesifik terhadap transpor sedimen di perairan pantai. Karena polutan limbah domestik yang merupakan material organik dan teradsorpsi pada sedimen lempung, maka pola penyebaran limbah domestik pada suatu perairan pantai dapat diketahui berdasarkan pola penyebaran indikator kontaminasi limbah domestik di sedimen dasar perairan.

Bachtiar (2002), dalam penelitian tentang koprostanol sebagai indikator kontaminasi dan perunut alamiah limbah domestik di perairan pantai Banjir Kanal Timur Semarang, membuktikan bahwa koprostanol yang merupakan sterol fekal

dominan yang dihasilkan manusia terdegradasi secara intensif di perairan pantai tropis pada konsentrasi tertentu. Koprostanol ditemui terdegradasi dengan sangat lambat, sehingga berpotensi sebagai indikator kontaminasi dan perunut alamiah limbah domestik.

2.1.6. Bakteri *Coliform* Sebagai Indikator Pencemaran Limbah Domestik

Identifikasi adanya pencemaran limbah domestik dalam suatu lingkungan merupakan hal yang penting berkaitan dengan kesehatan, estetika dan alasan ekologis lainnya (Bartlett, 1987). Pencemaran dari limbah manusia dan hewan merupakan salah satu penyebab utama menurunnya kualitas air dan peningkatan kandungan nutrien di pantai dan saluran air di daratan. Karakteristik kimia dan biologi dari limbah domestik telah digunakan sebagai indikator kontaminasi limbah domestik, dan untuk mengidentifikasi daerah yang terkontaminasi dan mempunyai potensi terhadap bahaya kesehatan (Hatcher and McGillivray, 1979). Intestinal mikroorganisme, khususnya kelompok *coliform*, telah digunakan sejak lama sebagai indikator kualitas sanitasi air (Walker *et al.* 1982).

Pada umumnya untuk menentukan secara langsung tiap organisme patogen tidak mudah dan atau membutuhkan biaya yang tidak murah, sehingga untuk kebutuhan pengelolaan kualitas air digunakan tingkat keberadaan organisme indikator. Pengukuran organisme indikator umumnya relatif mudah dan jumlahnya banyak pada feses manusia maupun hewan. Keberadaan organisme indikator tersebut di alam menunjukkan adanya kontaminasi limbah domestik, sehingga keberadaan organisme patogen harus diwaspadai (Dutka *et al.*, 1974 ; Chapra, 1997)

Selama ini organisme indikator tentang adanya kontaminasi limbah domestik ditentukan berdasarkan jumlah mikroorganisme intestinal (Chapra, 1997), khususnya kelompok bakteri *coliform*, yaitu :

1. *Total coliform (TC)*

Merupakan kelompok besar bakteri anaerob. *Escherichia coli* dan *Aerobacter aerogenes* merupakan bakteri yang dominan dari kelompok ini, dan terdapat pada tanah baik yang terpolusi maupun tidak dan juga pada feses hewan berdarah panas.

2. *Fecal coliform (FC)*

Merupakan bagian dari *total coliform* yang berasal dari intestinal hewan berdarah panas.

3. *Fecal streptococci (FS)*

Terdiri dari *Streptococcus faecalis* (berasal dari manusia), *Streptococcus bovis* (berasal dari sapi) dan *Streptococcus equinus* (berasal dari kuda).

Seperti tersebut di atas bahwa hampir di setiap badan air (baik air alam maupun air buangan) terdapat bakteri-bakteri. Bakteri-bakteri patogen yang bermacam-macam dan konsentrasinya agak rendah menyebabkan bakteri-bakteri tersebut sulit dideteksi. Analisa mikrobiologis untuk bakteri-bakteri tersebut biasanya berdasarkan "organisme petunjuk" ("*indicator organism*"). Menurut Alaerts (1984) bakteri-bakteri ini menunjukkan adanya pencemaran oleh tinja atau hewan berdarah panas, dan mudah dideteksi. Dengan demikian bila organisme tersebut ditemui dalam sampel air, berarti air tersebut tercemar oleh tinja dan ada kemungkinan cukup besar bahwa air tersebut mengandung bakteri patogen, dan sebaliknya jika tidak ditemui bakteri tersebut air tidak tercemar oleh tinja dan air tidak mengandung bakteri patogen asal tinja.

MPN/100 ml pada jarak 4,5 km. Penurunan kandungan jumlah menunjukkan bahwa bakteri *coliform* cenderung kurang tahan terhadap salinitas tinggi.

Radjasa (2001), menyatakan ada mikroba kelompok tertentu mengalami status “*Viable But Nonculturable*” (VBNC), dimana mikroba kehilangan kemampuan untuk membentuk koloni pada permukaan lempeng agar yang berisi media yang umum digunakan untuk menumbuhkannya, sehingga tidak terdeteksi dengan prosedur standar analisa, tetapi tetap memiliki kemampuan mempertahankan aktivitas metaboliknya. Adapun faktor-faktor yang dapat menyebabkan mikroba memasuki keadaan VBNC antara lain adalah : perubahan suhu yang mendadak, sinar, umur fisiologi kultur, tingkat kandungan nutrisi, kadar garam, xenobiotik, antibiotik, klorin, dan senyawa kimia lain.

2. Pengaruh aktivitas manusia

Pada daerah perkotaan yang padat pemukiman dan aktivitas industri, tekanan terhadap lingkungan akan meningkat dengan adanya peningkatan volume limbah industri yang bersifat toksik dan bersuhu tinggi (Walker *et al.*, 1982), dan rendahnya kandungan oksigen terlarut pada aliran buangan yang masuk ke perairan pantai. Goterman (1975) dalam Murtiati (1987) menyatakan bahwa faktor utama yang berhubungan dengan faktor populasi bakteri ini di perairan antara lain adalah temperatur, DO, pH dan curah hujan. Selain faktor tersebut tekanan osmose, kelembaban, sinar gelombang pendek seperti sinar ultra violet juga mempengaruhi kehidupan bakteri ini.

Pada kondisi tersebut, pemanfaatan bakteri *fecal coliform* sebagai indikator biologi pencemaran limbah domestik tidak dapat mencerminkan kondisi lapangan, karena tidak terdeteksinya bakteri *fecal coliform* akibat ketidak sesuaian lingkungan

untuk tempat tumbuh dan berkembangbiaknya yang dapat menyebabkan kematian dan atau bakteri *fecal coliform* memasuki keadaan VBNC.

2.1.7. Monsun

Pola angin yang sangat berperan di Indonesia adalah angin musim (monsun). Menurut Prawirowardoyo (1996) angin monsun adalah angin atau sistem sirkulasi udara yang berbalik arah secara musiman yang disebabkan oleh perbedaan sifat termal antara benua dan lautan. Lebih lanjut dijelaskan bahwa pada musim panas benua merupakan pusat tekanan rendah dan angin atau sirkulasi udara berlangsung dari lautan ke benua tersebut. Akan tetapi sebaliknya pada musim dingin suhu benua lebih kecil daripada suhu lautan di sekitarnya sehingga benua merupakan pusat tekanan tinggi dan sirkulasi udara berlangsung dari benua ke lautan.

Monsoon di Indonesia adalah bagian dari monsoon Asia Timur dan Asia Tenggara. Di Indonesia dikenal dua musim monsun yang masing-masing meliputi bulan Desember-Januari-Februari dan Juni-Juli-Agustus. Penentuan kedua musim monsoon tersebut didasarkan pada sifat angin monsun, yaitu kemantapan dan kecepatannya (Prawirowardoyo, 1996).

Menurut Nontji (1993), bulan-bulan Desember, Januari, dan Pebruari adalah musim dingin di belahan bumi bagian utara dan musim panas di belahan bumi selatan, sehingga terdapat pusat tekanan tinggi di atas daratan asia dan pusat tekanan rendah di atas daratan Australia. Keadaan ini menyebabkan angin berhembus dari daratan Asia menuju Australia, yang di Indonesia dikenal sebagai Angin Musim Barat atau Monsun Barat. Hal sebaliknya terjadi pada Bulan Juli hingga Agustus, yang dikenal dengan Musim Barat atau Monsun Timur.

Koesmaryono dan Handoko (1988), menyebut monsun barat dan monsun timur dengan istilah musim basah dan musim kering. Musim basah terjadi pada bulan Desember hingga Maret, dimana daerah Indonesia bagian timur dipengaruhi oleh angin pasat Timur Laut yang datang dari Samudra Pasifik yang kaya uap air. Sedangkan daerah Indonesia bagian barat dipengaruhi oleh masa udara yang berasal dari Antisiklon musim dingin dari benua Asia dan karena berinteraksi dengan samudra Indonesia udara kaya uap air. Sementara, musim kering terjadi pada bulan Juni hingga September, dimana akan bertiup angin Tenggara dan bersifat kering. Oleh karena itu daerah yang dilewati oleh angin ini umumnya memiliki curah hujan yang rendah. Perbedaan monsun barat dan timur menurut Lakitan (1997) adalah arah angin yakni monsun barat yang berasal dari arah laut yang selanjutnya disebut musim penghujan dan musim kemarau jika angin bertiup dari daratan.

2.2. Original Penelitian

Koprostanol telah banyak diusulkan oleh para peneliti sebagai indikator pencemaran limbah domestik. Sifat koprostanol yang lebih persisten terhadap tekanan lingkungan yang tinggi dibandingkan dengan bakteri *coliform* diharapkan dapat menjadi alternatif indikator pencemaran limbah domestik.

Keberadaan bakteri *coliform* sebagai indikator pencemaran air oleh limbah domestik selama ini, sesungguhnya memiliki kendala yang disebabkan oleh sensitivitas bakteri *coliform* terhadap tekanan lingkungan. Tekanan lingkungan yang tinggi dapat terjadi akibat logam-logam berat yang berasal dari limbah industri dan atau pertanian, yang berpengaruh terhadap perubahan suhu perairan dan bersifat toksik. Air laut yang memiliki salinitas yang tinggi juga merupakan faktor penghambat bagi pertumbuhan bakteri *coliform*.

Eksistensi dan kandungan koprostanol dan bakteri *coliform* di perairan dan sedimen diharapkan dapat menunjukkan eksistensi dan kandungan limbah domestik sampai perairan laut pada daerah yang mempunyai tingkat kontaminasi atau pencemaran perairan yang bervariasi. Tingkat kontaminasi atau pencemaran suatu daerah ditunjukkan dengan banyaknya jumlah penduduk di sekitar aliran sungai, industri, dan atau aktifitas lain yang berpotensi mempengaruhi penurunan kualitas perairan.

2.3. Hipotesis

Hipotesis yang mendasari dan akan dibuktikan dalam penelitian ini adalah :

1. H₀ : Ada beda nyata eksistensi koprostanol dan bakteri *coliform* pada lokasi dengan berbagai kontaminasi;
H₁ : Tidak ada beda nyata eksistensi koprostanol dan bakteri *coliform* pada lokasi dengan berbagai kontaminasi;
H₀ : Ada beda nyata eksistensi koprostanol dan bakteri *coliform* pada lingkungan perairan sungai, muara, dan pantai;
H₁ : Tidak ada beda nyata eksistensi koprostanol dan bakteri *coliform* pada lingkungan perairan sungai, muara, dan pantai;
2. Koprostanol berpotensi sebagai alternatif indikator kontaminasi limbah domestik

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Tahapan Penelitian

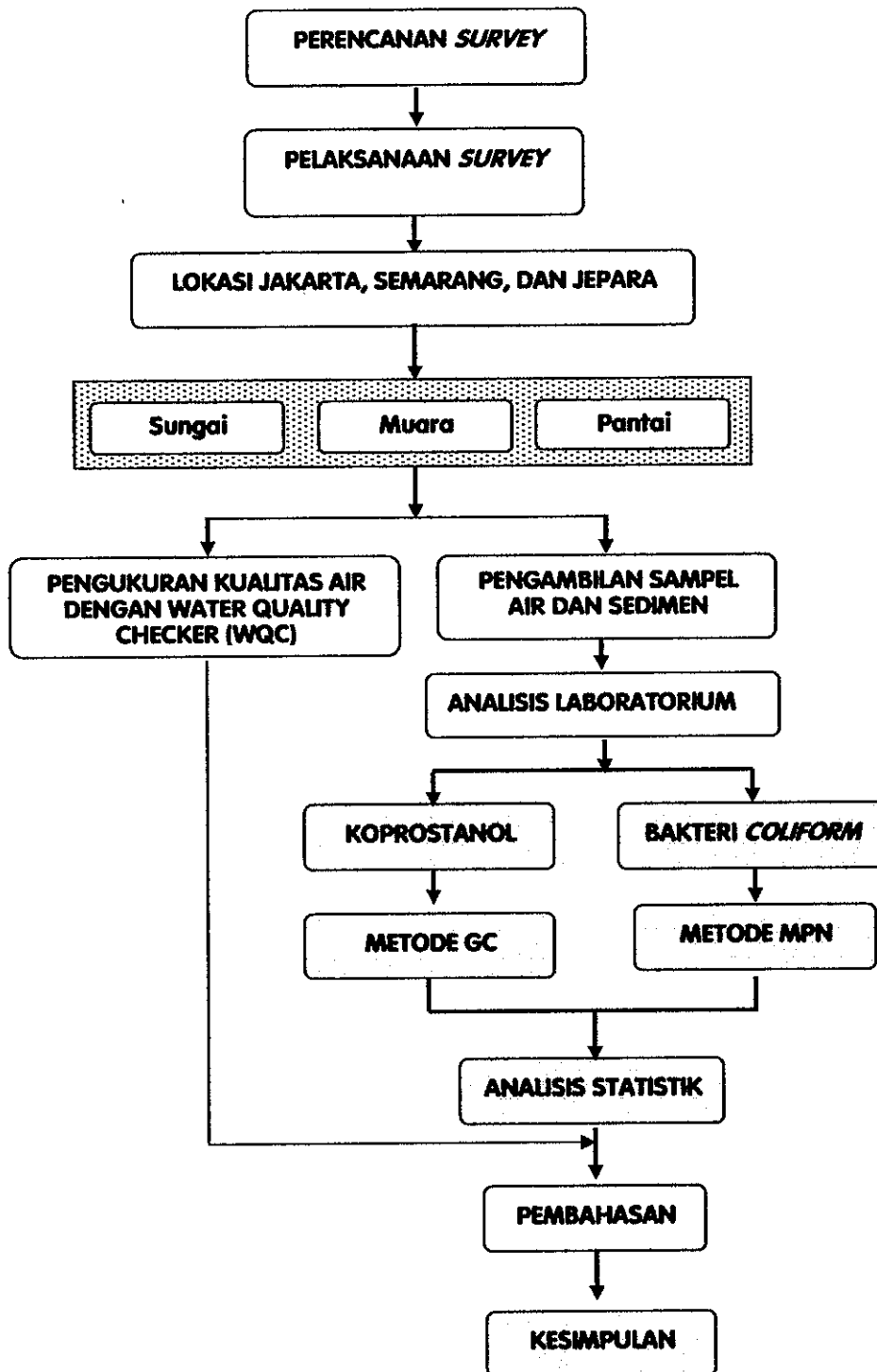
Limbah domestik berpotensi sebagai sumber pencemar selain jenis limbah yang lain, sehingga eksistensinya perlu diwaspadai dengan mencari indikator alternatif yaitu koprostanol.

Indikator alternatif ini diperlukan karena bakteri *coliform* yang selama ini dimanfaatkan sebagai indikator memiliki keterbatasan, dan penerapannya di berbagai lingkungan perairan menemui permasalahan.

Hasil analisis yang diperoleh dalam penelitian ini, merupakan hasil uji laboratorium konsentrasi koprostanol dan bakteri *coliform*, serta uji statistika dari sampel air dan sedimen yang diambil di 3 (tiga) daerah yang mempunyai kondisi kontaminasi yang bervariasi (Jakarta, Semarang, dan Jepara) dan 3 (tiga) kondisi lingkungan perairan (sungai, muara, dan pantai). Penetapan lokasi penelitian dan tingkat kontaminasi atau pencemaran suatu perairan ditetapkan dengan mempertimbangkan beban cemar yang diterima oleh perairan, jumlah dan jenis sumber pencemar, studi literatur, serta pengamatan lapangan. Selain itu, jumlah penduduk merupakan salah satu tolok ukur tinggi rendahnya beban cemar yang diterima badan air.

Adapun tahapan penelitian dapat dijelaskan pada Gambar 3 sebagai berikut :

UPT-PUSTAK-UNDIP



Gambar 3. Tahapan Penelitian

3.2. Ruang Lingkup/Fokus Penelitian

Lingkup penelitian meliputi uji laboratorium tentang konsentrasi koprostanol dan bakteri *coliform* pada sampel air dan sedimen di sungai, muara, dan laut di 3 (tiga) daerah penelitian. Sampel yang telah diuji secara laboratorium merupakan data tentang eksistensi koprostanol dan bakteri *coliform* di perairan serta parameter kondisi lingkungan, yang akan dianalisis lebih lanjut.

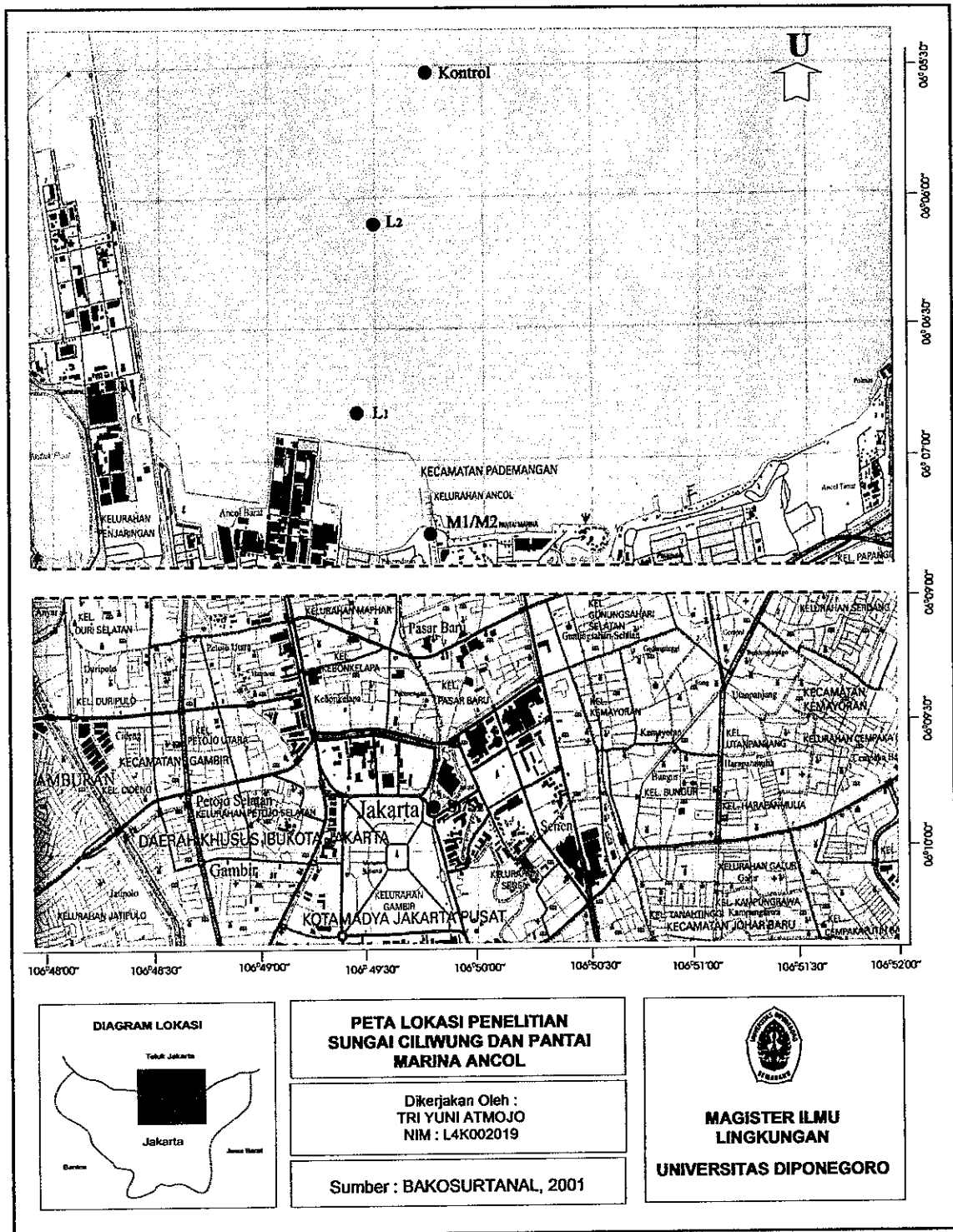
3.3. Lokasi

Lokasi penelitian yang dipilih diharapkan dapat mewakili berbagai kondisi lingkungan pada lingkungan perairan sungai, muara, dan pantai di kota :

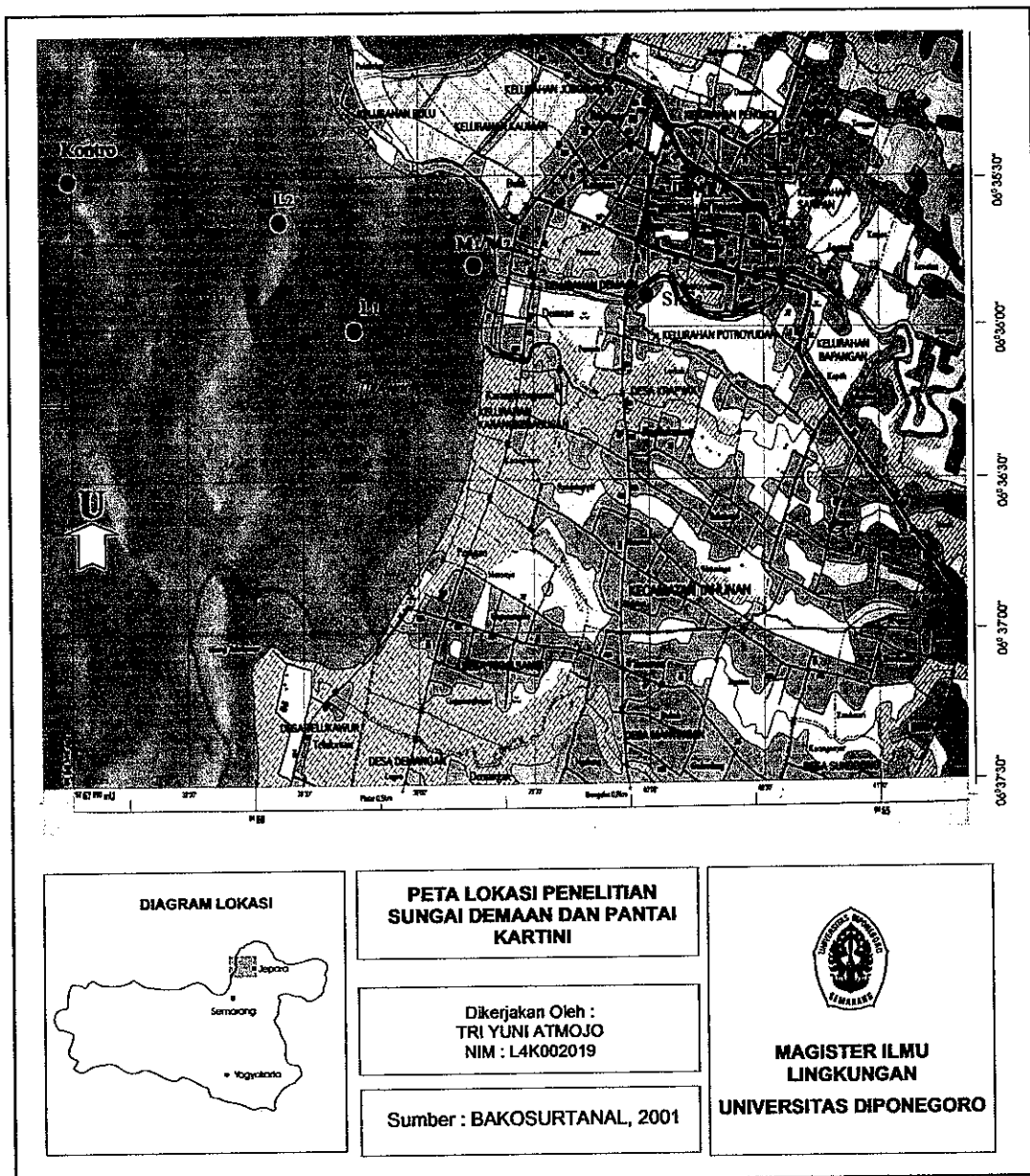
- a. Jakarta, mewakili kondisi lingkungan terkontaminasi tinggi pada sungai Ciliwung (Gambar 4);
- b. Semarang, mewakili kondisi lingkungan terkontaminasi sedang pada sungai Banjir Kanal Timur (Gambar 5), dan
- c. Jepara, mewakili kondisi lingkungan terkontaminasi rendah pada sungai Demaan (Gambar 6).

3.4. Parameter yang diamati

Variabel penelitian dan fenomena yang diamati meliputi konsentrasi dan pola eksistensi koprostanol dan bakteri *coliform* di kolom air dan sedimen pada lingkungan perairan sungai, muara, dan pantai di 3 (tiga) daerah penelitian.



Gambar 4. Lokasi dan titik sampling di Jakarta



Gambar 6. Lokasi dan titik sampling di Jepara

3.5. Jenis dan Sumber Data

Data yang diambil sebagai bahan analisis dapat dibedakan menjadi dua jenis yang ditunjukkan pada Tabel 2 sebagai berikut :

Tabel 2. Jenis dan sumber data

Jenis data	Sumber data	Keterangan
Primer	1. Pengamatan lapangan dan pengukuran lapangan	1. Kondisi fisik lingkungan; DO, pH, Salinitas, Suhu, kedalaman, dan, Turbiditas
	2. Analisis laboratorium	2. Konsentrasi koprostanol, <i>coliform</i> , TOC, Ukuran dan jenis butir sedimen
Sekunder	1. Pustaka ;	1. Hasil penelitian lain yang relevan;
	2. Buku laporan dari Instansi terkait yang meliputi ; BPS, Bappeda, Bappedal, dan BMG.	2. Demografi sosial penduduk; curah hujan; pasang surut; arah dan kecepatan angin,; tata guna lahan dan data pendukung lain yang terkait.

3.6. Instrumen Penelitian

1. Meliputi bahan dan peralatan yang dapat disajikan pada Tabel 3 dan 4 sebagai berikut.

Tabel 3. Bahan

No	Nama Bahan
1	Sampel sedimen
2	<i>LB Broth (McConkey agar)</i>
3	Endo-agar
4	<i>Brilliant green lactose bile broth</i>
5	Spirtus
6	Alkohol
7	<i>Aquades</i>

Tabel 4. Peralatan

No.	Nama Alat	Kegunaan
1	<i>Grab sampler</i>	Pengambilan sampel sedimen permukaan dasar perairan
2	GPS	Menentukan posisi daerah penelitian
3	<i>Cool box</i>	Menyimpan sampel sedimen dan air
4	<i>Autoclave</i>	Sterilisasi alat dan bahan
5	<i>Bunsen</i>	Sterilisasi / kerja secara aseptis
6	Karet	Pengikat
7	Kapas	Sumbat penutup
8	Kertas label	Alat bantu tulis
9	<i>Erlenmeyer</i>	Tempat pengenceran
10	Tabung reaksi	Tempat pengenceran inokulan
11	Pipet ukur	Memindahkan media cair
12	Mikro pipet	Memindahkan media cair pengenceran
13	Gelas ukur	Mengukur media cair
14	<i>Backer glass</i>	Tempat pembuatan medium
15	Timbangan analitik	Mengukur berat
16	<i>Petridish</i>	Inokulasi bakteri
17	Plastik sampel	Tempat sampel sedimen
18	Perahu	Alat transportasi
19	<i>Parafilm</i>	Membungkus tabung reaksi dan petridish
20	<i>Rotary evaporator</i>	Membuat pekat ekstrak hingga mendekati kering
21	<i>Oven</i>	Menempatkan sampel sedimen agar kering
22	<i>Hitachi 263-50 Gas Chromatography</i>	Analisis koprostanol
23	<i>HP-septum-capped</i>	Preparasi sterol sebelum masuk ke khromatografi gas
24	Lemari pendingin	Tempat semua sampel sedimen sebelum analisis khromatografi gas

2. Statistika, digunakan untuk menguji hipotesis dengan menggunakan perangkat lunak Seri Program Statistik (SPS) 2000 (Hadi, 2000).

3.7. Populasi dan atau Teknik Pengambilan Sampel

3.7.1. Penetapan stasiun sampling

Sampel air dan sedimen diambil di 7 (tujuh) stasiun untuk masing-masing lokasi Jakarta, Semarang, dan Jepara. Stasiun yang ditetapkan diharapkan dapat mewakili kondisi lingkungan perairan sungai, muara, pantai. Stasiun sampling pada lingkungan perairan sungai ditetapkan pada posisi terbawah (hilir) yang tidak dipengaruhi oleh kondisi perairan muara, sementara stasiun sampling perairan pantai ditentukan dengan metoda *radial grid sampling* dengan jarak ± 2 km dari muara, dan stasiun kontrol ditetapkan pada jarak ± 5 km dari muara (Gambar 4, 5, dan 6).

3.7.2. Pengukuran parameter kualitas perairan

Pengukuran kualitas perairan dilakukan secara langsung di lapangan dengan *Water Quality Checker* TOA WQC-22A, yang meliputi : *Temperatur* ($^{\circ}$ C), *Dissolved Oksigen* (DO), pH, dan Salinitas. Adapun cara pengukurannya sebagai berikut :

1. Alat dikalibrasi sebelum dipakai untuk pengukuran, sesuai dengan parameter yang akan diukur ;
2. Tombol disesuaikan dengan parameter yang akan diukur ;
3. Elektroda dimasukkan secara sempurna ke dalam air (sampel);
4. Setelah beberapa menit dengan elektoda dicelup ke dalam air dan digoyang 2-3 kali untuk menghilangkan gelembung yang berada di ujung elektroda;
5. Setelah harga parameter muncul pada layar dan setelah pembacaan stabil, maka harga tersebut dicatat;
6. Harga parameter yang telah dicatat merupakan nilai kualitas air.

3.7.3. Sampling

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. 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.

3.8. Teknik Analisis

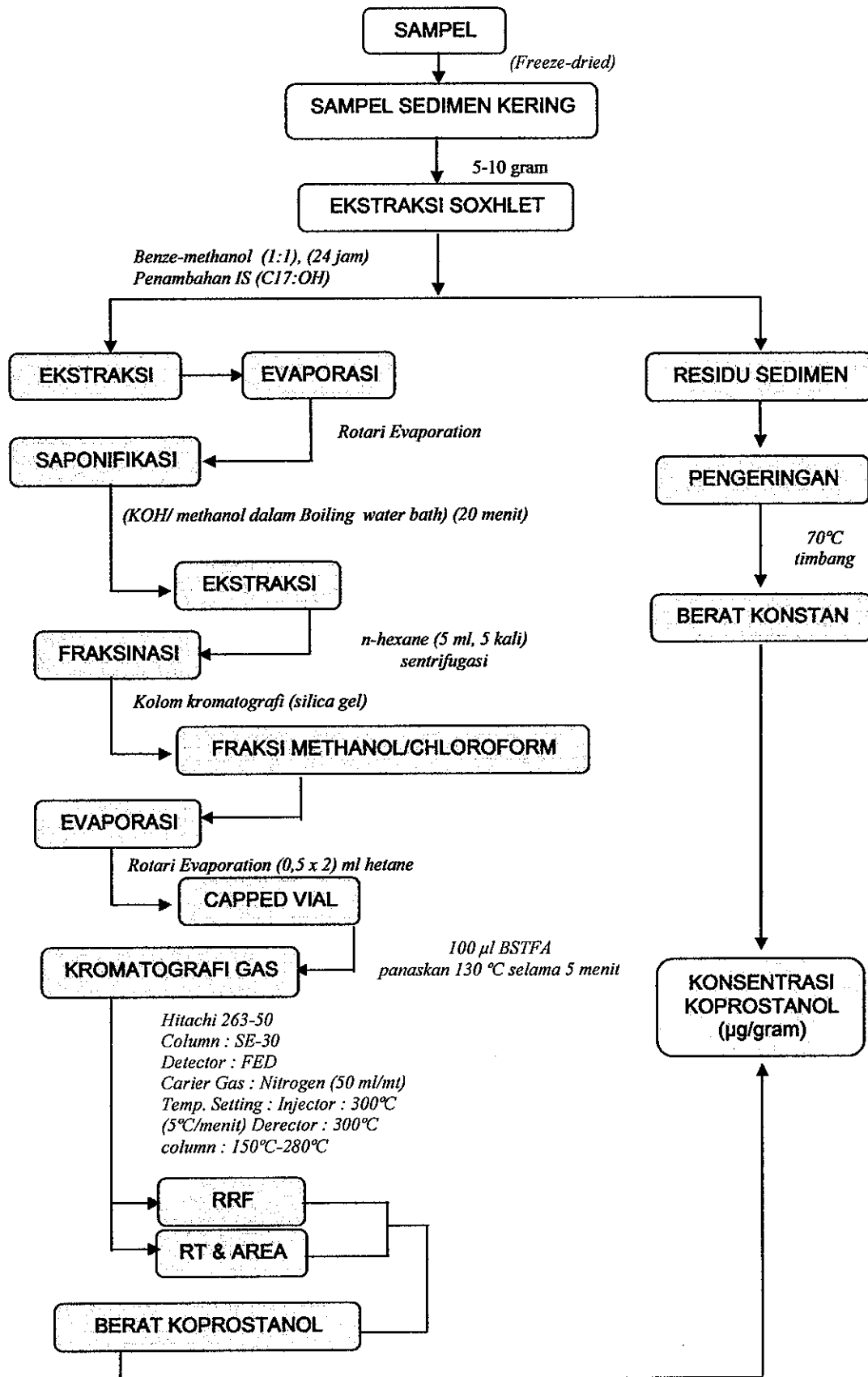
Analisa meliputi konsentrasi berbagai parameter dan data sebagai berikut.

3.8.1. Analisis Koprostanol

Analisa koprostanol dilakukan di laboratorium Kimia dan Fisika Pusat (LAKFIP) UGM Yogyakarta dengan menggunakan metoda yang telah dilakukan oleh Bachtiar *et al.* (1996). Semua *solvent* yang digunakan merupakan *HPLC grade*, dan semua *reagent* merupakan *reagent grade*, serta semua *glassware* telah didistilasi. Prosedur analisisnya dapat dijelaskan pada Gambar 7:

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 :

$$RRF = \left(\frac{mg.Cop(std)}{areaCop.(std)} \right) \times \left(\frac{areaC_{18}:OH(std)}{mgC_{18}:OH(std)} \right) \dots\dots\dots (1)$$



Gambar 7. Tahapan Kegiatan Analisis Koprostanol

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

$$\mu\text{gCop} = \frac{\text{RRF} \times \text{Area Koprostanol} \times \mu\text{g IS}}{\text{Area IS}} \dots\dots\dots(2)$$

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

Dimana :

RRF	= <i>Relative Response Factor</i>
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

3.8.2. Analisis Bakteri *Coliform*

A. Pembuatan media

Beberapa bahan dan cara kerja pembuatan media adalah sebagai berikut :

1. Bahan dan dosis pembuatan Media LB (*Lactose Broth*) lihat Tabel 5 berikut :

Tabel 5. Bahan pembuatan media LB

No	Bahan	Dosis
1.	<i>Meat extract</i>	3 g
2.	<i>Peptone</i>	3 g
3.	<i>Lactosa</i>	5 g
4.	<i>Aquades</i>	1 lt

Cara pembuatan ;

Meat extract, *Peptone*, *Lactosa* dilarutkan ke dalam 1 liter aquades dan dimasukkan ke dalam tabung yang berisi tabung Durham, dan disterilisasi dengan autoclave pada suhu 121⁰ C dengan tekanan 2 atm selama 20 menit, lalu didinginkan.

2. Bahan dan dosis pembuatan Media BGLB (*Brilliant Green Lactose Bile Broth*) lihat Tabel 6 sebagai berikut :

Tabel 6. Bahan Pembuatan Media BGLB

No	Bahan	Dosis
1.	<i>Peptone</i>	10 g
2.	<i>Lactosa</i>	10 g
3.	<i>Oxgall</i>	20 g
4.	<i>Brilliant green</i>	0,0133 g
5.	<i>Aquades</i>	1 lt

Cara pembuatan :

Peptone, *Lactosa*, *Oxgall*, *Brilliant green* dilarutkan ke dalam 1 liter aquades dan dimasukkan ke dalam tabung yang telah diberi tabung Durham yang diletakkan secara terbaik sebelumnya. Selanjutnya disterilisasikan dalam autoclave pada suhu 121⁰ C selama 20 menit pada tekanan 2 atm.

3. Bahan dan dosis pembuatan Media Endo Agar (EA) dapat dilihat pada Tabel 7 sebagai berikut.

Tabel 7. Bahan Pembuatan Media Endo Agar

No	Bahan	Dosis
1.	<i>Bacto peptone</i>	10 g
2.	<i>Bacto lactose</i>	10 g
3.	<i>Diphotassium phosphate</i>	3,5 g
4.	<i>Bacto agar</i>	15 g
5.	<i>Bacto basic fuchsin</i>	0,5 g
6.	<i>Sodium sulfite</i>	2,5 g
7.	<i>Aquades.</i>	1 lt

Cara pembuatan :

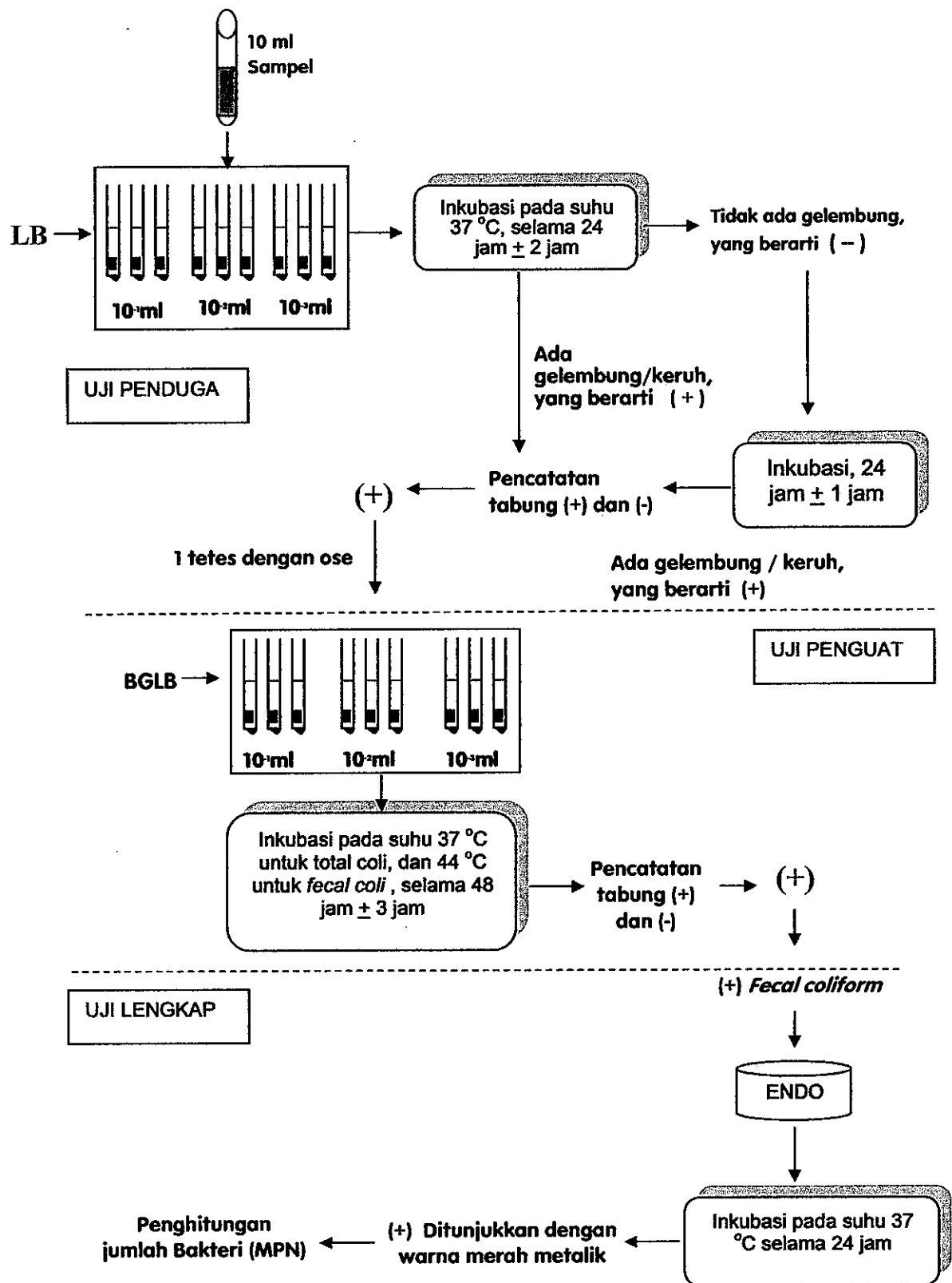
Semua bahan Endo agar dimasukkan ke dalam 1 liter aquades, kemudian disterilisasi dalam autoclave pada suhu 121⁰ C tekanan 1 atm.

B. Tahapan Analisis Bakteri *Coliform*

Menurut Pelczar dan Chan (1988), untuk mempercepat pemeriksaan organisme *coliform* digunakan media selektif dan diferensial yang dilakukan dengan 3 (tiga) langkah, dan dapat dijelaskan pada Gambar 7, yaitu meliputi :

1. Uji penduga (*presumptive test*)

- a. Disiapkan tabung fermentasi yang di dalamnya berisi tabung durham dan media "*LB Broth* " sesuai dengan kebutuhan. Tiap tabung berisi 10 ml media "*lauryl tryptose*";
- b. Contoh air diinokulasikan pada tabung fermentasi yang berisi media "*LB Broth*" berturut-turut 10 ml, 1 ml dan 0,1 ml masing-masing 3 tabung; kemudian diinkubasikan pada suhu 37⁰C selama 24 jam ± 2 jam;



Gambar 2. Langkah analisis bakteri coliform

- c. Produksi gas dalam tabung-tabung fermentasi yang terperangkap diamati, kemudian dicatat jumlah tabung (+) dari tiap kelompok pemberian contoh air, misalnya 3 (+) untuk tabung yang ditambah 10 ml contoh air, 2 (+) untuk yang ditambah 1 ml contoh air dan 1 (+) untuk yang ditambah 0,1 ml contoh air;
- d. Tabung-tabung yang belum menghasilkan gas (-) diinkubasikan lagi 24 jam sehingga total waktu inkubasi menjadi 48 jam \pm 3 jam;
- e. Dicatat lagi tabung fermentasi yang memproduksi gas (+) dan media yang keruh.

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 dengan cara :

- a. Tabung-tabung fermentasi yang berisi masing-masing 10 ml media "*brilliant green lactose bile broth*" steril disiapkan sesuai dengan kebutuhan;
- b. Secara aseptis diinokulasikan 1 tetes ose uji penduga (+) ke dalam tabung-tabung fermentasi yang berisi media "*brilliant green lactose bile broth*" dengan menggunakan ose yang diameternya \pm 3 mm;
- c. Diinkubasikan pada suhu 37°C selama 48 jam \pm 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, dengan cara sebagai berikut :

- a. Media agar endo dalam cawan petri disiapkan ;
- b. Dichelupkan ose ke dalam tabung-tabung fermentasi yang positif dari uji penguat dan goreskan pada permukaan media Endo-agar;
- c. Cawan-cawan petri tersebut diinkubasikan secara terbalik pada suhu 37°C selama $24 \text{ jam} \pm 2 \text{ jam}$
- d. Pertumbuhan bakteri *coliform* yang positif ditunjukkan adanya koloni warna merah metalik pada permukaan media Endo-agar;
- e. Koloni-koloni yang positif dari salah satu media agar tersebut di atas, segera :
 - 1). Diinokulasikan ke dalam tabung-tabung yang berisi media fermentasi *lauryl tryptose bile broth*. Inkubasi pada suhu 37°C selama 24-48 jam ± 3 jam. Tabung-tabung yang menghasilkan gas dan keruh berarti positif terdapat bakteri *coliform*;
 - 2). Digoreskan pada permukaan agar-nutrien miring dan diinkubasi pada suhu 37°C selama 18-24 jam, kemudian dilakukan pengecatan gram.

4. Perhitungan Jumlah Bakteri *Coliform*

Metode yang digunakan untuk perhitungan bakteri *coliform* adalah metode MPN (*Most Probable Number*). MPN adalah banyaknya kurang lebih mikroorganisme per 100 ml sampel air (Nirnama, 1992). MPN bakteri *coliform* dihitung berdasarkan jumlah tabung yang positif pada uji penguat, atau jumlah tabung positif pada uji lengkap (Winarno, 1986). Dalam penelitian ini digunakan uji penguat dengan pengenceran menggunakan seri 3 tabung, dan perhitungan MPN didasarkan atas jumlah tabung yang bereaksi positif dan negatif dari 3 pengenceran yang berurutan sebagaimana pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Indeks MPN / 100 ml untuk berbagai kombinasi hasil positif dan negatif memakai 3 jumlah tabung dengan pengenceran 10 ml, 1 ml dan 0.1 ml

Kombinasi tabung yang positif	Indeks JPT per 100 ml	Kombinasi tabung yang positif	Indeks JPT per 100 ml
0-0-0	< 3	2-0-2	20
0-0-1	3	2-0-3	26
0-0-2	6	2-1-0	15
0-0-3	9	2-1-1	20
0-1-0	3	2-1-2	27
0-1-1	6	2-1-3	34
0-1-2	9	2-2-0	21
0-1-3	12	2-2-1	28
0-2-0	6	2-2-2	35
0-2-1	9	2-2-3	42
0-2-2	12	2-3-0	29
0-2-3	16	2-3-1	36
1-0-0	4	2-3-2	44
1-0-1	7	2-3-3	53
1-0-2	11	3-0-0	23
1-0-3	15	3-0-1	39
1-1-0	7	3-0-2	64
1-1-1	11	3-0-3	95
1-1-2	15	3-1-0	43
1-1-3	19	3-1-1	75
1-2-0	11	3-1-2	120
1-2-1	15	3-1-3	160
1-2-2	20	3-2-0	93
1-2-3	24	3-2-1	150
1-3-0	16	3-2-2	210
1-3-1	20	3-2-3	290
1-3-2	24	3-3-0	240
1-3-3	29	3-3-1	460
2-0-0	9	3-3-2	1100
2-0-1	14	3-3-3	> 1100

Sumber : Hutagalung et al. (1997)

3.8.3. Analisis Kandungan Organik Total Sedimen

Untuk menentukan kandungan organik total di sedimen ditentukan dengan menggunakan metode pengabuan, dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Sampel yang telah dikeringkan (*freeze-dried*) dihomogenkan, kemudian diambil sebanyak 10 – 15 gram sampel yang akan dianalisis, untuk dihilangkan kandungan kalsium karbonat (CaCO_3) dengan menggunakan 1 N HCL.
2. Sampel dicuci dengan aguada dan dikeringkan dalam oven (70°C) selama semalam, kemudian ditimbang kembali berat kering sampel.
3. Sampel yang telah diketahui berat awalnya tersebut kemudian dimasukkan ke dalam pemanggan pada suhu 550°C selama 2 jam.
4. Setelah sampel kembali dingin, segera ditimbang kembali berat sampel tersebut.
5. Kandungan total organik dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$\text{Kandungan Total Organik (\%)} = \frac{W_s - W_r}{W_s} \times 100 \quad (4)$$

Dimana :

W_s = berat sampel sedimen kering

W_r = berat inorganik residu

3.8.4. Analisis Karakteristik 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 $< 2 \mu\text{m}$.

Tahap penentuan ukuran butir dan jenis sedimen dilakukan melalui dua tahap, yaitu pengayakan kering (*dry sieving*) dan pengayakan basah (*wet sieving*), Adapun tahapan analisis ukuran butir dan jenis sedimen adalah :

a. Tahap Pengayakan kering (*dry sieving*).

- 1). Sampel yang telah dikeringkan, untuk menghilangkan agregat kemudian dilakukan pengayakan dengan diameter 2 mm ; selanjutnya untuk menghilangkan lapisan organik ditambahkan H_2O_2 dalam 1 liter erlenmeyer ;
- 2). Kemudian sampel dicuci dengan aquades dan ditambahkan 1 N HCL untuk menghilangkan kandungan CaCO_3 ;

b. Tahap Pengayakan Basah (*wet sieving*).

- 1). Sampel ditambah aquades kemudian dilakukan pengayakan basah dengan diameter 63 μm ;
- 2). Sampel yang lolos pada pengayakan ($< 63 \mu\text{m}$) merupakan fraksi debu dan lempung, sedangkan yang tertinggal ($> 63 \mu\text{m}$) adalah fraksi pasir;
- 3). Untuk fraksi debu dan lempung setelah ditampung dengan menggunakan metode pipet di dalam tabung sedimen dikeringkan dan tiap sampel ditimbang

berat keringnya, sementara untuk fraksi pasir sampel dikeringkan dalam oven kemudian ditimbang berat keringnya atau dilakukan pengayakan dengan *saive shaker* kemudian ditimbang berat tiap fraksinya.

- 4). 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

3.8.5. Analisis Statistik

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

1. a). Uji beda eksistensi antara koprostanol dan bakteri *coliform* pada 3 (tiga) lokasi dengan berbagai kondisi kontaminasi;
b). Uji beda eksistensi antara koprostanol dan bakteri *coliform* pada lingkungan perairan sungai, muara, dan pantai;
2. Kelayakan koprostanol sebagai indikator alternatif kontaminasi limbah domestik didasarkan atas eksistensinya di berbagai lingkungan (sungai, muara, dan pantai) di 3 lokasi penelitian (Jakarta, Semarang, dan Jepara).

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Rona Lingkungan Daerah Penelitian

4.1.1. Lokasi Penelitian Jakarta

Kota Jakarta mewakili daerah dengan tingkat pencemaran tinggi memiliki letak geografis sebelah utara pada letak lintang $6^{\circ}3'LS$ dengan batas wilayah laut Jawa, sebelah selatan pada letak lintang $6^{\circ}20'LS$ dengan batas wilayah Kota Bogor, sebelah barat pada letak lintang $106^{\circ}48'BT$ dengan batas wilayah Propinsi Banten dan sebelah timur pada letak lintang $107^{\circ}10'BT$ dengan batas wilayah Kota Bekasi. Luas wilayah kota Jakarta tercatat $661,52 \text{ km}^2$ yang terdiri dari 5 wilayah kota yaitu Jakarta Selatan, Jakarta Timur, Jakarta Pusat, Jakarta Barat dan Jakarta Utara. Keadaan iklim DKI Jakarta memiliki rata-rata curah hujan $1896,8 \text{ mm/tahun}$. Rata-rata tekanan udara $1.009,5 \text{ MBS}$ dan kelembaban udara $78,1\%$. Arah angin $212,1 \text{ points}$. Kecepatan angin $3,5 \text{ m/s}$. Temperatur $27,1^{\circ}C$. Suhu udara rata-rata maksimum $33,9^{\circ}C$ dan suhu udara rata-rata minimum $22,2^{\circ}C$. Luas tanah dan penggunaannya $41.331,32 \text{ Ha}$ untuk perumahan, $4.988,53 \text{ Ha}$ untuk industri, $6.812,75 \text{ Ha}$ untuk perkantoran dan pergudangan, $1.314,23 \text{ Ha}$ untuk taman dan kegunaan lainnya seluas $11.705,17 \text{ Ha}$. (Sumber : BPS Propinsi DKI Jakarta). Anak sungai Ciliwung yang menjadi lokasi penelitian melintasi beberapa wilayah kota dengan tingkat kepadatan yang dapat dijelaskan pada Tabel 9 berikut :

UPT-PUSTAK-UNDIP

Tabel 9. Tingkat kepadatan penduduk daerah penelitian di Jakarta.

No.	Kecamatan	Luas (Ha)	Jumlah Penduduk (ribu jiwa)	Tingkat Kepadatan Penduduk (jiwa/Ha)
1.	Keramat jati	1.334	267,945	Jumlah penduduk/Luas Wilayah
2.	Jatinegara	1.064	351,236	
3.	Senen	423	92,390	
4.	Sawah besar	592	101,973	
5.	Pademangan	1.191	180,781	
	Jumlah	4.604	994,325	(216) Kelas I

Sumber : Statistik Wilayah DKI Jakarta, 2002

Kualitas perairan sungai dan muara Ciliwung, serta pantai Jakarta di lokasi penelitian dapat ditunjukkan pada Tabel 10 berikut :

Tabel 10. Kualitas rata-rata perairan Jakarta (Sungai Ciliwung).

No	Stasiun	Kedalaman (m)	DO (mg/l)	Suhu (°c)	pH	Salinitas (‰)
1.	Sungai	0,90	5,10	28,60	7,25	0,00
2.	Muara	2,05	2,29	30,10	6,70	22,00
3.	Pantai	8,43	4,94	29,75	8,03	28,05
4.	Kontrol	10,13	3,21	29,20	7,95	28,30

Sumber : Data Primer hasil pengukuran lapangan, 2003

Adapun kondisi kandungan organik dan ukuran butir sedimen perairan sungai, dan muara Ciliwung serta pantai Jakarta dapat ditunjukkan pada Tabel 11 berikut :

Tabel 11. Kandungan organik dan ukuran butir sedimen perairan Jakarta

Stasiun	TOC (%)	Prosentase Ukuran Butir (phi)		
		Sand	Silt	Clay
Sungai	32,19	10,90	21,65	67,45
Muara	24,64	11,50	18,35	70,15
Pantai	13,05	10,40	20,00	69,60
Kontrol	37,54	6,30	13,30	80,40

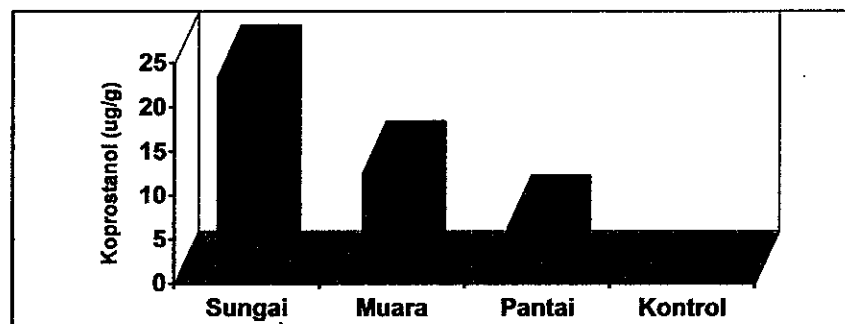
Sumber : Data Primer, 2003

Koprostanol di perairan Jakarta dapat terdeteksi pada sedimen sungai, muara, dan pantai, namun tidak terdeteksi pada kolom air. Perhitungan koprostanol dapat dilihat pada Lampiran 2 dan 3. Adapun Konsentrasi koprostanol ditunjukkan pada Tabel 12 dan Gambar 9 sebagai berikut.

Tabel 12. Konsentrasi koprostanol pada sedimen perairan Sungai Ciliwung, Muara Ancol Marina, dan Pantai Jakarta

Lingkungan	Konsentrasi Koprostanol ($\mu\text{g/g}$)
Sungai	23,38
Muara	12,51
Pantai	6,34
Kontrol	0

Sumber : Data Primer, 2003

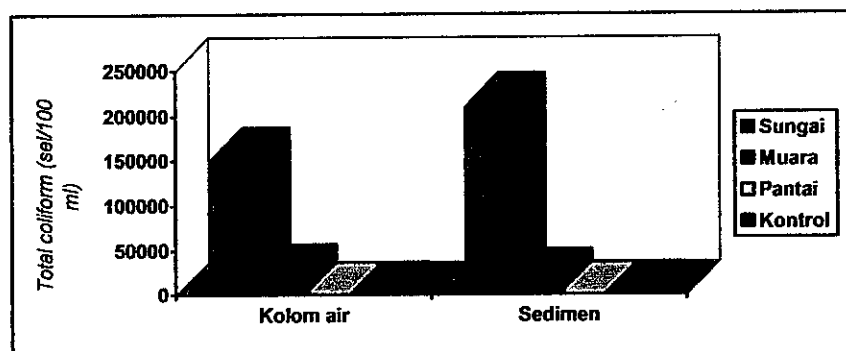
**Gambar 9.** Nilai koprostanol pada sedimen lingkungan perairan Sungai Ciliwung, Muara Ancol Marina, dan Pantai Jakarta

Coliform di perairan Jakarta dapat terdeteksi pada sedimen maupun kolom air perairan sungai, muara, dan pantai. Adapun nilai dan eksistensi koprostanol dapat dijelaskan pada Tabel 13 dan Gambar 10, 11 berikut.

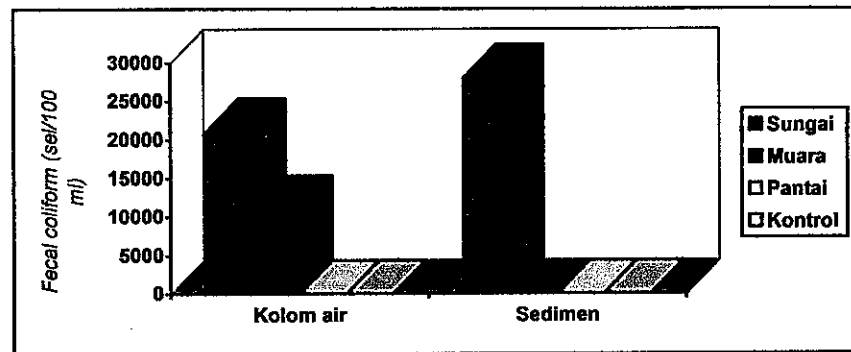
Tabel 13. Nilai *total coliform* dan *fecal coliform* pada kolom air dan sedimen perairan Sungai Ciliwung, Muara Ancol Marina, dan Pantai Jakarta

Lingkungan	Nilai <i>total coliform</i> (sel/100 ml)	Nilai <i>fecal coliform</i> (sel/100 ml)
A. Kolom air		
Sungai	1.5×10^5	2.1×10^4
Muara	2×10^4	1.1×10^4
Pantai	0	0
B. Sedimen		
Sungai	2.1×10^5	2.8×10^4
Muara	1.5×10^4	0
Pantai	0	0

Sumber : Data Primer, 2003



Gambar 10. Nilai *total coliform* pada kolom air dan sedimen lingkungan perairan Sungai Ciliwung, Muara Ancol Marina, dan Pantai Jakarta



Gambar 11. Nilai *fecal coliform* pada kolom air dan sedimen lingkungan perairan Sungai Ciliwung, Muara Ancol Marina, dan Pantai Jakarta

4.1.2. Lokasi Penelitian Semarang

Kota Semarang mewakili daerah dengan tingkat pencemaran sedang memiliki letak geografis sebelah utara pada letak lintang $6^{\circ}50'LS$ dengan batas wilayah laut Jawa, sebelah selatan pada letak lintang $7^{\circ}10'LS$ dengan batas wilayah Kabupaten Semarang, sebelah barat pada letak lintang $109^{\circ}35'BT$ dengan batas wilayah Kabupaten Kendal dan sebelah timur pada letak lintang $110^{\circ}50'BT$ dengan batas wilayah Kabupaten Demak.

Luas wilayah Kota Semarang tercatat $373,70 \text{ km}^2$ yang terdiri dari 16 wilayah kecamatan dan 177 kelurahan. Luas yang ada terdiri dari $40,03 \text{ km}^2$ (10,71%) tanah sawah dan $333,67 \text{ km}^2$ (89,29%) bukan lahan sawah. Menurut penggunaannya luas tanah sawah terbesar merupakan tanah sawah tadah hujan (51,26%) dan hanya sekitar 14 %nya saja yang dapat ditanami dua kali. Lahan kering sebagian besar digunakan untuk tanah pekarangan/bangunan yaitu sebesar 44,38% dari total lahan bukan sawah.

Menurut Badan Metrologi dan Geofisika Balai Wilayah II Stasiun Klimatologi Semarang, suhu udara rata-rata di Jawa Tengah pada tahun 1999 berkisar antara $26^{\circ}C$ sampai dengan $27,9^{\circ}C$. Kelembaban udara rata-rata bervariasi dari 69% sampai dengan 84%.

Letak kota Semarang hampir berada di tengah bentangan panjang kepulauan Indonesia dari arah barat ke timur. Akibat posisi letak geografi tersebut kota Semarang termasuk beriklim tropis dengan dua musim, yaitu musim hujan bersamaan dengan monsun barat dan musim kemarau bersamaan dengan Monsun Timur yang silih berganti sepanjang tahun. Sungai Banjir Kanal Timur yang menjadi tempat penelitian melintasi beberapa wilayah kecamatan dan tingkat kepadatan penduduk yang dapat dijelaskan pada Tabel 14 berikut :

Tabel 14. Tingkat kepadatan penduduk daerah penelitian di Semarang.

No.	Kecamatan	Luas (Ha)	Jumlah Penduduk (jiwa)	Tingkat Kepadatan Penduduk (jiwa/Ha)
1.	Gayamsari	526,330	62.429	Jumlah penduduk/Luas Wilayah
2.	Semarang Timur	770,284	84.961	
3.	Pedurungan	2.072,000	133.739	
4.	Semarang Selatan	848,046	77.813	
5.	Tembalang	871,765	99.813	
6.	Semarang Utara	1.175,275	122.744	
	Jumlah	6.263,700	581.337	(93)
Kelas I				

Sumber : Semarang Dalam Angka, 2002

Kualitas perairan sungai dan muara Banjir Kanal Timur, serta pantai di Kota Semarang pada lokasi penelitian dapat ditunjukkan pada Tabel 15 berikut :

Tabel 15. Kualitas rata-rata perairan Semarang (Banjir Kanal Timur).

No	Stasiun	Kedalaman (m)	DO (mg/l)	Suhu (°c)	pH	Salinitas (‰)
1.	Sungai	0,85	1,87	28,90	7,05	0,00
2.	Muara	0,88	4,39	27,93	7,96	21,90
3.	Pantai	5,13	5,53	28,20	8,37	28,00
4.	Kontrol	10,10	7,28	28,45	7,33	28,30

Sumber : Data Primer hasil pengukuran lapangan, 2003

Adapun kondisi kandungan organik dan ukuran butir sedimen perairan sungai, dan muara Banjir Kanal Timur serta pantai Semarang dapat ditunjukkan pada Tabel 16 berikut :

Tabel 16. Kandungan organik dan ukuran butir sedimen perairan Semarang

Stasiun	TOC (%)	Prosentase Ukuran Butir (phi)		
		Sand	Silt	Clay
Sungai	23,54	10,20	20,65	69,15
Muara	9,89	80,00	10,90	9,10
Pantai	15,64	17,95	21,45	60,60
Kontrol	39,74	1,30	11,90	86,80

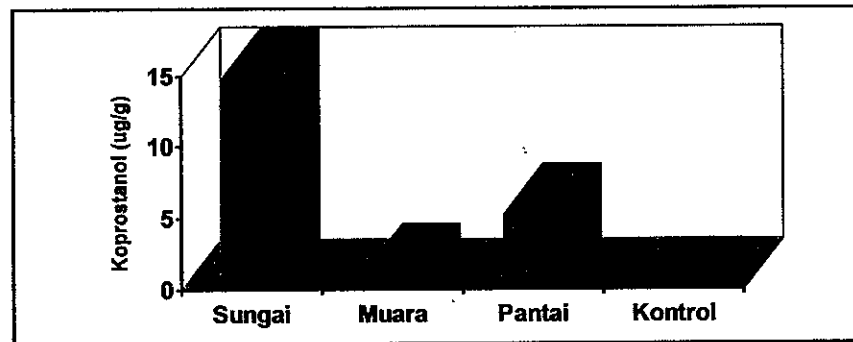
Sumber : Data Primer, 2003

Koprostanol di perairan Semarang dapat terdeteksi pada sedimen sungai, muara, dan pantai, namun tidak terdeteksi pada kolom air. Perhitungan koprostanol dapat dilihat pada lampiran 2 dan 3. Adapun Konsentrasi koprostanol ditunjukkan pada Tabel 17 dan Gambar 12 sebagai berikut.

Tabel 17. Konsentrasi koprostanol pada sedimen perairan Sungai Banjir Kanal Timur, Muara, dan Pantai Semarang

Lingkungan	Konsentrasi Koprostanol ($\mu\text{g/g}$)
Sungai	14,90
Muara	1,04
Pantai	5,25
Kontrol	0

Sumber : Data Primer, 2003



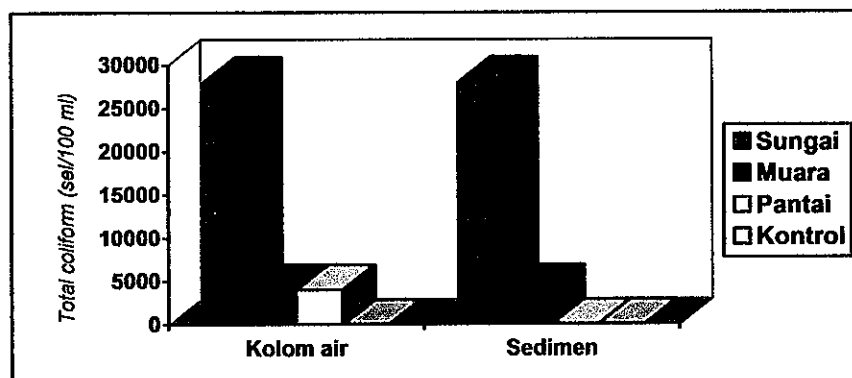
Gambar 12. Nilai koprostanol pada sedimen lingkungan perairan Sungai Banjir Kanal Timur, Muara, dan Pantai Semarang

Coliform di perairan Semarang dapat terdeteksi pada sedimen maupun kolom air perairan sungai, muara, dan pantai. Adapun nilai total dan *fecal coliform* dapat dijelaskan pada Tabel 18 dan Gambar 13, 14 berikut.

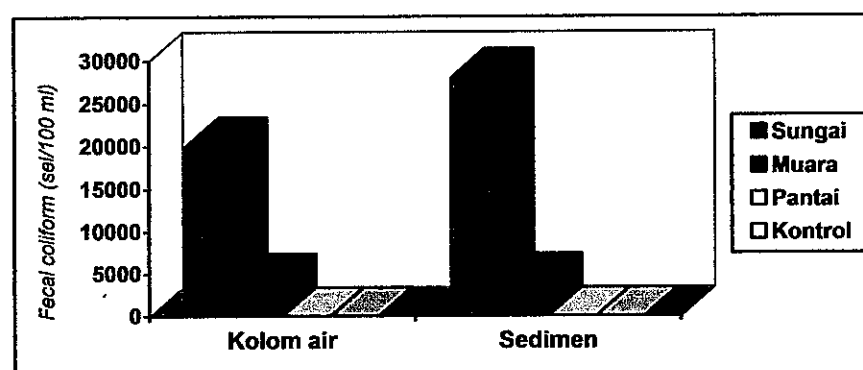
Tabel 18. Nilai *total* dan *fecal coliform* pada kolom air dan sedimen perairan Sungai Banjir Kanal Timur, Muara, dan Pantai Semarang

Lingkungan	Nilai <i>total coliform</i> (sel/100 ml)	Nilai <i>fecal coliform</i> (sel/100 ml)
A. Kolom air		
Sungai	2.8×10^4	2×10^4
Muara	4×10^3	4×10^3
Pantai	4×10^3	0
B. Sedimen		
Sungai	2.8×10^4	2.8×10^4
Muara	4×10^3	4×10^3
Pantai	0	0

Sumber : Data Primer, 2003



Gambar 13. Nilai *total coliform* pada kolom air dan sedimen lingkungan perairan Sungai Banjir Kanal Timur, Muara, dan pantai Semarang



Gambar 14. Nilai *fecal coliform* pada kolom air dan sedimen lingkungan perairan sungai Banjir Kanal Timur, muara, dan pantai Semarang

4.1.3. Lokasi Penelitian Jepara

Kota Jepara mewakili daerah dengan tingkat pencemaran rendah memiliki letak geografis sebelah utara pada letak lintang $5^{\circ}43'30''$ LS dengan batas wilayah laut Jawa, sebelah selatan pada letak lintang $6^{\circ}47'44''$ LS dengan batas wilayah Kabupaten Demak, sebelah barat pada letak lintang $112^{\circ}23'20''$ BT dengan batas wilayah laut Jawa dan sebelah timur pada letak lintang $113^{\circ}09'35''$ BT dengan batas wilayah Kabupaten Kudus dan Pati.

Luas wilayah kota Jepara tercatat $1.004,132 \text{ km}^2$ yang terdiri dari 14 wilayah kecamatan. Luas wilayah terdiri dari tanah persawahan $26.415,392 \text{ Ha}$ yang terdiri

dari sawah pengairan teknis, setengah teknis, tadah hujan, pasang surut dan lain sebagainya dan 73.997,797 Ha berupa tanah kering meliputi tanah untuk bangunan, tegalan, padang rumput, rawa, tambak, hutan negara, perkebunan dan lain sebagainya.

Sungai Demaan yang menjadi tempat penelitian melintasi wilayah kecamatan Jepara yang terdiri dari beberapa wilayah kelurahan dengan tingkat kepadatan penduduk yang dapat dijelaskan pada Tabel 19 berikut :

Tabel 19. Tingkat kepadatan penduduk daerah penelitian di Jepara.

No.	Kecamatan	Luas (Ha)	Jumlah Penduduk (jiwa)	Tingkat Kepadatan Penduduk (jiwa/Ha)
1.	Batealit	8.887,900	68.370	Jumlah penduduk/Luas Wilayah
2.	Tahunan	3.890,600	83.026	
3.	Jepara	2.466,700	67.859	
	Jumlah	15.245,200	219.255	(14)
				Kelas III

Sumber : Jepara Dalam Angka, 2002

Kualitas perairan sungai dan muara Demaan, serta pantai Jepara di lokasi penelitian dapat ditunjukkan pada Tabel 20 berikut :

Tabel 20. Kualitas rata-rata perairan Jepara (Sungai Demaan).

No	Stasiun	Kedalaman (m)	DO (mg/l)	Suhu (°C)	pH	Salinitas (‰)
1.	Sungai	0,85	6,88	29,00	6,49	0,00
2.	Muara	0,85	0,49	25,06	7,33	22,40
3.	Pantai	5,13	4,95	27,00	7,79	28,00
4.	Kontrol	10,10	2,99	27,10	7,73	28,30

Sumber : Data Primer hasil pengukuran lapangan, 2003

Adapun kondisi kandungan organik dan ukuran butir sedimen perairan sungai, dan muara Demaan serta pantai Jepara dapat ditunjukkan pada Tabel 21 berikut :

Tabel 21. Kandungan organik dan ukuran butir sedimen perairan Jepara

Stasiun	TOC (%)	Prosentase Ukuran Butir (phi)		
		Sand	Silt	Clay
Sungai	19,44	8,75	23,20	68,05
Muara	19,54	8,45	28,30	63,25
Pantai	24,64	9,65	27,40	62,95
Kontrol	40,11	1,40	12,10	86,50

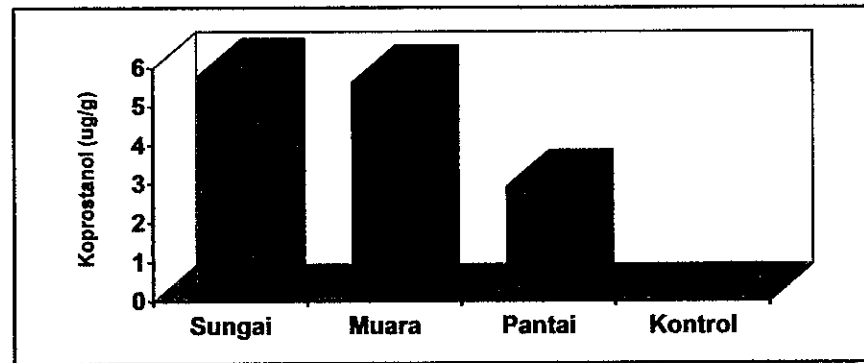
Sumber : Data Primer hasil analisa laboratorium, 2003

Koprostanol di perairan Jepara dapat terdeteksi pada sedimen sungai, muara, dan pantai, namun tidak terdeteksi pada kolom air. Perhitungan konsentrasi koprostanol dapat dilihat pada Lampiran 2 dan 5. Adapun konsentrasi dan pola eksistensi koprostanol dijelaskan pada Tabel 22 dan Gambar 15 berikut.

Tabel 22. Konsentrasi koprostanol pada sedimen perairan Sungai Demaan, Muara, dan Pantai Jepara

Lingkungan	Konsentrasi Koprostanol ($\mu\text{g/g}$)
Sungai	5,81
Muara	5,63
Pantai	2,93
Kontrol	0

Sumber : Data Primer, 2003



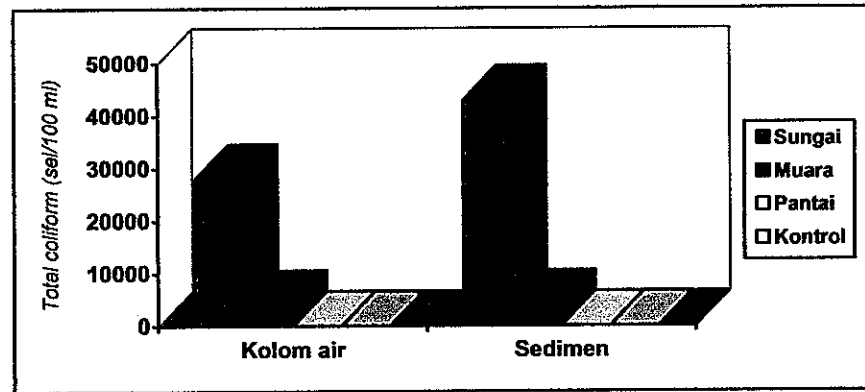
Gambar 15. Konsentrasi koprostanol pada sedimen lingkungan perairan Sungai Demaan, Muara, dan pantai Jepara

Coliform di perairan Demaan dapat terdeteksi pada sedimen maupun kolom air perairan sungai, muara, dan pantai. Adapun nilai *total* dan *fecal coliform* dapat dijelaskan pada Tabel 23 dan Gambar 16, 17 sebagai berikut.

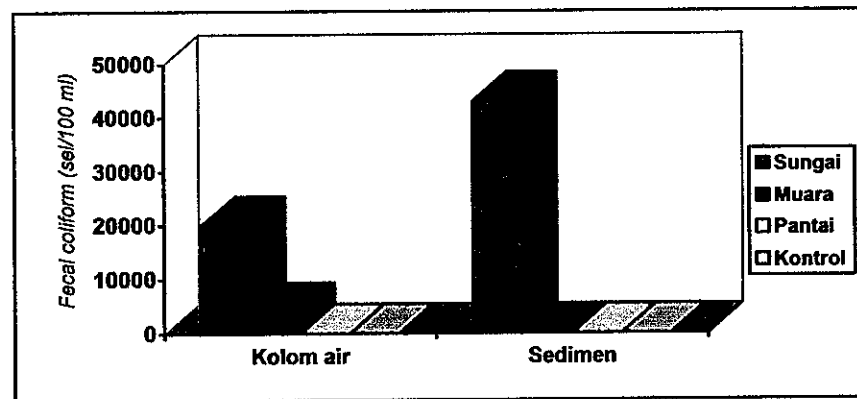
Tabel 23. Nilai *total* dan *fecal coliform* pada kolom air dan sedimen perairan Sungai Demaan, Muara, dan Pantai Jepara

Lingkungan	Nilai <i>total coliform</i> (sel/100 ml)	Nilai <i>fecal coliform</i> (sel/100 ml)
A. Kolom air		
Sungai	2.8×10^4	2×10^4
Muara	4×10^3	4×10^3
Pantai	0	0
B. Sedimen		
Sungai	4.3×10^4	4.3×10^4
Muara	4×10^3	0
Pantai	0	0

Sumber : Data Primer, 2003



Gambar 16. Nilai *total coliform* pada kolom air dan sedimen lingkungan perairan Sungai Demaan, Muara, dan Pantai Jepara



Gambar 17. Nilai *fecal coliform* pada kolom air dan sedimen lingkungan perairan Sungai Demaan, Muara, dan Pantai Jepara

4.2. Pembahasan

4.2.1. Eksistensi Koprostanol

Eksistensi koprostanol di 3 (tiga) daerah penelitian yaitu perairan Jakarta, Semarang, dan Jepara terdapat perbedaan yang signifikan dengan konsentrasi rata-rata tertinggi dijumpai pada sedimen perairan Jakarta. Adapun konsentrasi dan pola eksistensi koprostanol rata-rata di ketiga lokasi dapat disajikan pada Tabel 24 dan Gambar 18 berikut.

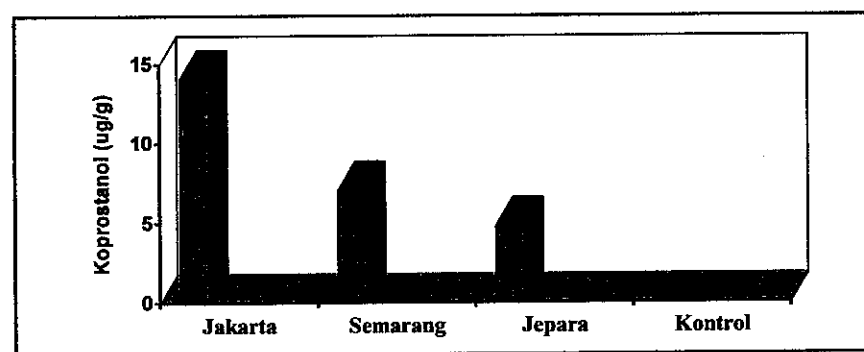
Tabel 24. Hasil analisis eksistensi koprostanol pada lokasi dengan kondisi pencemaran yang bervariasi

Lokasi	Rerata ($\mu\text{g/g}$) \pm SD	Signifikansi
Jakarta	14,08 \pm 2,53	a
Semarang	7,06 \pm 2,25	b
Jepara	4,79 \pm 0,51	c

Sumber : Data primer setelah diolah, 2003

*) Jika mengandung unsur huruf yang sama tidak ada beda yang nyata (signifikan)

***) Jika tidak mengandung unsur huruf yang sama ada beda yang nyata (signifikan)



Gambar 18. Eksistensi koprostanol pada 3 (tiga) lokasi penelitian (Jakarta, Semarang dan Jepara) di lingkungan perairan sungai, muara dan pantai.

Mengingat terbentuknya koprostanol merupakan hasil reduksi dari kolesterol yang terdapat pada feces (Walker, *et al.*, 1982), maka faktor kepadatan penduduk di sekitar perairan menjadi penting diperhatikan untuk mengetahui konsentrasi koprostanol di perairan keterkaitannya dengan tingkat pencemaran di suatu perairan.

Jakarta dengan jumlah penduduk 994.325 jiwa khususnya penduduk kota Jakarta Pusat dan Jakarta Utara yang berada di sepanjang aliran sungai Ciliwung yang meliputi penduduk Kecamatan Kramajati, Jatinegara, Senen, Sawah besar, dan Pademangan memiliki jumlah penduduk tertinggi dibandingkan dengan penduduk sekitar sungai Banjir Kanal Timur, Semarang (581.337 jiwa), maupun sungai Demaan, Jepara (219.255 jiwa) (tabel 9, 14, dan 19). Berdasarkan data penduduk dan

konsentrasi koprostanol rata-rata terlihat bahwa semakin tinggi jumlah penduduk maka konsentrasi koprostanol di perairan sungai juga semakin meningkat. Selain itu, dengan jumlah penduduk yang lebih tinggi menyebabkan limbah domestik yang dibuang ke perairan juga lebih banyak, sementara limbah domestik merupakan material organik. Hasil penelitian menunjukkan jumlah organik total (TOC) rata-rata di perairan Jakarta tertinggi (26,97%) dibandingkan Semarang (22,20%), dan Jepara (25,93%), sementara sungai (25,06%) merupakan lingkungan perairan yang mempunyai jumlah total organik rata-rata tertinggi dibandingkan muara (18,02%) dan pantai (17,78%), yaitu : (Tabel 11, 16, dan 21).

Sedangkan konsentrasi koprostanol rata-rata tertinggi terdapat pada lingkungan perairan sungai, dan mengalami penurunan yang signifikan pada lingkungan perairan muara serta pantai, dengan konsentrasi dan pola eksistensi dapat disajikan pada Tabel 25 dan Gambar 19 sebagai berikut.

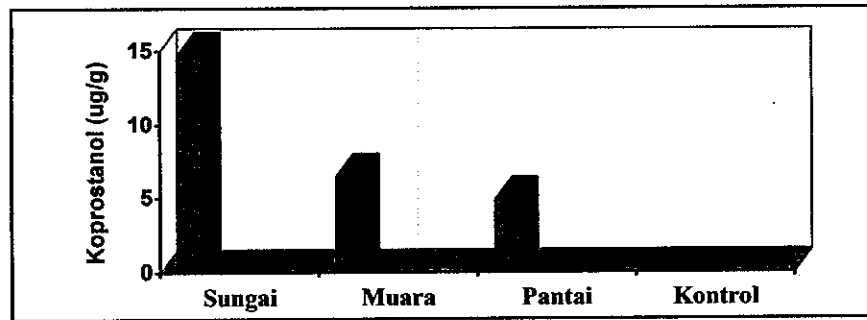
Tabel 25. Hasil analisis eksistensi koprostanol rata-rata pada lingkungan perairan sungai, muara, dan pantai di 3 (tiga) lokasi penelitian (Jakarta, Semarang, dan Jepara).

Lingkungan	Rerata \pm SD ($\mu\text{g/g}$)	Signifikansi
Sungai	14,70 \pm 2,42	a
Muara	6,45 \pm 1,65	b
Pantai	4,84 \pm 0,83	c

Sumber : Data primer setelah diolah, 2003

*) Jika mengandung unsur huruf yang sama tidak ada beda yang nyata (signifikan)

***) Jika tidak mengandung unsur huruf yang sama ada beda yang nyata (signifikan)



Gambar 19. Eksistensi koprostanol rata-rata pada lingkungan perairan sungai, muara, dan pantai di 3 (tiga) lokasi penelitian (Jakarta, Semarang, dan Jepara).

Tingginya koprostanol di perairan sungai di ketiga daerah penelitian disebabkan oleh rendahnya laju transpor koprostanol menuju muara dan pantai, dimana 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 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 penambahan jumlah penduduk, sehingga perairan sungai terlihat semakin pekat oleh berbagai limbah, termasuk limbah domestik.

Selain itu, kondisi dasar sungai juga merupakan faktor yang mempengaruhi tingkat sebaran sedimen, dimana dasar sungai yang lebih kasar akan menghambat lebih banyak material. Material tersuspensi, termasuk sedimen akan membentur material dasar sungai yang selanjutnya terjadi pengendapan, selain yang terangkut mengikuti arus. Demikian juga menurut Phosma (1967), bahwa pengendapan sedimen di sungai dipengaruhi oleh kecepatan arus sungai, kondisi dasar sungai, turbulensi dan diameter sedimen.

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. Hasil penelitian di tiga daerah menyatakan material lempung rata-rata paling tinggi dijumpai di sungai (68,22 *phi*) dibandingkan muara (47,63 *phi*) dan pantai (64,38 *phi*). Menurut McDowell 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 demikian, pola eksistensi koprostanol yang ditemukan menurun secara signifikan pada perairan sungai, muara, dan pantai di ketiga daerah penelitian (Jakarta, Semarang, dan Jepara) tidak serupa dengan pola konsentrasi lempung yang mengalami penurunan di perairan muara dan meningkat di perairan pantai. Kondisi ini disebabkan karena berkurangnya konsentrasi koprostanol di perairan pantai akibat teradsorpsinya koprostanol pada material lempung yang mengendap di perairan sungai, dan muara.

Namun, konsentrasi koprostanol yang ditemukan pada perairan Semarang pola berbeda, dimana terjadi penurunan konsentrasi koprostanol pada muara dan meningkat di perairan pantai. Hal ini disebabkan oleh kondisi lingkungan muara yang relatif bebas hambatan sehingga dapat menyebabkan angin yang bertiup dari arah timur atau tenggara berpengaruh kuat terhadap pergerakan koloid koprostanol yang telah teradsorpsi oleh koloid lempung ke arah pantai. Gerakan perairan di muara Banjir Kanal Timur yang dipengaruhi angin timur ini dapat mengangkut material

ringan terutama koloid lempung yang lebih banyak jika dibandingkan dengan muara sungai Ciliwung (pantai Marina) di Jakarta dan muara sungai Demaan (pantai Kartini) di Jepara yang kedua muara ini memiliki kondisi semi tertutup (Gambar 4, 5, dan 6). Koloid lempung (*clay*) yang ditemukan pada perairan muara Banjir Kanal Timur (9,10 *phi*) yang lebih sedikit dibandingkan keberadaannya di pantai (60,60 *phi*) (Tabel 16) merupakan salah petunjuk kuatnya gerakan perairan di muara Banjir Kanal Timur.

Selain itu, terdapatnya beberapa bakteri pendegradasi koprostanol pada berbagai lingkungan perairan di ketiga daerah penelitian (Munir, 2004) juga berakibat berkurangnya konsentrasi koprostanol. Berdasarkan uji yang telah dilakukannya 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 penelitiannya 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.

Koprostanol yang terdeteksi pada lingkungan perairan sungai, muara, dan pantai di 3(tiga) daerah penelitian tersebut, hanya ditemukan di sedimen, sementara di kolom air tidak terdeteksi. Adapun konsentrasi rata-rata dapat disajikan pada Tabel 26 sebagai berikut.

Tabel 26. Eksistensi koprostanol rata-rata pada kolom air dan sedimen.

Komponen	Koprostanol ($\mu\text{g/g}$)
Air	0,00
Sedimen	8,64

Sumber : Data primer setelah diolah, 2003

Eksistensinya koprostanol yang hanya terdeteksi pada sedimen perairan, disebabkan sifat koprostanol yang tidak larut dalam air (Walker *et al*, 1982) dan mengalami flokulasi (Bachtiar, 2001). 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, 2001).

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 karena 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.

4.2.2. Eksistensi Bakteri *Coliform*

Eksistensi *total coliform* di perairan Jakarta terhadap Semarang dan Jepara terdapat perbedaan yang signifikan, dengan nilai *total coliform* dapat disajikan pada Tabel 27 dan Gambar 20 sebagai berikut.

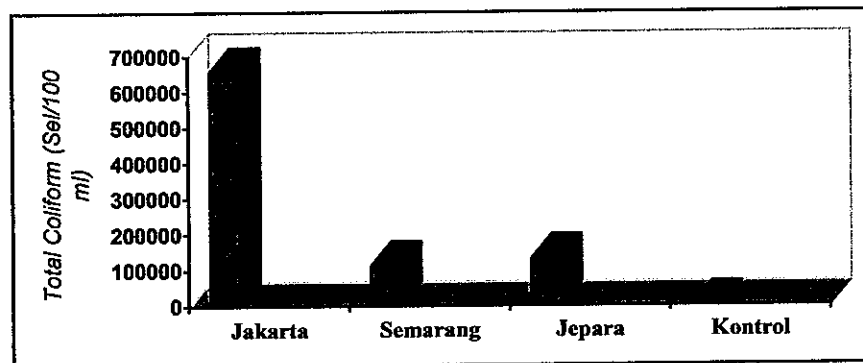
Tabel 27. Hasil analisis eksistensi *total coliform* pada lokasi dengan kondisi pencemaran yang bervariasi

Lokasi	Rerata \pm SD (sel/100 ml)	Signifikansi
Jakarta	$65,8 \times 10^4 \pm 31.072$	a
Semarang	$11,3 \times 10^4 \pm 4.536$	b
Jepara	$13,2 \times 10^4 \pm 6.078$	b

Sumber : Data primer setelah diolah, 2003

*) Jika mengandung unsur huruf yang sama tidak ada beda yang nyata (signifikan)

**) Jika tidak mengandung unsur huruf yang sama ada beda yang nyata (signifikan)



Gambar 20. Eksistensi *total coliform* pada 3 (tiga) lokasi penelitian (Jakarta, Semarang dan Jepara) di lingkungan perairan sungai, muara dan pantai.

yang berada di sepanjang aliran sungai Ciliwung lebih banyak dibandingkan dengan penduduk di sepanjang aliran sungai Banjir Kanal Timur, Semarang dan sungai Demaan di Jepara (Tabel 9, 14, dan 19), sehingga volume limbah domestik di lokasi Jakarta lebih banyak dibandingkan lokasi Semarang dan Jepara. Selain itu, Chapra (1997) menyatakan *total coliform* merupakan kelompok besar bakteri *fecal coliform* dan *aerobacter aerogenes* yang terdapat pada tanah, baik yang terpolusi maupun tidak, serta berasal dari *feces* hewan berdarah panas. Demikian juga menurut Allaert (1984), bahwa selain berasal dari tinja, dan tanah, *total coliform* juga dapat berasal dari tanaman.

Mengingat *total coliform* berasal dari berbagai sumber, maka di duga kuat limbah domestik selain *feces* merupakan faktor utama tingginya nilai *total coliform*. Hal ini diyakini berdasarkan penelitian di ketiga lokasi (Jakarta, Semarang, dan Jepara) dengan jumlah penduduk yang bervariasi nilai *fecal coliform* tidak terdapat beda yang signifikan (Tabel 28 dan Gambar 21). Selain itu, rendahnya tingkat kepedulian pengelolaan limbah domestik dapat berpengaruh terhadap tingginya nilai *total coliform*. Thayib dan Razak (1983), menyatakan bahwa limbah tanpa perlakuan mengandung *coliform* $10^6 - 10^8$ per 100 ml, sementara limbah yang mengalami perlakuan mengandung *coliform* $10^4 - 10^6$ per 100 ml.

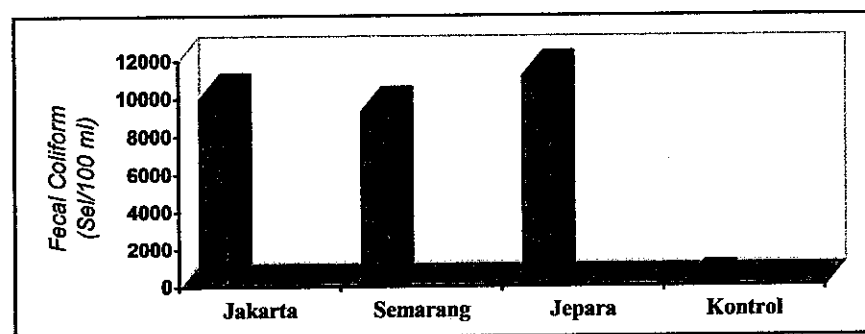
Tabel 28. Hasil analisis eksistensi *fecal coliform* pada lokasi dengan kondisi pencemaran yang bervariasi

Lokasi	Rerata \pm SD (sel/100 ml)	Signifikansi
Jakarta	$10,00 \times 10^3 \pm 4.082$	a
Semarang	$9,30 \times 10^3 \pm 3.992$	a
Jepara	$11,17 \times 10^3 \pm 5.534$	a

Sumber : Data primer setelah diolah, 2003

*) Jika mengandung unsur huruf yang sama tidak ada beda yang nyata (signifikan)

***) Jika tidak mengandung unsur huruf yang sama ada beda yang nyata (signifikan)



Gambar 21. Eksistensi *fecal coliform* pada 3 (tiga) lokasi penelitian (Jakarta, Semarang dan Jepara) di lingkungan perairan sungai, muara dan pantai.

konsentrasi dan pola eksistensi dapat disajikan pada Tabel 30 dan Gambar 23 sebagai berikut.

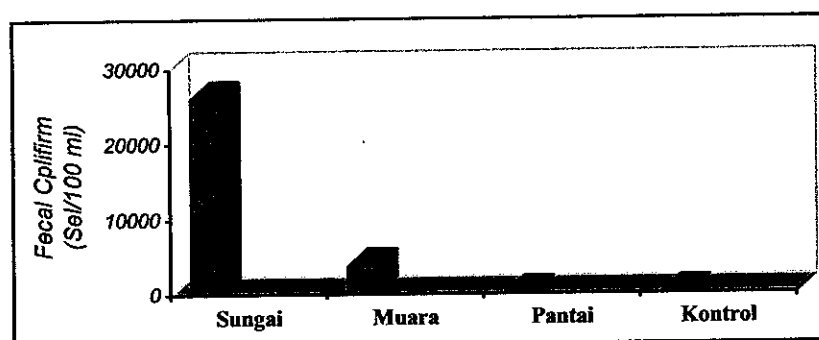
Tabel 30. Hasil analisis eksistensi *fecal coliform* rata-rata pada lingkungan perairan sungai, muara, dan pantai di 3 (tiga) lokasi penelitian (Jakarta, Semarang, dan Jepara).

Lingkungan	Rerata \pm SD (sel/100 ml)	Signifikansi
Sungai	$2,6 \times 10^4 \pm 2.585,57$	a
Muara	$3,8 \times 10^3 \pm 1.043,30$	b
Pantai	$0 \pm 0,00$	b

Sumber : Data primer setelah diolah, 2003

*) Jika mengandung unsur huruf yang sama tidak ada beda yang nyata (signifikan)

***) Jika tidak mengandung unsur huruf yang sama ada beda yang nyata (signifikan)



Gambar 23. Eksistensi *fecal coliform* rata-rata pada lingkungan perairan sungai, muara, dan pantai di 3 (tiga) lokasi penelitian (Jakarta, Semarang, dan 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 10, 15, dan 20).

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

4.2.3. Potensi koprostanol sebagai indikator alternatif

Coakley and Long (1990), mempersyaratkan suatu indikator pencemaran menjadi tiga, seperti : a) mempunyai hubungan yang spesifik dengan sumber tertentu, b) dapat ditentukan secara kuantitatif, dan c) bersifat cukup konservatif.

Sumber spesifik koprostanol telah banyak diteliti, dan beberapa peneliti menyatakan bahwa koprostanol berasal dari feces manusia (Marcet, 1800; Walker *et al.*, 1982; Bondzynski dan Humnicki, 1896). Selain itu, koprostanol juga dihasilkan secara spesifik oleh hewan mamalia, seperti orangutan, kera, babi, domba, sapi dan binatang pengerat, namun koprostanol tidak dihasilkan oleh biota laut dan unggas, kecuali ayam (Walker *et al.*, 1982).

Sifat koprostanol yang spesifik dan dapat diketahui eksistensi serta konsentrasinya pada lingkungan perairan sungai (5,81 – 23,38 $\mu\text{g/g}$), muara (1,04 – 12,51 $\mu\text{g/g}$), dan pantai (2,93 – 6,34 $\mu\text{g/g}$) di beberapa lokasi dengan variasi pencemaran (Jakarta 6,34 – 23,38 $\mu\text{g/g}$; Semarang 1,04 – 14,90 $\mu\text{g/g}$; Jepara 2,93 – 5,91 $\mu\text{g/g}$), merupakan potensi koprostanol sebagai indikator kontaminasi limbah domestik. Hal ini sesuai pendapat Hatcher *et al.* (1977) yang menyatakan bahwa, keberadaan sterol fekal koprostanol (*5 β -cholestan-3 β -ol*) di lingkungan perairan telah menunjukkan bahwa koprostanol merupakan indikator kimia untuk kontaminasi limbah domestik. Demikian juga menurut Bachtiar *et al.* (1999), dengan sangat spesifiknya sumber koprostanol tersebut, keberadaan koprostanol di alam dapat digunakan sebagai indikasi kontaminasi limbah domestik.

BAB V

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

5.1. Kesimpulan

Hasil penelitian tentang eksistensi koprostanol dan bakteri *coliform* yang dilakukan di lingkungan perairan sungai, muara, dan pantai di berbagai daerah dengan kontaminasi yang bervariasi (Jakarta, Semarang, dan Jepara) pada Monsun Timur, dapat disimpulkan :

1. a). Eksistensi koprostanol dapat terdeteksi pada sedimen perairan sungai, muara, dan pantai di ketiga daerah penelitian (Jakarta, Semarang, dan Jepara) dengan perbedaan konsentrasi yang signifikan, namun tidak terdeteksi pada kolom air di ketiga lingkungan perairan pada ketiga lokasi penelitian tersebut.
- b). Eksistensi *total coliform* dapat terdeteksi pada kolom air dan sedimen di ketiga lokasi penelitian, dengan nilai *total coliform* tertinggi di perairan Jakarta dan berbeda signifikan terhadap perairan Semarang dan Jepara. Adapun nilai *total coliform* di perairan sungai tertinggi dan terdapat perbedaan yang signifikan terhadap muara dan pantai.
- c). Eksistensi *fecal coliform* dapat terdeteksi pada kolom air dan sedimen di ketiga lokasi (Jakarta, Semarang, dan Jepara) dengan nilai tidak terdapat beda signifikan, sementara nilai *fecal coliform* pada lingkungan perairan sungai tertinggi dan berbeda signifikan terhadap perairan muara, tetapi pada perairan pantai di ketiga lokasi penelitian tidak terdeteksi.

UPT-PUSTAK-UNDIP

2. Koprostanol eksis pada lingkungan perairan sungai, muara, dan pantai di ke tiga lokasi penelitian (Jakarta, Semarang, dan Jepara) dengan perbedaan konsentrasi yang signifikan, sehingga koprostanol berpotensi sebagai alternatif indikator kontaminasi limbah domestik

5.2 Rekomendasi

1. Indikator kontaminasi limbah domestik dengan menggunakan bakteri *coliform* perlu dipertimbangkan karena memiliki berbagai kelemahan, seperti pada muara ditemukan nilai mendekati nol, dan pada perairan pantai tidak terdeteksi.
2. Koprostanol dapat diperhitungkan sebagai alternatif indikator karena eksistensinya tidak terpengaruh oleh berbagai kondisi lingkungan perairan.
3. Untuk mengetahui eksistensi koprostanol dengan lebih baik, maka perlu dilakukan penelitian pada kondisi musim yang berbeda (Monsun Barat, yang bertepatan dengan musim hujan).

Lampiran 1

Tabel 1. Hasil pengukuran kondisi sedimen dan perairan tiap titik sampling di Jakarta

Nomor Sampel	TOC (%)	Prosentase Ukuran Butir (phi)			Salinitas (‰)	Kecerahan (m)	Kedalaman (m)
		Sand	Silt	Clay			
S-1	30,67	12.00	8.70	79.30	0.00	0.12	0.95
S-2	33,71	9.80	34.00	55.60	0.00	0.10	0.85
M-1	28,21	10.40	9.40	80.20	22.00	0.40	2.15
M-2	21,07	12.60	27.30	60.10	22.00	0.43	2.00
L-1	12,43	9.60	11.30	79.10	28.00	2.10	8.10
L-2	13,67	11.20	28.70	60.10	28.10	2.00	8.35
Kontrol	37,54	6.30	13.30	80.40	28.30	3.10	10.15

Tabel 2. Hasil pengukuran kondisi sedimen dan perairan tiap titik sampling di Semarang

Nomor Sampel	TOC (%)	Prosentase Ukuran Butir (phi)			Salinitas (‰)	Kecerahan (m)	Kedalaman (m)
		Sand	Silt	Clay			
S-1	25,37	9.10	31.10	59.80	0.00	0.12	0.75
S-2	21,71	11.3	10.20	78.50	0.00	0.11	0.95
M-1	9,710	78.5	14.60	6.90	22.00	0.25	0.75
M-2	10,07	81.5	7.20	11.30	21.80	0.25	1.00
L-1	13,16	30.6	17.20	52.20	27.90	2.10	4.10
L-2	18,12	5.30	25.70	69.00	28.10	2.65	6.15
Kontrol	39,74	1.30	11.90	86.80	28.30	3.15	10.10

Tabel 3. Hasil pengukuran kondisi sedimen dan perairan tiap titik sampling di Jepara

Nomor Sampel	TOC (%)	Prosentase Ukuran Butir (phi)			Salinitas (‰)	Kecerahan (m)	Kedalaman (m)
		Sand	Silt	Clay			
S-1	20,17	8.30	14.20	77.50	0.00	0.12	0.75
S-2	18,71	9.20	32.20	58.60	0.00	0.11	0.95
M-1	19,33	7.10	25.40	67.50	22.00	0.25	0.75
M-2	19,74	9.80	31.20	59.00	21.80	0.25	1.00
L-1	23,96	10.10	22.60	67.30	27.90	2.10	4.10
L-2	25,32	9.20	32.20	58.60	28.10	2.65	6.15
Kontrol	40,11	1.40	12.10	86.50	28.30	3.15	10.10

Lampiran 2

Tabel 1. Nilai RRF Hasil Perhitungan Di 3 (tiga) Daerah Penelitian

Ulangan	Kopros.	Area Kopros.	C18:OH	Area C18:OH	RRF
	μg		μg		
Semarang	3,84	23.57	30,68	311.26	1,70
Jakarta	5,12	31.78	30,68	323.12	1,70
Jepara	3,84	23.45	30,68	295.75	1,58
Rerata	4,267	26.27	30,68	310.04	1,64

Perhitungan RRF di 3 (tiga) daerah penelitian, digunakan persamaan berikut :

$$RRF = \left(\frac{mg.Cop(std)}{areaCop.(std)} \right) \times \left(\frac{areaC_{18}:OH(std)}{mgC_{18}:OH(std)} \right)$$

Lampiran 3

Tabel 1. Berat sampel pada lokasi sampling di Jakarta

Nomor Sampel	Berat Sampel (gram)	RRF	IS	Area Cop.	Area IS	Berat Cop. (µg)	Konst. Cop (µg/g)
S-1	8,38			31.97	1.12		
S-2	8,64			39.06	1.18		
M-1	8,78			21.76	1.20		
M-2	9,00			19.02	1.17		
L-1	7,38			8.78	1.20		
L-2	8,02			8.66	1.22		
Kontrol	7,32			0,00	1.13		

Keterangan : Penambahan IS untuk sampel Jakarta 3,813 µg

Tabel 2. Berat dan konsentrasi koprostanol pada lokasi sampling di Jakarta

Nomor Sampel	Berat Sampel (gram)	RRF	IS	Area Cop.	Area IS	Berat Cop. (µg)	Konst. Cop (µg/g)
S-1	8,38	1,70	3,81	31.97	1.12	184,06	21,96
S-2	8,64	1,70	3,81	39.06	1.18	214,36	24,80
M-1	8,78	1,70	3,81	21.76	1.20	117,23	13,36
M-2	9,00	1,70	3,81	19.02	1.17	104,99	11,66
L-1	7,38	1,70	3,81	8.78	1.20	47,22	6,40
L-2	8,02	1,70	3,81	8.66	1.22	46,15	6,29
Kontrol	7,32	1,70	3,81	0.00	1.134	0.00	0.00

Keterangan :

S1, S2 : Pengambilan sampel yang diambil di Sungai Ciliwung

M1, M2 : Pengambilan sampel yang diambil di Muara S. Ciliwung

L-1, L2 : Pengambilan sampel yang diambil di Pantait Jakarta

1. Berat koprostanol di 3 (tiga) daerah, dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$\mu\text{g Cop} = \frac{(\text{RRF} \times \text{area Copros} \times \mu\text{g IS})}{\text{Are IS}}$$

2. Konsentrasi koprostanol di 3 (tiga) daerah, dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$\text{Konsentrasi Copros} = \frac{\text{Berat Copros}}{\text{Berat Residu Sampel}}$$

Lampiran 4

Tabel 1. Berat sampel pada lokasi sampling di Semarang

Nomor Sampel	Berat Sampel (gram)	RRF	IS	Area Cop.	Area IS	Berat Cop. (µg)	Konst. Cop (µg/g)
S-1	7,24			18.97	1.10		
S-2	7,58			19.08	1.08		
M-1	9,72			1.76	1.20		
M-2	9,51			1.92	1.13		
L-1	6,13			2.79	1.12		
L-2	6,27			8.74	1.11		
Kontrol	6,01			0.00	1.03		

Keterangan : Penambahan IS untuk sampel Semarang 3,813 µg

Tabel 2. Berat dan konsentrasi koprostanol pada lokasi sampling di Semarang

Nomor Sampel	Berat Sampel (gram)	RRF	IS	Area Cop.	Area IS	Berat Cop. (µg)	Konst. Cop (µg/g)
S-1	7,24	1,65	3,81	18.97	1.10	109,08	15,06
S-2	7,58	1,65	3,81	19.08	1.08	111,69	14,73
M-1	9,72	1,65	3,81	1.76	1.20	9,23	0,95
M-2	9,51	1,65	3,81	1.92	1.13	10,68	1,12
L-1	6,13	1,65	3,81	2.79	1.12	15,73	2,56
L-2	6,27	1,65	3,81	8.74	1.11	49,66	7,93
Kontrol	6,10	1,65	3,81	0.00	1.03		

Keterangan :

S1, S2 : Pengambilan sampel yang diambil di Sungai Banjir Kanal Timur

M1, M2 : Pengambilan sampel yang diambil di muara S. Banjir Kanal Timur

L1, L2 : Pengambilan sampel yang diambil di Pantai Semarang

Lampiran 5

Tabel 1. Berat sampel pada lokasi sampling di Jepara

Nomor Sampel	Berat Sampel (gram)	RRF	IS	Area Cop.	Area IS	Berat Cop. (µg)	Konst. Cop (µg/g)
S-1	9,43			11.97	1.12		
S-2	9,54			9.06	1.19		
M-1	8,78			10.26	1.21		
M-2	8,95			9.72	1.20		
L-1	7,76			3.98	1.20		
L-2	7,35			4.80	1.20		
Kontrol	8,02			0.00	1.13		

Penambahan IS untuk sampel Jepara 3,813 µg

Tabel 2. Berat dan konsentrasi koprostanol pada lokasi sampling di Jepara

Nomor Sampel	Berat Sampel (gram)	RRF	IS	Area Cop.	Area IS	Berat Cop. (µg)	Konst Cop (µg/g)
S-1	9,43	1,58	3,81	11.97	1.12	64,30	6,82
S-2	9,54	1,58	3,81	9.06	1.19	45,83	4,80
M-1	8,78	1,58	3,81	10.26	1.21	51,05	5,82
M-2	8,94	1,58	3,81	9.72	1.20	48,75	5,45
L-1	7,76	1,58	3,81	3.98	1.20	19,93	2,57
L-2	7,35	1,58	3,81	4.80	1.20	24,15	3,29
Kontrol	8,02	1,58	3,81	0.00	1.13	0.00	0.00

Keterangan :

S1, S2 : Pengambilan sampel yang diambil di Sungai Demakan

M1, M2 : Pengambilan sampel yang diambil di muara S. Demakan

L-5a, L5b : Pengambilan sampel yang diambil di Pantai Jepara

Lampiran 6-a

NILAI MPN BERDASARKAN TAHAPAN ANALISA COLIFORM JAKARTA

Stasiun	Tes pendugaan (LB)			Tes penegasan (BGLB) 37 °C			Tes kompli (BGLB) 44 °C			Jumlah total coliform	Jumlah fecal coliform	Nilai total coliform (sel/100 ml)	Nilai fecal coliform (sel/100 ml)
	10 ml	1 ml	0.1 ml	10 ml	1 ml	0.1 ml	10 ml	1 ml	0.1 ml				
Sedimen sungai 1	3/3	3/3	2/3	2/3	2/3	2/3	2/3	2/3	1/3	3-2-2	2-2-1	2.1 X 10 ⁴	2.8 X 10 ⁴
Sedimen sungai 2	3/3	3/3	2/3	2/3	2/3	2/3	2/3	2/3	1/3	3-2-2	2-2-1	2.1 X 10 ⁵	2.8 X 10 ⁴
Air sungai 1	3/3	2/3	2/3	1/3	0/3	3/3	2/3	2/3	0/3	3-2-1	2-2-0	1,5 x 10 ⁵	2,1 x 10 ⁴
Air sungai 2	3/3	2/3	2/3	1/3	0/3	3/3	2/3	2/3	0/3	3-2-1	2-2-0	1,5 x 10 ⁵	2,1 x 10 ⁴
Sedimen muara 1	1/3	0/3	3/3	1/3	0/3	3/3	0/3	0/3	1/3	1-0-3	0-0-1	1,5 X 10 ⁴	3 X 10 ³
Sedimen muara 2	2/3	1/3	3/3	1/3	0/3	0/3	1/3	0/3	2/3	1-0-3	0-0-2	1,5 X 10 ⁴	6 X 10 ³
Air muara 1	3/3	2/3	1/3	2/3	1/3	1/3	1/3	0/3	0/3	2-1-1	1-0-0	2 x 10 ⁴	0,4 x 10 ⁴
Air muara 2	3/3	2/3	1/3	2/3	1/3	1/3	1/3	0/3	1/3	2-1-1	1-0-1	2 x 10 ⁴	0,7 x 10 ⁴
Sedimen pantai 1	2/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0-0-0	0-0-0	0	0
Sedimen pantai 2	2/3	1/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0-0-0	0-0-0	0	0
Air pantai 1	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0-0-0	0-0-0	0	0
Air pantai 2	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0-0-0	0-0-0	0	0
kontrol	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0-0-0	0-0-0	0	0

NILAI MPN BERDASARKAN TAHAPAN ANALISA COLIFORM SEMARANG

Stasiun	Tes pendugaan (LB)		Tes penegasan (BGLB) 37 °C		Tes komplrit (BGLB) 44 °C		Jumlah total coliform	Jumlah fecal coliform	Nilai total coliform (sel/100 ml)	Nilai fecal coliform (sel/100 ml)
	ml	ml	ml	ml	ml	ml				
	10	1	0.1	1	0.1	1				
	ml	ml	ml	ml	ml	ml				
Sedimen sungai 1	3/3	3/3	2/3	2/3	2/3	2/3	2-2-0	2-2-0	2.1 X 10 ⁴	2.1 X 10 ⁴
Sedimen sungai 2	3/3	3/3	3/3	2/3	2/3	2/3	2-2-2	2-2-2	3.5 X 10 ⁴	3.5 X 10 ⁴
Air sungai 1	3/3	3/3	3/3	2/3	2/3	1/3	2-2-0	2-1-1	2.1 X 10 ⁴	2.0 X 10 ⁴
Air sungai 2	3/3	3/3	3/3	2/3	2/3	1/3	2-2-2	2-1-1	3.5 X 10 ⁴	2.0 X 10 ⁴
Sedimen muara 1	2/3	2/3	2/3	1/3	1/3	0/3	1-0-0	1-0-0	4 X 10 ³	4 X 10 ³
Sedimen muara 2	2/3	2/3	1/3	1/3	0/3	0/3	1-0-0	1-0-0	4 X 10 ³	4 X 10 ³
Air muara 1	2/3	2/3	2/3	1/3	0/3	0/3	1-0-0	0-0-0	4 X 10 ³	0
Air muara 2	2/3	2/3	2/3	1/3	0/3	0/3	1-0-0	0-0-0	4 X 10 ³	0
Sedimen pantai 1	2/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0-0-0	0-0-0	0	0
Sedimen pantai 2	2/3	1/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0-0-0	0-0-0	0	0
Air pantai 1	2/3	2/3	2/3	1/3	0/3	0/3	1-0-0	0-0-0	0	0
Air pantai 2	2/3	2/3	2/3	1/3	0/3	0/3	1-0-0	0-0-0	0	0
Kontrol	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0-0-0	0-0-0	0	0

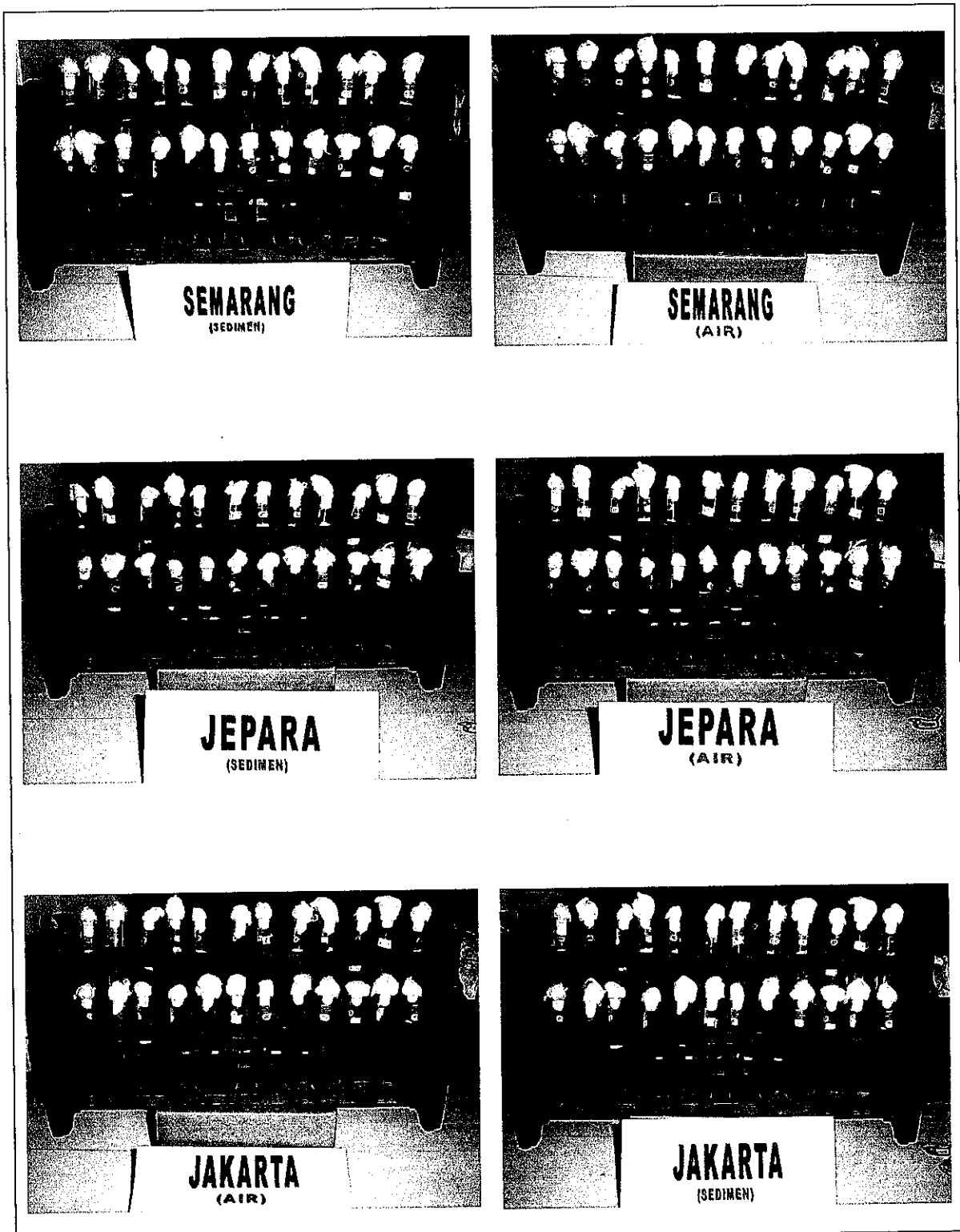
Lampiran 6-b

Lampiran 6-c

NILAI MPN BERDASARKAN TAHAPAN ANALISA COLIFORM JEPARA

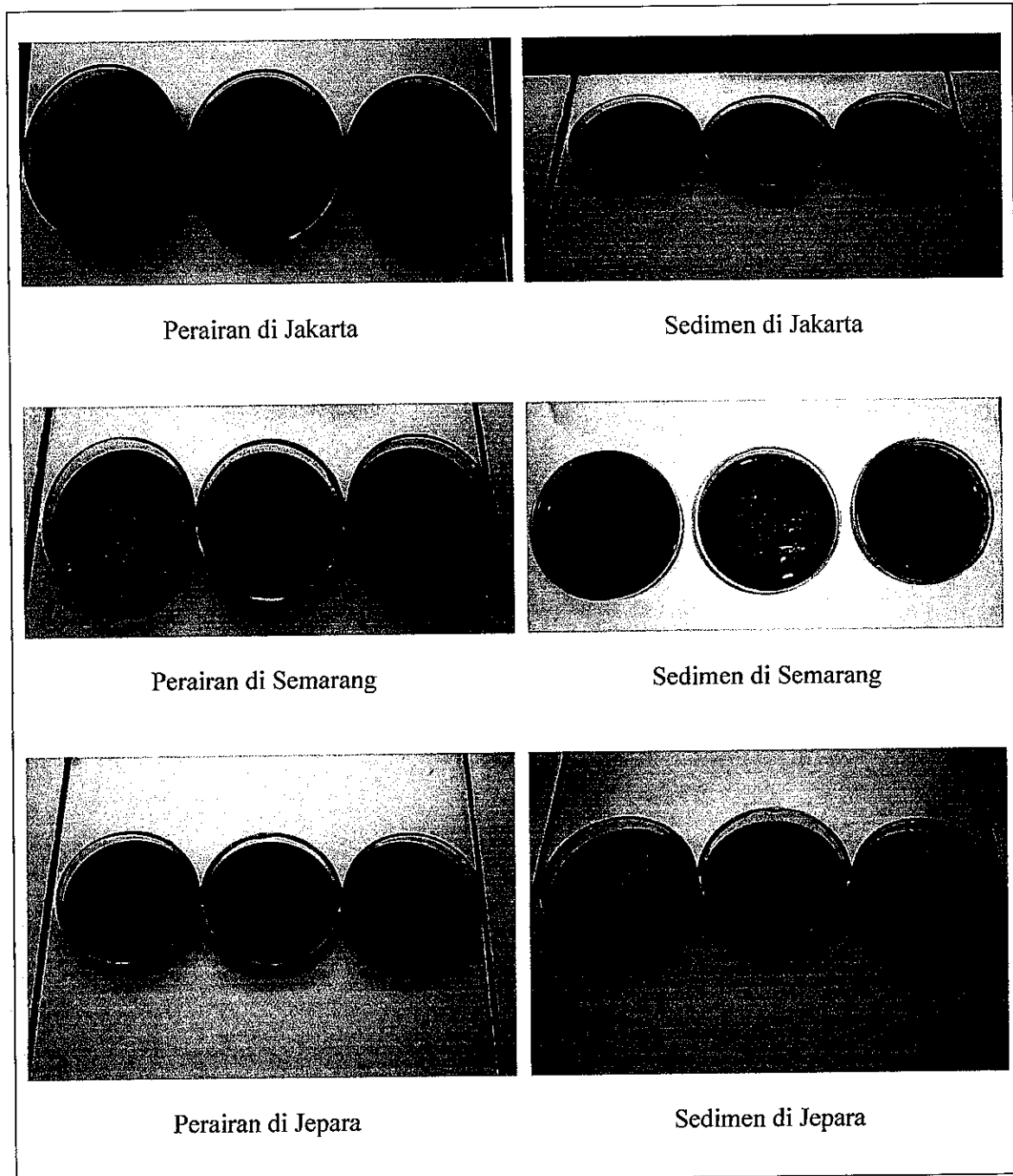
Stasiun	Tes pendugaan (LB)			Tes penegasan (BGLB) 37 °C			Tes komplrit (BGLB) 44 °C			Jumlah total coliform	Jumlah fecal coliform	Nilai total coliform (sel/100 ml)	Nilai fecal coliform (sel/100 ml)
	10 ml	1 ml	0.1 ml	10 ml	1 ml	0.1 ml	10 ml	1 ml	0.1 ml				
Sedimen sungai 1	3/3	3/3	2/3	2/3	1/3	1/3	3/3	1/3	0/3	3-1-0	3-1-0	4.3 X 10 ⁴	4.3 X 10 ⁴
Sedimen sungai 2	3/3	3/3	3/3	3/3	1/3	1/3	3/3	1/3	0/3	3-1-0	3-1-0	4.3 X 10 ⁴	4.3 X 10 ⁴
Air sungai 1	3/3	3/3	3/3	2/3	2/3	2/3	2/3	1/3	1/3	2-2-0	2-1-1	2.1 X 10 ⁴	2.0 X 10 ⁴
Air sungai 2	3/3	3/3	3/3	2/3	2/3	2/3	2/3	1/3	1/3	2-2-2	2-1-1	3.5 X 10 ⁴	2.0 X 10 ⁴
Sedimen muara 1	2/3	2/3	2/3	1/3	0/3	0/3	1/3	0/3	0/3	1-0-0	1-0-0	4 X 10 ³	4 X 10 ³
Sedimen muara 2	2/3	2/3	1/3	1/3	0/3	0/3	1/3	0/3	0/3	1-0-0	1-0-0	4 X 10 ³	4 X 10 ³
Air muara 1	2/3	2/3	2/3	1/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	1-0-0	0-0-0	4 X 10 ³	0
Air muara 2	2/3	2/3	2/3	1/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	1-0-0	0-0-0	4 X 10 ³	0
Sedimen pantai 1	2/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0-0-0	0-0-0	0	0
Sedimen pantai 2	2/3	1/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0-0-0	0-0-0	0	0
Air pantai 1	2/3	2/3	2/3	1/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	1-0-0	0-0-0	4 X 10 ³	0
Air pantai 2	2/3	2/3	2/3	1/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	1-0-0	0-0-0	4 X 10 ³	0
Kontrol	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3	0-0-0	0-0-0	0	0

Lampiran 7



Gambar. Sampel 3(tiga) daerah penelitian yang diuji pada media BGLB

Lampiran 8



Gambar. Koloni *coliform* pada sampel di 3 (tiga) daerah penelitian pada media Agar Endo

Lampiran 9-a

Hasil Analisis Statistik dengan Sidik Ragam (ANOVA)

I. Eksistensi Koprotanol

Sumber variasi	Db (derajat bebas)	JK (jumlah kuadrat)	KT (kuadrat tengah)	F-hitung	P (Probl)
Kota (K)	2	281,25	140,62	56,74**	0,00
Lingkungan (L)	2	336,90	168,50	67,98**	0,00
Interaksi K x L	4	173,05	43,26	17,46**	0,00
Galat	9	22,31	2,48		
Total	17	813,60			

Koefisien Variasi (KV) : 18,215

1.1. Uji -t. antar perlakuan Kota

Perlakuan	Jakarta	Semarang	Jepara
Jakarta	0,00	7,72	10,22
P	1,00	0,00	0,00
Semarang	-7,72	0,00	2,50
P	0,00	1,00	0,03
Jepara	-10,22	-2,50	0,00
P	0,00	0,03	1,00

1.2. Uji - t. antar perlakuan Lingkungan

Perlakuan	Sungai	Muara	Pantai
Sungai	0,00	7,72	10,22
P	1,00	0,00	0,00
Muara	-7,72	0,00	2,50
P	0,00	1,00	0,03
Pantai	-10,21	-2,50	0,00
P	0,00	0,03	1,00

Keterangan :

$P \leq 0,010$ = Sangat signifikan. $P \leq 0,050$ = Signifikan. $P > 0,050$ = Tidak signifikan.

Lampiran 9-b

II. Eksistensi Total *Coliform*

Sumber variasi	Db (derajat bebas)	JK (jumlah kuadrat)	KT (kuadrat tengah)	F-hitung	P (Probl)
Kota (K)	2	2.300.078.390.000	1.100.539.200.000	436,717**	0,000
Habitat (H)	1	521.361.100.000	521.361.100.000	19,732**	0,001
Lingkungan (L)	2	4.500.505.720.000	2.200.752.860.000	861,114**	0,000
Interaksi K x H	2	571.055.500.000	285.527.800.000	10,80**	0,001
Interaksi K x L	4	3.600.111.120.000	49.027.779.000	341,669**	0,000
Interaksi H x L	2	1.361.722.000	680.861.000	25,768**	0,000
Interaksi K x H x L	4	1.393.111.000	348.227.800	13,181**	0,000
Galat	17	449.183.800	26.422.580	-	
Total	35	10.900.053.000.000			

Koefisien Variasi (KV) : 16,596

2.1. Uji - t antar Perlakuan Kota

Sumber	t	P	Keterangan :
A1 - A2	26,169	0,000	A1 : Jakarta A2 : Semarang
A1 - A3	24,978	0,000	A3 : Jepara
A2 - A3	-1,191	0,249	

2.2. Uji - t antar Habitat

Sumber	t	P	Keterangan :
B1 - B2	-4,442	0,000	B1 : Air B2 : Sediman

Lampiran 9-c

Uji - t antar Lingkungan

Sumber	t	P	Keterangan :
C1 - C2	34,667	0,000	C1 : Sungai C2 : Muara
C1 - C3	37,090	0,000	C3 : Laut
C2 - C3	2,422	0,245	

Keterangan :

P \leq 0,010 = Sangat signifikan

P \leq 0,050 = Signifikan

P $>$ 0,050 = Tidak signifikan

III. Eksistensi *Fecal Coliform*

Sumber variasi	Db (derajat bebas)	JK (Jumlah kuadrat)	KT (Kuadrat Tengah)	F-hitung	P (Probl)
Kota (K)	2	37.555.560	18.777.780	1.832	0,189
Habitat (H)	1	133.777.800	113.377.800	11.102*	0,004
Lingkungan (L)	2	4.187.555.500	2.093.778.000	204,30**	0,000
Interaksi K x H	2	105.555.500	52.777.770	5.150*	0,018
Interaksi K x L	4	135.777.800	33.944.440	3,312*	0,035
Interaksi H x L	2	379.555.500	189.777.800	18,518**	0,000
Interaksi K x H x L	4	109.111.100	27.277.780	2,262	0,068
Galat	17	174.221.800	10.248.340		
Total	35	5.264.887.000			

Koefisien Variasi (KV) : 16,596

Lampiran 9-d

3.1. Uji – t antar Perlakuan Kota

Sumber	t	P	Keterangan :
A1 – A2	1,020	0,323	A1 : Jakarta A2 : Semarang
A1 – A3	- 0,893	0,612	A3 : Jepara
A2 – A3	-1,913	0,070	

3.2. Uji – t antar Habitat

Sumber	t	P	Keterangan :
B1 – B2	- 3,332	0,004	B1 : Air B2 : Sediman

3.3. Uji – t antar Lingkungan

Sumber	t	P	Keterangan :
C1 – C2	16,883	0,000	C1 : Sungai C2 : Muara
C1 – C3	18,109	0,000	C3 : Pantai
C2 – C3	1,275	0,217	

Keterangan :

P \leq 0,010 = Sangat signifikan

P \leq 0,050 = Signifikan

P $>$ 0,050 = Tidak signifikan

IV. Standar Deviasi

Dengan menggunakan Rumus :

1. $M = \sum x / n$

2. $SD = \sqrt{(x-rerata)^2/n}$

Keterangan :

M : Mean

X : Nilai Variabel

n : Banyaknya sampel

SD : Standart Deviasi

Lampiran 10

Hasil Perhitungan Standart Deviasi Eksistensi Koprostanol Di Berbagai Ekosistem

Sungai				
x	rerata	x-rerata	(x-rerata) ²	(x-rerata) ² /n
21,9612	14,69795	7,26325	52,75480056	8,79246676
24,7985	14,69795	10,10055	102,0211103	17,00351838
15,0636	14,69795	0,36565	0,133699922	0,02228332
14,733	14,69795	0,03505	0,001228503	0,00020475
6,8187	14,69795	-7,87925	62,08258056	10,34709676
4,8127	14,69795	-9,88525	97,71816756	16,28636126
88,1877				
Muara				
x	rerata	x-rerata	(x-rerata) ²	(x-rerata) ² /n
13,3549	6,453116667	6,901783333	47,63461318	7,939102197
11,6609	6,453116667	-5,207783333	27,12100725	4,520167874
0,9496	6,453116667	-5,503516667	30,2886957	5,04811595
1,1227	6,453116667	-5,330416667	28,41334184	4,735556973
5,8153	6,453116667	-0,637816667	0,4068101	0,067801683
5,8153	6,453116667	-0,637816667	0,4068101	0,067801683
38,7187				
Pantai				
x	rerata	x-rerata	(x-rerata) ²	(x-rerata) ² /n
6,3974	4,840716667	1,556683333	2,423263	0,403877167
6,2908	4,840716667	1,450083333	2,102741674	0,350456946
2,5649	4,840716667	-2,275816667	5,1793415	0,863223583
7,9343	4,840716667	3,093583333	9,57025784	1,595042973
2,5693	4,840716667	-2,271416667	5,159333674	0,859888946
3,2876	4,840716667	-1,553116667	2,41217138	0,402028563
29,0443				

Lampiran 11

Hasil Perhitungan Standart Deviasi Eksistensi Total Coliform Di Berbagai Ekosistem

Sungai				
x	rerata	x-rerata	(x-rerata) ²	(x-rerata) ² /n
150.000	81166,66667	68833,33333	4738027778	789671296,3
210.000	81166,66667	128833,33333	16598027778	2766337963
28.000	81166,66667	-53166,66667	2826694444	471115740,7
28.000	81166,66667	-53166,66667	2826694444	471115740,7
28.000	81166,66667	-53166,66667	2826694444	471115740,7
43.000	81166,66667	-38166,66667	1456694444	242782407,4
487.000				
Muara				
x	rerata	x-rerata	(x-rerata) ²	(x-rerata) ² /n
20.000	8500	11500	132250000	22041666,67
15.000	8500	6500	42250000	7041666,667
4.000	8500	-4500	20250000	3375000
4.000	8500	-4500	20250000	3375000
4.000	8500	-4500	20250000	3375000
4.000	8500	-4500	20250000	3375000
51.000				
Pantai				
x	rerata	x-rerata	(x-rerata) ²	(x-rerata) ² /n
-	666,6666667	-666,6666667	444444,4444	74074,07407
-	666,6666667	-666,6666667	444444,4444	74074,07407
-	666,6666667	-666,6666667	444444,4444	74074,07407
4.000	666,6666667	3333,333333	11111111,11	1851851,852
-	666,6666667	-666,6666667	444444,4444	74074,07407
-	666,6666667	-666,6666667	444444,4444	74074,07407
4.000				

Lampiran 13

Hasil Perhitungan Standart Deviasi Eksistensi Koprostanol Di Beberapa Kota

Jakarta					
x	rerata	x-rerata	$(x-rerata)^2$	$(x-rerata)^2/n$	$\sqrt{(x-rerata)^2/n}$
21,9612	14,07728333	7,883916667	62,15614201	10,359357	3,22
24,7985	14,07728333	10,72121667	114,9444868	19,15741447	4,38
13,3549	14,07728333	-0,722383333	0,52183768	0,086972947	0,29
11,6609	14,07728333	-2,416383333	5,838908414	0,973151402	0,99
6,3974	14,07728333	-7,679883333	58,98060801	9,830101336	3,14
6,2908	14,07728333	-7,786483333	60,6293227	10,10488712	3,18
84,4637					2,53
Semarang					
x	rerata	x-rerata	$(x-rerata)^2$	$(x-rerata)^2/n$	$\sqrt{(x-rerata)^2/n}$
15,0636	7,061333333	8,002266667	64,0362718	10,67271197	3,27
14,733	7,061333333	7,671666667	58,85446944	9,809078241	3,13
0,9496	7,061333333	-6,111733333	37,35328434	6,22554739	2,50
1,1227	7,061333333	-5,938633333	35,26736587	5,877894311	2,42
2,5649	7,061333333	-4,496433333	20,21791272	3,36965212	1,84
7,9342	7,061333333	0,872866667	0,761896218	0,126982703	0,36
42,368					2,25
Jepara					
x	rerata	x-rerata	$(x-rerata)^2$	$(x-rerata)^2/n$	$\sqrt{(x-rerata)^2/n}$
6,8187	4,7905	2,0282	4,11359524	0,685599207	0,83
4,8027	4,7905	0,0122	0,00014884	2,48067E-05	0,00
5,8153	4,7905	1,0248	1,05021504	0,17503584	0,42
5,4494	4,7905	0,6589	0,43414921	0,072358202	0,27
2,5693	4,7905	-2,2212	4,93372944	0,82228824	0,91
3,2876	4,7905	-1,5029	2,25870841	0,376451402	0,61
28,743					0,51

Lampiran 14

Hasil Perhitungan Standart Deviasi Eksistensi Total Coliform Di Beberapa Kota

Jakarta					
x	rerata	x-rerata	$(x-rerata)^2$	$(x-rerata)^2/n$	$\sqrt{(x-rerata)^2/n}$
150.000	65833,33333	84166,66667	7084027778	1180671296	34.360,90
20.000	65833,33333	-45833,33333	2100694444	350115740,7	18.711,38
-	65833,33333	-65833,33333	4334027778	722337963	26.876,35
210.000	65833,33333	144166,6667	20784027778	3464004630	58.855,80
15.000	65833,33333	-50833,33333	2584027778	430671296,3	20.752,62
-	65833,33333	-65833,33333	4334027778	722337963	26.876,35
395.000					31.072,23
Semarang					
x	rerata	x-rerata	$(x-rerata)^2$	$(x-rerata)^2/n$	$\sqrt{(x-rerata)^2/n}$
28.000	11333,33333	16666,66667	277777777,8	46296296,3	6.804,14
4.000	11333,33333	-7333,33333	53777777,78	8962962,963	2.993,82
4.000	11333,33333	-7333,33333	53777777,78	8962962,963	2.993,82
28.000	11333,33333	16666,66667	277777777,8	46296296,3	6.804,14
4.000	11333,33333	-7333,33333	53777777,78	8962962,963	2.993,82
-	11333,33333	-11333,33333	128444444,4	21407407,41	4.626,81
68.000					4.536,09
Jepara					
x	rerata	x-rerata	$(x-rerata)^2$	$(x-rerata)^2/n$	$\sqrt{(x-rerata)^2/n}$
28.000	13166,66667	14833,33333	220027777,8	36671296,3	6.055,68
4.000	13166,66667	-9166,66667	84027777,78	14004629,63	3.742,28
-	13166,66667	-13166,66667	173361111,1	28893518,52	5.375,27
43.000	13166,66667	29833,33333	890027777,8	148337963	12.179,41
4.000	13166,66667	-9166,66667	84027777,78	14004629,63	3.742,28
-	13166,66667	-13166,66667	173361111,1	28893518,52	5.375,27
79.000					6.078,36

**Hasil Perhitungan Standar deviasi Eksistensi *Fecal Coliform*
di Beberapa Kota**

Jakarta					
x	rerata	x-rerata	$(x-rerata)^2$	$(x-rerata)^2/n$	$\sqrt{(x-rerata)^2/n}$
21.000	10000	11000	121000000	20166666,67	4.490,73
11.000	10000	1000	1000000	166666,6667	408,25
-	10000	-10000	100000000	16666666,67	4.082,48
28.000	10000	18000	324000000	54000000	7.348,47
-	10000	-10000	100000000	16666666,67	4.082,48
-	10000	-10000	100000000	16666666,67	4.082,48
60.000					4.082,48
Semarang					
x	rerata	x-rerata	$(x-rerata)^2$	$(x-rerata)^2/n$	$\sqrt{(x-rerata)^2/n}$
20.000	9333,333333	10666,66667	113777777,8	18962962,96	4.354,65
4.000	9333,333333	-5333,333333	28444444,44	4740740,741	2.177,32
-	9333,333333	-9333,333333	87111111,11	14518518,52	3.810,32
28.000	9333,333333	18666,66667	348444444,4	58074074,07	7.620,63
4.000	9333,333333	-5333,333333	28444444,44	4740740,741	2.177,32
-	9333,333333	-9333,333333	87111111,11	14518518,52	3.810,32
56.000					3.991,76
Jepara					
x	rerata	x-rerata	$(x-rerata)^2$	$(x-rerata)^2/n$	$\sqrt{(x-rerata)^2/n}$
20.000	11166,66667	8833,333333	78027777,78	13004629,63	3.606,19
4.000	11166,66667	-7166,66667	51361111,11	8560185,185	2.925,78
-	11166,66667	-11166,66667	124694444,4	20782407,41	4.558,77
43.000	11166,66667	31833,33333	1013361111	168893518,5	12.995,90
-	11166,66667	-11166,66667	124694444,4	20782407,41	4.558,77
-	11166,66667	-11166,66667	124694444,4	20782407,41	4.558,77
67.000					5.534,03

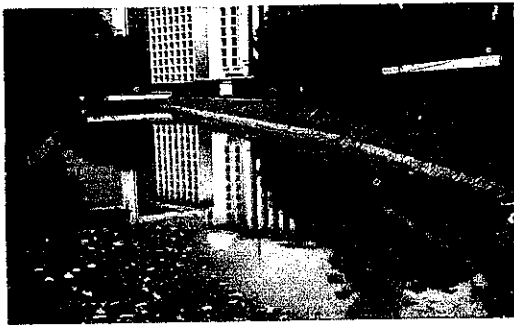


Foto 1. Kondisi lingkungan perairan sungai Ciliwung, Jakarta



Foto 2 Kondisi lingkungan perairan Banjir Kanal Timur dan muara di Semarang



Foto 3. Kondisi lingkungan perairan sungai Demaan, Jepara



Gambar. Kondisi lingkungan di 3 (tiga) daerah penelitian

DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G. dan Santika, S. S, *Metode Penelitian Air*, Usaha Nasional Surabaya-Indonesia, 1984
- Alloway, B. J. and D. C. Ayres, *Chemical Principle of Environmental Pollution*, Blackie Academic & Professional, Blasgow, UK, 1994
- Bachtiar, T, *Tracing Contaminated Sediment Using Natural Indicators*, Master Thesis, Departement of Geology, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada, 1993
- 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
- Brown, R. C. and T. L. Wade, Sedimentary coprostanol and hydrocarbon distribution adjacent to a sewage outfall. *Wat. Res.*, 18: 621-631, 1984
- Chan, K. H., M. H. W. Lam, and K. F. Poon, Application of sedimentary fecal stanol and sterol in tracing sewage pollution in coastal waters, *Wat. Res.* 32 (1) 225-235, 1998
- 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
- Coakley, J. P., J. H. Carey, and B. J. Eadie, Specific organic components as tracers of contaminated fine sediment dispersal in Lake Ontario near Toronto, *Hydrobiologia*, 235 / 236 : 85-96, 1992
- Dahuri, R., J. Rais, S. P. Ginting dan M. J. Sitepu, *Pengelolaan Sumber Daya Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu*, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1996

- 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
- Dureth, S, R. Herrman, and K. Pecher, Tracing fecal pollution by coprostanol and intestinal bacteria in an ice-covered Finnish lake loaded with both industrial and domestic sewage. *Water. Air. Soil. Poll.*, 28: 131-149, 1986
- 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
- Hatcher, P. G. and P. A. McGillivray, Sewage contamination in the New York Bight : Coprostanol as an indicators. *Environ. Sci. Technol.*, 13: 1225-1229, 1979
- Hakanson, L. and M. Jansson, *Prinsiples of lake Sedimentology*, Springer-Verlag, 316p, 1983
- Harlemen, D. R. F, Pollution in Estuaries, dalam *Estuary and Coastaline Hydrodynamics*, Bab 14, Ippen, A. T., Editor, McGraw-Hill, New York, 596-629, 1996
- Hutagalung, H.P, Setiapermana, D. Riyono, S.H, *Metode Analisis Air Laut, sedimen dan Biota*, Buku 2, Pusat Penelitian dan Pengembangan Oceanologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Jakarta, 1997
- Kapuscinski, B. R. and Mitchell, R. Solar Radiation Induces Sublethal Injury in *Escherichia coli* in Seawater. *Appl Environ. Microbiol*, 41 : 670 – 674, 1981
- Koesmaryono Y dan Handoko, *Klimatologi Dasar*, Bahan Pengajaran Jurusan Geofisika Dan Meteorology, FMIPA-IPA, IPB, 1988
- Lakitan, B., *Dasar-dasar Klimatologi*, PT Raja Grafindo Persada, 2002
- McDowell, M. D. and B. A. O'Connor, *Hydraulic 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
- Murtiarti, E. A. S., *Pendugaan Pencemaran di Sungai Kaligarang Semarang ditinjau dari Distribusi Horisontal Kelimpahan *Escherichia coli**, Jurusan Perikanan, Fakultas Peternakan UNDIP, Semarang, 1987
- Natsir, M.. *Metode Penelitian*. Ghalia Indonesia, Jakarta, 1988
- Nontji, A., *Laut Nusantara*, Djembatan Jakarta, 2002
- Nirnama, *Kursus Pemantauan Pencemaran Laut I*, UNDIP-P3O LIPI-UNESCO/UNDIP PUSLIT KLH LEMLIT UNDIP, Semarang, 1992

- Pelezar, J., E.C.S, and Chan., *Dasar-dasar Mikrobiologi*. UI-Press. Jakarta. (diterjemahkan oleh Ratna Siri Hadioetomo *et al*). hlm 131-157, 1986
- Pamdey, G. N. and G. C. Carney, *Environmental Engineering*, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 1991
- Pipkin, *Laboratory Exercise in Oceanography*, H. H, Freeman and Company, San Fransisco, 1987
- 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
- Prawirowardoyo, S., *Meteorologi*, Penerbit ITB, Bandung. Hlm 78 – 85, 1996
- 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, 2000
- Supriharyono, *Pelestarian dan Pengelolaan Sumber Daya Alam di Wilayah Pesisir Tropis*, PT. Gramedia Pustaka Utama Jakarta, 2002
- Suriawiria, U., *Mikrobiologi Air dan Dasar-dasar Pengolahan Buangan Secara Biologis*. Alumni. Bandung. hlm 74-75, 1996
- Thurman, H. V., *Introductionary Oceanography*, 7nd edition, Mac Millan Publishing Company, New York, 1994
- Walker, R. W., C. K. Wun, and W. Litsky, *Coprostanol as an indicator of fecal pollution*, Paper No. 1420, Massachusettes Agriculture Experiment Station, University of Massachusettes, Amherst, 1982
- Wardhana, *Dampak Pencemaran Lingkungan, edisi revisi*, Yogyakarta ANDI, 2001
- Widada, S, Pendahuluan tentang Dinamika Sedimentasi di Muara Sungai Tuntang Lama, Kabupaten Demak, Jurusan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, Semarang, *Majalah Ilmu Kelautan*, Hlm 260 – 279, 2000
- Winarno, F. G., *Air untuk Industri Pangan*, PT Gramedia, Jakarta, 1986
- Yuwono, N., *Perancangan Bangunan Jetty*, Laboratorium Hidraulika dan Hidrologi, PAU- IT-UGM, Yogyakarta, 1994