

EKO-HIDRAULIK PENGELOLAAN SUNGAI

Agus Maryono, Dr.-Ing., Ir.
Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Yogyakarta

Gadjah Mada University Press

DAFTAR ISI

PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xv
1 PENDAHULUAN	1
2 WILAYAH SUNGAI DAN ALUR SUNGAI	5
2.1. Pengantar	5
2.2. Zona Memanjang	7
2.3. Zona Melintang	8
2.4. Klasifikasi Sungai	10
2.4.1. Klasifikasi Berdasarkan Lebar Sungai	10
2.4.2. Klasifikasi Berdasarkan Vegetasi	11
2.4.3. Klasifikasi Berdasarkan Lebar, Kedalaman, Kecepatan Aliran, dan Debit Sungai	11
2.4.4. Klasifikasi Berdasarkan Orde Sungai	13
3 MORFOLOGI SUNGAI	15
3.1. Pengantar	15
3.2. Konsep Keseimbangan dalam Morfologi Sungai	16
3.3. Model Ruang-Waktu Perubahan Morfologi Sungai	19
3.4. Perkembangan Arah Melintang	20
3.5. Perkembangan Arah Memanjang	20
3.5.1. Alur Sungai Lurus	22
3.5.2. Alur Sungai Bercabang-Cabang (<i>Braided River and Furcation</i>)	22
3.5.3. Sungai Bermeander	23
3.6. Struktur Dasar Sungai (<i>Transport Body</i>)	25

4	KONSEP EKO-HIDRAULIK SUNGAI	29
4.1.	Pengantar	29
4.2.	Fungsi Sungai	30
4.2.1.	Fungsi sebagai Saluran Eko-Drainase (Drainase Ramah Lingkungan)	30
4.2.2.	Fungsi sebagai Saluran Irigasi	31
4.2.3.	Fungsi Ekologi	32
4.3.	Konsep Eko-Hidrolik dalam Pengelolaan Sungai	35
4.4.	Kompilasi Data	36
4.4.1.	Data Fisik-Hidrolik	36
4.4.2.	Data Ekologi (Kimia dan Biologi)	37
4.4.3.	Data Aktivitas Sosial	38
4.5.	Konsep Eko-Hidrolik dalam Pengelolaan Bangunan pada Sungai	39
4.5.1.	Bangunan Bendung	39
4.5.2.	Bangunan Pelurusan Sungai, Sudetan, dan Tanggul	42
5	EKO-HIDRAULIKA SUNGAI	55
5.1.	Pengantar	55
5.2.	Aliran Dasar	55
5.3.	Kecepatan Air	56
5.4.	Aliran Meluncur dan Mengalir	58
5.5.	Aliran Kritis	59
5.6.	Hambatan Aliran pada Berbagai Tampang Melintang Sungai/ Saluran	61
5.6.1.	Tampang Segi Empat dan Trapesium	61
5.6.2.	Profil Tampang Tersusun	62
5.7.	Hitungan Debit dan Tinggi Muka Air	66
5.8.	Hitungan dengan Rumus Manning-Strickler	68
5.9.	Hitungan dengan Rumus Darcy-Weisbach	68
5.10.	Struktur Vegetasi pada Sungai Alamiah	72
5.11.	Koefisien Hambatan untuk Tampang Tak Teratur	74
5.12.	Pengaruh Kekasaran Dinding Tak Seragam	76
5.13.	Perkembangan Desain dari Hidraulik Konvensional menjadi Eko-Hidrolik	76
6	EKO-ENGINEERING DALAM EKO-HIDRAULIK	81
6.1.	Pengantar	81
6.2.	Longsoran Tebing	81
6.2.1.	Longsor pada Pantai dan Pinggir Sungai Akibat Abrasi	81
6.2.2.	Longsor Akibat Erosi Banjir	82
6.2.3.	Perlindungan Dasar Sungai	91

7 KONSERVASI DAN PEMELIHARAAN SUNGAI	
KOMPREHENSIF	95
7.1. Komponen Sungai	95
7.1.1. Komponen Hidraulik	96
7.1.2. Komponen Sedimen dan Morfologi Sungai	97
7.1.3. Komponen Ekologi	98
7.1.4. Komponen Sosial	100
7.2. Pemeliharaan Sungai Komprehensif	101
7.2.1. Mempertahankan Kondisi Abiotik dan Biotik	101
7.2.2. Revitalisasi - Restorasi Sungai (<i>River Restoration</i>)	115
7.2.3. Koreksi Bangunan-Bangunan Sungai Skala Kecil	117
7.2.4. Koreksi Abutmen Jembatan	120
7.3. Pemeliharaan Sungai dengan Konsep Eko-Hidraulik dan Penanggulangan Banjir	122
8 KUMPULAN ARTIKEL TENTANG EKO-HIDRAULIK DI HARIAN KOMPAS	129
8.1. Pengantar	129
8.2. Pelurusan, Sudetan, dan Pembuatan Tanggul Sungai Justru Menyebabkan Banjir Besar	130
8.3. Eko-Hidraulik Ramah Lingkungan - Suatu Konsep Baru untuk Menanggulangi Banjir dan Kerusakan Lingkungan di Wilayah Keairan	134
8.4. Transportasi Sungai Mengatasi Kemacetan dan Ramah Lingkungan	138
8.5. Mengatasi Banjir di Jakarta - <i>One River One Plan and One Integrated Management</i>	141
8.6. Hati-Hati dengan Normalisasi Sungai untuk Atasi Banjir di Jakarta	146
DAFTAR PUSTAKA	151
I N D E K S	157

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Daerah Aliran Sungai (DAS) dan Wilayah Sungai, contoh pada Sungai Bohorok, Sumatera Utara [Sumber: BAKOSURTANAL, 2003].	6
Gambar 2.2	Zonasi memanjang sungai dengan perubahan komponennya (Niemeyer-Lüllwitz & Zucchi, 1985).	8
Gambar 2.3	Hubungan antara tinggi muka air dan karakteristik vegetasi daerah bantaran sungai (Sparks, 1995, dalam FISRWG, 1998).	9
Gambar 2.4	Hubungan antara lebar sungai dan kedalaman sungai dengan kandungan lumpur (Schumm, 1960).	9
Gambar 2.5	Karakteristik sungai kecil dan besar (Leopold <i>et al.</i> , 1964).	12
Gambar 2.6	Orde sungai.	13
Gambar 3.1	Sistem proses pembentukan dasar sungai/morfologi sungai (Mangelsdorf & Scheuermann, 1980).	16
Gambar 3.2	Keseimbangan menurut Chorley & Kennedy (1971).	16
Gambar 3.3	Contoh keseimbangan dinamis pH, BOD, dan COD Sungai Code di Yogyakarta.	18
Gambar 3.4	Model Ruang-Waktu perubahan morfologi sungai (Kern, 1994).	19
Gambar 3.5	Tipe alur sungai (Rosgen, 1996).	21
Gambar 3.6	Tendensi bentuk dasar sungai setelah pelurusan (Sungai Rhine, Jerman).	22
Gambar 3.7	Hubungan antara panjang meander L dan lebar sungai B; panjang meander L dan radius meander r_m (Leopold <i>et al.</i> , 1964).	24
Gambar 3.8	Klasifikasi bentuk meander (Kellerhals <i>et al.</i> , 1976).	25
Gambar 3.9	Klasifikasi struktur dasar sungai (Maryono, 1999).	26
Gambar 3.10	Klasifikasi bar (gundukan pasir).	26
Gambar 3.11	<i>Furcation</i> dan <i>Anastomosing</i> (Church, 1992).	27
Gambar 3.12	Alur sungai dengan formasi pulau.	27
Gambar 4.1	Fungsi sungai kecil sebagai saluran irigasi.	31
Gambar 4.2	Sungai dengan komponen ekologi dan hidraulik (Patt <i>et al.</i> , 1999).	32

Gambar 4.3	Kayu mati di sungai kecil sebagai komponen ekologi dan hidraulik.	33
Gambar 4.4	Saling ketergantungan antara komponen abiotik dan biotik di suatu sungai (Diester, 1996).	34
Gambar 4.5	Profil melintang Sungai Winongo di lokasi muara pada Sungai Opak, Daerah Istimewa Yogyakarta (Maryono dan GTZ, 2002).	36
Gambar 4.6	Vegetasi Sungai Winongo di sebelah hilir Jembatan Denggung (bagian hulu sungai), Daerah Istimewa Yogyakarta (Maryono dan GTZ, 2002).	37
Gambar 4.7	<i>Biological Oxygen Demand</i> (BOD) Sungai Winongo pada lokasi Jembatan Denggung (bagian hulu sungai), Daerah Istimewa Yogyakarta (Maryono dan GTZ, 2002).	38
Gambar 4.8	Salah satu sampah deponi di pinggir Sungai Winongo di sekitar Jembatan Sugeng Jeroni (sungai bagian tengah), Daerah Istimewa Yogyakarta (tahun 2002).	39
Gambar 4.9	Sedimentasi, erosi, dan terputusnya kemenerusan sungai akibat pembangunan bendung.	40
Gambar 4.10	Bendung Tirol untuk sungai kecil (saluran pengambilan di dasar sungai).	41
Gambar 4.11	Bendung dengan konstruksi migrasi ikan atau <i>fishway / fish track</i> .	41
Gambar 4.12	Perubahan klasik dari kondisi sungai alamiah ke kondisi buatan (Patt <i>et al.</i> , 1999).	43
Gambar 4.13	Pemendekan alur sungai akibat pelurusan dan sudetan (Sungai Rhine, Jerman, 1810-1950).	45
Gambar 4.14	Erosi akibat pelurusan sungai (Sungai Rhine, Jerman, 1810-1955).	47
Gambar 4.15	Perubahan kurva hubungan antara debit dan waktu akibat pelurusan, sudetan, dan pembuatan tanggul (Sungai Rhine, 1955-1977).	48
Gambar 4.16	Lingkungan biotik dan abiotik dasar sungai (Patt <i>et al.</i> , 1999).	49
Gambar 4.17	Lingkungan biotik dan abiotik sungai (Patt <i>et al.</i> , 1999).	49
Gambar 4.18	Korelasi komponen biotik dan abiotik pada suatu pulau.	50
Gambar 4.19	Studi perubahan variditas zoobenthos akibat pelurusan sungai di Baden Wurttemberg, Jerman (Kiene, 1998).	51
Gambar 4.20	Perbedaan variditas fauna akuatik Sungai Code Yogyakarta pada bagian yang alami dan bagian yang telah dibangun/diluruskan.	51
Gambar 4.21	Perbedaan variditas flora pinggir Sungai Code Yogyakarta pada bagian yang alami dan bagian yang telah dibangun/diluruskan.	51

Gambar 4.22	Berbagai jenis ikan dan kelompok <i>functional feeding</i> makroinvertebrata di suatu wilayah sungai serta ilustrasi <i>The River Continuum Concept</i> (Patt <i>et al.</i> , 1999).	53
Gambar 5.1	Distribusi kecepatan dan isovel suatu tampang sungai alamiah.	56
Gambar 5.2	Dua kondisi aliran mengalir dan meluncur.	58
Gambar 5.3	Perubahan kondisi aliran di suatu saluran/sungai.	60
Gambar 5.4	Pembagian tampang saluran trapesium berdasarkan distribusi kecepatan aliran.	61
Gambar 5.5	Batas-batas pembagian aliran pada profil tersusun.	62
Gambar 5.6	Ilustrasi interaksi pada sungai dengan bantaran bervegetasi.	63
Gambar 5.7	Saluran/sungai dengan bantaran bervegetasi serta interaksi massa dan impuls antara sungai utama dan daerah bantaran	64
Gambar 5.8	Pembagian daerah aliran sesuai dengan bentuk tampang bagian dan vegetasi yang ada (menurut Rouve, 1987).	65
Gambar 5.9	Perubahan distribusi kecepatan pada saluran trapesium tanpa vegetasi dan dengan vegetasi.	67
Gambar 5.10	Perubahan kemampuan mengalirkan debit.	67
Gambar 5.11	Diagram koefisien hambatan.	71
Gambar 5.12	Struktur vegetasi di wilayah sungai (Roufe, 1987).	73
Gambar 5.13	Faktor dalam hitungan koefisien hambatan saluran (sungai) dengan vegetasi.	74
Gambar 5.14	Pembagian daerah I, II, III untuk metode Mertens (1989).	75
Gambar 5.15	Kecepatan rata-rata di saluran utama suatu saluran tersusun sebagai fungsi dari kedalaman air.	76
Gambar 5.16	Perkembangan bentuk saluran dari Konsep Hidraulik Konvensional sampai dengan Konsep Eko-Hidraulik (Dittrich <i>et al.</i> , 2000).	77
Gambar 5.17	Perkembangan evolutif pembangunan sungai dari sungai alamiah, sungai diluruskan, sungai dikembalikan (direnaturalisasi), hingga kembali menyerupai sungai alamiah.	78
Gambar 5.18	Perkembangan evolutif penanganan sedimen dengan check dam; dari <i>natural cascade</i> pada sungai alamiah, <i>massive check dam</i> , <i>permeable check dam</i> , konstruksi beton zigzag, konstruksi rangka, dan kembali menjadi <i>natural cascade</i> .	79
Gambar 6.1	Perlindungan tebing sungai (Budinetro, 2001).	84
Gambar 6.2	Eko-engineering untuk pengendalian erosi tebing dengan penanaman karangkungan (<i>Ipomoea carnea</i>) dan rumput vetiver (<i>Vetiveria zizanioides</i>) pada endapan baru (Budinetro, 2001).	85
Gambar 6.3	Batang pohon yang tak teratur (Patt <i>et al.</i> , 1999).	86
Gambar 6.4	Gabungan (ikatan) batang dan ranting pohon membujur (Patt <i>et al.</i> , 1999).	87

Gambar 6.5	Ikatan batang dan ranting pohon dengan batu dan tanah di dalamnya (Patt <i>et al.</i> , 1999).	87
Gambar 6.6	Pagar datar (Patt <i>et al.</i> , 1999).	88
Gambar 6.7	Penutup tebing (Patt <i>et al.</i> , 1999).	88
Gambar 6.8	Tanaman tebing (Patt <i>et al.</i> , 1999).	89
Gambar 6.9	Penanaman tebing (Patt <i>et al.</i> , 1999).	89
Gambar 6.10	Tanaman antara pasangan batu kosong (Patt <i>et al.</i> , 1999).	90
Gambar 6.11	Krip penahan arus (Patt <i>et al.</i> , 1999).	90
Gambar 6.12	Bendung rendah pada dasar sungai dengan kayu mati (Patt <i>et al.</i> , 1999).	92
Gambar 6.13	Bendung rendah dari batu lepas (Patt <i>et al.</i> , 1999).	93
Gambar 6.14	Perlindungan dasar sungai dengan batu-batu lepas (Patt <i>et al.</i> , 1999).	93
Gambar 7.1	Perubahan morfologi sungai yang telah diluruskan ke bentuk alur semula.	102
Gambar 7.2	Peningkatan populasi ikan trout (<i>Salmo trutta</i>) di sungai kecil Spaanbach dan Toesbach (Madsen & Tent, 2000).	103
Gambar 7.3	Proses pembusukan daun pohon deciduous yang gugur ke sungai di daerah <i>temperate</i> .	105
Gambar 7.4	Foto dan ilustrasi akar pohon pinggir sungai sebagai habitat fauna sungai (Sungai Gajahwong, Yogyakarta).	106
Gambar 7.5	Foto dan ilustrasi tumbuhan rumput di pinggir Sungai Winongo, Yogyakarta.	107
Gambar 7.6	Vegetasi pingir sungai di Sungai Pelang, Yogyakarta.	108
Gambar 7.7	Tebing sungai yang tertutup tumbuhan merambat masih utuh, sementara tebing sungai yang terbuka runtuh; contoh kasus pada Sungai Code, Yogyakarta, 2005.	108
Gambar 7.8	Zona endapan (kurva dalam sungai) dan zona gerusan (kurva luar sungai) pada sungai bermeander.	109
Gambar 7.9	Ilustrasi <i>step</i> dan <i>pool</i> di sungai (diolah dari Madsen & Tent, 2000 dan Nakamura, 2003).	110
Gambar 7.10	Batu-batuan di badan sungai.	111
Gambar 7.11	Pulau di tengah sungai (Sungai Winongo, Yogyakarta).	113
Gambar 7.12	Danau pinggir sungai (<i>oxbow lake</i>) Bakuo, Kampar, Provinsi Riau.	113
Gambar 7.13	Mata air di pinggir Sungai Code bagian hulu, Yogyakarta.	115
Gambar 7.14	Modifikasi gorong-gorong dengan outlet tinggi (Madsen & Tent, 2000).	118
Gambar 7.15	Modifikasi gorong-gorong dengan kemiringan tajam (Madsen & Tent, 2000).	119
Gambar 7.16	Modifikasi gorong-gorong datar tanpa bantaran.	119
Gambar 7.17	Restorasi gorong-gorong siphon dengan <i>fishway</i> tipe <i>bypass</i> .	120

Gambar 7.18	Abutmen jembatan sempit, perlu diperlebar.	121
Gambar 7.19	Modifikasi abutmen jembatan tanpa bantaran (Madsen & Tent, 2000).	121
Gambar 8.1	Sungai Code, Yogyakarta; diluruskan dan alamiah.	133
Gambar 8.2	Rekayasa hidraulik konvensional yang menghancurkan komponen ekologi suatu sungai dan menandatangani banjir di bagian hilir.	135
Gambar 8.3	Perahu ces/ketinting menjadi angkutan sehari-hari warga di Sungai Mahakam untuk berhubungan satu daerah dengan daerah lainnya. Perahu ini juga digunakan warga setempat untuk mencari ikan.	139
Gambar 8.4	Sampah di salah satu sungai di Jakarta (Kompas, 2002).	142
Gambar 8.5	Renaturalisasi Sungai Enz, Jerman.	147

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi menurut Kern (1994)	10
Tabel 2.2	Klasifikasi menurut Heinrich & Hergt dalam <i>Atlas Ökologie</i> (1999)	11
Tabel 5.1	Perbandingan $V_m/V_{o,max}$ untuk menentukan besarnya kecepatan rata-rata (Rössert, 1994)	58
Tabel 5.2	Nilai batas-batas kritis untuk profil segi empat dan trapesium (dari Schneider, 1994)	60
Tabel 5.3	Angka kekasaran Strickler (k_{st})	69
Tabel 5.4	Koefisien kekasaran equivalen k_s (Zanke, 1982 dan DVWK, 1990)	72
Tabel 7.1	Persebaran flora sempadan sungai dan fauna air di sepanjang Sungai Gajahwong, Yogyakarta	99
Tabel 7.2	Jenis tumbuhan di zona amphibi sepanjang Sungai Gajahwong, Yogyakarta	100
Tabel 7.3	Pekerjaan dalam renaturalisasi sungai kecil Spaanbach dan Toesbach (Madsen & Tent, 2000)	102