



PENGEMBANGAN SUMBER DAYA AIR



Rakhmad Armus • Miswar Tumpu • Tamrin Tamim • Nenny
Nur Azizah Affandy • Muhammad Amin Syam • Fauzan Hamdi
Fathur Rahman Rustan • Muhammad Ihsan Mukrim • Amrullah Mansida

PENGEMBANGAN SUMBER DAYA AIR



UU 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Perlindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- a. penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- b. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- c. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- d. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).

Pengembangan Sumber Daya Air

Rakhmad Armus, Miswar Tumpu, Tamrin Tamim, Nenny
Nur Azizah Affandy, Muhammad Amin Syam, Fauzan Hamdi
Fathur Rahman Rustan, Muhammad Ihsan Mukrim, Amrullah Mansida



Penerbit Yayasan Kita Menulis

Pengembangan Sumber Daya Air

Copyright © Yayasan Kita Menulis, 2021

Penulis:

Rakhmad Armus, Miswar Tumpu, Tamrin Tamim, Nenny
Nur Azizah Affandy, Muhammad Amin Syam, Fauzan Hamdi
Fathur Rahman Rustan, Muhammad Ihsan Mukrim
Amrullah Mansida

Editor: Ronal Watrianthos

Desain Sampul: Devy Dian Pratama, S.Kom.

Penerbit

Yayasan Kita Menulis

Web: kitamenulis.id

e-mail: press@kitamenulis.id

WA: 0821-6453-7176

IKAPI: 044/SUT/2021

Rakhmad Armus., dkk.

Pengembangan Sumber Daya Air

Yayasan Kita Menulis, 2021

xiv; 146 hlm; 16 x 23 cm

ISBN: 978-623-342-214-7

Cetakan 1, September 2021

- I. Pengembangan Sumber Daya Air
- II. Yayasan Kita Menulis

Katalog Dalam Terbitan

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak maupun mengedarkan buku tanpa
izin tertulis dari penerbit maupun penulis

Kata Pengantar

Puji syukur selalu kita panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa sehingga tim penulis dapat menyelesaikan buku ini dengan baik. Buku ini disusun atas kebutuhan yang mendesak terhadap buku Pengembangan Sumber Daya Air.

Pembaca akan diajak untuk dapat memahami dan mengerti konsep-konsep awal kebijakan pemerintah dalam mengalokasikan tapak dasar survey sumber daya air yang ada di Indonesia guna memaksimalkan kebutuhan akan air melalui investigasi sumber daya air. Di dalam buku ini diulas dengan sangat gamblang masalah kebutuhan air dengan membangun pemikiran pembaca mengenai prasarana yang layak sebagai dasar dari infrastruktur akan konsep kebutuhan air (Water Demand) disetiap rentang wilayah dengan mengartikulasikan wilayah topografi daerah pengaliran sungai (DPS) sebagai daerah tangkapan hujan. Buku ini dibahas pula mengenai sistem perencanaan penampungan air yang luas sebagai wadah yang beroperasi secara multifungsi yang mencakup pemodelan penampungan hujan, sistem Pengembangan sumber air dan sebagai sumber energi baik potensial maupun kinetik yang terpaut dalam pengelolaan sumber daya air secara estetis dan alami sebagai wujud nyata mendukung keberlanjutan lingkungan alam dalam koridor pelestarian sumber daya air yang sempurna.

Akhirnya tim penulis menyadari, buku ini masih banyak yang belum dapat dipaparkan secara runut dan gamblang sebagai buah dari pengetahuan yang kurang matang. Sebagai tim penulis yang berjumlah 10 orang ini sangat maklum bahwa kesempurnaan itu hanya milik Tuhan Yang Maha Esa dan untuk ini kami sangat berterima kasih jika ada saran kritik dari pembaca budiman dengan menjadikan buku ini sebagai bahan telaah akademik di kampus-kampus maupun dalam lingkungan ilmiah.

Terima kasih kepada semua pihak yang membantu sampai terbitnya buku ini, semoga jadi sumber ilmu bagi pembaca dan sebagai ladang pahala bagi yang menyebarkannya.

Rakhmad Armus, dkk
Tim Penulis,

Daftar Isi

Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	xiii

Bab 1 Pendahuluan Pengembangan Sumber Daya Air

1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Kebijakan Pengelolaan Sumber Daya Air.....	2
1.3 Dasar Pengelolaan Sumber Daya Air	3
1.3.1 Permasalahan Sumber Daya Air	5
1.3.2 Kebutuhan Air.....	6
1.4 Sumber-Sumber Air	7
1.4.1 Air Atmosfer.....	7
1.4.2 Air Permukaan.....	9
1.4.3 Air Bawah Permukaan	9
1.5 Kuantitas dan Kualitas Air.....	10
1.6 Beberapa Istilah Penting Dalam PSDA	11

Bab 2 Survey dan Investigation Proyek SDA

2.1 Pendahuluan.....	15
2.2 Studi Kasus Survei dan Investigation Proyek SDA.....	17
2.3 Tata Cara Mengunduh Perangkat Lunak HEC-RAS.....	19
2.4 Data Geometri.....	19

Bab 3 Daerah Pengaliran Sungai (DPS) atau River Basin Komponen Water Infrastructure

3.1 Daerah Aliran Sungai (DAS).....	23
3.2 Tata Guna Lahan dan Kesesuaian Lahan	25
3.3 Perubahan Tata Guna Lahan	30
3.4 Sistem Informasi Geografis	31

Bab 4 Kebutuhan Air (Water Demand)

4.1 Pendahuluan.....	33
4.2 Pertumbuhan Penduduk dan Kebutuhan Air.....	34
4.3 Perhitungan Ketersediaan Air.....	37
4.4 Perhitungan Kebutuhan Air.....	39
4.5 Perhitungan Neraca Air.....	41

Bab 5 Kajian Rekayasa Hidrologi Ketersediaan Air Daerah Pengaliran Sungai (DPS)

5.1 Pendahuluan.....	43
5.2 Analisa Hidrologi	44
5.2.1 Curah Hujan Bulanan Rata - Rata Daerah Aliran Sungai	44
5.2.2 Melengkapi Data Hujan yang Hilang	45
5.2.3 Mencari Curah Hujan Rata-Rata Wilayah.....	46
5.2.4 Curah Hujan Rancangan	49
5.2.5 Intensitas Curah Hujan	50
5.3 Ketersediaan Air	50
5.3.1 Air Permukaan	51
5.3.2 Debit Sungai dan Debit Intake.....	52
5.3.3 Mata Air	54
5.4 Daerah Aliran Sungai.....	54

Bab 6 Penerapan Pemodelan Hujan dan Aliran Permukaan Dengan Metode Rasional

6.1 Pendahuluan.....	59
6.2 Metode Rasional	61
6.2.1 Waktu Konsentrasi (T_c).....	62
6.2.2 Intensitas Hujan	64
6.2.3 Koefisien Limpasan.....	65
6.2.4 Metode Rasional Modifikasi.....	67

Bab 7 Sistem Perencanaan Waduk Dalam Rangka Pemanfaatan Potensi SDA Untuk Kebutuhan Air Baku, Energi Listrik, dan Irigasi

7.1 Pengertian Bendungan	71
7.2 Sejarah Pembangunan Bendungan Indonesia	73
7.3 Jenis-Jenis Bendungan	76
7.4 Tahapan Perencanaan Bendungan	78
7.5 Analisis Desain Bendungan.....	81
7.5.1 Beban Bendungan.....	81

7.5.2 Analisis Statik Bendungan	83
7.5.3 Analisis Dinamik Bendungan	84
7.6 Bangunan Pelengkap Bendungan	85
7.6.1 Bangunan Pelimpah	85
7.6.2 Bangunan Pengambilan	86
7.7 Manfaat dan Resiko Adanya Bendungan	88

Bab 8 Sistem Pengelolaan Waduk Tunggal Multi Tujuan Dengan Teknik Optimasi

8.1 Pendahuluan	91
8.2 Pola Operasi Waduk Tunggal	92
8.3 Skema Model Pengelolaan Pengoperasian Waduk Tunggal	95
8.4 Teknik Optimasi Waduk Tunggal	97
8.4.1 Optimasi Dengan Linear Programming	98

Bab 9 Perencanaan Detention Pond Untuk Pengendalian Banjir

9.1 Pemanfaatan Air Limpasan	103
9.2 Karakteristik Kolam Detensi	105
9.3 Metode Perancangan Kolam Detensi	108

Bab 10 Pelestarian Sumber Daya Air

10.1 Pendahuluan	113
10.2 Pengelolaan Sumber Daya Air	114
10.3 Konsep Pelestarian Sumber Daya Air	121

Daftar Pustaka	127
Biodata Penulis	141

Daftar Gambar

Gambar 1.1: Kebutuhan Air Sebagai Kebutuhan Dan Sumber Daya Sampai Tahun 2010	3
Gambar 1.2: Daur Hidrologi Sebagai Sumber Marginal Kebutuhan Air Secara Alami	5
Gambar 2.1: Kerangka Kerja Survei	18
Gambar 2.2: Tampilan Website Resmi HEC-RAS	19
Gambar 2.3: Pemilihan Lokasi Hingga Bentuk File Unduhan	20
Gambar 2.4: Tampilan Peta Terrain Dikombinasikan Dengan Skema Sungai dan Tampilan Peta Kontur Dikombinasikan Dengan Skema Sungai	20
Gambar 2.5: Potongan Penampang Melintang di DAS Walanae	21
Gambar 5.1: Ilustrasi DAS Metode Rerata Aljabar	47
Gambar 5.2: Ilustrasi DAS Metode Polygon Thiessen	48
Gambar 5.3: Ilustrasi DAS Metode Isohyet	48
Gambar 6.1: Penggunaan Lahan Pada Daerah Pengaliran A	68
Gambar 7.1: Bagan Tahap Perencanaan Bendungan (Diklat Teknis Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar)	78
Gambar 7.2: Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Irisan Pada Kondisi Waduk Kosong dan Penuh	83
Gambar 7.3: Bagian-Bagian Bangunan Pelimpah	86
Gambar 7.4: Contoh Bangunan Pengambilan Tipe Menara	87
Gambar 7.5: Contoh Bangunan Penyadap Sandar	88
Gambar 8.1: Contoh Bentuk Rule Curve Zona Operasi Waduk	94
Gambar 8.2: Kurva Operasi Waduk Model Konvensional	95
Gambar 8.3: Skema Operasi Waduk Model Simulasi	96
Gambar 8.4: Skema Operasi Waduk Model Optimasi	97
Gambar 8.5: Contoh Format Awal Tabel Metode Simpleks	101
Gambar 8.6: Contoh Tabel Perhitungan Iterasi Metode Simpleks	101
Gambar 9.1: Model Basin Berdasarkan Tipe Dan Lokasi	105
Gambar 9.2: Konsep Pengurangan Peak Flow Akibat Kolam Detensi Dalam Hidrograf Banjir	107
Gambar 9.3: Denah Desain Kolam Detensi Tipikal	109
Gambar 9.4: Komponen Ideal Sistem Detensi Berupa Lahan Basah	111

Gambar 9.5: Layout Detention Basin Untuk Beberapa Kala Ulang Banjir .	112
Gambar 10.1: Ilustrasi Kerusakan Hutan Daerah Aliran Sungai	119
Gambar 10.2: Penanaman Dalam Strip (A) Menurut Garis Kontur (Contour Strip Cropping), (B) Lapangan (Field Strip Cropping), dan (C) Strip Bar Penyangga (Buffer Strip Cropping)	122
Gambar 10.3: Pertanaman Berganda Atau Pertanaman Lorong (Allary Cropping).....	123

Daftar Tabel

Tabel 1.1: Faktor Yang Mendukung Kuantitas Sumber Air Sebagai Kebutuhan Air Nasional	10
Tabel 2.1: Tipikal Koefisien Kontraksi dan Ekspansi Pada Aliran Sub kritis ..	22
Tabel 3.1: Klasifikasi dan Kriteria Kemiringan Lereng Untuk Permukiman ..	28
Tabel 3.2: Kelas dan Kriteria Lama Penggenangan atau Banjir Untuk Permukiman	28
Tabel 3.3: Kelas dan Kriteria Kondisi Saluran Pembuangan Air Kotor Untuk Permukiman	29
Tabel 4.1: Sebaran Potensi Air Tahunan	36
Tabel 4.2: Kebutuhan Air Rumah-Tangga	40
Tabel 4.3: Klasifikasi Nilai Indeks Penggunaan Air (IPA)	41
Tabel 4.4: Kondisi Kelangkaan Air	42
Tabel 5.1: Pemilihan Metode Frekuensi	49
Tabel 6.1: Angka Kekasaran Manning	64
Tabel 6.1: Koefisien Limpasan (C) Beberapa Penggunaan Lahan	66

Bab 1

Pendahuluan Pengembangan Sumber Daya Air

1.1 Pendahuluan

Sumber daya air adalah bagian integrasi kehidupan makhluk hidup yang memberikan kehidupan di planet biru ini dalam bentuk formasi flora dan fauna dengan dukungan kehidupan yang sangat seimbang. Air adalah salah satu sumber daya alam yang vital, baik untuk kehidupan di muka bumi maupun untuk kebutuhan manusia dalam memenuhi kebutuhan sehari-hari di berbagai sektor kehidupan.

Sebagai sumber daya alam maka kegiatan pengelolaan sumber daya air menjadi penting agar yang membutuhkan air dapat mendapatkan akses yang sama baik dalam memenuhi kebutuhan pokoknya untuk air minum dan sanitasi, maupun untuk memenuhi kebutuhan penghidupannya sebagai petani untuk mengairi tanamannya serta mengelola sumber daya air agar dapat tercukupi sepanjang tahun.

Dari definisi tersebut para pakar lingkungan mengadakan pengembangan lebih lanjut mengenai sumber daya lingkungan dan sumber daya air. Pengembangan adalah pembinaan dan pengaturan air dan/atau sumber air yang meliputi aspek-aspek pembangunan, perlindungan dan pemanfaatan (Susela dkk, 1992).

Pengelolaan adalah pengaturan suatu kesatuan sistem dalam salah satu bentuk manajerial dengan melibatkan pihak-pihak terkait sehingga dapat mengoptimalkan sumber daya yang ada. Penyediaan air adalah proses, cara dan perbuatan menyediakan barang (air) yang mengandung makna usaha menjaga berkelanjutan dan pada manfaat, fungsi dan nilai dari segi mutu dan jumlah yang berkaitan dengan skala tempat/ruang dan waktu.

Sumber daya air adalah segala sesuatu sarana yang berwujud untuk menunjang pembangunan. Selain keberadaan air di bumi terbatas yang diperkirakan hanya berkisar 2% (Armus 2014), sebenarnya penyebarannya di muka bumi ini juga tidak merata, seperti daerah kering dan gurun pasir jumlah air lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah air di daerah hutan hujan tropis, seperti di daerah hutan pulau Sumatera atau di daerah Amazon di benua Amerika Selatan.

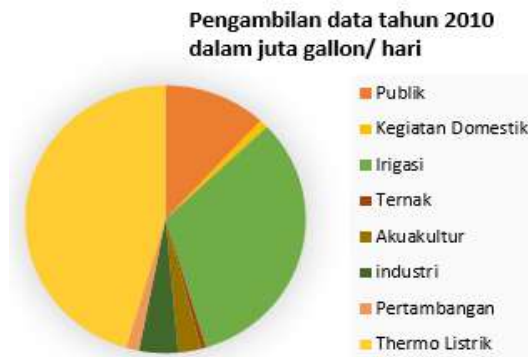
Di Indonesia bagian timur, khususnya di Provinsi Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Maluku, dan Maluku Utara mempunyai jumlah air yang lebih sedikit dibandingkan dengan di Pulau Jawa maupun Sumatera, bahkan di suatu wilayah, yang dikenal sebagai daerah bayang-bayang hujan akan mempunyai jumlah ketersediaan air lebih sedikit dibandingkan dengan daerah yang membayangkannya.

1.2 Kebijakan Pengelolaan Sumber Daya Air

Pola Pengelolaan sumber daya air disusun dengan memperhatikan kebijakan pengelolaan sumber daya air pada wilayah administrasi yang bersangkutan. Kebijakan pengelolaan sumber daya air adalah arahan strategis dalam pengelolaan sumber daya air. Kebijakan pengelolaan sumber daya air mencakup aspek konservasi sumber daya air, pendayagunaan sumber daya air, pengendalian daya rusak air, dan sistem informasi sumber daya air yang disusun dengan memperhatikan kondisi wilayah masing-masing. Kebijakan pengelolaan sumber daya air pada tingkat nasional, yang selanjutnya disebut kebijakan nasional sumber daya air, disusun dan dirumuskan oleh Dewan Sumber Daya Air Nasional dan ditetapkan oleh Presiden.

Setiap penetapan kualitas air diatur dalam PP No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air (Pirzan et al

2007). Untuk analisis kuantitas air, data curah hujan dianalisis secara kualitatif lalu dihubungkan dengan rata-rata debit bulanan air tiap wilayah. Analisis debit tahunan juga dilakukan untuk melihat bagaimana tren debit tahunan suatu wilayah (Dahlan et al 2014).



Gambar 1.1: Kebutuhan Air Sebagai Kebutuhan Dan Sumber Daya Sampai Tahun 2010 (Sarma et al 1999).

1.3 Dasar Pengelolaan Sumber Daya Air

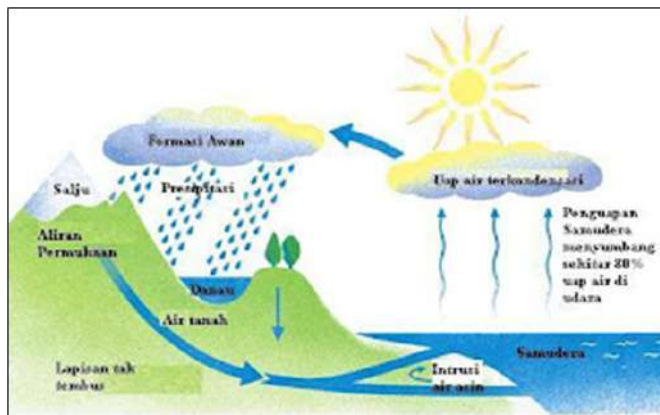
Dalam perumusan peraturan Pengelolaan Sumber Daya Air (PSDA) dibuatlah peraturan dan perundang-undangan yang mengatur pola pengelolaan sumber daya air misal pada

1. Undang-Undang Dasar 1945: Pasal 33 ayat (3), Bumi dan air dan kekayaan alam yang terkandung di dalamnya dikuasai oleh negara dan dipergunakan untuk sebesar-besarnya untuk kemakmuran rakyat.
2. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2004 Tentang Sumber Daya Air:
 - a. Pasal 1 ayat 8, Pola pengelolaan sumber daya air adalah kerangka dasar dalam merencanakan, melaksanakan, memantau, dan mengevaluasi kegiatan konservasi sumber daya air, pendayagunaan sumber daya air, dan pengendalian daya rusak air.

- b. Pasal 11, pada beberapa ayat sebagai berikut: (a) Ayat (1) Untuk menjamin terselenggaranya pengelolaan sumber daya air yang dapat memberikan manfaat yang sebesar-besarnya bagi kepentingan masyarakat dalam segala bidang kehidupan disusun pola pengelolaan sumber daya air. (b) Ayat (2) Pola pengelolaan sumber daya air sebagaimana dimaksud pada ayat (1) disusun berdasarkan wilayah sungai dengan prinsip keterpaduan antara air permukaan dan air tanah. (c) Ayat (3) Penyusunan pola pengelolaan sumber daya air sebagaimana dimaksud pada ayat (2) dilakukan dengan melibatkan peran masyarakat dan dunia usaha seluas-luasnya. (d) Ayat (4) Pola pengelolaan sumber daya air didasarkan pada prinsip keseimbangan antara upaya konservasi dan pendayagunaan sumber daya air. (e) Ayat (5) Ketentuan mengenai penyusunan pola pengelolaan sumber daya air sebagaimana dimaksud pada ayat (1).
3. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 4/PRT/M/2008 Tentang Pedoman Pembentukan Wadah Koordinasi Pengelolaan Sumber Daya Air: 1) Pasal 14, TKPSDA WS lintas provinsi mempunyai tugas membantu Menteri dalam koordinasi pengelolaan sumber daya air melalui:
 4. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2008 Tentang Dewan Sumber Daya Air:
 5. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 42 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sumber Daya Air:
 6. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 22/PRT/M/2009 Tentang Pedoman Teknis dan Tata Cara Penyusunan Pola Pengelolaan Sumber Daya Air, berbagai peraturan Pemerintah Pusat, dan berbagai kebijakan dan peraturan daerah.
 7. Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 33 Tahun 2011 tentang kebijakan nasional pengelolaan sumber daya air.

Sebagai sumber hidup dan kehidupan manusia, air juga berfungsi sebagai pelestari lingkungan hidrologi. Seperti keterangan gambar 1.2, sebagai sumber yang memegang peranan penting maka sistem pengelolaannya akan

melibatkan masyarakat dan instansi terkait sebagai pengelola Sumber Daya Air. Penggunaan air untuk berbagai keperluan antara lain menunjang pertanian, penyediaan air bersih, pembangkit tenaga listrik, transportasi dan sebagainya. Indonesia sebagai Negara agraris pernah mencapai produksi beras yang cukup untuk kebutuhan dalam negeri.



Gambar 1.2: Daur Hidrologi Sebagai Sumber Marginal Kebutuhan Air Secara Alami (Wardoyo 1981)

1.3.1 Permasalahan Sumber Daya Air

Menghadapi berbagai permasalahan sumber daya air yang semakin hari semakin rumit dengan adanya peningkatan akan kebutuhan air yang sejalan dengan bertambahnya jumlah penduduk serta yang diiringi dengan pertumbuhan sosial-ekonomi. Selain itu, kekeliruan dalam pengelolaan sumber daya air menyebabkan upaya untuk meningkatkan kebutuhan akan air telah menimbulkan eksploitasi sumber daya air secara berlebihan sehingga mengakibatkan penurunan daya dukung lingkungan sumber daya air yang pada gilirannya menurunkan kemampuan pasokan air.

Gejala degradasi fungsi lingkungan sumber daya air ditandai dengan fluktuasi debit air di musim hujan dan kemarau yang semakin tajam, pencemaran air, berkurangnya kapasitas waduk, dan lainnya. Di samping tantangan fisik tersebut, pengelolaan sumber daya air juga mengalami tantangan dalam penanganannya seperti tidak tercukupinya dana operasi dan pemeliharaan, lemahnya koordinasi antar instansi terkait dan masih kurangnya akuntabilitas,

transparansi serta partisipasi para pihak yang dilaksanakan secara good governance (Syafri and Ekarina 2013, Harlina et al 2019).

Terdapat tiga kesenjangan berkaitan dengan sumber daya air yaitu:

1. Ketersediaan air menurun sedangkan kebutuhan meningkat,
2. Peningkatan konversi lahan jumlah penduduk tidak diikuti dengan peningkatan kualitas hidup di mana salah satu faktor penentunya yaitu ketersediaan air, dan
3. Peningkatan konversi lahan cenderung menurunkan daerah tangkapan air.

Pola ekosistem berubah dengan berubahnya variabel-variabel penyusunnya terhadap waktu atau bersifat dinamis. Perubahan tersebut menghasilkan kinerja sistem atau mekanisme kerja yang dapat diamati perilakunya melalui pemodelan.

1.3.2 Kebutuhan Air

Sesuai dengan Undang-Undang Sumber Daya Air Nomor 7 Tahun 2004, Indonesia mengadopsi Kebijakan Pengelolaan Sumber Daya Air secara terpadu (Integrated Water Resources Management – IWRM) yang menjadi perhatian dunia internasional untuk meningkatkan pengelolaan sumber daya air dalam mencapai kesejahteraan umum dan pelestarian lingkungan. Sejalan dengan konsep IWRM yang berkembang di forum internasional, beberapa tindakan telah diambil di tingkat nasional dan daerah dalam rangka reformasi kebijakan sumber daya air.

Pengelolaan sumber daya air merupakan suatu proses yang mendorong keterpaduan antara pembangunan dan pengelolaan air, tanah, dan sumber daya lainnya, dengan tujuan untuk memaksimalkan kesejahteraan sosial ekonomi dan memperhatikan keberlanjutan ekosistem. Di samping itu, pengelolaan sumber daya air merupakan suatu metode untuk merumuskan pola dan rencana pengelolaan sumber daya air, dan bukan merupakan tujuan akhir. Pola merupakan perencanaan strategis yang melibatkan identifikasi kebutuhan dari para pemangku kepentingan dalam satu wilayah sungai, sehingga kerangka dasar yang telah disusun dapat disepakati oleh para pemangku kepentingan terkait.

Reformasi dalam pengelolaan sumber daya air merupakan salah satu tindakan penting untuk mengatasi pengentasan kemiskinan, ketahanan pangan dan energi, serta konservasi sumber daya alam. Dalam pelaksanaannya, telah disempurnakannya beberapa undang-undang dan peraturan serta kebijakan, antara lain diberlakukannya Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air (UU SDA) yang telah mencakup prinsip-prinsip IWRM dan Peraturan Presiden (Perpres No. 12 tahun 2008) tentang Dewan Sumber Daya Air dan Kebijakan Nasional tentang Pengelolaan Sumber Daya Air. Undang-undang ini bertujuan untuk pelaksanaan pengelolaan sumber daya air secara menyeluruh, berkelanjutan, dan melalui pendekatan terbuka sehingga memberikan pilihan bagi masyarakat bisnis dan organisasi non-pemerintah untuk berpartisipasi dalam proses perencanaan dan pelaksanaan pengelolaan sumber daya air terpadu.

1.4 Sumber-Sumber Air

Sumber daya air sangat penting untuk memenuhi hajat hidup orang banyak. Masalah kekurangan jumlah air maupun kualitas air dapat menimbulkan dampak pada kesehatan, sosial maupun ekonomi. Berdasarkan temuan penelitian permintaan air di wilayah perkotaan lebih besar daripada suplainya dan ketersediaan air telah mengalami *decreasing return to scale* (susilastuti 2009).

1.4.1 Air Atmosfer

Di atmosfer, air berbentuk uap air dengan ukuran partikel. Penguapan air di atmosfer dipengaruhi oleh temperatur, derajat kejenuhan udara, kecepatan angin, komposisi air, dan luas permukaan penguapan. Air dapat berbentuk uap air, air cair, dan es. Peningkatan temperatur berbanding lurus dengan peningkatan penguapan air.

Atmosfer terisi partikel-partikel halus dari tiga kelompok bahan yakni gas (udara kering dan uap air), cairan (butir-butir air atau awan) dan aerosol (bahan padatan, ex. Debu). Bahan-bahan tersebut memiliki ukuran massa yang berbeda dan tersebar pada berbagai ketinggian yang membentuk susunan yang mirip pengendapan di atmosfer. Partikel yang ringan berada di atas yang berat

sehingga semakin mendekati permukaan bumi kerapatan partikel di atmosfer meningkat.

Proses pendinginan dan pemanasan permukaan bumi berubah menurut waktu dan tempat sehingga keadaan atmosfer pun akan berubah secara demikian. Akibatnya, tekanan dan kerapatan serta ketebalan lapisan atmosfer berbeda-beda antara siang dan malam, musim dingin dan musim panas, di atas benua dan di atas lautan serta antara daerah lintang tinggi dan lintang rendah.

Kandungan uap air di atmosfer mudah berubah menurut arah (horizontal & vertikal) maupun menurut waktu. Di daerah subtropik atau daerah temperatur kandungannya bervariasi dari 0 pada saat angin kering bertiup hingga 3 % dari volume atmosfer pada saat angin laut bertiup pada musim panas (summer). Di atas wilayah tropika kandungan uap air di atmosfer merupakan nilai tertinggi di dunia yakni sekitar 4 % dari volume atmosfer 3% dari massa atmosfer. udara yang panas dapat mengandung uap air lebih besar daripada udara dingin. Lembab relatif ini selalu bervariasi tiap hari yaitu rendah pada siang hari dan tinggi pada malam hari.

Di daerah-daerah hutan titik terendah yang dicapai sebesar 80% sedang di gurun-gurun pasir titik terendah dari lembab relatifnya akan mencapai 10%. Fungsi uap air di udara Jumlah uap air berubah dari waktu ke waktu dan dari tempat ke tempat, menyatakan kemungkinan terjadinya hujan, mengabsorpsi panas, mengatur hilangnya panas (thermoregulator) Menentukan energi di atmosfer → hujan angin (thunder storm), menentukan kecepatan penurunan temperatur makhluk hidup → kesegaran (sensible). Stres air dapat memacu inisiasi bunga, terutama pada tanaman pohon tropis dan subtropis seperti leci dan jeruk (Syafri and Ekarina 2013).

Pembungaan melimpah pada tanaman kayu tropis genus *Shorea* juga telah dihubungkan dengan terjadinya kekeringan pada periode sebelumnya (Armus et al 2018). Namun, hasil yang berlawanan telah teramati pada spesies iklim-sedang seperti pinus, apel dan zaitun. Kebanyakan pembungaan di daerah tropis terjadi saat transisi dari musim hujan menuju kemarau Pada musim hujan tanaman melakukan aktivitas maksimal untuk menyerap hara dan air, agar dapat mengakumulasi cadangan makanan dan menyimpan energi sebanyak-banyaknya → pertumbuhan vegetatif lebih dominan

1.4.2 Air Permukaan

Air permukaan meliputi: Sungai, Danau, Laut, Mata Air. Sumber air permukaan terdiri dari air sungai dan danau (situ), Sumber air permukaan yang terdiri dari air sungai dan danau/situ, merupakan sumber air yang utama dan sangat penting dalam menunjang kegiatan penduduk, mulai dari sumber air baku air untuk kegiatan rumah tangga, perkotaan, industri, irigasi sampai dengan pembangkit tenaga listrik.

Air permukaan merupakan air yang berada di atas permukaan tanah, dalam kondisi mengalir atau diam. Air permukaan tidak mampu terserap, karena lapisan tanah sangat keras. Nantinya aliran yang terkumpul akan mengalir menuju suatu titik, seperti sungai, danau maupun laut. Air permukaan dibagi dalam dua jenis, yakni perairan darat dan perairan laut. Berikut Ini Merupakan Pengertian Air Permukaan Menurut Para Ahli.

Soegianto (2005) Air permukaan adalah air yang berasal dari air hujan yang jatuh ke permukaan tanah, sebagian menguap dan sebagian lainnya mengalir ke sungai, saluran air lalu disimpan di dalam danau, waduk dan rawa.

Limbong (2008) Air permukaan adalah air hujan yang mengalir di permukaan bumi. Jadi, Air permukaan adalah air yang terkumpul di atas tanah yang dapat dengan mudah dilihat oleh mata. Pada umumnya sumber air yang berasal dari permukaan, merupakan air yang kurang baik untuk langsung dikonsumsi manusia. Oleh karena itu sumber air yang berasal dari air permukaan perlu adanya pengolahan terlebih dahulu sebelum dimanfaatkan.

1.4.3 Air Bawah Permukaan

Air bawah permukaan adalah sejumlah air di bawah permukaan bumi yang dapat dikumpulkan dengan sumur-sumur, terowongan atau sistem drainase, atau aliran yang secara alami mengalir ke permukaan tanah melalui pancaran atau rembesan (Nugraha and Aditya 2013). Kebanyakan air tanah berasal dari hujan. Air hujan yang meresap ke dalam tanah menjadi bagian dari air tanah, perlahan-lahan mengalir ke laut, atau mengalir langsung dalam tanah atau di permukaan dan bergabung dengan aliran sungai.

Banyaknya air yang meresap ke tanah bergantung pada ruang dan waktu, selain itu juga dipengaruhi kecuraman lereng, kondisi material permukaan tanah dan jenis serta banyaknya vegetasi dan curah hujan. Meskipun curah hujan besar tetapi lerengnya curam, ditutupi material impermeabel, persentase

air mengalir di permukaan lebih banyak dari pada meresap ke bawah. Sedangkan pada curah hujan sedang, pada lereng landai dan permukaannya permeabel, persentase air yang meresap lebih banyak.

Air bawah permukaan meliputi Air tanah Sumur sedangkan sumber air bawah tanah terdiri dari air sumur dangkal, air sumur dalam dan sumber air artesis (Adytiosulindro et al 2020).

1.5 Kuantitas dan Kualitas Air

Kuantitas Sumber Air

Kuantitas air menyangkut jumlah air yang dibutuhkan manusia dalam kegiatan tertentu, sedangkan kualitas air berkaitan dengan mutu atau kondisi air yang dikaitkan dengan suatu kegiatan atau keperluan tertentu (Chaerul et al 2021). Kondisi kuantitas dan kualitas pada mata air bergantung pada penggunaan air dan pengelolaan air yang dilakukan oleh pengguna mata air.

Tabel 1.1: Faktor Yang Mendukung Kuantitas Sumber Air Sebagai Kebutuhan Air Nasional (Water Demand) (Gao and Sun 2016)

Physical factors	Anthropic factors	Existing monitoring network	Economic factors
Drainage network Hydric yield Horton-Strahler order Drainage density Slope and Geomorphology reach Water regulation index Vulnerability indexes Aridity index	Municipalities Reservoirs Location of water treatment plants (including wastewater). Industrial, agricultural and domestic discharges, water supply, micro-basins, accessibility, security, derivations, and pumping stations. Water use index	Two water quality monitoring stations suggested by the IDEAM (Ministry of the Environment)	According to the budget availability of the EA, priority levels will be established for the installation of new stations that make up the network following: accessibility, security, and land use. Priority will be always given to the maintenance cost of the network.

Kualitas Sumber Air

Air merupakan salah satu kebutuhan dasar bagi makhluk hidup dalam melangsungkan keberlanjutan hidupnya, sehingga air merupakan salah satu sumber daya alam yang sangat dibutuhkan dan sangat penting bagi kehidupan. Oleh karena itu, sumber daya air harus dilindungi agar tetap dapat dimanfaatkan dengan baik oleh manusia serta makhluk hidup yang lain,

sehingga keberlangsungan ketersediaan kuantitas air dan kualitas air dapat tetap terjaga di masa mendatang (Odum et al 2003).

1.6 Beberapa Istilah Penting Dalam PSDA

Untuk dapat melaksanakan pengelolaan sumber daya air perlu dimengerti beberapa istilah yang berlaku seperti berikut:

1. Pengelolaan sumber daya air adalah upaya merencanakan, melaksanakan, memantau, dan mengevaluasi penyelenggaraan konservasi sumber daya air, pendayagunaan sumber daya air, dan pengendalian daya rusak air.
2. Sumber daya air adalah air, sumber air, dan daya air yang terkandung di dalamnya.
3. Air adalah semua air yang terdapat pada, di atas, ataupun di bawah permukaan tanah, termasuk dalam pengertian ini adalah air permukaan, air tanah, air hujan, dan air laut yang berada di darat.
4. Air permukaan adalah semua air yang terdapat pada permukaan tanah.
5. Air tanah adalah semua air yang terdapat dalam lapisan tanah atau batuan di bawah permukaan tanah.
6. Sumber air adalah tempat atau wadah air alami dan/atau buatan yang terdapat pada, di atas, ataupun di bawah permukaan tanah.
7. Pola Pengelolaan Sumber Daya Air merupakan dokumen yang digunakan sebagai pedoman bagi seluruh pemangku kepentingan (stakeholders), serta berisikan mengenai dasar-dasar pertimbangan pengelolaan sumber daya air, skenario kondisi wilayah sungai pada masa yang akan datang, strategi pengelolaan sumber daya air, dan kebijakan operasional untuk melaksanakan strategi pengelolaan sumber daya air tersebut. Pola pengelolaan sumber daya air menjadi kerangka dasar dalam merencanakan, melaksanakan, memantau, dan

- mengevaluasi kegiatan konservasi sumber daya air, pendayagunaan sumber daya air, dan pengendalian daya rusak air.
8. Konservasi sumber daya air adalah upaya memelihara keberadaan serta keberlanjutan keadaan, sifat, dan fungsi sumber daya air agar senantiasa tersedia dalam kuantitas dan kualitas yang memadai untuk memenuhi kebutuhan makhluk hidup baik pada waktu sekarang maupun generasi yang akan datang.
 9. Pendayagunaan sumber daya air adalah upaya penatagunaan, penyediaan, penggunaan, pengembangan, dan pengusahaan sumber daya air secara optimal agar berhasil guna dan berdaya guna.
 10. Pengendalian daya rusak air adalah upaya untuk mencegah, menanggulangi, dan memulihkan kerusakan kualitas lingkungan yang disebabkan oleh daya rusak air.
 11. Daya rusak air adalah daya air yang dapat merugikan kehidupan.
 12. Wilayah sungai adalah kesatuan wilayah pengelolaan sumber daya air dalam satu atau lebih daerah aliran sungai dan/atau pulau-pulau kecil yang luasnya kurang dari atau sama dengan 2.000 km².
 13. Daerah aliran sungai adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungai, yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alamiah yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan.
 14. Cekungan air tanah adalah suatu wilayah yang dibatasi oleh batas hidrogeologis, tempat semua kejadian hidrogeologi, seperti proses pengimbuhan, pengaliran, dan pelepasan air tanah berlangsung.
 15. Pelindungan sumber air adalah upaya pengamanan sumber air dari kerusakan yang ditimbulkan baik akibat tindakan manusia maupun gangguan yang disebabkan oleh daya alam.
 16. Pengawetan air adalah upaya pemeliharaan keberadaan dan ketersediaan air atau kuantitas air agar tersedia sesuai dengan fungsi dan manfaatnya.
 17. Pengelolaan kualitas air adalah upaya mempertahankan dan memulihkan kualitas air yang masuk dan yang berada di sumber air.

18. Zona pemanfaatan sumber air adalah ruang pada sumber air yang dialokasikan baik sebagai fungsi lindung maupun sebagai fungsi budi daya.
19. Peruntukan air adalah penggolongan air pada sumber air menurut jenis penggunaannya.
20. Penyediaan sumber daya air adalah penentuan dan pemenuhan volume air per satuan waktu untuk memenuhi kebutuhan air dan daya air serta memenuhi berbagai keperluan sesuai dengan kualitas dan kuantitas.
21. Penggunaan sumber daya air adalah pemanfaatan sumber daya air dan prasarananya sebagai media dan/atau materi.
22. Prasarana sumber daya air adalah bangunan air beserta bangunan lain yang menunjang kegiatan pengelolaan sumber daya air baik langsung maupun tidak langsung.
23. Pengembangan sumber daya air adalah upaya peningkatan kemanfaatan fungsi sumber daya air guna memenuhi kebutuhan air baku untuk berbagai keperluan.
24. Wadah koordinasi pengelolaan sumber daya air adalah institusi tempat segenap pemilik kepentingan dalam bidang sumber daya air melakukan koordinasi dalam rangka mengintegrasikan kepentingan berbagai sektor, wilayah, dan para pemilik kepentingan dalam bidang sumber daya air.
25. Dewan Sumber Daya Air Nasional adalah wadah koordinasi pengelolaan sumber daya air tingkat nasional.

Bab 2

Survey dan Investigation Proyek SDA

2.1 Pendahuluan

Peraturan Pemerintah No. 42 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sumber Daya Air menjelaskan bahwa aspek utama dalam pengelolaan SDA adalah terselenggaranya kegiatan Konservasi SDA, Pendayagunaan SDA dan Pengendalian Daya Rusak Air. Pengendalian banjir merupakan salah satu upaya dalam pengendalian daya rusak air. Berdasarkan realitas terjadi, banjir saat ini menjadi salah satu permasalahan yang menimpa negara kita. Banyak kerugian yang disebabkan oleh banjir, antara lain gangguan kenyamanan hidup, gangguan stimulus fiskal uang terhadap kesehatan, berkurangnya produksi pertanian dan lain-lain.

Banjir merupakan bencana fenomena alam yang akan terjadi sewaktu-waktu disebabkan adanya perubahan iklim maupun kelalaian manusia dalam mengantisipasi terjadinya bencana banjir sehingga dampaknya dapat merugikan masyarakat. Hal ini dikarenakan dapat berdampak pada kestabilan perekonomian masyarakat yang mengalaminya. Di beberapa provinsi yang ada di Indonesia terdapat beberapa kabupaten yang rawan banjir. Penanganan banjir dalam garis besar dapat dilakukan secara non-struktural dan struktural.

Berbagai aktivitas yang dapat dilaksanakan berkaitan penanganan atau pengendalian banjir secara non-struktural adalah:

1. Perkiraan banjir dan peringatan dini
2. Penanggulangan banjir
3. Evakuasi, pemindahan atau relokasi
4. Pengelolaan dataran banjir
5. Tata ruang, penghijauan dan reboisasi
6. Penetapan sempadan sungai
7. Informasi publik atau penyuluhan
8. Penegakan hukum
9. Konservasi alam/reboisasi hutan

Sedangkan aktivitas yang dapat dilaksanakan berkaitan penanganan atau pengendalian banjir secara struktural adalah:

1. Pembangunan tanggul pengaman
2. Pembangunan pengamanan tebing sungai (Bronjong, pasangan batu, dll)
3. Penanaman lahan di daerah tangkapan air dengan sistem terasering sesuai jenis tanaman.

Bencana yang disebabkan oleh banjir sangat berpengaruh pada kehidupan masyarakat, apalagi dengan adanya perubahan iklim dan tidak menentunya musim hujan. Indonesia yang mempunyai banyak sungai yang berhubungan. hal ini membuat kehidupan perekonomian juga ikut terganggu. untuk itu perlu dilakukan perencanaan untuk mengetahui tinggi muka air yang melimpah di setiap sungai.

Dalam perencanaan di bidang sumber daya air, sering kali diperlukan data debit banjir rencana yang realistis. Banjir rencana dengan periode ulang tertentu dapat dihitung dan data debit banjir atau data hujan. Apabila data debit banjir tersedia cukup panjang (>20 tahun), debit banjir dapat langsung dihitung dengan metode analisis probabilitas. Sedang apabila data yang tersedia hanya berupa data hujan dan karakteristik DAS, salah satu metode yang disarankan adalah menghitung debit banjir dari data hujan maksimum harian rencana dengan superposisi hidrograf satuan.

Permasalahan utama yang dihadapi praktisi hidrologi adalah mengestimasi hidrograf menaik dan menurun dari suatu sungai pada sebaran titik pengaliran terutama selama periode banjir. Permasalahan ini dapat diatasi dengan teknik penelusuran aliran atau penelusuran banjir yang mengolah sifat-sifat hidrograf banjir di hulu atau di hilir dari suatu titik ke titik yang lain sepanjang aliran sungai. Penelusuran dilakukan dari titik di mana ada data pengamatan hidrograf aliran untuk memudahkan proses penelusuran itu sendiri.

Perancangan bangunan air memerlukan analisis hidrologi dengan data debit sungai dalam jangka waktu yang lebih panjang dibandingkan data yang tersedia (Harto, 1993). Menurut Ajward (1996, dalam Smadi 1998) perancangan berbagai macam bangunan air seperti bendungan, tanggul, dan gorong-gorong membutuhkan dua parameter dari data hidrograf yaitu debit puncak dan waktu puncak hidrograf. Data curah hujan pada stasiun pengukuran hujan di suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) biasanya tersedia dalam rentang waktu yang cukup panjang, sementara itu data pengukuran debit aliran sungai pada stasiun *Automatic Water Level Recorder* (AWLR) biasanya tidak tersedia atau tersedia lebih sedikit dibandingkan dengan data curah hujan.

2.2 Studi Kasus Survei dan Investigation Proyek SDA

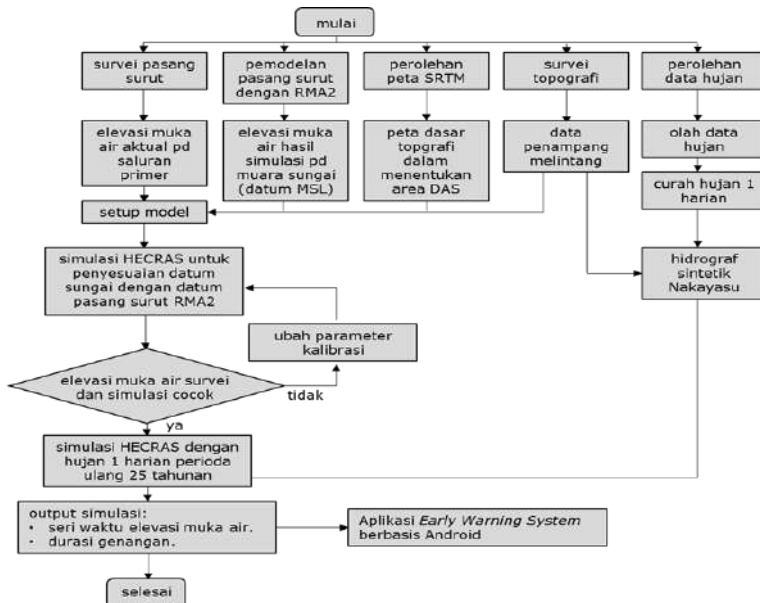
Lokasi survei berada di DAS Walanae dengan panjang sungai utama Way Ruhu 11,8 Km dan luas area tangkapan air 17,2 km². Kemiringan topografi pada lokasi penelitian cukup tinggi sekitar 0,01 hingga 0,12 berbukit dan berbatu. DAS Walanae secara administratif masuk dalam Kabupaten Maros, Bone, Soppeng dan Wajo.

Kerangka Kerja Survei

Diagram alir pemodelan hidrolika DAS Walanae ditampilkan dalam Gambar 1. Secara garis besar, tahapan pemodelan pada HEC-RAS 5.0.07 sama dengan tahapan pada HEC-RAS 4.1. Terdiri dari 2 input utama, yaitu data *unsteady flow* (berupa data seri waktu) dan data geometri. Namun pada saat input data geometri, HEC-RAS 5.0.7 tidak bisa langsung dilakukan di jendela HEC-RAS, tetapi harus masuk ke dalam jendela RAS Mapper, di mana data

geometri diperoleh langsung dari satelit (bisa melalui <http://earthexplorer.usgs.gov/>).

Untuk kasus DAS Walanae, metode yang digunakan merupakan kombinasi antara HEC-RAS 5.0.7 dengan HEC-RAS 4.1. Hal ini dikarenakan skema sungai tidak terlihat dalam peta USGS, jadi harus dibuat manual di HEC-RAS 4.1 kemudian diimpor ke RAS Mapper HEC-RAS 5.0.7.



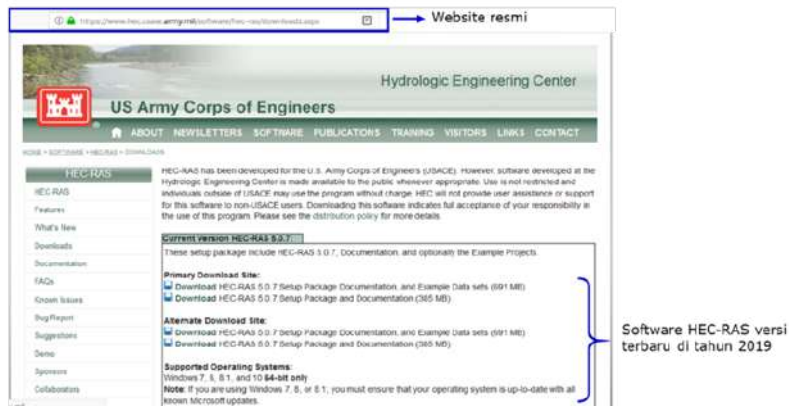
Gambar 2.1: Kerangka Kerja Survei

Jenis aliran yang dimodelkan adalah model aliran tak langgeng (unsteady flow). Hal ini dikarenakan data yang dijadikan input adalah data yang nilainya berubah terhadap waktu. Data hasil pengukuran topografi dikolaborasi dengan peta *Digital Elevation Model* (DEM) yang dapat diperoleh dari website resmi *United States Geological Survey* (USGS) sebagai input data geometri. Selain data geometri, data hasil pengukuran pasang surut di muara Sungai Way Ruhu dan data hidrologi yang diperoleh di sepanjang sungai akan digunakan sebagai input data aliran tak langgeng pada kondisi batas model (boundary condition).

2.3 Tata Cara Mengunduh Perangkat Lunak HEC-RAS

Perangkat lunak HEC-RAS dapat diperoleh secara gratis dan tanpa dipungut biaya apa pun melalui website resmi pada <https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/downloads.aspx>, adapun cuplikan tampilan dari website resmi tersebut ditampilkan pada Gambar 2.2

Cuplikan tampilan untuk mengunduh perangkat lunak (software) HEC-RAS.



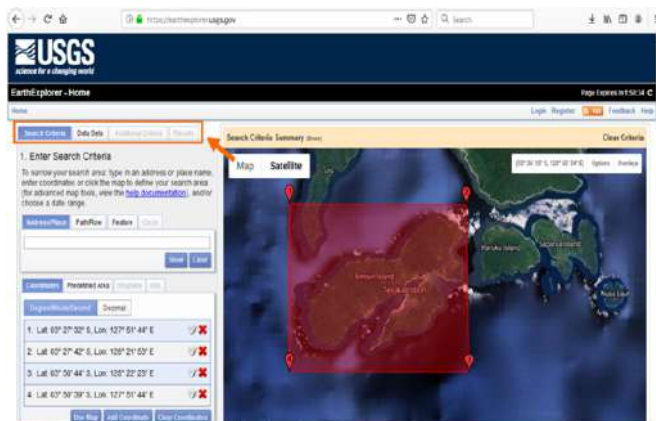
Gambar 2.2: Tampilan Website Resmi HEC-RAS

2.4 Data Geometri

Data geometri dalam pemodelan aliran sungai menggunakan HEC-RAS khususnya HEC-RAS 4.1 meliputi data skema sungai, data penampang sungai dan data kekasaran material dasar sungai. Sedangkan untuk melakukan simulasi banjir dengan output visualisasi layout genangan banjir maka pemodelan aliran sungai menggunakan tambahan data DEM sebagai salah satu data input geometrinya. Penjelasan untuk masing-masing data geometri yang diperlukan dibahas yaitu:

Data Digital Elevation Model (DEM)

Data DEM atau *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) dibutuhkan sebagai peta dasar untuk menentukan kontur area pemodelan secara otomatis. Data ini dapat diperoleh secara gratis melalui website resmi milik *United States Geological Survey* (USGS), ditampilkan pada Gambar 2.3 cuplikan cara memperoleh peta SRTM.



Gambar 2.3: Pemilihan Lokasi Hingga Bentuk File Unduhan

Skema Sungai

Skema sungai adalah trase atau alur dari sungai Way Ruhu yang dibuat dari hulu sampai hilir. Skema sungai dibuat manual di HEC-RAS 4.1 berdasarkan olah Peta rupa bumi Indonesia, untuk kemudian diimpor ke RAS Mapper HEC-RAS 5.

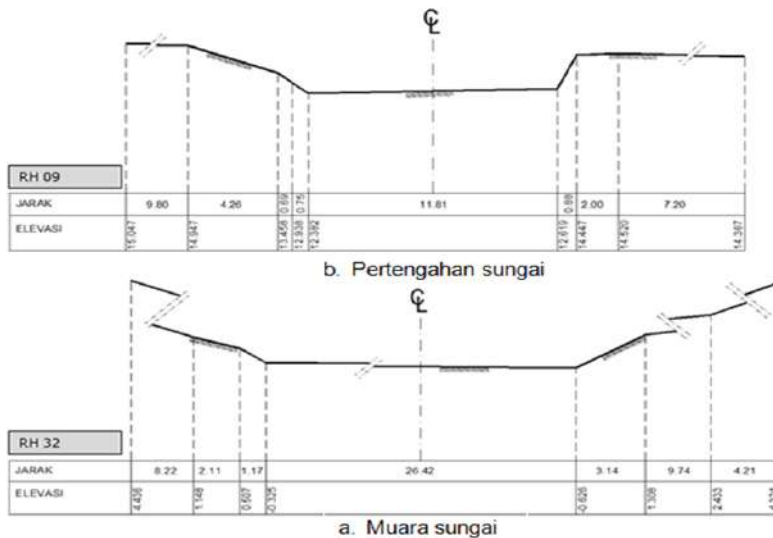


Gambar 2.4: Tampilan Peta Terrain Dikombinasikan Dengan Skema Sungai dan Tampilan Peta Kontur Dikombinasikan Dengan Skema Sungai

Pada peta kontur, kerapatan kontur dapat diatur sesuai selera. Gambar 2.4 menampilkan kontur per interval 20 meter dengan pertimbangan visual saja.

Penampang Melintang

Data penampang yang dimasukkan ke dalam model adalah data penampang melintang sungai (cross section). Data penampang sungai terdiri dari elevasi dasar sungai, elevasi tebing, dan lahan di tepi sungai, serta jarak horizontal dari setiap titik penampang yang ditinjau elevasinya. Elevasi-elevasi tanah pada semua penampang sungai yang digunakan dalam model ini mengacu pada elevasi muka air laut terendah (Lowest Low Water Level) di muara sungai.



Gambar 2.5: Potongan Penampang Melintang di DAS Walanae

Koefisien Kekasaran Saluran Sungai

Kekasaran material dasar sungai sangat memengaruhi kecepatan aliran air. Kekasaran material dasar sungai ini direpresentasikan oleh nilai koefisien kekasaran, yang tidak hanya ditentukan oleh satu faktor, melainkan oleh kombinasi dari beberapa faktor. Di antara faktor-faktor tersebut ialah butir-butir material penyusun keliling basah sungai, jenis tumbuhan yang terdapat pada sungai, ketidakberaturan penampang sungai, dan skema sungai.

Dalam pemodelan ini, nilai kekasaran sungai yang digunakan mengacu pada perhitungan hidrolika dengan menggunakan Metode Manning yaitu 0,035

karena memiliki material dasar berupa tanah asli dengan bebatuan sungai di sepanjang aliran. Pada Tabel 1 ditunjukkan secara lengkap nilai koefisien kekasaran saluran sungai untuk perhitungan aliran saluran terbuka dengan metode Manning.

Koefisien Kontraksi dan Ekspansi

Koefisien kontraksi dan ekspansi merupakan koefisien yang mengkompensasi terjadinya kehilangan energi (energy loss) pada model aliran sungai. Kehilangan energi pada aliran air biasanya terjadi pada ruas yang memiliki karakteristik penampang yang berbeda. Besarnya koefisien kontraksi dan ekspansi bergantung pada besar kecilnya perubahan karakteristik penampang pada suatu ruas sungai.

Pada Tabel 2.1 ditunjukkan nilai tipikal dari koefisien kontraksi dan ekspansi yang umum digunakan dalam model aliran sungai. Untuk model DAS Way Ruhu, digunakan nilai koefisien kontraksi dan ekspansi berturut-turut sebesar 0,1 dan 0,3.

Tabel 2.1: Tipikal Koefisien Kontraksi dan Ekspansi Pada Aliran Sub kritis

	Contraction	Expansion
No Transition Loss Computed	0,0	0,0
Gradual Transitions	0,1	0,3
Typical Bridge Sections	0,3	0,5
Abrupt Transitions	0,6	0,8

Sumber: HEC-RAS Hydraulic Reference Manual

Bab 3

Daerah Pengaliran Sungai (DPS) atau River Basin Komponen Water Infrastructure

3.1 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah aliran sungai adalah merupakan kesatuan wilayah ekosistem yang dibatasi oleh pemisah topografi dan fungsi yang menyusunnya, menyalurkan air dan elemen sedimen pada sistem sungai. Dari peta topografi, ditetapkan titik-titik tertinggi di sekeliling sungai utama (mainstream), dan masing-masing titik tersebut dihubungkan satu dengan lainnya sehingga membentuk garis utuh yang bertemu ujung pangkalnya. Garis tersebut merupakan batas DAS di titik kontrol tertentu (Dirjen Pengairan, 1992).

Nama sebuah DAS ditandai dengan nama sungai yang bersangkutan dan dibatasi oleh titik kontrol, yang umumnya merupakan stasiun hidrometri. Berdasarkan hal tersebut berarti sebuah DAS dapat merupakan bagian dari

DAS lain. Dalam sebuah DAS kemudian dibagi dalam area yang lebih kecil menjadi sub-DAS.

Karakteristik DAS berpengaruh besar pada aliran permukaan adalah:

1. luas dan bentuk DAS;
2. topografi: kemiringan lahan, kerapatan parit, bentuk cekungan;
3. panjang sungai;
4. kelandaian sungai;
5. tata guna lahan.

Indikator kuantitatif dari fungsi DAS adalah berupa rehabilitasi, sehingga dapat dilakukan penilaian terhadap kualitas airnya yang bersifat lebih empirik. Rasio aliran (debit) maksimum dan minimum adalah indikator paling penting dalam menilai suatu DAS.

Fungsi DAS didefinisikan sebagai suatu keadaan bagaimana kondisi lanskap memengaruhi kuantitas, kualitas dan periode waktu suatu aliran sungai, secara rinci dapat dijabarkan bagaimana suatu lanskap memengaruhi:

1. transmisi/proses aliran sungai;
2. kemampuan menyangga;
3. pelepasan secara perlahan-lahan curah hujan yang disimpan di tanah;
4. kualitas air;
5. menjaga keutuhan tanah pada DAS.

Kawasan hulu DAS mempunyai peranan yang penting sebagai penyedia air untuk dialirkan ke hilir bagi berbagai kepentingan seperti pertanian, pemukiman, industri dan lain sebagainya. Daerah hulu merupakan faktor produksi dominan yang sering mengalami konflik kepentingan penggunaan lahan oleh kegiatan pertanian, pariwisata, pertambangan, pemukiman dan lain-lain.

Kemampuan pemanfaatan lahan di hulu sangat terbatas, sehingga kesalahan pemanfaatan akan berdampak negatif pada daerah hilirnya. Konservasi daerah hulu perlu mencakup aspek-aspek yang berhubungan dengan produksi air. Secara ekologis, hal tersebut berkaitan dengan ekosistem daerah tangkapan air yang merupakan rangkaian proses alami siklus hidrologi yang memproduksi air permukaan dalam bentuk mata air, aliran air dan sungai.

3.2 Tata Guna Lahan dan Kesesuaian Lahan

Tata guna lahan (land use) merupakan perwujudan fisik obyek-obyek yang menutupi lahan dan terkait dengan kegiatan manusia pada sebidang lahan (Lillesand dan Kiefer, 1997). Menurut Vink, 1975 pengertian tata guna lahan adalah setiap bentuk campur tangan manusia terhadap sumber daya lahan, baik yang bersifat permanen atau rotasi (cyclic) yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Tata guna lahan menurut (Edy Darmawan, 2003) adalah pengaturan penggunaan lahan untuk menentukan pilihan terbaik dalam bentuk pengalokasian fungsi tertentu, sehingga dapat memberikan gambaran secara keseluruhan bagaimana daerah tersebut seharusnya berfungsi.

Tata guna lahan dan penutupan lahan memiliki hubungan langsung dengan karakteristik dan proses lingkungan, termasuk produktivitas lahan, keanekaragaman spesies, iklim, biogeokimia dan siklus hidrologi. Karakteristik tutupan lahan dan tata guna lahan berdampak pada iklim, hidrologi, dan keanekaragaman spesies darat. Penutupan lahan mengacu pada gambaran berada di permukaan bumi.

Sebagai contoh, lahan pertanian, danau, sungai, rawa, hutan, jalan, dan tempat parkir semua jenis tutupan lahan. Penutupan lahan dapat merujuk kepada kategorisasi biologis permukaan, seperti padang rumput atau hutan, atau kategorisasi fisik seperti jalan aspal, area parkir beton dan lain sebagainya. Penutupan lahan dilambangkan dengan keadaan fisik tanah, termasuk jenis dan jumlah vegetasi, air dan material bumi. Perubahan tutupan lahan terjadi ketika salah satu tipe tutupan lahan dikonversi menjadi bentuk lain, atau dimodifikasi, seperti perubahan komposisi pertanian. Penutupan lahan terus dipengaruhi oleh penggunaan lahan karena kegiatan budaya, sosial, dan ekonomi manusia.

Memahami makna dan konsekuensi potensial dari perubahan tutupan lahan untuk iklim, biogeokimia, atau kompleksitas ekologi sulit tanpa informasi penggunaan lahan. Tata guna lahan mengacu juga pada tujuan hidup dan kegiatan manusia yang saling terkait (misalnya pertanian, memelihara ternak, perikanan, rekreasi, atau kehidupan sehari-hari masyarakat) dalam Meyer dan Turner eds. 1994.

Dampak perubahan tata guna lahan secara garis besar dapat dibedakan menjadi dua kategori yaitu dampak terhadap lingkungan (environmental impact), dan

dampak terhadap kondisi sosial ekonomi (socio-economic impact). Dampak terhadap lingkungan lebih banyak mendapatkan perhatian dan publikasi dibandingkan dengan dampak sosial ekonomi, hal ini dikarenakan jangka waktunya lebih panjang dan bersifat tidak terlihat, dan faktor pemicunya lebih kompleks (Briassoulis, 2000).

Dampak perubahan tata guna lahan terhadap lingkungan memiliki dua sisi yang berbeda, positif dan negatif. Sisi negatif yang dimaksud adalah degradasi lahan, berkurangnya lahan alami (natural space), berkurangnya lahan pertanian produktif, adanya polusi kendaraan, dan menurunnya kemampuan sistem biologis dalam mendukung kebutuhan manusia (Lambin, 2003; Aguayo dkk., 2007). Sedangkan sisi positifnya adalah semakin meningkat ketersediaan pangan, penggunaan sumber daya lebih efektif dan meningkatnya kesejahteraan manusia.

Dalam sebuah studi tentang efek dari kawasan hutan, pertanian dan perkotaan pada kualitas air dan biota perairan di Piedmont ekoregion dari North Carolina, Lenat dan Crawford (1994) menemukan bahwa lahan pertanian menghasilkan konsentrasi nutrisi tertinggi. Fisher et al. (2000) juga mencatat jumlah yang lebih tinggi dari nitrogen, fosfor dan bakteri coliform tinja di daerah produksi unggas di Upper Oconee DAS di Georgia.

Dalam studi lain Coweeta Creek di barat North Carolina, Bolstad dan Swank (1997) mengamati bahwa ada perubahan konsisten dalam variabel kualitas air, seiring dengan perubahan penggunaan lahan. Demikian pula, dalam studi sebelumnya Little Miami River Basin, Tong (1990) menemukan bahwa pembangunan perkotaan di DAS telah menyebabkan modifikasi besar pada limpasan banjir dan kualitas air.

Oleh karena itu, praktik mengubah penggunaan lahan dan pengelolaan lahan dianggap sebagai salah satu faktor utama dalam mengubah sistem hidrologi, menyebabkan perubahan limpasan (Mander et al., 1998), hasil pasokan air permukaan (Wu dan Haith, 1993), serta kualitas menerima air (Changnon dan Demissie, 1996). Meskipun telah ada beberapa penelitian tentang dampak tata guna lahan terhadap aliran dan kualitas air (Hanratty dan Stefan, 1998; Rai dan Sharma, 1998; Dan Bhadurie, et.al, 2001), hubungan intrinsik kompleks antara tata guna lahan, kuantitas dan kualitas air di wilayah geografis yang berbeda di bawah skala yang berbeda masih harus dijelaskan.

Metode yang saat ini ada digunakan untuk memprediksi kualitas air di daerah tangkapan sungai berdasarkan perkembangan pola tata guna lahan. Beberapa

studi yang sangat spesifik untuk suatu daerah di salah satu skala geografis. Banyak difokuskan di kedua statistik, spasial, atau analisis model. Penelitian lainnya adalah meneliti dampak penggunaan lahan hanya pada kuantitas atau aspek kualitas dari limpasan. Contoh penelitian tersebut termasuk yang dilakukan oleh Meissner et al. (1999), Ferrier et al. (1995), Tsihrintzis dan Hamid (1998), Mattikalli dan Richards (1996), Wu dan Haith (1993), Hulme et al. (1993), Henderson-Sellers (1994), dan Bouraoui et al. (1998).

Hanya beberapa studi yang telah melakukan dengan pendekatan terpadu yaitu penggunaan analisis statistik dan spasial, serta model hidrologi untuk memeriksa efek hidrologi terhadap penggunaan lahan pada kedua daerah dengan skala lokal.

Kesesuaian lahan adalah tingkat kecocokan sebidang lahan untuk penggunaan tertentu. Kesesuaian lahan tersebut dapat dinilai untuk kondisi saat ini (kesesuaian lahan aktual), yaitu kesesuaian lahan berdasarkan sifat biofisik tanah atau sumber daya lahan. Peta kesesuaian lahan saat ini dapat dibuat untuk setiap penggunaan lahan, yaitu lahan hutan, kebun campur, lahan terbuka/rumput, permukiman, pertambangan, semak belukar dan tegalan/ladang. Adapun kelas kesesuaian lahan ada dua yaitu sesuai (S) atau tidak sesuai (N), kelas sesuai prioritas sangat sesuai, cukup sesuai, sesuai marginal dan tidak sesuai. Unit analisis yang digunakan untuk pemetaan kesesuaian lahan ini adalah Satuan Lahan Homogen (SLH).

Parameter yang digunakan untuk analisis kesesuaian (prioritas) untuk hutan adalah: lereng > 45%, kepekaan erosi (regosol, litosol, organosol dan renzina) dengan lereng >15%, merupakan jalur pengaman aliran sungai/air (minimal 100 m di kiri kanan sungai/air tersebut), merupakan pelindung mata air (minimal dengan jari-jari 200m di sekeliling mata air tersebut), elevasi > 2000m di atas permukaan laut, untuk kepentingan khusus ditetapkan oleh pemerintah sebagai kawasan lindung (Departemen Kehutanan 1986 dalam Hardjowigeno et al.2000).

Parameter kesesuaian lahan untuk permukiman yaitu lereng, posisi jalur patahan, kekuatan batuan, kembang kerut tanah, sistem drainase, daya dukung tanah, kedalaman air tanah, bahaya erosi, bahaya longsor dan bahaya banjir.

Topografi adalah perbedaan tinggi atau bentuk wilayah suatu daerah, termasuk di dalamnya adalah perbedaan kecuraman dan bentuk lereng. Peranan topografi terhadap tata guna lahan dibedakan berdasarkan unsur-unsurnya. Unsur-unsur yang dimaksud adalah elevasi dan kemiringan lereng. Peranan

elevasi sangat terkait dengan iklim, terutama suhu dan curah hujan yang ada pada suatu daerah. Elevasi juga sangat berpengaruh terhadap peluang untuk pengairan lahan yang ada. Peranan kemiringan lereng sangat terkait kemudahan pengelolaan dan terutama pada upaya pelestarian lingkungan (Hardjowigeno, 1993).

Besar sudut dan kemiringan lereng digunakan kriteria seperti yang digunakan USDA, 1978 (United States Department of Agriculture) seperti Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Klasifikasi dan Kriteria Kemiringan Lereng Untuk Permukiman

Harkat	Kelas	Kemiringan Lereng	Besarnya Sudut (%)
5	Sangat Baik	Rata-Hampir Rata	<2
4	Baik	Agak Miring-Miring	2-8
3	Sedang	Miring	8-30
2	Jelek	Sangat Miring	30-50
1	Sangat Jelek	Terjal-Sangat Terjal	>50

Parameter kerentanan suatu wilayah terhadap bahaya terjadinya bencana banjir dapat dinilai berdasarkan interpretasi tata guna lahan (land use) pada suatu daerah yang ditinjau dan wawancara-wawancara yang dilakukan baik secara lisan maupun secara tulisan dengan menggunakan kuesioner dengan penduduk setempat suatu wilayah, maupun berdasarkan data-data sekunder yang diperoleh dari instansi-instansi yang terkait dengan penggunaan lahan serta kerentanan suatu wilayah terhadap bahaya terjadinya bencana banjir. Klasifikasi dan kriteria lama penggenangan akibat banjir yang terjadi dan telah digunakan oleh Direktorat perumahan (1980) disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 3.2: Kelas dan Kriteria Lama Penggenangan atau Banjir Untuk Permukiman

Harkat	Kelas	Kriteria
5	Sangat Baik	Daerah tidak pernah banjir
4	Baik	Daerah tergenang < 2 bulan setahun
3	Sedang	Daerah tergenang antara 2-6 bulan setahun
2	Jelek	Daerah tergenang > 6 bulan setahun
1	Sangat Jelek	Daerah selalu tergenang atau daerah rawa

Parameter kelas dan kriteria kondisi saluran dari pembuangan atau drainase harus didasarkan pada jenis material saluran yang digunakan dan kondisi

saluran dari drainase itu sendiri. Kriteria penilaian kondisi saluran pembuangan atau saluran drainase dapat mengikuti kriteria penilaian kondisi saluran pembuangan atau saluran drainase seperti yang terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3.3: Kelas dan Kriteria Kondisi Saluran Pembuangan Air Kotor Untuk Permukiman

Harkat	Kelas	Kriteria
5	Sangat Baik	Saluran pembuangan pasangan batu, aliran lancar
4	Baik	Saluran pembuangan pasangan batu, aliran cukup lancar
3	Sedang	Saluran pembuangan dari batu kosong, aliran kurang lancar
2	Jelek	Saluran pembuangan dari tanah, aliran kurang lancar
1	Sangat Jelek	Tidak ada saluran pembuangan air kotor

Struktur klasifikasi kesesuaian lahan menurut kerangka FAO (1976) dapat dibedakan menurut tingkatannya, yaitu tingkat Ordo, Kelas, Subkelas dan Unit. Ordo adalah keadaan kesesuaian lahan secara global. Pada tingkat ordo kesesuaian lahan dibedakan antara lahan yang tergolong sesuai (S = Suitable) dan lahan tidak sesuai (N = Not Suitable).

Kelas adalah keadaan tingkat kesesuaian dalam tingkat ordo. Berdasarkan tingkat detail data yang tersedia pada masing-masing skala pemetaan, kelas kesesuaian lahan dibedakan menjadi:

1. Untuk pemetaan tingkat semi detail (skala 1: 25.000 – 1:50.000) pada tingkat kelas, lahan yang tergolong ordo sesuai (S) dibagi dalam tiga kelas, yaitu: lahan sangat sesuai (S1), cukup sesuai (S2), sesuai marginal (S3). Sedangkan lahan yang tergolong ordo tidak sesuai (N) tidak dibedakan ke dalam kelas-kelas.
2. Untuk pemetaan tingkat tinjau (Skala 1: 100.000-1:250.000) pada tingkat kelas dibedakan atas Kelas Sesuai (S), sesuai bersyarat (CS) dan tidak sesuai (N).

Kelas S1 → Sangat sesuai: Lahan tidak memiliki faktor pembatas yang berarti atau nyata terhadap penggunaan lahan secara berkelanjutan, atau faktor

pembatas bersifat minor dan tidak akan berpengaruh terhadap produktivitas lahan secara nyata.

Kelas S2 Cukup sesuai: Lahan mempunyai faktor pembatas, dan faktor pembatas ini akan berpengaruh terhadap produktivitasnya, memerlukan tambahan masukan (input). Pembatas tersebut biasanya dapat diatasi oleh petani mandiri.

Kelas S3 Sesuai marginal: Lahan mempunyai faktor pembatas yang berat, dan faktor pembatas ini akan sangat berpengaruh terhadap produktivitasnya, memerlukan tambahan masukan yang lebih banyak daripada lahan yang tergolong S2. Untuk mengatasi faktor pembatas pada S3 memerlukan modal tinggi, sehingga perlu adanya bantuan atau campur tangan pemerintah atau pihak swasta.

Kelas N Lahan tidak sesuai: Lahan yang tidak memiliki faktor pembatas yang sangat berat dan/atau sulit diatasi.

3.3 Perubahan Tata Guna Lahan

Pengertian perubahan tata guna lahan secara umum menyangkut transformasi dalam pengalokasian sumber daya lahan dari satu penggunaan ke penggunaan lainnya. Perubahan tata guna lahan ini melibatkan reorganisasi struktur fisik kota secara internal maupun ekspansinya ke arah luar (Pierce, 1981). Perubahan tata guna lahan juga diartikan sebagai perubahan penggunaan atau aktivitas terhadap suatu lahan yang berbeda dari aktivitas sebelumnya, baik untuk tujuan komersial maupun industri (Kazas dan Charles 2001).

Faktor utama yang memengaruhi terjadinya perubahan tata guna lahan adalah peningkatan jumlah penduduk. Terjadinya peningkatan jumlah penduduk berimplikasi pada kepentingan kebutuhan lahan untuk memadai berbagai aktivitas manusia demi kelangsungan hidupnya. Jika dalam perkembangannya antara kebutuhan dan ketersediaan lahan tidak diatur dengan baik, maka akan terjadi berbagai benturan kepentingan antar aktivitas yang berdampak pada persaingan dalam pengaturan lahan.

Hal ini akan menyebabkan terjadi pergeseran pemanfaatan lahan yang tidak sesuai dengan kaidah penataan ruang dan daya dukungnya. Menurut Barlowe (1986) faktor-faktor yang memengaruhi penggunaan lahan adalah faktor fisik

dan biologis, pertimbangan ekonomi dan faktor institusi atau kelembagaan. Faktor fisik biologis mencakup kesesuaian dari sifat fisik yaitu keadaan geologi, tanah, air, iklim, tumbuh-tumbuhan, hewan dan kependudukan. Faktor pertimbangan ekonomi dicirikan oleh keuntungan, keadaan pasar dan transportasi. Faktor institusi dicirikan oleh hukum pertanahan, keadaan politik, sosial dan secara administrasi dapat dilaksanakan.

Perubahan tata guna lahan akan sangat mengganggu keseimbangan lingkungan jika perubahan ini tidak memperhatikan daya dukungnya. Akibat dari fenomena ini telah tampak seperti banjir, tanah longsor, pemanasan global, lebih jauh berdampak pula pada aspek sosial ekonomi yaitu berupa kemiskinan.

3.4 Sistem Informasi Geografis

Sistem informasi geografis (SIG) telah didefinisikan sebagai suatu sistem dengan bantuan komputer untuk akuisisi, penyimpanan, analisis dan dapat menampilkan data geografis menurut spesifikasi pengguna (Laurini dan Thomson, 1992). Memiliki sistem manajemen database digital yang dirancang untuk menerima data dengan volume besar yang terdistribusi secara spasial dari berbagai sumber (Jensen dan Christensen, 1986). Karakteristik yang paling kuat dari SIG adalah kemampuannya untuk menganalisis data secara spasial berdasarkan atribut deskriptif.

Definisi lain seperti diungkapkan oleh Eldrandaly et al. (2003), SIG adalah teknologi berbasis komputer dan metodologi untuk pengumpulan, manajemen, analisis, modeling dan tampilan data geografi untuk berbagai penerapan. SIG merupakan sistem perangkat lunak untuk *acquisition*, manajemen, analisis, dan menampilkan data yang memiliki referensi geografik (Eastman et al. 1998). Dari berbagai definisi tersebut pada dasarnya memiliki makna yang sama yaitu pemasukan data, penyimpanan, pemanggilan, manipulasi, analisis dan keluaran.

Pemanfaatan citra landsat telah banyak digunakan untuk beberapa kepentingan survei maupun penelitian, antara lain geologi, pertambangan, geomorfologi, hidrologi dan kehutanan. Dalam setiap perekaman, citra landsat memiliki cakupan area 185 Km x 185 Km, sehingga aspek dari objek tertentu yang cukup luas dapat diidentifikasi tanpa menjelajah seluruh daerah yang disurvei

atau yang diteliti. Dengan demikian, metode ini dapat menghemat waktu maupun biaya dalam pelaksanaannya di banding dengan cara konvensional atau survei secara teristris di lapangan (Wahyunto et al, 1995).

Penggunaan perangkat SIG dapat membantu mengintegrasikan data yang disebabkan oleh unit yang berbeda secara geografis dengan set data yang berbeda namun saling terkait (Burrough, 1986). SIG memungkinkan untuk overlay peta secara tematik, misalnya penggunaan tanah dan lahan, daerah aliran sungai, wilayah kota atau kabupaten, bahkan peta desa. Sehingga dapat memfasilitasi integrasi peta dan analisisnya. Pemodelan jarak SIG memungkinkan untuk menilai potensial interaksi tentang pemanfaatan lahan dan infrastruktur fisiknya.

Dimungkinkan juga mengombinasikan peta dengan data-data yang dihasilkan oleh model (Bronsveld, et al, 1994). Secara singkat tujuan utama SIG adalah proses pengambilan data mentah dan kemudian mengolahnya melalui overlay dan analisis operasi lainnya sehingga diperoleh informasi baru yang dapat mendukung proses pengambilan keputusan.

Ada dua tipe deteksi yang dilakukan oleh sensor: deteksi pasif dan aktif. Banyak bentuk penginderaan jauh yang menggunakan deteksi pasif, di mana sensor mengukur level energi yang secara alami dipancarkan, dipantulkan atau dikirimkan oleh target. Sensor ini hanya dapat bekerja apabila terdapat sumber energi yang alami, pada umumnya sumber radiasi adalah matahari, sedangkan pada malam hari atau apabila permukaan bumi tertutup awan, debu, asap dan partikel atmosfer lainnya, maka pengambilan data dengan cara deteksi pasif tidak dapat dilakukan dengan baik. Contoh sensor pasif yang paling dikenal adalah sensor utama pada satelit Landsat, Thematic Mapper, yang memiliki 7 band atau channel.

Bab 4

Kebutuhan Air (Water Demand)

4.1 Pendahuluan

Air merupakan sumber kehidupan kita sehari-hari dan sepakat jika ada pendapat yang mengatakan bahwa air merupakan kebutuhan yang sifatnya ultra esensial artinya air tidak bisa digantikan dengan apa pun. Dalam kenyataannya sekarang ini kondisi riil yang ada sudah dalam tahap mengkhawatirkan baik secara kuantitas dan kualitas. Kondisi tersebut kalau tidak diantisipasi mulai sekarang bisa menjadi potensi konflik di masa mendatang.

Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air menyatakan bahwa sumber daya air adalah air, sumber air, dan daya air yang terkandung di dalamnya. Air adalah semua air yang terdapat pada, di atas, ataupun di bawah permukaan tanah, termasuk dalam pengertian ini air permukaan, air tanah, air hujan, dan air laut yang berada di darat.

Sudah banyak disebutkan oleh para pakar bahwa ada paradoks antara penduduk dan air yaitu pertumbuhan penduduk yang meningkat mengakibatkan pengurangan ketersediaan air sekaligus meningkatkan potensi banjir. Banjir yang terjadi di daerah-daerah di Indonesia mencerminkan

paradoks tersebut. Konflik kepentingan dan kebutuhan antara *man versus water*, konflik ruang terbangun versus ruang terbuka hijau, konflik tata ruang bangunan versus tata ruang air. Peningkatan ruang terbangun menyebabkan pengurangan ruang terbuka hijau yang terutama di daerah-daerah perkotaan. Banyak lahan hijau, situ-situ, daerah resapan dan tempat tinggal air telah hilang.

Krisis air telah terjadi, terus berlangsung dan cenderung semakin meningkat. Ada banyak faktor yang membuat krisis ini lebih menembus ke dalam semua bagian di dunia ini di masa yang akan datang yang menjadikan *water is every one's business*. Biswas (1997) menyebutkan ada 5 faktor utama, meliputi:

1. Jumlah suplai air berbanding terbalik dengan peningkatan populasi.
2. Air merupakan kebutuhan esensial untuk semua aktivitas manusia mulai dari air minum, pertanian, energi pengembangan industri sampai pada *virtual water* (pemanfaatan tak langsung) .
3. Sumber air yang mudah dieksploitasi terus berkembang sehingga banyak air yang hilang akibat karena perubahan tata guna lahan.
4. Peningkatan aktivitas manusia akan menambah buangan limbah ke lingkungan alam.
5. Pentingnya pengembangan sumber air yang berwawasan lingkungan bukan lagi hanya sebagai bahan diskusi atau sebatas wacana tapi sudah merupakan bagian integral penting dalam strategi pembangunan yang berkelanjutan dan yang berwawasan lingkungan.

4.2 Pertumbuhan Penduduk dan Kebutuhan Air

Dalam sejarah perkembangan peradaban manusia selalu dimulai dari lokasi di mana air berada. Kebesaran Mesir dengan sungai Nil-nya, eksotisme India dengan sungai Gangga-nya, Kemegahan Persia dengan sungai Eufrat dan Tigris-nya, kejayaan Britania dengan sungai Thames-nya, sampai keunggulan Majapahit dengan Bengawan Solo-nya. Di samping sebagai sumber kehidupan untuk kebutuhan air minum dan keperluan sehari-hari, juga sebagai sarana

penghidupan untuk pertanian dan perikanan, serta prasarana transportasi yang murah dan handal.

Air merupakan sumber daya terbarukan, meskipun penyediaan air bersih terus berkurang. Permintaan terhadap air saat ini telah melebihi ketersediaan air, di mana populasi penduduk terus mengalami peningkatan. Kondisi demikian tentunya berbanding lurus dengan peningkatan permintaan terhadap air baik untuk air bersih, air minum maupun air untuk pemenuhan kebutuhan lainnya.

Perhatian terhadap kepentingan global dalam mempertahankan air untuk pelayanan ekosistem telah bermunculan, terutama sejak dunia telah kehilangan lebih dari setengah lahan basah bersama dengan nilai pelayanan ekosistemnya. Ekosistem air tawar yang tinggi biodiversitasnya saat ini terus berkurang lebih cepat dibandingkan dengan ekosistem laut maupun darat. Salah satunya adalah Daerah Istimewa Yogyakarta yang saat ini mengalami perkembangan aktivitas yang semakin padat.

Pertumbuhan kawasan-kawasan terbangun dan berkurangnya kawasan konservasi, serta perubahan tata guna lahan dari pertanian menjadi lahan-lahan non pertanian menjadikan kebutuhan air semakin meningkat, sedangkan kawasan *recharge* air semakin menurun jumlahnya. Penanganan permasalahan sektor sumber daya air ke depan apabila tidak segera dilakukan dapat berdampak pada terganggunya aktivitas dan kesejahteraan manusia, sehingga ke depan memerlukan penanganan yang komprehensif.

Pertambahan jumlah penduduk di dalam suatu wilayah memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan aktivitas penduduk. Dalam hal ini penduduk ke depan semakin membutuhkan penyediaan sarana dan prasarana yang memadai, salah satunya adalah penyediaan air. Penyediaan air merupakan salah satu bentuk kegiatan pemanfaatan sumber daya air untuk memenuhi kebutuhan penduduk.

Namun kegiatan tersebut tidak hanya berhenti pada upaya melakukan pemanfaatan air yang lebih cenderung pada kegiatan eksploitasi air, namun juga diperlukan kegiatan pengelolaan air yang lebih mengarah pada menjaga ketersediaan air dari sisi kuantitas maupun kualitas. Pertambahan penduduk dan peningkatan pola hidup ternyata berbanding terbalik dengan upaya pelestarian sumber daya air, sehingga diperlukan pengaturan dan penggunaan air secara hemat.

Pengelolaan air dan sumber daya air yang semakin kompleks hanya dapat dilakukan oleh tenaga profesional. Permasalahan penurunan fungsi hidrologis, bencana alam banjir, peningkatan kebutuhan air, penggunaan air yang cenderung boros, dan pengaturan dan penggunaan air dan sumber air yang masih semrawut membutuhkan pengelolaan air dan sumber daya air secara efisien dan efektif yang membutuhkan tenaga profesional dalam jumlah yang cukup.

Potensi SDA Indonesia 2.530 milyar m³ dan hanya dapat dimanfaatkan sekitar 1 % yang terdiri dari 0.76 % untuk irigasi, 0.135 % untuk keperluan domestik, dan 0.115 % untuk industri. Efisiensi pemakaian air untuk irigasi sangat rendah yaitu lebih kurang 30% sedangkan 25 % dari air yang dimanfaatkan terbuang percuma. Selama PJPT I Pemerintah telah mengembangkan penyediaan air baku untuk rumah tangga dan industri sebesar 95 m³/detik, dan mengembangkan daerah irigasi teknis seluar 4 juta hektar serta menyediakan energi listrik tenaga air sebesar 2200 Megawatt yang mencukupi 25 % dari kebutuhan tenaga listrik nasional.

Potensi air total Indonesia sebesar 5.31 Triliun m³. Potensi air terbesar di Irian Jaya yang kemudian disusul pulau Kalimantan. Sedangkan potensi air terkecil terdapat di pulau Bali dan kepulauan Nusa Tenggara. Potensi air pada masing-masing daerah tersebut merupakan dasar kebijakan pengembangan dan pembangunan daerah. Di samping sebaran potensi air tahunan juga harus diperhitungkan sebaran potensi air sesuai waktu.

Tabel 4.1: Sebaran Potensi Air Tahunan (Saihlul Anwar,2009)

Pulau	Luas Pulau (km ²)	Curah Hujan (mm/tahun)	Potensi Air (juta m ³ /tahun)	Kebutuhan Air (juta m ³ /tahun)
Sumatera	477,379	2,801	1,337,139	11,899
Jawa	121,304	2,555	309,932	22,383
Bali dan Nusa Tenggara	87,939	1,695	149,057	3,301
Kalimantan	534,847	2,956	1,581,008	3,724
Sulawesi	190,375	2,156	410,449	5,414
Maluku	85,351	2,218	189,309	258
Irian Jaya	413,949	3,224	1,334,572	290
Jumlah			5,311,463	47,269

Jumlah volume waduk Indonesia ($H > 15$ m) sebesar 9,489,716,000 m³ yang secara teoritis hanya dapat mengairi lahan sawah seluas 948,972 hektar. Apabila kebutuhan air untuk satu kali musim tanam per hektar sebesar 10,000 m³ maka kebutuhan air irigasi per tahun Indonesia adalah sebesar 47,269,000,000 milyar m³.

4.3 Perhitungan Ketersediaan Air

Ketersediaan air permukaan di wilayah sungai ini dihitung berdasarkan data debit aliran sungai pada pos duga air yang terukur di lapangan, Data debit aliran sungai yang digunakan hanya data yang telah dipublikasikan secara resmi dalam Buku Publikasi Pusat Litbang Sumber Daya Air, Badan Litbang Pekerjaan Umum, Kementerian Pekerjaan Umum.

Untuk setiap wilayah sungai di Indonesia dihitung nilai ketersediaan air permukaan, yang dinyatakan sebagai tinggi aliran bulanan rata-rata, dan andalan Q80%, sehingga dengan mengalikan tinggi aliran dengan luas daerah tangkapan airnya, pada titik lokasi mana pun juga di Indonesia, dapat diperkirakan jumlah ketersediaan airnya.

Data yang digunakan untuk perhitungan ketersediaan air permukaan pada wilayah sungai di Indonesia ini adalah:

1. Data spasial, yang menyatakan lokasi dan batas, berupa:
 - a. Lokasi pos duga air, berdasarkan sumber data dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air
 - b. Batas wilayah sungai, berdasarkan Keppres 12/2012 tentang Pembagian Wilayah Sungai
 - c. Batas administrasi provinsi dan kabupaten.
- 2) Data runtun-waktu (time-series), berupa debit aliran sungai rata-rata bulanan pada pos duga air.
2. Metode Perhitungan Untuk memperoleh ketersediaan air permukaan di wilayah sungai, yang digunakan adalah dengan dasar debit aliran sungai yang diukur pada pos duga air, dikonversikan menjadi nilai ketersediaan wilayah sungai, melalui rangkaian prosedur sebagai berikut:

- a. Pengumpulan dan penyaringan data debit aliran sungai bulanan
 - -. Pengumpulan data debit aliran sungai harian dan bulanan
 - Data debit harian digabung (agregasi) menjadi debit rata-rata bulanan, dan disusun dalam pangkalan data berbasis Ms-Excel
- b. Data debit aliran sungai bulanan digambarkan grafiknya menurut waktu (time series plot), dan diperiksa jika grafik menunjukkan kejanggalan ekstrem terlalu tinggi atau terlalu rendah, maka data yang bersangkutan dianggap kosong dan jika banyak terjadi kejanggalan maka pos duga air yang bersangkutan tidak digunakan.
- c. Perhitungan debit rata-rata dan debit andalan Q80% pada pos duga air
 - Rata-rata dan Q80% dari seluruh data pada setiap pos duga air. Dari seluruh data debit aliran sungai pada masing-masing pos duga air, dihitung nilai rata-rata keseluruhan; debit andalan Q80%, dari kurva durasi (WMO, 2008b) dari seluruh debit aliran sungai bulanan pada pos duga air yang bersangkutan. Perhitungan dilakukan untuk debit aliran sungai dalam satuan m^3/detik dan $\text{juta m}^3/\text{tahun}$, serta tinggi aliran dalam mm/hari . Penyaringan dilakukan terhadap debit aliran sungai dengan tinggi aliran yang tidak wajar, yaitu jika melampaui tinggi curah hujan pada daerah tangkapan air yang bersangkutan, atau data yang memiliki tinggi aliran kurang dari $1 \text{ mm}/\text{hari}$.
 - Rata-rata dan Q80% untuk setiap bulan pada setiap pos duga air. Untuk setiap bulan pada masing-masing pos duga air, dihitung nilai rata-rata tiap bulan; debit andalan Q80 dari kurva durasi tiap bulan pada pos duga air yang bersangkutan. Perhitungan dilakukan untuk debit aliran sungai dalam satuan m^3/detik dan $\text{juta m}^3/\text{tahun}$, serta tinggi aliran dalam mm/hari .

3. Perhitungan debit rata-rata dan debit andalan Q80% pada Daerah Aliran Sungai
 - a. Tinggi aliran Daerah Aliran Sungai (DAS) dihitung berdasarkan tinggi aliran pos duga air yang berada di dalam DAS yang bersangkutan, dengan bobot berbanding lurus dengan luas daerah tangkapan air masing-masing pos duga air tersebut.
 - b. Jika di dalam suatu DAS tidak terdapat pos duga air, maka tinggi aliran DAS dianggap sama dengan tinggi aliran DAS tetangga terdekat, dengan mempertimbangkan kondisi hidrologis.
4. Perhitungan debit rata-rata dan debit andalan Q80% pada Wilayah Sungai
 - a. Tinggi aliran Wilayah Sungai dihitung berdasarkan tinggi aliran DAS atau pos duga air yang berada di dalam Wilayah Sungai yang bersangkutan, dengan bobot berbanding lurus dengan luas DAS atau luas daerah tangkapan air masing-masing pos duga air tersebut.
 - b. Jika di dalam suatu Wilayah Sungai tidak terdapat pos duga air, maka tinggi aliran Wilayah Sungai dianggap sama dengan tinggi aliran Wilayah Sungai terdekat, dengan mempertimbangkan kondisi hidrologis.

4.4 Perhitungan Kebutuhan Air

Kebutuhan air yang dihitung meliputi kebutuhan air rumah-tangga, perkotaan dan industri (RKI), irigasi, dan kebutuhan air untuk aliran pemeliharaan sungai.

Kebutuhan Air Rumah Tangga, Perkotaan, dan Industri

Besarnya nilai kebutuhan air bersih untuk rumah tangga tergantung dari kategori kota berdasarkan jumlah penduduk yang dinyatakan dalam satuan Liter/Orang/Hari (L/O/H) sebagaimana pada tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2: Kebutuhan Air Rumah-Tangga (Ditjen Cipta Karya, 2006)

No	Kategori Kota	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Kebutuhan Air Bersih (L/O/H)
1	Semi Urban (Ibu Kota Kecamatan/Desa)	3.000 – 20.000	60 - 90
2	Kota Kecil	20.000 – 100.000	90 - 110
3	Kota Sedang	100.000 – 500.000	110 - 125
4	Kota Besar	500.000 – 1.000.000	125 - 150
5	Metropolitan	>1.000.000	150 - 200

Kebutuhan air perkotaan mencakup aspek komersial dan sosial seperti: toko, gudang, bengkel, sekolah, rumah sakit, hotel dan sebagainya yang diasumsikan antara 15% sampai dengan 30% dari total air pemakaian air bersih rumah tangga.

Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi dihitung berdasarkan Pedoman Perencanaan Irigasi KP01 (Ditjen Pengairan, 1985), dengan menggunakan data luas lahan irigasi, jadwal tanam, evapotranspirasi acuan, curah hujan efektif, jenis tanah, dan efisiensi saluran irigasi.

Data luas irigasi yang digunakan dalam perhitungan merupakan data yang didapatkan dari setiap wilayah sungai di Indonesia, yang kemudian dibandingkan dengan data luas irigasi berdasarkan pada Keputusan Menteri Pekerjaan Umum Tahun 2007 mengenai status daerah irigasi. Hasil perhitungan kebutuhan air irigasi yang digunakan yaitu berupa nilai DR (diversion requirement) yaitu kebutuhan air di pintu pengambilan.

Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan Aliran Pemeliharaan Sungai Sesuai dengan PP no. 38/2012 tentang Sungai, besarnya kebutuhan air untuk aliran pemeliharaan sungai adalah debit andalan Q95% dari data ketersediaan air yang ada. Dari nilai Q95% untuk 12 bulan yang ada, dipilih nilai yang terendah.

4.5 Perhitungan Neraca Air

Neraca air dapat dinyatakan dalam berbagai cara, antara lain adalah:

1. Indeks Penggunaan Air (IPA)
2. Indeks Ketersediaan Air per Kapita
3. Neraca Surplus dan Defisit

Kebutuhan Air Rumah Tangga, Perkotaan, dan Industri

Indeks Penggunaan Air atau IPA dihitung berdasarkan rumus:

$IPA = Q_{kebutuhan} / Q_{ketersediaan}$ dengan:

$IPA = \text{Indeks Penggunaan Air}$

$Q_{ketersediaan} = \text{ketersediaan air}$

$Q_{kebutuhan} = \text{kebutuhan air}$.

Tabel 4.3: Klasifikasi Nilai Indeks Penggunaan Air (IPA)

Indeks Penggunaan Air (IPA)	Klasifikasi
Di Bawah 25 %	Tidak kritis
Antara 25 % dan 50 %	Kritis Ringan
Antara 50 % dan 100 %	Kritis Sedang
Di atas 100 %	Kritis Berat

Indeks Ketersediaan Air per Kapita

Seberapa besar jumlah air yang tersedia pada suatu wilayah sungai dibandingkan dengan jumlah penduduk di dalam wilayah tersebut dinyatakan dengan indeks ketersediaan air per kapita. Indeks ini telah lazim digunakan di berbagai negara, antara lain oleh HR Wallingford (2003), Sullivan dkk. (2003), dan Mawardi (2008). Tabel 3 menerangkan kondisi berdasarkan nilai indeks ketersediaan per kapita.

Perhitungan ketersediaan air per kapita, dengan membagi jumlah air yang tersedia, dengan jumlah penduduk di wilayah sungai.

1. Pengumpulan data penduduk kabupaten/kota Indonesia berdasarkan sensus penduduk 2020 (BPS, 2019).
2. Perhitungan jumlah penduduk untuk setiap wilayah sungai, menggunakan teknik overlay dengan sistem informasi geografis antara batas wilayah sungai dengan batas kabupaten/kota.

3. Membagi ketersediaan air permukaan dengan jumlah penduduk, untuk mendapatkan indeks ketersediaan air permukaan per-kapita.

Tabel 4.4: Kondisi Kelangkaan Air

Indeks Ketersediaan Air/Kapita (m ³ /thn/kapita)	Kondisi
Lebih besar dari 1.700	Tanpa tekanan (<i>no stress</i>)
1.000 – 1.700	Ada Tekanan (<i>stress</i>)
500 – 1.700	Ada kelangkaan (<i>scarcity</i>)
Lebih kecil dari 500	Kelangkaan mutlak (<i>absolute scarcity</i>)

Neraca Surplus dan Defisit

Neraca surplus-defisit dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Neraca} &: Q_{\text{ketersediaan}} - Q_{\text{kebutuhan}} \text{ dengan,} \\ \text{Neraca} &: \text{neraca air} \\ Q_{\text{ketersediaan}} &: \text{ketersediaan air} \\ Q_{\text{kebutuhan}} &: \text{kebutuhan air.} \end{aligned}$$

Neraca surplus defisit dinamakan “surplus” jika hasil persamaan positif dan “defisit” apabila hasil persamaan adalah negatif

Sebagai penutup dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Jumlah ketersediaan air permukaan di Indonesia adalah 3.906 milyar m³, dengan tinggi aliran tertinggi di Papua dan Kalimantan; sedang di Jawa, Sumatera, Sulawesi dan Maluku; dan terendah di Bali dan Nusa Tenggara.
2. Semua wilayah sungai di Indonesia masih dalam kondisi “surplus”, artinya jumlah air tersedia masih lebih besar dari kebutuhan air.
3. Menurut Indeks Penggunaan Air (IPA), seluruh kepulauan di Indonesia “tidak kritis” kecuali Jawa yang “kritis ringan”. Hal yang sama, dari jumlah ketersediaan air per-tahun per-kapita, seluruh kepulauan di Indonesia dalam kondisi baik, yaitu “tanpa tekanan”, hanya Jawa dalam kondisi “ada tekanan”.

Bab 5

Kajian Rekayasa Hidrologi Ketersediaan Air Daerah Pengaliran Sungai (DPS)

5.1 Pendahuluan

Saat ini, Kebutuhan akan sumber daya air cenderung terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan penduduk dan perkembangan pembangunan industri. Hal ini terjadi disebabkan adanya ketidakseimbangan antara permintaan sektor pertanian dan permintaan air baku (Mizzanuddin Sitompul & Rizki Efrida, 2018).

Ketersediaan air berupa sumber daya air terutama berasal dari air hujan (atmosfer), air tanah dan air permukaan. Hujan yang jatuh di permukaan Daerah Aliran Sungai (DAS) atau Daerah Pengaliran Sungai (DPS), tergantung proses iklim, sebagian menguap lagi, sebagian mengalir melalui dan di bawah permukaan di kanal, sungai atau sebagian meresap ke dalam tanah, sebagai pengisian kembali kandungan air tanah yang ada (Indra Kusuma Saria, Lily Montarchi Limantara, 2011).

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan salah satu komponen hidrologi yang berfungsi sebagai daerah yang menerima, menyimpan, dan mengalirkan air hujan melalui sungai ke danau atau ke laut. Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan kesatuan wilayah daratan dan sungai, termasuk anak-anak sungainya. DAS terdiri dari beberapa DAS parsial (Farni, 2018).

Daerah Aliran Sungai atau disingkat dengan DAS adalah suatu wilayah yang dibatasi oleh batas alam, seperti punggung bukit-bukit atau gunung, maupun batas bebatuan, seperti jalan atau tanggul, di mana air hujan turun di daerah tersebut memberi kontribusi aliran ke titik kontrol (outlet) (Suripin, 2002). DAS sebagai suatu kesatuan wilayah/kawasan pengelolaan air yang terbentuk secara alami di mana air (dari curah hujan) terkumpul dan mengalir keluar dari kawasan tersebut ke sungai-sungai dan aliran-aliran yang bersangkutan (Sugiyanto, 2002).

Sebagai bagian dari pengelolaan daerah tangkapan air yang terpadu dan berkelanjutan, agar ketersediaan air di daerah tangkapan air stabil sepanjang tahun (kuantitatif dan kualitatif), sudah saatnya kita mengelola daerah tangkapan air secara berkelanjutan dan berwawasan lingkungan. ramah, dengan mempertimbangkan kekhasan DAS (Anton Sudarwo, Isril Berd, 2009).

Pengelolaan DAS perlu dilakukan secara terpadu dengan melakukan koordinasi, konsultasi dan komunikasi antar para pihak, oleh sebab itu data dan informasi tentang karakteristik DAS sangat diperlukan dalam penyusunan perencanaan pengelolaan DAS (Anton Sudarwo, Isril Berd, 2009)

5.2 Analisa Hidrologi

5.2.1 Curah Hujan Bulanan Rata - Rata Daerah Aliran Sungai

Curah hujan adalah jumlah curah hujan yang jatuh pada suatu daerah selama periode waktu tertentu. Curah hujan diukur dalam jumlah harian, bulanan dan tahunan. Curah hujan merupakan faktor utama yang mengendalikan proses siklus air di suatu daerah tangkapan air. Desain ekologi, geografi, dan penggunaan lahan di suatu wilayah sangat dipengaruhi berfungsinya siklus air,

dan oleh karena itu curah hujan merupakan hambatan sekaligus peluang dalam pengelolaan sumber daya tanah dan air.

Oleh karena itu, rencana pengelolaan tangkapan air perlu memahami bagaimana menganalisis dan menentukan karakteristik curah hujan, bagaimana mengukur dan menghitung jumlah curah hujan, dan bagaimana menyajikan data curah hujan (Asdak, 2004).

5.2.2 Melengkapi Data Hujan yang Hilang

Data yang ideal adalah data yang untuk dan sesuai dengan yang dibutuhkan. Namun, dalam praktiknya, orang sering menemukan catatan yang tidak lengkap. Berbagai hal dapat menyebabkan hal tersebut, antara lain kerusakan peralatan, kelalaian agen, penggantian alat, bencana (kehancuran), dan sebagainya. Situasi ini mengakibatkan beberapa bagian data selalu kosong. Ketika memperkirakan jumlah data yang hilang, konfigurasi distribusi hujan pada stasiun yang terkena dampak dan stasiun sekitarnya harus diperhitungkan.

Hilangnya data curah hujan dapat diperkirakan jika ada stasiun curah hujan lengkap di sekitarnya atau stasiun pengukuran dengan data yang hilang dan curah hujan tahunan rata-rata diketahui. Metode berikut dapat digunakan untuk menemukan data hujan yang hilang.

Metode Aritmatik

Metode ini dapat dilakukan jika perbedaan antara data hujan tahunan normal pada stasiun terdekat untuk jangka waktu tahunan rata-rata maksimum 10% dari hujan tahunan normal pada stasiun x. Persamaannya sebagai berikut:

$$P_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N P_i$$

Keterangan:

P_x = Hujan yang diperkirakan pada stasiun X

P_i = Hujan pada stasiun 1, 2, sampai N

n = Jumlah stasiun di sekitar stasiun X

Metode Rasio Normal

Metode ini digunakan bila hujan tahunan normal pada masing-masing stasiun pembanding lebih besar dari 10% terhadap stasiun yang kehilangan data.

$$P_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \frac{N_x}{N_i} P_i$$

Keterangan:

P_x = Data hilang yang akan diperkirakan

P_i = Data hujan stasiun pembanding

n = Jumlah stasiun pembanding

N = Hujan tahunan normal

Metode Kuadrat Jarak

Metode ini dianggap lebih baik di mana memanfaatkan jarak antar stasiun sebagai faktor koreksi (weighting factor).

Persamaan yang diberikan adalah:

$$P_x = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{1}{D_i^2} P_i}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{D_i^2}}$$

Keterangan:

P_x = Data hilang yang akan diperkirakan

P_i = Data hujan stasiun pembanding

D_i = Jarak masing-masing stasiun terhadap stasiun yang ditinjau

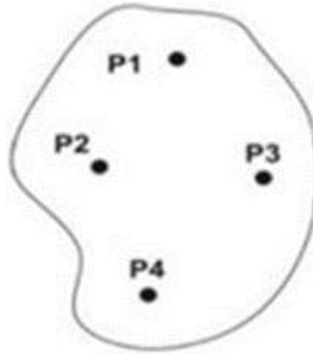
5.2.3 Mencari Curah Hujan Rata-Rata Wilayah

Curah hujan rata-rata untuk suatu DAS atau DAS merupakan informasi yang dibutuhkan oleh para ahli hidrologi. Untuk dapat menunjukkan besarnya curah hujan di suatu daerah, diperlukan alat pengukur hujan yang cukup. Semakin banyak alat pengukur dipasang di lapangan, semakin Anda dapat mengharapkan untuk mengetahui curah hujan rata-rata. Akurasi curah hujan dapat meningkat dengan jumlah meter yang dipasang. Beberapa Metode untuk menghitung curah hujan rata-rata:

Metode Rerata Aljabar

Metode ini merupakan metode yang paling sederhana, yang hanya terdiri dari membagi rata-rata pembacaan semua stasiun curah hujan dengan jumlah stasiun di daerah tersebut. Karena kesederhanaannya, metode ini hanya direkomendasikan untuk permukaan yang relatif datar dengan sifat hujan yang

relatif homogen dan tidak terlalu kasar. Metode ini lebih objektif daripada metode Isohyet (Soemarto, 1999).



Gambar 5.1: Ilustrasi DAS Metode Rerata Aljabar (Soemarto, 1999)

$$P_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N P_i = \frac{P_1 + P_2 + P_3 \dots \dots + P_n}{n}$$

Keterangan:

P = Tinggi curah hujan rata-rata

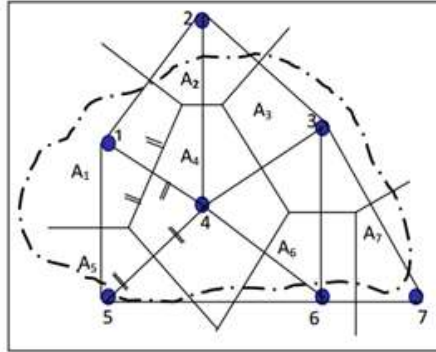
P_1, P_2, P_3, P_n = Tinggi curah hujan pada stasiun 1, 2, 3, ..., n

n = Jumlah stasiun pembanding

Metode Polygon Thiessen

Metode ini tidak hanya memperhitungkan jumlah hujan dan jumlah stasiun, tetapi juga memperkirakan luas yang diwakili oleh setiap stasiun, yang digunakan sebagai faktor dalam menghitung curah hujan rata-rata untuk daerah tersebut. Metode ini mengasumsikan bahwa curah hujan yang terjadi di suatu daerah DAS akan sama dengan curah hujan yang tercatat di stasiun berikutnya (yang mewakili luas DAS).

Metode ini tidak cocok untuk daerah pegunungan, tetapi lebih akurat daripada metode aljabar. Poligon dibuat dengan menghubungkan garis diagonal terpendek dari stasiun hujan yang ada dengan stasiun hujan sebagai pusatnya

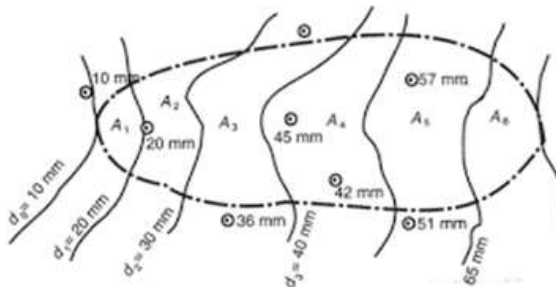


Gambar 5.2: Ilustrasi DAS Metode Polygon Thiessen (Soemarto, 1999)

Metode Garis Isohyet

Ini adalah metode yang paling akurat untuk menentukan curah hujan rata-rata regional, tetapi membutuhkan jaringan stasiun pengukuran yang relatif besar di mana isohyet dapat dihasilkan. Perhatikan juga pengaruh perbukitan atau pegunungan terhadap distribusi hujan (hujan orografis). Metode ini mengasumsikan bahwa curah hujan di daerah antara dua isohyet adalah seragam dan sama dengan nilai rata-rata dari kedua isohyet. Lebih jelasnya tentang metode ini dapat ditunjukkan pada gambar di bawah ini.

Dengan metode isohyet, kontur dengan jumlah curah hujan yang sama (isohyet) dapat digambar. Kemudian luas penampang antara isohyet yang berdekatan dan *mean* diukur sebagai *mean* dari bobot kontur dan kemudian dikalikan dengan masing-masing luas. Hasilnya ditambahkan ke total area di mana curah hujan yang diinginkan tercapai, seperti yang ditunjukkan pada persamaan di bawah ini.



Gambar 5.3: Ilustrasi DAS Metode Isohyet (Soemarto, 1999)

Keterangan:

P = Curah hujan rata-rata

$P_1, P_2, \dots, P_n$ = Curah hujan di garis isohyet

$A_1, A_2, \dots, A_n$ = Luas bagian yang dibatasi oleh isohyet-isohyet

5.2.4 Curah Hujan Rancangan

Curah hujan rencana adalah curah hujan terberat yang dapat terjadi pada suatu daerah dengan potensi tertentu. Metode analisis desain pemilihan sangat bergantung pada parameter statistik dari data teknis yang relevan atau dipilih setelah pertimbangan. Untuk menentukan metode yang sesuai, terlebih dahulu perlu dihitung amplitudo parameter statistik, yaitu koefisien kemiringan (skewness) atau C_s , dan koefisien puncak (kurtosis) atau C_k (Harto, 1993).

Persamaan yang digunakan adalah:

$$C_s = \frac{n \sum (x - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S^3}$$

$$C_k = \frac{n^2 \sum (x - \bar{x})^4}{(n-1)(n-2)S^4}$$

Hasil perhitungan C_s dan C_k disesuaikan dengan syarat pemilihan metode frekuensi seperti tabel 5.1:

Tabel 5.1: Pemilihan Metode Frekuensi (Harto, 1993)

Jenis Metode	C_k	C_s
Gumbel	< 5,4002	1,1396
Normal	3,0	0
Log Person Tipe III	bebas	bebas

Curah hujan rancangan biasanya menggunakan metode Log Person Type III karena metode ini dapat digunakan untuk semua distribusi data tanpa harus memenuhi koefisien kemiringan (skewness) dan koefisien kepuncakan (kurtosis) (Ramadani, 2012).

5.2.5 Intensitas Curah Hujan

Seandainya data curah hujan yang ada hanya curah hujan harian, maka menurut Dr. Mononobe intensitas curah hujan dapat dituliskan sebagai berikut (Suyono Sosrodarsono & Kensaku Takeda, 2003):

$$I = \frac{R24}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^m$$

Di mana:

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

R24 = curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

T = lamanya curah hujan (jam)

m = konstanta = 23

5.3 Ketersediaan Air

Ketersediaan air berkaitan dengan limpasan air permukaan dan limpasan air tanah. Air tanah terbagi menjadi tiga, yaitu aliran air tanah dangkal, aliran tanah sedang, dan aliran dasar. Aliran ini akan mengisi sistem jaringan sungai. Hal ini terlihat pada saat musim kemarau ketika hujan tidak turun untuk beberapa saat, sungai terus mengalir terus menerus. Limpasan air permukaan berasal dari curah hujan harian, bulanan dan tahunan, sedangkan limpasan tanah rata-rata berasal dari faktor tata guna lahan di daerah tangkapan air, khususnya vegetasi.

Beberapa udara yang tersimpan sebagai air tanah kembali ke tanah sebagai limpasan, yaitu H sebagai limpasan permukaan, limpasan menengah dan limpasan air tanah yang terkumpul di sungai (Indra Kusuma Saria, Lily Montarchi Limantara, 2011).

Ketersediaan air yang merupakan fenomena alam sering kali sulit diatur dan diprediksi secara tepat. Memang, ketersediaan air mengandung unsur variabilitas spasial (spatial variability) dan temporal yang besar (temporal variability). Konsep siklus hidrologi adalah bahwa jumlah air pada suatu wilayah tertentu dari hamparan bumi dipengaruhi oleh aliran masuk dan aliran keluar yang terjadi.

Besarnya aliran hidrologis ketersediaan air suatu daerah dapat dituliskan sebagai berikut:

$$P = R + G + E + T - \Delta S \quad (1)$$

Di mana, P presipitasi (hujan), R limpasan permukaan, G air tanah, E evaporasi, T transpirasi dan perubahan simpanan ΔS . Persamaan ini dikenal sebagai persamaan hidrologi dasar. Untuk ketersediaan air di daerah tangkapan air, limpasan permukaan dan limpasan bawah tanah dihitung menggunakan metode mock.

Berikut data yang dimasukkan: curah hujan bulanan, nilai ETo , nilai simpanan kelembaban tanah 200 mm untuk curah hujan > 200 mm dan nilai curah hujan untuk curah hujan < 200 , koefisien infiltrasi, nilai $K = 0,6$. Setelah semua data dimasukkan, pertimbangkan dilanjutkan dengan ketersediaan udara, yang hasil perhitungannya adalah ketersediaan debit air di daerah tangkapan air.

5.3.1 Air Permukaan

Air permukaan adalah aliran udara yang mengalir atau berhenti dari suatu sumber tertentu dalam suatu saluran atau saluran sungai yang ke semuanya merupakan bagian dari sistem sungai secara keseluruhan. Air permukaan meliputi sungai, sungai, mata air, danau, dan waduk. Jumlah air permukaan diperkirakan hanya 0,35 juta km^3 atau hanya sekitar 1% dari air tawar dunia.

Dari ketiga sumber udara tersebut di atas, sumber air permukaan berupa udara, kanal, danau, waduk dan sejenisnya paling banyak terdapat dalam bentuk sungai. Penggunaan air tanah sangat berguna untuk memenuhi kebutuhan air baku dan irigasi di daerah yang sulit mendapatkan air permukaan tetapi penggunaan air tanah membutuhkan biaya pemompaan yang sangat tinggi (Indra Kusuma Saria, Lily Montarcih Limantara, 2011).

Air permukaan yang diperlukan untuk kehidupan dan produksi adalah air yang terkandung dalam siklus air (siklus hidrologi). Ketika sirkulasi tidak merata, timbul berbagai kesulitan, termasuk sirkulasi yang tidak mencukupi, maka kekurangan air ini harus ditambah agar dapat memanfaatkan air (Suyono Sosrodarsono & Kensaku Takeda, 2003).

Untuk analisis ketersediaan air permukaan yang akan dijadikan acuan, dasar dari register yang ada adalah. Peran terpenting dalam mempelajari ketersediaan air permukaan adalah pengumpulan data sungai. Pencatatan harus berlangsung selama periode waktu yang dapat digunakan untuk melaksanakan proyek

penyediaan air. Jika air akan diambil dari sungai yang utuh, perlu untuk mengumpulkan data yang cukup panjang pada periode air rendah kritis sehingga jumlah air diketahui.

5.3.2 Debit Sungai dan Debit Intake

Untuk keperluan perusahaan pemakai air, pengamatan tinggi muka air sungai dilakukan di tempat-tempat yang sedang dibangun struktur hidrolik seperti bendungan dan pekerjaan pemasukan air dan lain-lain (Suyono Sosrodarsono & Kensaku Takeda, 2003). Untuk menentukan ketersediaan air di sungai, diperlukan data yang panjang dan dapat diandalkan sehingga informasi tentang variasi limpasan tergantung pada waktu terjadinya air rendah dan tinggi dapat dicatat dan peristiwa ini dapat dipetakan. Jika datanya cukup panjang, analisis statistik dapat digunakan untuk memperoleh gambaran kuantitatif umum jumlah udara.

Untuk sungai dengan data pengukuran, ketersediaan air dapat ditentukan melalui probabilitas terjadinya atau dihitung dengan menggunakan metode statistik. Kemungkinan atau terjadinya sejumlah penolakan, atau seperti yang diungkapkan dalam literatur oleh penolakan yang andal (Indra Kusuma Saria, Lily Montarich Limantara, 2011). Debit andalan adalah debit yang tersedia sepanjang tahun dengan besarnya risiko kegagalan tertentu. Menurut pengamatan dan pengalaman.

Terdapat empat metode untuk analisa debit andalan antara lain:

1. Metode debit rata-rata minimum, karakteristik Metode Debit Rata-rata minimum antara lain dalam satu tahun hanya diambil satu data (data debit rata-rata harian dalam satu tahun), metode ini sesuai untuk daerah aliran sungai dengan fluktuasi debit maksimum dan debit minimum tidak terlalu besar dari tahun ke tahun serta kebutuhan relatif konstan sepanjang tahun.
2. Metode flow characteristic, berhubungan dengan basis tahun normal, tahun kering dan tahun basah. Yang dimaksud debit berbasis tahun normal adalah jika debit rata-rata tahunannya kurang lebih sama dengan debit rata-rata keseluruhan tahun. Untuk debit berbasis tahun kering adalah jika debit rata-rata tahunannya lebih kecil dari debit rata-rata keseluruhan tahun.

Sedangkan untuk debit berbasis tahun basah adalah jika debit rata-rata tahunannya lebih kecil dari debit rata-rata keseluruhan tahun. Metode ini cocok untuk DAS dengan fluktuasi debit maksimum dan debit minimum relatif besar dari tahun ke tahun, kebutuhan relatif tidak konstan sepanjang tahun, dan data yang tersedia cukup panjang. Keandalan berdasarkan kondisi debit dibagi menjadi 4, antara lain:

- a. Debit air musim kemarau, yaitu debit yang dilampaui 355 hari dalam 1 tahun, keandalan: 97,3%
 - b. Debit air rendah, yaitu debit yang dilampaui 275 hari dalam 1 tahun, keandalan: 75,3%
 - c. Debit air normal, yaitu debit melebihi 185 hari dalam 1 tahun, keandalan: 50,7%
 - d. Debit air yang cukup, yaitu debit melebihi 95 hari dalam 1 tahun, keandalan: 26,0%
3. Metode Tahun Dasar Perencanaan, analisis debit andalan menggunakan metode ini biasanya digunakan dalam perencanaan atau pengelolaan irigasi. Umumnya di bidang irigasi digunakan debit dengan keandalan 80%, sehingga rumus untuk menentukan tahun dasar perencanaan adalah sebagai berikut:

$$R_{80} = \frac{n}{5} + 1$$

Dengan:

n = kala ulang pengamatan yang diinginkan

R_{80} = debit yang terjadi < R_{80} adalah 20%

4. Metode Bulan Dasar Perencanaan, Analisis debit andalan dengan metode ini hampir sama dengan metode karakteristik aliran, yaitu dianalisis selama beberapa bulan. Metode ini paling sering digunakan karena menghitung keandalan aliran dari bulan Januari sampai Desember, yang lebih menggambarkan kondisi musim kemarau dan musim hujan.

Bendung biasanya hanya digunakan di tempat-tempat dengan debit kecil, karena pembangunan bendung besar untuk pengukuran aliran membutuhkan biaya yang cukup besar. Jika tinggi muka air pada bendung diketahui, debit dapat dihitung. Jadi ketinggian air di

bendung harus dicatat (Suyono Sosrodarsono & Kensaku Takeda, 2003). Untuk menghitung besarnya debit intake yang datanya bersifat hipotetis menggunakan nilai modus. Angka modus lebih bermanfaat sebagai angka prakiraan besarnya nilai tengah dan sebagai indikasi pusat penyebaran data (Asdak, 2004).

5.3.3 Mata Air

Menurut undang-undang No. 11 tahun 1974 pasal 1 ayat 3, mata air adalah tempat atau wadah-wadah air, baik yang terdapat di atas, maupun di bawah permukaan tanah. Sedangkan menurut Undang No. 7 Tahun 2004 pasal 35 ayat 2 yang dimaksud dengan sumber air permukaan lainnya, antara lain, situ, embung, ranu, waduk, telaga, dan mata air (spring water).

5.4 Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai (DAS) juga sering disebut sebagai daerah aliran sungai yang di hulu dibatasi oleh pegunungan atau perbukitan, di mana air hujan yang jatuh melalui daerah aliran sungai bersama dengan air tanah akhirnya mengalir ke sungai utama (Bambang Triatmodjo, 2008).

Pasal 1 Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2004 menyatakan bahwa Daerah Aliran Sungai adalah suatu wilayah daratan yang merupakan bagian dari sungai dan anak-anak sungainya yang berfungsi untuk menerima, menyimpan, dan mengalihkan air hujan ke arah danau atau laut pada batas tersebut. Tentu saja pembagian topografi dan batas antara laut dan air masih dipengaruhi oleh aktivitas darat.

Model Hidrologi Untuk Analisa Ketersediaan Air

Salah satu alasan utama perubahan penggunaan lahan adalah pertumbuhan penduduk yang cepat. Pertumbuhan penduduk yang tidak seimbang dengan ketersediaan lahan menyebabkan berkembangnya kawasan baru untuk pertanian, perumahan, industri, jalan, dll. Seiring dengan perubahan penggunaan lahan, keadaan tutupan lahan berubah di setiap kelas penggunaan lahan.

Penggunaan teknologi yang paling luas saat ini yang berpotensi mendeteksi perubahan penggunaan lahan secara cepat dan akurat adalah teknologi

penginderaan jauh yang terintegrasi dengan teknologi *GIS* (Geographic Information System). Citra satelit Landsat merupakan produk penginderaan jauh dari Badan Penerbangan dan Antariksa Nasional (NASA) yang mudah divisualisasikan dan diambil serta dapat digunakan untuk menganalisis perubahan penggunaan lahan di suatu daerah aliran sungai (Fian Syauqi, Sigit Sutikno, 2016).

Dalam pendekatan hidrologi, Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu daerah yang dibatasi oleh punggung pegunungan di mana air hujan yang jatuh pada daerah tersebut mengalir ke sungai utama pada suatu titik/stasiun yang ditinjau. Untuk menyusun strategi pengelolaan DAS secara global dengan memperhatikan parameter-parameter suatu DAS, maka diperlukan model hidrologi yang dapat merepresentasikan siklus air pada suatu DAS (Bambang Triatmodjo, 2008).

Pemodelan hidrologi dapat dilakukan dengan beberapa cara dan metode yang cukup akurat adalah dengan menggunakan sistem informasi geografis (SIG). Ada beberapa jenis perangkat lunak SIG yang dapat digunakan untuk menghitung dan menilai kondisi hidrologi dan perubahan penggunaan lahan di suatu daerah. Salah satu software tersebut adalah Soil and Water Assessment Tools (SWAT) .

Upaya Penyediaan Sumber Air

Beberapa cara untuk menyediakan sumber daya air adalah sebagai berikut:

1. Saluran irigasi hemat air

Meningkatnya permintaan air di daerah industri padat serta di daerah pertanian tidak merata di Indonesia, meskipun ketersediaan air juga tidak merata sepanjang siklus. Kemudian untuk menyeimbangkan neraca air, maka perlu dikembangkan berbagai teknologi yang hemat konsumsi air. Beberapa penerapan saluran irigasi hemat air:

- a. Pipa distribusi air yang efisien untuk mengurangi tingkat kebocoran dan kehilangan air berkurang.
- b. Sistem irigasi yang efisien untuk sawah, mengingat sawah saat ini konsumen air yang besar.
- c. Sistem irigasi konvensional sawah yang membuang air perlu diperbaiki dan perlu ditingkatkan mengembangkan teknik irigasi dengan sistem saluran atau pipa yang menghemat air.

Selain itu, berbagai teknologi konstruksi irigasi telah diterapkan yaitu bendung, Katup dan kanal yang sesuai dengan kondisi sungai di Indonesia yang Pencemaran oleh sedimen.

2. Embung

Di Indonesia yang relatif kering, digunakan teknologi konvensional yang Penggunaan waduk kecil atau reservoir telah dikembangkan dan ditingkatkan lebih lanjut. Pertemuan (waduk small) merupakan bangunan penampungan air dengan teknologi sederhana dan berukuran kecil. Bangunan ini berguna untuk menutupi kebutuhan air saat musim kemarau manusia, ternak, dan ladang. Embung juga memiliki keunggulan untuk perlindungan lahan dan Pasokan air. Bangunan ini sangat cocok untuk dikembangkan di daerah dengan kondisi alam seperti di bawah ini:

- a. Curah hujan langka dan berumur pendek, sedangkan musim kemarau panjang (7-9 Bulan tahun)
- b. Topografinya terdiri dari perbukitan padat dan dangkal yang sangat sempit, sehingga sulit untuk ditemukan untuk pembangunan waduk besar.
- c. Secara geologis, batuan dasar umumnya permeabel terhadap air.

3. Teknologi bendungan air tanah

Kebutuhan air di daerah dengan curah hujan rendah dan musim hujan yang pendek dan sifat batuan di permukaan yang tidak dapat menahan air diatasi dengan teknologi alternatif untuk pembangunan bendungan air tanah. Prinsip teknologi ini adalah memblokir air tanah hilir dengan teknologi Suntikan atau dinding diafragma, sehingga lembaran hulu dengan cara bendungan air bawah tanah.

Wilayah pesisir relatif padat penduduknya dan berkembang pesat kelangkaan air tawar, oleh karena itu kebutuhan air untuk kehidupan dan industri telah dibangun cekungan muara yang harus mengandung air tawar. Karenanya lokasinya di ujung paling hilir sungai. Untuk mengembangkannya, tidak ada konflik kepentingan dalam penggunaan air Untuk mengalir.

Selain menyediakan air bersih untuk kebutuhan vital penduduk pesisir dan Industri tangki jenis ini juga digunakan untuk

meningkatkan kualitas air di tambak cenderung terlalu asin, terutama di musim kemarau. Beberapa pertanyaan penting yang membutuhkan Kami mengamati akumulasi pencemaran sungai yang terjadi dan menumpuk di tanah gembur.

Bab 6

Penerapan Pemodelan Hujan dan Aliran Permukaan Dengan Metode Rasional

6.1 Pendahuluan

Curah hujan yang jatuh pada suatu daerah aliran sungai pasti akan selalu menghasilkan air limpasan permukaan dan besarnya bergantung pada besar intensitas hujan, karakteristik tanah, dan penggunaan lahan. Aliran permukaan (run off) adalah air yang melimpah dan mengalir di atas permukaan tanah. Aliran ini adalah aliran yang paling berperan sebagai penyebab banjir dan genangan air.

Dalam pengertian lain, aliran permukaan adalah aliran air pada permukaan tanah sebelum sampai ke sungai atau saluran drainase dan juga aliran air pada sungai itu sendiri. Aliran air di permukaan atau pada tubuh sungai itu sendiri memiliki banyak kesamaan, namun juga berbeda untuk beberapa perilakunya. Untuk membedakan kedua jenis aliran ini, di dalam bahasa Inggris digunakan istilah *stream flow* atau *runoff* untuk aliran di dalam sungai dan *overland flow* atau *surface runoff* untuk aliran pada permukaan tanah (Arsyad, 2010).

Proses terjadinya aliran permukaan (run off) yaitu saat ketika hujan jatuh pada permukaan tanah, sebagian air akan hilang akibat proses evapotranspirasi, sebagian lagi akan terinfiltrasi ke dalam tanah, dan sisanya berupa hujan efektif yang akan mengalir di permukaan tanah sebagai overland flow (Suyono, 2006).

Lee (1988), membatasi bahwa aliran permukaan (runoff) yang terjadi karena intensitas hujan yang melebihi kapasitas infiltrasi tanah. Aliran air permukaan tersebut tidak akan pernah sama dan sangat bergantung pada karakteristik tanah tersebut. Limpasan permukaan dapat bernilai kecil, jika aliran permukaan mengalir pada permukaan tanah yang permeabel (dapat ditembus air) dan terjadi bila intensitas curah hujannya melampaui kapasitas infiltrasi tanah.

Kebanyakan hujan kecil sampai sedang, limpasan permukaan hanya terjadi pada daerah-daerah yang kedap (impermeable) dan jenuh pada daerah alirannya, atau dari hujan yang jatuh pada tubuh air permukaan (stream flow). Oleh sebab itu, aliran limpasan permukaan akan berbahaya hanya jika terjadi hujan lebat atau dengan intensitas tinggi pada daerah aliran sungai (Linsley et al., 1983).

Jenis penggunaan lahan juga sangat menentukan besarnya debit aliran limpasan permukaan yang dihasilkan pada daerah aliran sungai. Jika penggunaan lahan mempunyai fungsi konservasi dapat memperkecil besarnya aliran limpasan permukaan dengan memperlambat kecepatan alirannya sehingga memungkinkan terjadinya infiltrasi volume air limpasan yang lebih besar.

Namun, jika penggunaan lahan sebagai fungsi konservasi terdegradasi dan beralih fungsi, maka besar kemungkinan debit aliran limpasan permukaan juga akan bertambah besar. Besarnya debit aliran limpasan permukaan dapat membawa dampak yang negatif antara lain dapat memicu terjadinya bencana alam berupa tanah longsor, banjir bandang, meluapnya sungai, dan gelombang abrasi.

Oleh karena itu, penting untuk menghitung berapa besar debit aliran limpasan permukaan baik untuk antisipasi dan mitigasi bencana maupun untuk kepentingan rekayasa dan infrastruktur. Pada pokok bahasan ini akan dihitung besarnya debit aliran limpasan permukaan dengan menggunakan metode rasional.

6.2 Metode Rasional

Metode rasional adalah rumus yang tertua dan yang terkenal di antara rumus-rumus empiris lainnya. Metode rasional dapat digunakan untuk mengestimasi besar debit aliran limpasan permukaan, namun dengan luas daerah pengaliran yang cukup terbatas. Metode ini telah digunakan sejak pertengahan abad ke-19 dan merupakan metode yang paling sering digunakan untuk perencanaan dan studi banjir daerah perkotaan (Chow dkk., 1988; Grigg, 1996).

Walaupun keakuratannya banyak diragukan, akan tetapi metode ini tetap banyak digunakan karena relatif sederhana. Metode ini umum digunakan untuk daerah pengaliran dengan luas yang relatif kecil dan untuk tujuan studi banjir area perkotaan dan pembangunan fasilitas air seperti saluran drainase (Grigg, 1996; Subarkah, 1980; Loebis, 1992).

Metode ini juga menggunakan parameter-parameter untuk menghitung besar debit aliran limpasan permukaan, yaitu intensitas hujan, koefisien limpasan, dan luas daerah pengaliran. Kurva frekuensi intensitas-waktu (frekuensi i-t) digunakan untuk perhitungan debit aliran limpasan permukaan (runoff) dengan rumus metode rasional. Metode rasional digunakan untuk area perkotaan dengan luas daerah pengaliran <200 acres atau sekitar 81 Ha (Subarkah, 1980; Grigg, 1996).

Menurut Ponce (1989) dalam Triatmodjo (2008), untuk daerah pengaliran dengan luas <250 Ha, metode rasional masih memberikan estimasi yang baik, sedangkan menurut Goldman (1986) dalam Suripin (2004), metode rasional juga masih layak dan reliabel untuk daerah pengaliran dengan luas <300 Ha dan. Menurut Departemen PU dengan SK SNI M-18-1989-F (1989), disebutkan bahwa metode rasional masih dapat digunakan dan cukup reliabel untuk luas daerah pengaliran (DAS) <5000 Ha.

Dalam Asdak (2002), dinyatakan bahwa apabila luas daerah pengaliran >300 Ha, maka daerah pengaliran harus dipecah menjadi beberapa sub daerah pengaliran, selanjutnya rumus metode rasional digunakan pada masing-masing sub daerah pengaliran tersebut. Dalam Montarcih (2009) dijelaskan apabila luas daerah pengaliran >5000 Ha maka koefisien limpasan (C) dapat dihitung sesuai dengan jenis (landuse) dan luas setiap penggunaan lahan. Dalam Suripin (2004) juga dijelaskan bahwa penggunaan metode rasional untuk daerah pengaliran yang mempunyai beberapa sub daerah pengaliran, nilai koefisien limpasan dapat dihitung dengan menggunakan nilai C kumulatif dan intensitas

hujan (I) dihitung menggunakan nilai waktu konsentrasi (T_c) yang paling lama.

Adapun persamaan menghitung debit aliran limpasan permukaan metode rasional dirumuskan sebagai berikut:

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A$$

Di mana:

Q = debit aliran limpasan permukaan (m³/detik)

C = koefisien limpasan

I = intensitas hujan (mm/jam)

A = luas daerah pengaliran/aliran sungai (km²)

Arti rumus ini bermakna jika terjadi curah hujan selama 1 jam dengan intensitas 1 mm/jam dalam daerah pengaliran dengan luasan 1 km², maka mengalir debit aliran limpasan permukaan sebesar 0,2778 m³/detik selama 1 jam.

Beberapa asumsi dasar yang harus dipenuhi sebelum metode rasional digunakan adalah (Wanielista, 1990):

1. Hujan yang berlangsung memiliki besar intensitas yang tetap untuk jangka waktu tertentu, minimal sama dengan nilai waktu konsentrasi.
2. Debit limpasan akan mencapai maksimum jika durasi hujan sama dengan nilai waktu konsentrasi.
3. Koefisien limpasan (runoff) dianggap tetap selama hujan berlangsung.
4. Luas daerah pengaliran tidak berubah selama hujan berlangsung.

6.2.1 Waktu Konsentrasi (T_c)

Waktu konsentrasi (T_c) adalah waktu perjalanan yang dibutuhkan oleh air dari titik paling jauh (hulu daerah pengaliran) sampai titik observasi aliran air (outlet) atau saat antara awal hujan dan pada saat seluruh luasan daerah pengaliran ikut berkontribusi pada pengaliran sungai.

Besarnya nilai T_c dapat dihitung dengan beberapa rumus, antara lain:

1. Rumus Kirpich

$$T_c = \left(\frac{0,87 \cdot L^2}{1000 \cdot S} \right)^{0,385}$$

2. Rumus Bayern

$$T_c = \frac{L}{W}$$

$$W = 72 \cdot \left(\frac{H}{L}\right)^{0,6} \text{ km/jam}$$

3. Rumus Bransby-Williams

$$T_c = 0,243 \cdot \left(\frac{L}{A^{0,1} \cdot S^{0,2}}\right) \text{ jam}$$

4. Rumus Mc Dermot

$$T_c = 0,760 \cdot A^{0,38} \text{ jam}$$

Di mana:

T_c : waktu konsentrasi (jam)

H : beda tinggi antara titik yang ditinjau dengan titik terjauh dari alur sungai (m).

L : panjang alur sungai dari titik terjauh sampai titik yang ditinjau (km)

W : kecepatan rambat banjir (km/jam)

A : luas daerah pengaliran (km²)

S : kemiringan sungai rata-rata (m/m)

Waktu konsentrasi (T_c) juga dapat dihitung dengan memisahnya menjadi 2 komponen yaitu:

$$T_c = T_o + T_d$$

Di mana:

T_o = waktu yang diperlukan oleh air limpasan (run off) untuk mengalir dari permukaan tanah ke outlet terdekat (overland flow time)

T_d = waktu aliran saat air jatuh pada titik awal masuk ke sungai sampai ke outlet dengan satuan jam (drain flow time)

Nilai T_o dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Suripin, 2004):

$$T_o = \left[\frac{2}{3} \cdot 3.28 \cdot L \cdot \frac{n}{\sqrt{S}} \cdot \frac{1}{60} \right] \text{ jam}$$

Di mana:

L = panjang sungai di atas permukaan lahan (m)

n = angka kekasaran Manning (Tabel 6.1)

S = kemiringan rata-rata sungai (m/m)

Angka kekasaran Manning atau permukaan lahan dituliskan pada Tabel 6.1 sebagai berikut:

Tabel 6.1: Angka Kekasaran Manning (Triatmodjo, 2008)

Penggunaan Lahan	n
Kedap air	0,02
Timbunan tanah	0,10
Tanaman pangan/tegalan dengan sedikit rumput pada tanah gundul yang kasar dan lunak	0,20
Padang rumput	0,40
Tanah gundul yang kasar dengan runtuhan dedaunan	0,60
Hutan dan sejumlah semak belukar	0,80

Td dapat ditentukan dari kondisi pada saluran, jika aliran di mana parameter-parameter hidroliknya sulit ditentukan maka Td dapat diperkirakan dengan menggunakan kecepatan aliran, dengan persamaan (Suripin, 2004):

$$T_d = \frac{L}{3600 \cdot v} \text{ jam}$$

Di mana:

L = panjang sungai (m)

v = kecepatan aliran rata-rata (m/detik)

Nilai v dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Highway Design Manual, 2001: 810):

$$v = 4,918 \cdot S^{0.5}$$

Di mana:

v = kecepatan aliran rata-rata (m/detik)

S = kemiringan rata-rata sungai (m/m)

6.2.2 Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah besar curah hujan (presipitasi) dalam selang waktu tertentu dengan satuan mm/jam. Nilai intensitas curah hujan selalu berbeda-beda di setiap wilayah bergantung pada durasi hujan atau frekuensi terjadinya hujan. Untuk menghitung nilai intensitas hujan digunakan rumus empiris Mononobe sebagai berikut (Sosrodarsono dan Takeda, 2003):

$$I = \frac{R_{24}}{24} \cdot \left(\frac{24}{T_c} \right)^m$$

Di mana:

I = intensitas hujan (mm/jam)

R24 = curah hujan maksimum 24 jam (mm)

Tc = waktu konsentrasi (jam)

m = konstanta = $\frac{2}{3}$

6.2.3 Koefisien Limpasan

Koefisien limpasan didefinisikan sebagai perbandingan kecepatan maksimum pada aliran limpasan permukaan dari daerah pengaliran. Koefisien ini dengan kata lain merupakan nilai perbandingan antara proporsi hujan yang membentuk aliran limpasan langsung dengan total curah hujan yang terjadi.

Nilai koefisien limpasan (C) bergantung pada karakteristik daerah pengaliran, yaitu:

1. Keadaan hujan
2. Bentuk dan luas daerah pengaliran
3. Kemiringan daerah pengaliran dan kemiringan dasar sungai
4. Kapasitas perkolasi dan infiltrasi tanah
5. Kelembaban tanah
6. Angin, evaporasi, dan suhu udara
7. Penggunaan lahan

Nilai koefisien limpasan ini merupakan salah satu indikator dalam menilai apakah suatu daerah pengaliran telah mengalami gangguan (fisik). Nilai C yang besar bermakna bahwa dominan air hujan menjadi air limpasan. Hal ini merugikan dari segi konservasi sumber daya air karena kurangnya air yang akan menjadi air tanah. Kerugian lainnya adalah jika proporsi air hujan menjadi air limpasan semakin besar, maka kemungkinan terjadinya banjir dan erosi juga semakin besar.

Nilai C berkisar antara 0 sampai 1. Nilai 0 bermakna bahwa semua air hujan menjadi air intersepsi dan terinfiltrasi. Sedangkan nilai C = 1 bermakna bahwa semua air hujan melimpas menjadi limpasan permukaan. Fakta di lapangan, nilai koefisien air limpasan permukaan biasanya >0 dan <1 (Asdak, 2010).

Koefisien limpasan seperti disajikan pada Tabel 6.2, didasarkan pada pertimbangan bahwa koefisien limpasan permukaan sangat tergantung pada

faktor-faktor fisik. Harga koefisien limpasan (C) untuk berbagai kondisi disajikan sebagai berikut:

Tabel 6.1: Koefisien Limpasan (C) Beberapa Penggunaan Lahan (Asdak, 2002)

Penggunaan Lahan	C	Penggunaan Lahan	C
Perkantoran		Tanah Lapang	
Daerah pusat kota	0,70-0,95	Berpasir, datar, 2%	0,05-0,10
Daerah sekitar kota	0,50-0,70	Berpasir, agak rata, 2-7%	0,10-0,15
Perumahan		Berpasir, miring, 7%	0,15-0,20
Rumah tinggal	0,30-0,50	Tanah berat, 2%	0,13-0,17
Rumah susun, terpisah	0,40-0,60	Tanah berat, agak datar, 2-7%	0,18-0,22
Rumah susun, bersambung	0,60-0,75	Tanah berat, miring, 7%	0,25-0,35
Pinggiran kota	0,25-0,40	Tanah Pertanian (0-30%)	
Daerah Industri		Tanah Kosong	
Kurang padat industri	0,50-0,80	Rata	0,03-0,60
Padat industri	0,60-0,90	Kasar	0,20-0,50
Taman, kuburan	0,10-0,25	Ladang Garapan	
Tempat bermain	0,20-0,35	Tanah berat, tanpa vegetasi	0,30-0,60
Daerah stasiun KA	0,20-0,40	Tanah berat, dengan vegetasi	0,20-0,50
Daerah tidak berkembang	0,10-0,30	Berpasir, tanpa vegetasi	0,20-0,25
Jalan Raya		Berpasir, dengan vegetasi	0,10-0,25
Beraspal	0,70-0,95	Padang Rumput	
Berbeton	0,80-0,95	Tanah berat	0,15-0,45
Berbatu bata	0,70-0,85	Berpasir	0,05-0,25
Trotoar	0,75-0,85	Hutan/bervegetasi	0,05-0,25
Daerah beratap	0,75-0,95	Tanah Tidak Produktif (>30%)	
		Rata, kedap air	0,70-0,90
		Kasar	0,50-0,70

Suripin (2004) menyatakan bahwa jika daerah pengaliran terdiri dari berbagai jenis penggunaan lahan (landuse) dengan nilai koefisien limpasan permukaan yang berbeda, maka C yang digunakan adalah koefisien limpasan gabungan dari semua jenis penggunaan lahan daerah pengaliran yang dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_{GAB} = \frac{\sum_i^n C_i A_i}{\sum_i^n A_i}$$

Di mana:

A_i = luas lahan dengan jenis penggunaan lahan ke-i

C_i = koefisien limpasan permukaan jenis penggunaan lahan ke- i
 n = jumlah jenis penggunaan lahan.

6.2.4 Metode Rasional Modifikasi

Metode Rasional Modifikasi merupakan modifikasi dari metode rasional pada umumnya, di mana waktu konsentrasi (T_c) hujan yang berlangsung lebih lama. Metode modifikasi ini memperhitungkan adanya pengaruh tampungan dalam mengestimasi debit puncak aliran limpasan permukaan.

Adapun persamaan Metode Rasional Modifikasi adalah sebagai berikut (Lewis et al., 1975):

$$Q = 0,278 \cdot C_s \cdot C \cdot I \cdot A$$

Di mana:

C_s = koefisien tampungan

Jika areal daerah pengaliran semakin luas, maka akan berpengaruh pada besarnya tampungan di sungai, sehingga mengakibatkan semakin besarnya debit limpasan yang dihasilkan. Oleh karena itu, faktor koefisien tampungan ini sangat penting dalam Metode Rasional Modifikasi ini. Koefisien tampungan dirumuskan sebagai berikut (Lewis et al., 1975):

$$C_s = 2T_c / (2T_c + T_d)$$

Di mana:

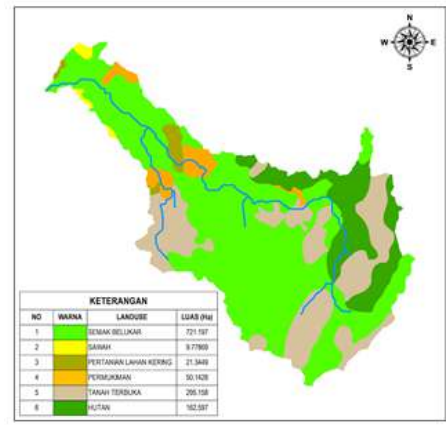
T_c = waktu konsentrasi (jam)

T_d = drain flow time (jam)

Contoh Soal

Sebuah daerah pengaliran A dengan luas total 1260,22 Ha, panjang sungai utama 8,5 Km, curah hujan maksimum 200 mm, dan kemiringan sungai utama 0,0045. Hitunglah debit limpasan permukaan yang dihasilkan menggunakan Metode Rasional.

Peta penggunaan lahan dan masing-masing luasnya ditunjukkan pada Gambar 6.1 di bawah ini:



Gambar 6.1: Penggunaan Lahan Pada Daerah Pengaliran A

Jawaban:

1. Menghitung waktu konsentrasi (T_c) menggunakan rumus Kirpich.

$$T_c = \left(\frac{0,87 \cdot L^2}{1000 \cdot S} \right)^{0,385}$$

$$T_c = \left(\frac{0,87 \cdot 8,5^2}{1000 \cdot 0,045} \right)^{0,385}$$

$$T_c = \mathbf{2,76 \text{ jam}}$$

2. Menghitung intensitas hujan (I) menggunakan rumus Mononobe

$$I = \frac{R_{24}}{24} \cdot \left(\frac{24}{T_c} \right)^m$$

$$I = \frac{200}{24} \cdot \left(\frac{24}{2,76} \right)^{0,67}$$

$$I = 8,33 \cdot 4,26$$

$$I = \mathbf{35,48 \text{ mm/jam}}$$

3. Menghitung koefisien limpasan (C) daerah pengaliran A

No	Landuse	A (km ²)	C	C×A
1	Semak Belukar	7,212	0,350	2,524
2	Sawah	0,098	0,300	0,029
3	Pertanian Lahan Kering	0,213	0,400	0,085
4	Permukiman	0,501	0,800	0,401
5	Tanah Terbuka	2,952	0,600	1,771
6	Hutan	1,626	0,100	0,163
Σ		12,602		4,974

$$C_{GAB} = \frac{\sum_i^n C_i A_i}{\sum_i^n A_i}$$
$$C_{GAB} = \frac{4,974}{12,602}$$
$$C_{GAB} = \mathbf{0,395}$$

4. Menghitung debit aliran limpasan daerah pengaliran A

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A$$

$$Q = 0,278 \cdot 0,395 \cdot 35,48 \cdot 12,602 = \mathbf{49,098 \text{ m}^3/\text{jam}}$$

Bab 7

Sistem Perencanaan Waduk Dalam Rangka Pemanfaatan Potensi SDA Untuk Kebutuhan Air Baku, Energi Listrik, dan Irigasi

7.1 Pengertian Bendungan

Bendungan adalah bangunan yang berfungsi sebagai peninggi muka air dan penyimpanan di musim hujan waktu air sungai mengalir dalam jumlah besar yang melebihi kebutuhan baik untuk keperluan irigasi, air minum industri atau yang lainnya (Sani, 2008). Bendungan adalah bangunan air yang dibangun secara melintang sungai, sedemikian rupa agar permukaan air sungai di sekitarnya naik sampai ketinggian tertentu, sehingga air sungai tadi dapat dialirkan melalui pintu sadap ke saluran-saluran pembagi kemudian hingga ke lahan-lahan pertanian (Kartasapoetra, 1991).

Fungsi dan manfaat bendungan (Sarono, dkk, 2007) di antaranya yaitu:

1. Irigasi
Pada saat musim hujan, air hujan yang turun di daerah tangkapan air sebagian besar akan ditampung sehingga pada musim kemarau, air yang tertampung tersebut bisa dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, seperti untuk irigasi lahan pertanian.
2. Penyediaan Air Baku
Waduk juga dimanfaatkan sebagai bahan baku air minum di mana daerah perkotaan sangat langka dengan air bersih.
3. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)
Sebagai PLTA, waduk dikelola untuk mendapatkan kapasitas listrik yang dibutuhkan. Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) merupakan suatu sistem pembangkit listrik yang biasanya terintegrasi dalam bendungan dengan memanfaatkan energi mekanis aliran air untuk memutar turbin, diubah menjadi energi listrik melalui generator.
4. Pengendali Banjir
Dengan adanya bendungan-bendungan di hulu sungai, maka kemungkinan terjadinya banjir bisa dikurangi dan pada musim kemarau, air yang ditampung bendungan bisa digunakan untuk keperluan perairan lainnya.
5. Perikanan
Waduk juga dapat digunakan sebagai tempat budidaya ikan dengan menggunakan jaring apung atau keramba, dan itu bisa dijadikan sebagai mata pencaharian.
6. Pariwisata dan Olahraga Air
Waduk dengan pemandangan indah dapat dijadikan sebagai tempat rekreasi, selain itu juga bisa dijadikan sebagai tempat olahraga air.

Bendungan adalah setiap bangunan penahan air buatan, jenis urukan atau jenis lainnya yang menampung air atau dapat menampung air, termasuk fondasi, bukit/tebing tumpuan, serta bangunan pelengkap dan peralatannya, termasuk juga bendungan limbah galian, tetapi tidak termasuk bendung dan tanggul (Peraturan Menteri Nomor 72/PRT/19).

Bendungan adalah bangunan yang berupa urukan tanah, urukan batu, beton, dan atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang (tailing), atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk (Peraturan Pemerintah No. 37 Tahun 2010).

Bendungan dalam pedoman SNI adalah bendungan dengan tinggi 15 m atau lebih diukur dari dasar lembah terdalam dengan tampungan sekurang-kurangnya 100.000 m³, atau bendungan setinggi kurang dari 15 m yang volume air waduknya sekurang-kurangnya 500.000 m³, atau bendungan penahan air lainnya di luar ketentuan tersebut yang ditetapkan oleh Komisi Keamanan Bendungan. Kriteria bendungan dalam SNI tersebut didasarkan kepada potensi bahaya yang mungkin ditimbulkan oleh bendungan tersebut apabila terjadi kegagalan atau jebol (Standar Nasional Indonesia SNI-1731.1989F Pasal 2).

7.2 Sejarah Pembangunan Bendungan Indonesia

Akhir abad ke-19 Pemerintahan Hindia Belanda mulai mengembangkan pengairan di Indonesia dengan mulai membangun prasarana pengendalian banjir dan bendungan–bendungan untuk irigasi di antaranya yaitu Bendungan Rentang (1896) dan beberapa bendungan yang mewujudkan waduk penampungan air.

Bendungan besar yang pertama dibangun di Indonesia adalah Bendungan Nglangon di Jawa Tengah (1910-1917), disusul Bendungan Prijetan di Jawa Tengah (1911-1917), Bendungan Tempuran di Jawa Tengah (1914-1916), serta Bendungan dan Pembangkit Listrik Tenaga Air Cileunca di Jawa Barat (1922). Sebelum itu hanya dibangun waduk-waduk kecil, embung, dan waduk lapangan. Pada masa itu tinggi dan tipe bendungan, kapasitas waduk, dan manfaatnya masih terbatas.

Sejak tahun 1951, Indonesia mulai melanjutkan pembangunan-pembangunan bendungan besar terutama di Pulau Jawa, dengan kebanyakan merupakan bendungan urukan batu (rockfill dam) dan bendungan urukan tanah (earthfill dam). Bahkan sampai sekarang pun, masih banyak dibangun bendungan tipe

urukan batu dan tipe urusan tanah di antaranya adalah karena alasan-alasan berikut:

1. Bendungan tipe urukan bersifat “fleksibel”, akan sesuai jika dibangun di daerah (zone) gempa seperti di Indonesia;
2. Bendungan jenis lain, misalnya bendungan beton (concrete dam) memerlukan fondasi dan bahkan abutment yang kuat, sehingga memerlukan lokasi tertentu yang memenuhi syarat untuk pembangunannya.

Dari semua bendungan tipe urukan, kira-kira 85% di antaranya merupakan urukan tanah homogen, 15% sisanya merupakan urukan batu. Diantara bendungan-bendungan tua yang sudah beroperasi sampai sekitar tahun 1960, yang tertinggi adalah Bendungan Cacaban (1958) di Jawa Tengah dan Bendungan Drama (1962) di Jawa Barat. Keduanya memiliki tinggi yang kurang lebih sama, 37 m. Sampai dengan tahun 1960, Bendungan Cacaban merupakan waduk dengan kapasitas tampungan terbesar yaitu kira-kira 86 juta m³.

Bendungan besar di Indonesia yang selesai dibangun sejak tahun 1916 sampai tahun 1962 adalah sebanyak 18 buah, dengan kapasitas total waduk kira-kira 345 juta m³. Sampai dengan tahun 2006, bendungan-bendungan tersebut telah berumur antara 40 sampai 90 tahun, cukup pantas untuk disebut sebagai bendungan tua karena sebagian besar telah melampaui usia layanannya. Pada umumnya sekitar 85% bendungan-bendungan tersebut mempunyai fungsi tunggal yaitu untuk memenuhi kebutuhan irigasi, 15% selebihnya dipergunakan juga untuk pembangkit tenaga listrik.

Setelah itu, sejak selesainya pembangunan Bendungan Jatiluhur tahun 1967, bendungan dibangun dengan teknologi yang sesuai dengan perkembangan teknologi mutakhir di dunia. Prakiraan hidrologi serta penetapan volume waduk sudah berdasarkan data pengamatan yang lebih panjang. Perhitungan-perhitungan juga lebih cermat menggunakan komputer, sehingga tingkat keamanan juga bisa dipilih dengan yang lebih efisien.

Dengan kecermatan perhitungan pemanfaatan air, bendungan-bendungan pada kurun waktu setelah tahun 1960 tidak lagi hanya mempunyai fungsi tunggal, tetapi berfungsi ganda atau serbaguna. Demikian pula tipenya mulai lebih bervariasi, dari tipe urukan batu, urukan tanah, pasangan batu, beton, sampai bendungan bertipe campuran atau komposit. Tinggi dan kapasitas waduk yang

dibangun juga semakin besar hingga biaya pembangunannya menjadi besar pula.

Berdasarkan data dari Balai Keamanan Bendungan Indonesia, hingga tahun 2006 pembangunan bendungan lebih dari 200 buah bendungan, 121 di antaranya dikategorikan bendungan besar yang mampu menyimpan air sebanyak setengah juta sampai 3 miliar meter kubik.

Pada kurun waktu sejak Bendungan Jatiluhur mulai beroperasi tahun 1967, hingga tahun 2006 Indonesia telah membangun 102 buah bendungan besar, 5 buah di antaranya dengan tinggi lebih dari 100 m, yaitu

1. Jatiluhur dengan ketinggian 105 m beroperasi sejak tahun 1967, menggunakan tipe urukan batu dengan inti kedap air dari tanah liat;
2. Bendungan Cirata 125 m (1988) dan Wadas Lintang 125 m (1987), memulai babak baru dengan menggunakan teknologi Concrete Faced Rockfill Dam (CFRD), yakni bendungan tipe urukan batu dengan bagian kedap air merupakan lapisan beton yang dipasang di lereng hulu bendungan;
3. Bendungan Wadas Lintang menggunakan cara pemadatan inti tanah liat dalam keadaan basah yakni kadar air yang terkandung pada material timbunan harus menggunakan kadar air optimum (wet clay core). Sampai dengan tahun 2006 Bendungan Wadas Lintang masih merupakan bendungan tipe urukan batu dengan inti basah (wet clay core) yang paling tinggi di dunia;
4. Bendungan beton dengan teknologi Rolled Compacted Concrete (RCC), sudah dibangun di Indonesia yaitu bendungan yang dibangun oleh PT INCO di Sulawesi Selatan dengan ketinggian 105 m untuk memenuhi kebutuhan listrik keperluan tambang timah mereka;
5. Teknologi beton lainnya diaplikasikan di Ponre-Ponre juga di Sulawesi Selatan. Bendungan Ponre-Ponre setinggi 53 m dibangun untuk keperluan irigasi dengan teknologi Concrete Fared Rockfill Dam (CFRD) sebagaimana halnya Bendungan Cirata.

7.3 Jenis-Jenis Bendungan

Bendungan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis atau tipe (Sani, 2008) di antaranya yaitu:

1. Jenis bendungan berdasarkan ukuran ada 2 jenis bendungan di antaranya yaitu:
 - a. Bendungan besar (Large Dams), yaitu bendungan yang tingginya lebih dari 10 m, diukur dari bagian bawah pondasi hingga puncak bendungan;
 - b. Bendungan kecil (Small Dams), yaitu semua bendungan yang tidak bersyarat sebagai bendungan besar (Large Dams).
2. Jenis bendungan berdasarkan tujuan pembangunannya dibedakan menjadi 2 jenis yaitu:
 - a. Bendungan dengan tujuan tunggal (Single Purpose Dams), yaitu bendungan yang tujuan pembangunannya untuk memenuhi satu tujuan saja misalnya PLTA;
 - b. Bendungan serbaguna (Multi Purpose Dams), yaitu bendungan yang dibangun untuk memenuhi beberapa tujuan, seperti untuk irigasi, PLTA, pariwisata dan perikanan.
3. Jenis bendungan berdasarkan penggunaannya dibagi menjadi 3 jenis yaitu:
 - a. Bendungan membentuk waduk (Storage Dams), yaitu bangunan yang dibangun untuk membentuk waduk untuk menyimpan air pada waktu kelebihan agar bisa digunakan pada waktu dibutuhkan;
 - b. Bendungan penangkap atau pembelok air (Diversion Dams), yaitu bendungan yang dibangun agar permukaan air lebih tinggi, sehingga bisa mengalir masuk ke dalam saluran air atau terowongan air;
 - c. Bendungan untuk memperlambat air (Distension Dams), yaitu bendungan yang dibangun untuk memperlambat air sehingga bisa mencegah terjadinya banjir.

4. Jenis bendungan berdasarkan jalan air dibagi menjadi beberapa jenis di antaranya yaitu:
 - a. Bendungan untuk dilewati air (Overflow Dams), yaitu bendungan yang dibangun untuk dilewati air misalnya, pada bangunan pelimpas (Spillway);
 - b. Bendungan untuk menahan air (Non Overflow Dams), yaitu bendungan yang sama sekali tidak boleh dilewati air. Biasanya dibangun berbatasan dan terbuat dari beton, pasangan batu atau pasangan bata.
5. Jenis bendungan berdasarkan konstruksinya dibedakan menjadi 4 jenis, di antaranya yaitu:
 - a. Bendungan serba sama (Homogeneous Dams), yaitu bendungan yang lebih dari setengah volumenya terdiri dari bahan bangunan yang seragam;
 - b. Bendungan urukan berlapis-lapis (Zoned Dams), yaitu bendungan yang terdiri dari beberapa lapisan yaitu lapisan kedap air (Water Tight Layer), lapisan batu (Rock Zones), lapisan batu teratur (Rip-rap) dan lapisan pengering (Filter zones);
 - c. Bendungan urukan batu dengan lapisan kedap air di muka (Impermeable Face Rockfill Dams), yaitu bendungan urukan batu berlapis-lapis yang lapisan kedap airnya diletakkan di sebelah hulu bendungan. Lapisan yang biasanya digunakan yaitu aspal dan beton bertulang;
 - d. Bendungan beton (Concrete Dams), yaitu bendungan yang dibuat dari konstruksi beton baik dengan tulangan atau tidak.
6. Jenis bendungan berdasarkan fungsinya dibedakan menjadi 8 jenis yaitu:
 - a. Bendungan pengelak pendahuluan (Primary Cofferdam, Dike);
 - b. Bendungan pengelak (Cofferdam);
 - c. Bendungan utama (Main Dams);
 - d. Bendungan sisi (High Level Dams);
 - e. Bendungan di tempat rendah (Saddle Dams);

- f. Tanggul (Dyke, Levee);
- g. Bendungan limbah industri (Industrial Waste Dams);
- h. Bendungan pertambangan (Mine Tailing Dam, Tailing Dams).

7.4 Tahapan Perencanaan Bendungan

Dalam perencanaan desain bendungan yang aman, perencana harus memahami filosofi desain bendungan, memahami konsepsi dan kaidah-kaidah keamanan bendungan yang tertuang dalam berbagai Norma, Stándar, Pedoman dan Manual (NSPM) yang terkait dan belajar dari pengalaman kegagalan pembangunan bendungan-bendungan sebelumnya serta memahami berbagai titik-titik lemah bendungan-bendungan tersebut agar dapat mengambil pelajaran dalam melakukan upaya-upaya untuk mencegah terulangnya kejadian kegagalan bendungan yang direncanakan.

Di samping itu, perencanaan bendungan harus dilaksanakan tahap demi tahap sesuai peraturan yang berlaku. Bagan tahap perencanaan bendungan dapat dilihat pada gambar 7.1 berikut ini:



Gambar 7.1: Bagan Tahap Perencanaan Bendungan (Diklat Teknis Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar)

Untuk tahapan tentang pola pengelolaan sumber daya air dan rencana pengelolaan sumber daya air kita tidak bahas dalam bab ini. Sehingga kita langsung masuk pada tahapan berikutnya yaitu pra studi kelayakan.

Pra Studi Kelayakan Perencanaan Bendungan

Dalam tahap pra studi kelayakan ini dilakukan apabila bendungan yang akan dibangun berisiko tinggi. Untuk pra studi kelayakan lebih difokuskan pada studi pada berbagai alternatif yang dapat dikembangkan berupa dukungan survei investigasi yang diperlukan serta penyaringan (pemilahan dan pemilihan) dari banyak alternatif menjadi tinggal beberapa alternatif saja.

Studi Kelayakan Perencanaan Bendungan

Hal-hal yang perlu ditinjau pada tahap studi kelayakan dilaksanakan yaitu ada 3 aspek antara lain sebagai berikut:

1. Tinjauan aspek teknik yang mencakup antara lain:
 - a. Lokasi: ditinjau berdasarkan kondisi topografi, geologi fondasi dan volume tampungan;
 - b. Tipe: ditinjau berdasarkan ketersediaan material, keahlian & pengalaman tenaga pelaksana, kemudahan pelaksanaan, dll;
 - c. Tinggi: ditinjau berdasarkan volume tampungan, geologi fondasi, topografi, hidrologi, dll;
 - d. Manfaat: ditinjau berdasarkan berbagai manfaat yang dapat dikembangkan berupa irigasi, PLTA, pengendali banjir, air baku, dll;
 - e. Pola Operasi Waduk: ditinjau berdasarkan pola operasi harian, tahunan, pengendali banjir, pemenuhan air irigasi, air baku air minum, PLTA beban dasar / beban puncak, dll.

2. Tinjauan aspek ekonomi

Sebelum bendungan ditetapkan untuk dibangun, terlebih dahulu harus dilakukan evaluasi berdasarkan tujuan pembangunan bendungan, analisis finansial dan ekonomi, perbandingan antara ada bendungan dengan tidak ada bendungan, dan biaya pembangunan bendungan. Analisis finansial dan ekonomi dilakukan untuk menilai alternatif pembangunan bendungan terhadap manfaat dan biaya berdasar harga finansial dan ekonomi (Shadow Price).

Analisis finansial adalah memperhitungkan keuntungan pembangunan bendungan dari pandangan individu seperti: petani, perusahaan, koperasi, dll. Analisis ekonomi adalah memperhitungkan

keuntungan pembangunan bendungan dari pandangan masyarakat umum dan pendapatan nasional secara keseluruhan.

3. Tinjauan aspek lingkungan

Hal ini dilakukan untuk mengkaji dampak penting yang akan terjadi akibat interaksi antara komponen kegiatan yang direncanakan dengan komponen lingkungan hidup yang perlu dikelola dan dipantau agar dampak negatif dapat ditekan sekecil mungkin, dan dampak positif yang terjadi dapat lebih dikembangkan. Kondisi dan dampak lingkungan di lokasi bendungan selama dan sesudah pelaksanaan konstruksi harus mendapat perhatian.

Demikian pula dampak yang akan terjadi pada lokasi sumber material tanah (borrow area) dan lokasi sumber material batu (quarry), jalan masuk dan jalan kerja, drainase dan kekeruhan air sungai, gangguan terhadap kehidupan liar (wildlife) dan gangguan atau relokasi penduduk local. Pendapat masyarakat yang muncul saat proses pemilihan bangunan, perlu mendapat perhatian.

Pada umumnya, perhatian masyarakat lebih tertuju pada dampak pembangunan bendungan terhadap lingkungan, tetapi kadang-kadang juga tertuju pada keamanan bendungan. Tinjauan lingkungan dilakukan melalui studi AMDAL. Hasil studi AMDAL harus dapat memberi masukan terhadap desain dan pelaksanaan kegiatan pembangunan bendungan.

Perencanaan Teknis Bendungan

Design atau perencanaan teknis bendungan yang dibahas kali ini yaitu bendungan urukan, bendungan yang dibangun dari material galian yang diurutkan dengan tanpa menggunakan material pengikat buatan. Material yang digunakan pada umumnya menggunakan material yang tersedia di sekitar lokasi bendungan. Pertimbangan utama dalam pemilihan tipe bendungan urukan adalah kondisi geologi, ketersediaan material dan perkiraan biaya.

7.5 Analisis Desain Bendungan

7.5.1 Beban Bendungan

Beban yang bekerja pada badan bendungan urukan terdiri dari:

1. Berat sendiri tubuh bendungan

Analisis keamanan bendungan yang dilakukan untuk kondisi akhir konstruksi, dihitung berdasarkan density material basah (wet density material). Pada keadaan muka air maksimum dan muka air waduk rendah perhitungan dilakukan berdasarkan density material basah dan density material jenuh untuk masing-masing bagian atas dan bagian bawah garis freatis.

$$G = W \cdot V$$

di mana: G = Berat tubuh bendungan

W = Berat basah / jenuh air

V = Volume tubuh bendungan

2. Tekanan air (Hidrostatik)

Tekanan hidrostatik diperhitungkan bekerja tegak lurus pada permukaan tubuh bendungan.

$$p = w_o \cdot h$$

di mana: p = tekanan hidrostatik

w_o = berat satuan air

h = kedalaman air

3. Tekanan pori

Tekanan air pori diperhitungkan bekerja tegak lurus bidang gelincir. Pada analisis stabilitas tubuh bendungan, tekanan pori setidaknya ditinjau pada kondisi akhir konstruksi, muka air normal dan surut cepat.

4. Beban gempa

Beban gempa diperhitungkan sebagai gaya yang bekerja horizontal, sebesar berat tubuh bendungannya dikalikan koefisien gempa.

$$G_k = g \cdot k$$

di mana: G_k = gaya gempa

g = berat tubuh bendungan

k = koefisien gempa

Beban gempa yang harus diperhitungkan dalam analisis stabilitas bendungan adalah:

- a. Gempa dasar operasi (Operating Basis Earthquake / OBE);
- b. Gempa desain maksimum (Maximum Design Earthquake / MDE) atau gempa Maximum Consider Earthquake / MCE bagi bendungan yang memiliki risiko yang sangat tinggi (sebelumnya disebut Maximum Credible Earthquake);
- c. Gempa imbas waduk (Reservoir Induce Earthquake / RIE), bagi bendungan yang direncanakan memiliki tinggi ≥ 100 m atau tampungan waduknya $\geq 500.000.000$ m³ atau bagi bendungan yang terletak di daerah dengan tingkat gempa sedang dan tinggi, serta dekat dengan sesar akhir.

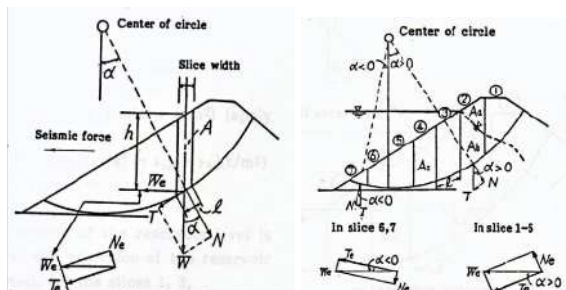
Bagi bendungan yang memiliki tinggi lebih dari 15 m, penempatan gaya gempa perlu memperhitungkan adanya efek cambuk/pecut dengan menempatkan titik kerja gaya gempa pada berbagai ketinggian misal pada 1/3, 2/3 dan 1 kali tinggi bendungan. Tinjauan stabilitas dilakukan pada berbagai ketinggian bendungan tersebut. Pengaruh guncangan gempa pada bendungan urukan, antara lain adalah:

1. Dapat menyebabkan terjadinya kerusakan di dekat puncak bendungan sejajar dengan as bendungan dan retakan dapat berkembang pada arah as sungai sebagai akibat dari penurunan diferensial. Dalam keadaan terburuk, rembesan dapat berkembang melalui retakan ini menjadi erosi buluh, yang sering terjadi mengakibatkan keruntuhan bendungan;
2. Dapat menyebabkan penurunan puncak bendungan karena tekanan fondasi atau urukan yang berakibat terjadinya penurunan tinggi jagaan dan dalam keadaan terburuk dapat menyebabkan limpasan lewat puncak bendungan;

3. Dapat terjadi likuefaksi pada fondasi tanah pasiran yang jenuh air yang dapat mengakibatkan keruntuhan bendungan;
4. Gaya gempa dapat mengakibatkan terjadinya longsor pada permukaan lereng bendungan atau sebagian bendungan terangkat (heave);
5. Gerakan sesar pada fondasi timbunan dapat menyebabkan terjadinya geseran yang mengakibatkan keruntuhan bendungan;
6. Guncangan di dasar waduk dapat menyebabkan terjadinya goyangan air yang apabila besar dengan volume yang besar pula dapat menjadi gelombang yang dapat mengakibatkan limpasan lewat puncak bendungan;
7. Longsor pada tebing-tebing bukit di sekeliling waduk, apabila cukup besar dapat mengakibatkan limpasan lewat puncak bendungan;
8. Deformasi kerak bumi di sekeliling waduk yang terkait dengan gerakan sesar dapat mengakibatkan terangkatnya dasar waduk sehingga volume waduk berkurang dan kemungkinan mengakibatkan terjadinya luapan air di atas bendungan;
9. Retak-retak akibat pengaruh getaran yang berbeda-beda tingkatannya pada material pembentuk bendungan.

7.5.2 Analisis Statik Bendungan

Analisis statik stabilitas bendungan dilakukan untuk mengetahui stabilitas bendungan pada berbagai kondisi dan kombinasi beban, dengan cara statik. Untuk mempermudah hitungan, pada analisis statik beban gempa diperhitungkan sebagai beban pseudo statik.



Gambar 7.2: Gaya-Gaya yang Bekerja Pada Irisan Pada Kondisi Waduk Kosong dan Penuh

Analisis stabilitas dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu:

1. Cara keseimbangan batas (limit equilibrium method), dengan bidang gelincir berbentuk: lingkaran (circular slip surface / sliding circle) dan bentuk baji (wedge);
2. Cara elemen hingga (Finite Element Method)

7.5.3 Analisis Dinamik Bendungan

Ada dua macam analisis dinamik yang dilakukan yaitu:

1. Analisis likuefaksi

Analisis likuefaksi dilakukan untuk mengetahui adanya potensi likuefaksi pada tubuh bendungan atau endapan fondasi, termasuk besarnya peningkatan tekanan pori bila tidak terjadi likuefaksi. Analisis dilakukan bila tanah fondasi atau material tubuh bendungan berupa tanah pasir. Jenis tanah pasir yang jenuh air dengan butirannya relatif seragam dan kepadatan relatif yang rendah, cenderung mengalami likuefaksi pada saat terjadi guncangan gempa, sehingga daya dukungnya menurun.

2. Analisis deformasi

Ada dua macam analisis yang dilakukan yaitu:

- a. Analisis deformasi untuk memperkirakan besarnya penurunan yang terjadi akibat konsolidasi yang biasa disebut analisis penurunan;
- b. Analisis deformasi untuk memperkirakan besarnya penurunan atau alihan tetap akibat guncangan gempa.

Perkiraan penurunan dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan penurunan timbunan tanah total (S_t) yang terjadi akibat penurunan konsolidasi primer (S_p) ditambah dengan penurunan konsolidasi sekunder (S_s).

$$S_t = S_p + S_s$$

Penurunan konsolidasi primer (S_p) berdasarkan Terzaghi, adalah:

$$S_p = \frac{C_c}{1 + C_o} H \log \left(\frac{\sigma^1 + \Delta\sigma^1}{\sigma^1} \right)$$

Di mana:

H = Ketebalan lapisan yang ditinjau (m)

C_c = Indeks kompresi

C_o = Angka pori awal

σ^1 = Tegangan efektif tanah awal (kPa)

$\Delta\sigma^1$ = Peningkatan tegangan efektif (kPa)

Penurunan konsolidasi sekunder (S_s) berdasarkan Terzaghi, adalah:

$$S_s = H \cdot C_\alpha \left(\log \frac{\Delta t}{\Delta t_d} \right)$$

di mana:

H = Ketebalan lapisan yang ditinjau

C_α = Indeks kompresi sekunder

Δt = Lama waktu pembebanan

Δt_d = Waktu dan siklus pembebanan

Besar penurunan total tersebut harus diantisipasi dengan menambah timbunan ekstra di atas puncak bendungan. Dengan adanya penurunan yang besar, hal tersebut harus diantisipasi saat pemasangan instrumen, antara lain memberi kelonggaran (snaking) pada kabel (tubing) pisometer settlement, deformasi, pipa inklinometer dengan sambungan (coupling) yang mampu menyesuaikan besar penurunan yang terjadi.

7.6 Bangunan Pelengkap Bendungan

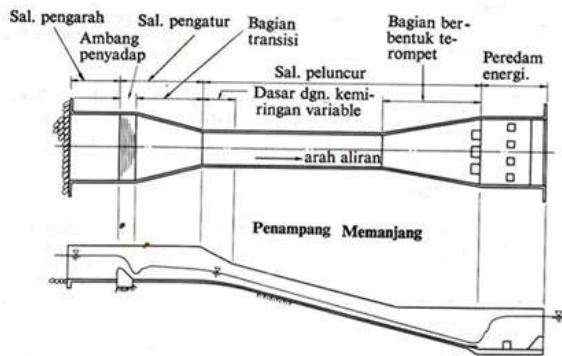
7.6.1 Bangunan Pelimpah

Bangunan pelimpah adalah bangunan hidrolis yang dibangun untuk menyalurkan aliran banjir lewat bendungan dengan tanpa membahayakan keamanan bendungan. Kapasitas pelimpah harus cukup untuk mengalirkan banjir desain, dan aliran air yang keluar lewat pelimpah tidak boleh membahayakan bangunan pelimpah sendiri dan tubuh bendungan.

Untuk bendungan urugan, terdapat beberapa tipe yang biasa digunakan. Untuk menentukan tipe yang paling sesuai diperlukan studi yang mendalam hingga diperoleh alternatif yang paling ekonomis.

Tipe atau jenis pelimpah biasanya diberi nama sesuai ciri yang menonjol dari bangunan tersebut, diantaranya adalah:

1. Ogee atau overflow (frontal, lengkung);
2. Ambang jatuh (free overfall, biasa dipakai pada bendungan beton);
3. Sipon;
4. Corong (shaft atau morning glory);
5. Pelimpah samping (side channel);
6. Terowong.



Gambar 7.3: Bagian-Bagian Bangunan Pelimpah

7.6.2 Bangunan Pengambilan

Bangunan pengambilan berfungsi untuk melepas air waduk guna mencukupi kebutuhan di daerah hilir. Pemilihan lokasi, sama seperti pemilihan lokasi bangunan pelimpah, dilakukan berdasar pertimbangan: topografi, geologi pondasi, kapasitas dan ekonomi.

Bagian-bagian bangunan pengambilan terdiri dari penyadap, pengatur dan penyalur. Bagian penyadap dan pengatur dapat ditempatkan pada suatu menara, pada terowong miring atau tenggelam di bawah muka air waduk. Mulut pemasukan dapat berupa tipe limpaan atau orifice yang dilengkapi dengan kisi-kisi dan pintu atau katup.

Bagian penyalur dapat berupa terowong, pipa conduit yang ditanam di pondasi atau menggunakan bekas terowong pengelak. Apabila aliran pada bagian penyalur bersifat aliran tertekan (pressure flow), penyalur perlu dilengkapi dengan lining baja (steel liner) atau menggunakan pipa baja.

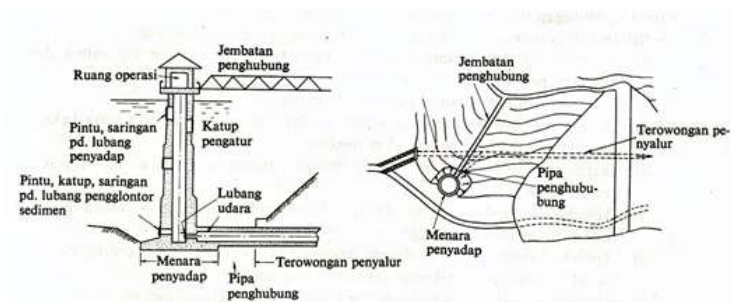
Jenis-jenis bangunan pengambilan, antara lain:

Tipe menara (tower intake)

Bangunan pengambilan tipe menara adalah bangunan pengambilan dengan bagian penyadap dan pengatur berupa menara yang berongga yang dilengkapi dengan lubang-lubang penyadap dan pintu. Untuk menghindari penyadapan air yang keruh, menara dilengkapi dengan beberapa lubang penyadap yang diletakkan pada berbagai ketinggian. Untuk air minum dan air rumah tangga diperlukan air yang jernih yang disadap dari bagian atas waduk, sedang untuk keperluan irigasi dan penggelontoran, dapat menggunakan air bagian bawah waduk yang keruh.

Konstruksi bangunan ini cukup rumit dan biayanya cukup tinggi, sehingga bangunan tipe ini lebih cocok untuk bendungan rendah dengan kapasitas penyadap yang tidak terlalu besar. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan bangunan pengambilan tipe menara antara lain:

1. Bangunan pengambilan menara merupakan bangunan yang berdiri sendiri (standing a lone), semua beban luar yang bekerja harus disalurkan dan ditahan oleh fondasi;
2. Bangunan tipe ini merupakan bangunan yang berat sehingga memerlukan fondasi yang kokoh dengan daya dukung yang tinggi.

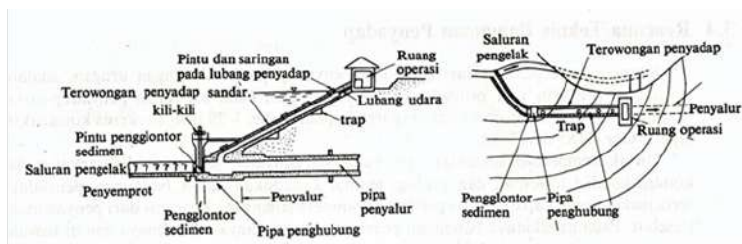


Gambar 7.4: Contoh Bangunan Pengambilan Tipe Menara

Tipe sandar atau miring (inclined intake)

Bangunan pengambilan sandar atau miring adalah bangunan pengambilan yang bagian penyadap dan pengaturnya berupa terowong miring yang dilengkapi dengan lubang-lubang penyadap dan pintu, yang bersandar pada tebing sungai. Agar bangunan stabil, tebing sungai sebagai fondasi bangunan harus berupa batuan. Untuk menghindari longsor pada tebing saat operasi, sudut kemiringan tebing sandaran sebaiknya kurang dari 60°, kecuali untuk fondasi batuan yang sangat kokoh.

Untuk menghindari penyadapan air yang keruh, bangunan dilengkapi dengan 2 sampai 3 lubang penyadap. Lubang tengah dan atas digunakan untuk menyadap air jernih, sedang lubang bawah digunakan untuk penggelontoran.



Gambar 7.5: Contoh Bangunan Penyadap Sandar

7.7 Manfaat dan Resiko Adanya Bendungan

Bendungan di samping memiliki manfaat yang besar bagi masyarakat, juga menyimpan potensi bahaya yang besar pula. Membangun bendungan di samping akan memperoleh manfaat juga berarti dengan sengaja akan mengundang datangnya potensi bahaya yang dapat mengancam kehidupan masyarakat luas. Bendungan yang runtuh akan menimbulkan banjir besar yang akan mengakibatkan bencana dahsyat di daerah hilir bendungan.

Perencanaan pelaksanaan konstruksi dan pengelolaan bendungan harus dilaksanakan tahap demi tahap sesuai dengan konsepsi dan kaidah-kaidah keamanan bendungan yang tertuang dalam berbagai peraturan atau norma, standar, pedoman dan manual (NSPM). Setiap desain bendungan harus

didahului dengan studi kelayakan untuk menilai kelayakan pembangunan bendungan dari aspek teknis, ekonomi dan lingkungan.

Untuk memastikan bahwa perencanaan pelaksanaan konstruksi dan pengelolaan bendungan telah memenuhi kaidah-kaidah keamanan bendungan, Pemerintah mengeluarkan aturan bahwa tahap-tahap kegiatan tersebut di atas harus mendapat persetujuan dari Menteri PUPR yang biasa disebut “Sertifikat Persetujuan”. Persetujuan Menteri PUPR dikeluarkan setelah desain, pelaksanaan konstruksi dan pelaksanaan pengisian waduk dinilai telah memenuhi konsepsi dan kaidah-kaidah keamanan bendungan, berdasarkan atas hasil kajian yang dilakukan oleh Balai Bendungan dan dievaluasi oleh Komisi Keamanan Bendungan.

Agar bendungan kokoh dan aman, maka desain bendungan harus memenuhi tiga kriteria pokok berikut:

1. Aman terhadap kegagalan struktural dan operasional;
2. Aman terhadap kegagalan hidrolis;
3. Aman terhadap kegagalan rembesan.

Sesuai konsepsi keamanan, bendungan harus kokoh dan aman ditinjau dari fisik bangunannya. Bendungan yang telah dibangun harus selalu dipantau dan dipelihara oleh pemilik bendungan serta harus selalu siap menghadapi kondisi darurat yang terburuk.

Bab 8

Sistem Pengelolaan Waduk Tunggal Multi Tujuan Dengan Teknik Optimasi

8.1 Pendahuluan

Seperti kita ketahui bersama, negara Indonesia dalam 1 (satu) tahun mengalami 2 musim yaitu: musim penghujan (basah) dan musim kemarau (kering). Distribusi curah hujan yang tidak merata dan tidak seimbang datangnya menyebabkan terjadinya perbedaan jumlah ketersediaan air di daerah wilayah sungai yang mengakibatkan sering terjadinya kelebihan air di musim hujan (banjir) dan kekurangan air di musim kemarau (kekeringan).

Oleh karenanya untuk dapat mengendalikan ketidakseimbangan jumlah ketersediaan air dan untuk mengoptimalkan manfaat airnya di beberapa wilayah sungai di Indonesia, maka dibangunlah sejumlah bendungan/waduk. Waduk dapat dimanfaatkan untuk mengairi saluran irigasi, PLTA, pengendalian banjir dan penggelontoran sungai, penyediaan air baku (industri, air minum, dan lain-lain), pariwisata, perikanan, dan lain-lain.

Pembangunan waduk dapat ter manfaatkan secara optimal apabila pengoperasian waduk dilaksanakan dengan benar dan sesuai dengan ketentuan yang ada. Untuk itu rencana pengoperasian waduk untuk masing-masing bendungan/waduk harus dibuat oleh pengelola bendungan/ waduk serta harus direncanakan berdasarkan kondisi spesifik saat ini masing-masing waduk.

Dalam Permen PUPR Nomor 27 tahun 2015 pasal 42 ayat 1 (b) yang mengatur bahwa selama pelaksanaan konstruksi, pembangunan bendungan/waduk diharuskan menyiapkan dokumen rencana pengelolaan bendungan (KemenPUPR, 2015). Rencana pengelolaan inilah yang dijadikan acuan dalam pelaksanaan operasi dan pemeliharaan bendungan beserta waduknya.

Pengoperasian waduk dipengaruhi oleh beberapa komponen sistem waduk yang saling berkaitan erat antara lain:

1. kondisi tampungan air;
2. bangunan pengambilan dan pengeluaran;
3. peralatan instrumentasi pengontrol dan pemantauan;
4. daerah sempadan dan tangkapan waduk;
5. sistem pengelolaan/manajemen yang baik.

8.2 Pola Operasi Waduk Tunggal

Pengertian Waduk Tunggal

Suatu tampungan yang tidak berhubungan dengan waduk tunggal atau waduk jamak lainnya disebut waduk tunggal (Kimpraswil, 2004). Tujuan dari pembangunan suatu waduk atau bendungan dilakukan untuk pengelolaan sumber daya air, konservasi sumber daya air, pendayagunaan air, dan pengendali daya rusak air (KemenPUPR, 2015).

Klasifikasi Fungsi Waduk Tunggal

Secara umum fungsi utama dari suatu waduk atau bendungan adalah sebagai penampungan atau penyediaan simpanan air, sehingga ditinjau dari segi fisik hal yang paling penting dari suatu perencanaan waduk adalah kapasitas tampungan (Linsley and Franzini, 1995).

Ditinjau dari fungsinya, waduk dapat diklasifikasikan menjadi 2 (dua) jenis yaitu:

1. Waduk Single Purpose (Eka Guna) merupakan suatu tampungan yang dioperasikan hanya untuk dapat memenuhi satu jenis fungsi atau kebutuhan saja.
2. Waduk Multi Purpose (Multi Guna/Serba Guna); waduk yang peruntukannya dapat memenuhi berbagai kebutuhan, contohnya untuk irigasi dan PLTA digabungkan dalam satu peruntukkan.

Persamaan Dasar Keseimbangan Air

Persamaan dasar dalam menyimulasikan neraca keseimbangan air merupakan suatu fungsi dari masukan, keluaran, dan tampungan waduk yang dapat dituliskan ke dalam suatu persamaan matematis seperti rumus 8.1 (Pusdiklat SDA dan Konstruksi, 2017) .

$$I - O = \frac{ds}{dt}$$

dengan:

I = Inflow / debit masukan (m³/det)

O = Outflow / debit keluaran (m³/det)

ds/dt= ΔS adalah perubahan kapasitas tampungan (m³/det)

Atau secara rinci dapat dilihat pada rumus 8.2.

$$S_{t+1} = S_t + R_t + I_t - E_t - L_t - O_t - O_s$$

dengan:

S_{t+1} = Tampungan waduk pada periode t+1

S_t = Tampungan waduk pada periode t

R_t = Hujan yang turun di atas permukaan waduk pada periode t

I_t = Inflow pada periode t

E_t = Kehilangan air akibat evaporasi pada periode t

L_t = Kehilangan air akibat rembesan dan bocoran

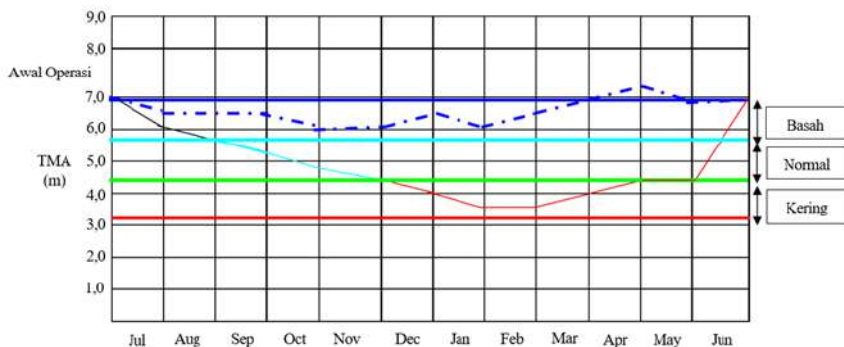
O_t = Total kebutuhan air

O_s = Outflow dari pelimpah

Pertimbangan Dalam Menyusun Pola Operasi Waduk

Ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan dalam menyusun suatu pola operasi waduk (POW), di antaranya (Pusdiklat SDA dan Konstruksi, 2017):

1. POW telah ada dari awal pengoperasian waduk dan perlu ditinjau adanya tinjauan ulang minimal 5 (lima) tahun sekali disesuaikan dengan perkembangan kondisi waduk dan perubahan fungsi dari waduk itu sendiri.
2. Di dalam POW memuat paling sedikit tata cara air keluar dari dalam waduk disesuaikan dengan volume tampungan, elevasi muka air, kebutuhan air dan kapasitas aliran sungai.
3. POW dibuat berdasarkan karakteristik dan fungsi waduk. POW dibuat ke dalam suatu "Rule Curve Zona Operasi" yang telah dibatasi oleh lengkung batas operasi normal bawah (BONB) disusun atas data hidrologi tahun kering, dan lengkung batas operasi normal atas (BONA) disusun atas data hidrologi tahun basah, serta rencana inflow outflow. Contoh bentuk rule curve dapat dilihat pada gambar 8.1.
4. Tinggi muka air awal sama dengan tinggi muka air akhir (BONB dan BONA kembali ke posisi awal).
5. Tampungan waduk dibagi ke dalam beberapa bagian di antaranya: efektif storage (tampungan efektif), flood storage (tampungan banjir), dead storage (tampungan mati), dan tampungan efektif operasi.



Gambar 8.1: Contoh Bentuk Rule Curve Zona Operasi Waduk

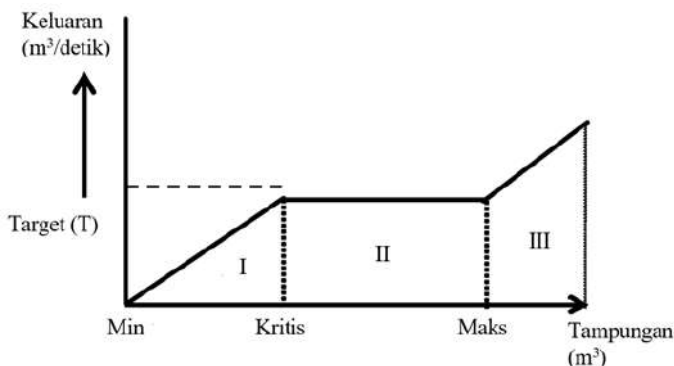
8.3 Skema Model Pengelolaan Pengoperasian Waduk Tunggal

Dalam penyusunan pola operasi dalam pengelolaan waduk, terdapat 3 (tiga) cara/teknik atau model yang dapat diterapkan (Kimpraswil, 2004).

Model Konvensional

Pada pola konvensional waduk dioperasikan dengan ketentuan seperti pada Gambar 8.2 sebagai berikut:

1. Apabila tampungan di waduk pada kondisi I (antara tampungan minimum pengoperasian dan kondisi awal kritis), keluaran air dari waduk lebih kecil dari target (kebutuhan).
2. Apabila tampungan berada pada kondisi II, keluaran air dari waduk sesuai dengan kebutuhan air yang diperlukan atau sesuai target.
3. Apabila tampungan pada kondisi III di mana volume tampungan sama atau lebih besar dari tampungan maksimum, keluaran air dari waduk besarnya sama dengan kebutuhan/target ditambah dengan besarnya debit yang membuang melalui pelimpah.

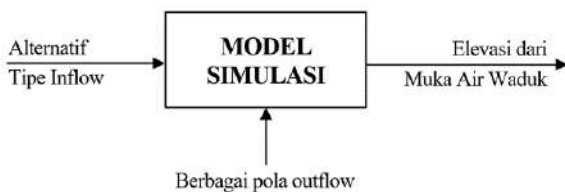


Gambar 8.2: Kurva Operasi Waduk Model Konvensional (Kimpraswil, 2004)

Pola operasi yang optimal menjaga agar terjadi limpasan air di atas pelimpah dan tidak adanya pengurangan kebutuhan akibat tampungan yang cenderung menurun di bawah ambang kritis.

Model Simulasi

Dalam metode ini, kondisi muka air waduk disimulasikan dengan berbagai kondisi tipe masukan (inflow) dan karakteristik waduk sehingga diperoleh suatu kurva/ambang pola pengoperasian. Skema model simulasi dapat dilihat pada Gambar 8.3.



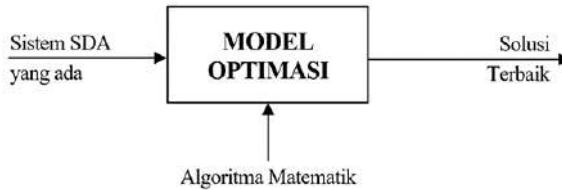
Gambar 8.3: Skema Operasi Waduk Model Simulasi (Kimpraswil, 2004)

Ada tiga ambang batas yang akan ditentukan dari hasil proses model simulasi yaitu ambang batas untuk pengoperasian waduk pada kondisi air tahun basah, ambang batas untuk kondisi air normal dan ambang batas untuk kondisi air tahun kering. Dengan diketahuinya ketiga ambang tersebut maka pengeluaran air (outflow) dari waduk dapat dikendalikan sehingga tidak sampai waduk dalam kondisi yang sangat kritis pada akhir operasi dan diusahakan agar waduk dapat penuh kembali pada akhir tahun pengoperasian sebelum masuk pada tahun berikutnya.

Dalam tahap operasional, outflow waduk sangat tergantung pada elevasi waduk pada tiap akhir periodenya (mingguan, bulanan). Untuk kondisi muka air masih dalam ambang basah dan normal, outflow sesuai dengan target. Apabila muka air waduk telah mencapai ambang kering maka outflow perlu dikurangi sesuai dengan prioritas yang telah diatur dalam peraturan perundang-undangan terkait sumber daya air.

Model Optimasi

Aspek penting dalam pendayagunaan sumber daya air khususnya pada perencanaan operasi waduk adalah bagaimana mengoperasikan manfaat sumber daya air menjadi optimal. Oleh karenanya diperlukan suatu pemodelan optimasi pengelolaan sumber daya air tersebut. Prinsip dari metode optimasi dapat dilihat pada Gambar 8.4.



Gambar 8.4: Skema Operasi Waduk Model Optimasi (Kimpraswil, 2004)

Ada tiga tahapan dalam mempersiapkan model optimasi untuk menghasilkan solusi terbaik dalam pengelolaan waduk, yaitu:

1. Identifikasi fungsi objektif;
2. Identifikasi faktor pembatas (decision variable);
3. Identifikasi faktor kendala (constraints).

Terdapat beberapa program teknik optimasi yang dapat digunakan dalam pengelolaan waduk di

antaranya program linier, program non-linear, dan program dinamik. Pemilihan suatu teknik optimasi sangat tergantung pada karakteristik waduk yang ditinjau, ketersediaan data, tujuan, dan kendala (constraints) yang ada.

8.4 Teknik Optimasi Waduk Tunggal

Teknik optimasi merupakan salah satu cara dalam penyusunan model suatu rancangan sistem yang sesuai dengan keadaan nyata, yang nantinya dapat di ubah ke dalam model matematis dengan pemisahan elemen – elemen pokok agar suatu penyelesaian yang sesuai dengan sasaran atau tujuan pengambilan keputusan dapat tercapai.

Dalam menyelesaikan kendala tersebut, terdapat beberapa cara yang dapat digunakan antara lain:

1. Lagrange Multipliers adalah proses penyelesaian optimasi dengan menggunakan kendala linier;
2. Linear Programming adalah proses penyelesaian optimasi dengan menggunakan persamaan linier;

3. Quadratic Programming adalah proses penyelesaian optimasi dengan menggunakan program matematis dengan fungsi linier dan fungsi tujuan non linier;
4. Geometric Programming adalah proses penyelesaian optimasi dengan menggunakan persamaan geometri;
5. Dynamic Programming merupakan pendekatan optimasi proses pengambilan keputusan bertahap/berganda.

8.4.1 Optimasi Dengan Linear Programming

Pada bab 8 ini hanya akan membahas terkait sistem pengelolaan waduk dengan teknik optimasi menggunakan linear programming. Linear Programming atau linier program dapat digunakan untuk persoalan optimasi yang mempunyai bentuk ketidaksamaan dengan syarat fungsi tujuan dan fungsi kendala merupakan persamaan linier. Seperti pada persoalan optimasi yang lain pada program linier juga perlu ditentukan fungsi tujuan dan fungsi kendalanya (Sidharta, 1997).

Pada dasarnya teknik optimasi menggunakan linear programming memiliki tiga unsur penting dan harus dipersiapkan, yaitu:

1. Fungsi tujuan (objektif function)
Fungsi tujuan yaitu fungsi matematika yang harus dimaksimalkan atau diminimalkan, dan mencerminkan tujuan yang hendak dicapai.
2. Variabel keputusan (decision variable)
Variabel keputusan digunakan untuk mengukur efektivitas atau kegunaan yang menghubungkan beberapa kombinasi dari variabel yang akan dicari dan memberi nilai yang paling baik bagi tujuan yang hendak dicapai.
3. Fungsi kendala (constraint function)
Fungsi kendala suatu persamaan aljabar atau ketidaksamaan atau dalam beberapa kasus sama dengan persamaan diferensial di mana persamaan tersebut harus dipenuhi dalam menentukan nilai maksimum atau minimum dari fungsi objektif, fungsi tujuan, dan kendala yang hendak dicapai.

Untuk menyelesaikan persoalan program linear, terutama bila mempunyai jumlah peubah yang lebih banyak dari 2 buah, maka penggunaan tabel simpleks akan sangat membantu. Metode simpleks merupakan prosedur perhitungan yang bersifat iteratif, yang merupakan gerakan selangkah demi selangkah dimulai dari suatu titik ekstrem pada daerah layak (feasible region) menuju ke titik ekstrim yang optimum.

Dalam hal ini solusi optimum (atau solusi basis) umumnya didapat pada titik ekstrem. Metode simpleks mengintegrasikan sejumlah persamaan yang mewakili fungsi tujuan dan fungsi-fungsi kendala pada program linear yang telah disesuaikan menjadi bentuk standar. Berikut bentuk standar persamaan simpleks (Anwar, 2001):

Maks./Min. $Z = C_1.X_1 + C_2.X_2 + \dots + C_n.X_n$

Kendala: $A_{11}.X_1 + A_{12}.X_2 + \dots + A_{1n}.X_n = b_1$

$$A_{21}.X_1 + A_{22}.X_2 + \dots + A_{2n}.X_n = b_2$$

$$A_{m1}.X_1 + A_{m2}.X_2 + \dots + A_{mn}.X_n = b_m$$

$$X_1, X_2, X_3 \dots \geq 0$$

Bandinkan bentuk standar metode simpleks ini dengan rumusan standar program linear di mana fungsi-fungsi pembatas dapat bertanda, =, atau . Dalam penyelesaiannya, rumusan linear harus diubah / disesuaikan terlebih dahulu ke dalam bentuk rumusan standar metode simpleks dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Fungsi pembatas merupakan persoalan maksimasi atau minimasi. Bila semua suku pada persoalan maksimasi dikalikan dengan angka - 1 (minus 1) maka akan menjadi persoalan minimasi.
Misalnya: Min $Z = 2X_1 + 3X_2$, sama dengan maks. $(-z) = -2X_1 - 3X_2$
2. Semua fungsi kendala diubah menjadi bentuk persamaan, dengan cara menambah atau mengurangi dengan bilangan-bilangan slack, surplus atau artifisial.

Misalnya:

$$4X_1 - 5X_2 \leq 6, \text{ menjadi } 4X_1 - 5X_2 + S_1 = 6, S_1 = \text{bil. Slack}$$

$$4X_1 - 5X_2 \geq 6, \text{ menjadi } 4X_1 - 5X_2 - S_2 + R = 6, S_2 = \text{bil. Slack}; R = \text{artifisial}$$

$4X_1 - 5X_2 = 6$, menjadi $4X_1 - 5X_2 + R = 6$, $R =$ artifisial

3. Semua ruas kanan fungsi kendala bertanda positif.

Misalnya:

$-4X_1 + 3X_2 - 8$, menjadi $4X_1 - 3X_2 \leq 8$, kemudian $4X_1 - 3X_2 - S_2 + R = 8$,

4. Semua peubah tidak negatif. Misalnya $X_1 \geq 0$

Untuk penyelesaian selanjutnya dilakukan dengan cara iterasi. Langkah – langkah untuk satu kali iterasi pada persoalan maksimasi dapat dilakukan dari tabel simpleks sebagai berikut:

1. Langkah 1

Cari di antara nilai c_1 pada baris fungsi tujuan (baris ke-0) yang paling bernilai positif. Angka tetapan ini adalah faktor pengali pada peubah non basis (PNB), maka peubah dengan nilai c_1 paling positif akan masuk menjadi peubah basis pada tabel simpleks berikutnya sebagai peubah masuk (PM).

2. Langkah 2

Langkah ini bertujuan mencari peubah keluar (PK) atau di antara sejumlah peubah basis solusi (b_1) dibagi dengan angka matriks pada baris yang sama dengan b_1 dan merupakan faktor pengali dari PM di baris tersebut. Angka perbandingan positif yang terkecil menentukan pada baris tersebut adalah PBS yang akan keluar menjadi PK.

3. Langkah 3

Melakukan perhitungan operasi baris elementer (OBE) pada setiap baris termasuk baris fungsi tujuan sehingga didapat bahwa POM sudah menjadi PBS, dan PK menjadi PNB.

4. Langkah 4

Bila masih terdapat nilai c_1 pada baris fungsi tujuan, lanjutkan dengan memulai langkah 1 dan seterusnya hingga seluruh nilai c_1 ialah nol atau positif bila keadaan terakhir terpenuhi maka PBS adalah jawaban dari permasalahan ini dan ruas kanan pada baris fungsi tujuan ialah nilai optimum dari fungsi tujuan.

Format awal tabel metode simpleks secara umum (contoh) dan metode perhitungan iterasinya dapat dilihat pada gambar 8.5 dan gambar 8.6.

	Basis	z	Peubah Non Basis				Peubah Basis				kuantitas	PK
			X_1	X_2	...	X_n	S_1	S_2	...	S_m		
c_j	c_j	1	c_1	c_2	...	c_m	0	0	...	0		
0	S_1	0	a_{11}	a_{12}	...	a_{1n}	1	0	...	0	b_1	b_1/a_{11}
0	S_2	0	a_{21}	a_{22}	...	a_{2n}	0	1	...	0	b_2	b_2/a_{21}
0	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
0	S_m	0	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mn}	0	0	...	1	b_m	b_m/a_{m1}
	z_j	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	$c_j - z_j$		c_1	c_2	0	c_m	-	-	-	-		

PK terkecil →

← *c paling +*

Gambar 8.5: Contoh Format Awal Tabel Metode Simpleks (Anwar, 2001)

	Basis	z	Peubah Non Basis				Peubah Basis				konstanta
			X_1	X_2	...	X_n	S_1	S_2	...	S_m	1
c_j		1	c_1	c_2	...	c_m	0	0	...	0	
0	S_1	0	0	$a_{12}-a_{22}(a_{11}/a_{21})$	...	$a_{1n}-a_{2n}(a_{11}/a_{21})$	1	$-(a_{11}/a_{21})$	...	0	$b_1-b_2(a_{11}/a_{21})$
c_1	S_2	0	1	(a_{22}/a_{21})	...	(a_{2n}/a_{21})	0	$(1/a_{21})$	...	0	$b_1-b_2(a_{11}/a_{21})$
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
0	S_m	0	0	$a_{m2}-a_{22}(a_{m1}/a_{21})$	...	$a_{mn}-a_{2n}(a_{m1}/a_{21})$	0	$-(a_{m1}/a_{21})$	...	1	$b_m-b_2(a_{11}/a_{21})$
	z_j	c_1		0	0	0	0	0	0	0	
	c_j-z_j	-		Δc_2	0	c_m	-	-	-	-	Δc_1

Gambar 8.6: Contoh Tabel Perhitungan Iterasi Metode Simpleks (Anwar, 2001)

Dalam pengelolaan operasi waduk pada suatu daerah aliran sungai melalui pendekatan teknik optimasi, perlu terlebih dahulu dilakukan penetapan berbagai kondisi dan alternatif pemecahan masalah sebagai fungsi obyektif dan fungsi kendala, misalnya:

1. Penetapan fungsi obyektif dari pola operasi waduk (maksimal keuntungan/benefit atau minimal biaya/cost atau minimal kegagalan dalam suplai/water shortage).
2. Penetapan kendala dari berbagai kondisi. Contohnya:
 - a. Tinggi muka air diusahakan berada di bawah elevasi minimum pembangkitan energi listrik.
 - b. Limpasan air waduk tidak melebihi 10% dari waktu.

- c. Volume outflow untuk memenuhi kebutuhan dimaksimalkan.
 - d. Keseimbangan tata air dan karakteristik waduk.
3. Kendala atau constraint misalnya kebutuhan air (target energi, luas areal irigasi, pengendalian banjir, navigasi, rekreasi, dll).

Bab 9

Perencanaan Detention Pond Untuk Pengendalian Banjir

9.1 Pemanfaatan Air Limpasan

Penerapan kolam detensi atau detention pond adalah suatu upaya struktural dalam pengendalian banjir yang juga merupakan bagian dari kegiatan pengelolaan sumber daya air. Di beberapa negara atau wilayah, air luapan ketika banjir cenderung diharapkan terbuang mengingat kebanyakan otoritas masih menerapkan filosofi pematusan atau pembuangan segera air limpasan banjir, tanpa mempertimbangkan kemungkinan pemanfaatan lebih lanjut air limpasan baik untuk konservasi maupun pemakaian sebagai sumber air baku.

Pemanfaatan air limpasan bukan merupakan hal yang baru dalam pengelolaan sumber daya air. Prinsip pemanfaatan air limpasan dalam bentuk menghambat aliran air secara umum terbagi atas dua, yakni detensi dan retensi. Kedua terminologi ini sebenarnya sangat mirip bahkan sering kali interchangeable alias saling tertukar.

Namun untuk kejelasan, mengingat perlunya terminologi yang jelas untuk perencanaan, kedua terminologi ini harus dipisahkan. Meski kedua sistem ini mengacu kepada kegiatan menyimpan air hujan di tempat (on-site storage) selama kejadian curah hujan tinggi yang memberi risiko tinggi bagi kejadian

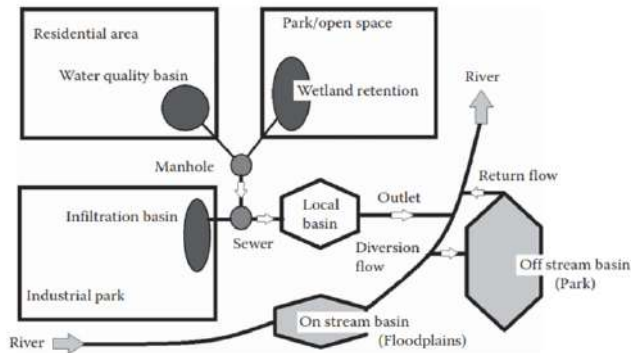
banjir. Perbedaan dari keduanya adalah bahwa pada sistem detensi, air yang tertahan dilepaskan secara perlahan ke badan air yakni sungai atau parit dan meninggalkan lokasi kolam detensi. Untuk sistem retensi, air tidak dimaksudkan untuk dilepas keluar dari kolam, namun diharapkan untuk meresap atau berinfiltrasi ke dalam tanah dan bahkan ber evapotranspirasi.

Pada detention pond atau kolam detensi, sistem yang mampu menahan air harus dibangun yang memiliki kemampuan untuk dapat diisi dengan air hujan, menyimpan air hujan dan selanjutnya melepaskannya dalam waktu yang tidak terlalu lama, yang dalam beberapa perencanaan disyaratkan harus dapat melepaskan air dalam waktu kurang dari 48 jam.

Di banyak kasus, kolam detensi memiliki ukuran yang cukup besar, sehingga beberapa hektar jika dibandingkan dengan kolam atau daerah retensi yang cukup dibuat pada wilayah yang tidak terlalu besar, baik berupa taman hujan atau bio-swales atau bio-retensi, yang dapat diterapkan pada kawasan perumahan, kawasan pengembangan atau sebagai perlongkapan jalan. Perbedaan keduanya dapat ditelusuri pada asal kata kedua istilah tersebut dalam bahasa lain di mana detention berarti delay atau lambat, sedangkan retention bermakna menyimpan.

Air limpasan digunakan sebagai pengisi kembali atau recharging input dalam konservasi air. Fungsi ini dapat dipenuhi oleh kolam detensi atau regulasi. Fungsi yang sama juga dapat dipenuhi oleh kolam retensi, bahkan lebih baik lagi. Keuntungan kolam retensi adalah dapat dibangun di lahan yang kecil, dan mengingat tidak diperlukan upaya pengaliran secara teknis melalui sistem pintu atau bahkan pemompaan, yang merupakan karakter dari kolam detensi.

Namun demikian, dalam hal pengaturan banjir, kolam detensi memiliki kapasitas teknis yang lebih besar, namun tentu saja membutuhkan tindakan teknis yang lebih kompleks. Gambar 9.1 memberi gambaran skematik model basin dalam pemanfaatan air limpasan berdasarkan tipe dan lokasi mengacu kepada (Guo, 2017) dengan mempertimbangkan lokasi kawasan relatif terhadap aliran sungai atau kanal, yang dapat berupa water quality basin untuk perbaiki mutu air, retensi lahan basah yang dapat diterapkan di taman atau kawasan terbuka hijau, infiltration basin pada kawasan industri, on-stream basin pada dataran banjir atau off-stream basin pada kawasan taman atau kawasan terbuka hijau



Gambar 9.1: Model Basin Berdasarkan Tipe Dan Lokasi (Guo, 2017)

9.2 Karakteristik Kolam Detensi

Pembangunan kolam detensi merupakan bagian dari penyelesaian masalah banjir secara struktural (Saidah et al., 2021). Pembangunan kolam detensi merupakan penyediaan infrastruktur drainase yang cukup besar dan umumnya melibatkan pendanaan publik atau pemerintah. Sebagai pilihan upaya dalam menyelesaikan banjir, solusi kolam detensi tidak selalu memberi hasil yang diinginkan mengingat besarnya investasi baik penyediaan lahan maupun biaya pembangunan, namun dalam jangka panjang pilihan infrastruktur ini juga dapat memberi perlindungan bagi warga kawasan serta mampu menurunkan kekhawatiran akan risiko bencana banjir dengan harapan bahwa bekerjanya kolam detensi akan menyelamatkan kota dari bencana banjir. (Butler et al., 2018).

Kolam detensi berfungsi untuk menahan sementara debit sungai sehingga puncak banjir dapat dikurangi dan kemudian melepaskannya secara perlahan ke sungai ketika curah hujan mulai berkurang dan aliran sungai mulai kembali normal. Tingkat pengurangan banjir tergantung pada karakteristik hidrograf banjir, volume kolam dan dinamika beberapa bangunan outlet. Penerapan kolam detensi dimaksudkan untuk memodifikasi hidrograf banjir dengan pengurangan puncak banjir di mana air yang dilepaskan (released) dan memundurkan puncak aliran (flow peak) dan memungkinkan proses evakuasi yang memadai dalam keadaan di mana banjir tidak dapat dicegah.

Penempatan kolam retensi biasanya dilakukan pada dataran rendah atau dataran rawa atau wetlands. Dengan perencanaan dan pelaksanaan tata guna lahan yang baik, kolam penampungan dapat juga digunakan untuk pertanian. Untuk strategi pengendalian yang andal diperlukan pengontrolan yang memadai untuk menjamin ketepatan peramalan banjir, peramalan banjir yang andal dan tepat waktu untuk perlindungan atau evakuasi dan harus didukung oleh sistem drainase yang baik untuk mengosongkan air dari daerah tampungan secepatnya setelah banjir surut.

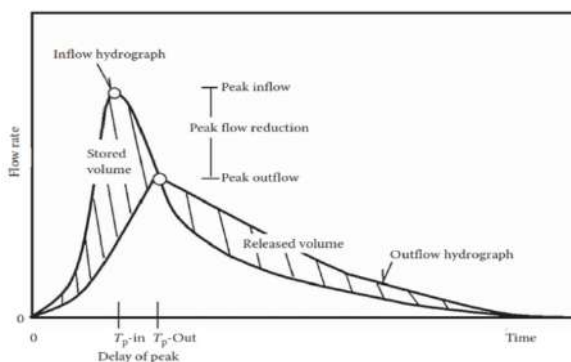
Gambar 9.2 yang berdasarkan (Guo, 2017) memberikan pengertian tentang pemunduran atau *delaying peak flow* pada hidrograf banjir. Dalam rentang waktu yang kurang lebih sama kurva menanjak atau *rising limb* pada bagian awal durasi hujan dibuat lebih landai. Pada sungai atau kawasan tangkapan hujan tanpa adanya kolam detensi, hidrograf air masuk atau *inflow hydrograph* dicapai dengan sangat cepat pada *Tp-in*.

Dengan adanya kolam detensi, puncak hidrograf digeser mundur hingga mencapai titik pelepasan maksimum atau *peak outflow Tp-out*. Perbedaan kedua puncak tersebut disebut sebagai penurunan aliran puncak atau *peak flow reduction*. Daerah yang tampak pada arsiran sebelum *inflow* yang merupakan selisih tampungan antara sungai tanpa kolam detensi dan dengan kolam detensi merupakan volume yang tersimpan dalam kolam detensi. Kesetimbangan tampungan dicapai dengan adanya pelepasan yang dapat dihitung sebagai selisih kurva hidrograf aliran tanpa kolam detensi dan dengan kolam detensi atau disebut juga sebagai volume yang terlepas kan (*released volume*).

Fungsi kolam detensi sebagai metode untuk memundurkan atau melambatkan terjadinya puncak banjir telah digambarkan dalam gambar 9.2. Pertanyaan selanjutnya adalah seberapa lambat kita ingin memundurkan puncak hidrograf dan seberapa besar penurunan *peak flow*-nya? Dengan menjawab pertanyaan tersebut maka kita telah merumuskan seperti apa desain atau rancangan kolam detensi yang akan dibangun. Jawabannya sangat berkaitan dengan pertimbangan yang lazim digunakan dalam membangun infrastruktur pengairan, yakni periode ulang banjir berapa yang kita antisipasi, dan berapa besar kemampuan pendanaan kita, yang selanjutnya membutuhkan kajian kelayakan.

Maka dapat diasumsikan bahwa langkah pertama dalam perencanaan kolam detensi atau kolam regulasi adalah dengan membuat kajian kelayakan yang meliputi kelayakan ekonomi dan finansial, kelayakan lingkungan, kelayakan

teknis dan kelayakan sosial. Setelah tahapan kajian kelayakan dilakukan, barulah perencanaan teknis detention pond dapat dilakukan. Dalam banyak kasus, justru masalah sosial ekonomi yang menghambat perencanaan pembangunan kolam detensi seperti yang terjadi di banyak kota di Indonesia.



Gambar 9.2: Konsep Pengurangan Peak Flow Akibat Kolam Detensi Dalam Hidrograf Banjir (Guo, 2017)

Sarana detensi tidak serta merta mereduksi total volume limpasan, namun berfungsi untuk mendistribusikan kembali debit limpasan selama periode waktu tertentu, dengan menyediakan semacam tampungan "hidup" untuk besaran air limpasan tertentu, yang dinyatakan oleh area yang diarsir antara hidrograf inflow dan outflow. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa manfaat terbesar kolam detensi jika didesain dan dioperasikan dengan tepat adalah tercapainya pengurangan banjir di daerah hilir.

Manfaat lain dari kolam detensi adalah penurunan biaya pembangunan sarana pengaliran drainase banjir di hilir, pengurangan kehilangan nutrisi yang terlarut dalam air yang masuk ke anak-anak sungai di hilir, serta perbaikan kualitas lahan basah alami. Selain itu dimungkinkannya perbaikan kualitas air yang mengalir di sungai atau saluran akibat pengendapan zat terlarut, pengambilan nutrisi oleh tanaman dan proses biologi lain seperti denitrifikasi (Boman et al., 2018).

Berdasarkan skalanya, sarana detensi dapat dibedakan atas sarana detensi lokal dan sarana detensi regional. Sarana detensi lokal biasanya dibangun oleh pengembang kawasan perumahan atau pemilik lahan pribadi yang cukup luas. Di beberapa negara maju, praktik penyediaan sarana semacam ini cukup lazim. Sarana ini dimaksudkan untuk memungkinkan dilaksanakannya

pengembangan kawasan dengan melindungi kawasan dari banjir yang sering terjadi atau untuk mengantisipasi kemungkinan timbulnya banjir yang lebih besar akibat pengembangan kawasan. Sarana detensi lokal ini bisa berupa sarana minor (local minor facilities) dan sarana utama (local major facilities).

Sarana detensi minor detention dimaksudkan untuk melayani suatu kawasan pengembangan dengan luasan yang tidak terlalu besar dan hanya difungsikan untuk memitigasi peningkatan limpasan akibat pengembangan. Kapasitas outletnya didesain berdasarkan hidrologi pra-pembangunan dan struktur detensinya umumnya kecil. Sarana detensi lokal mayor dimaksudkan untuk melayani kawasan pembangunan yang cukup besar dan dapat melayani dua fungsi sekaligus yakni untuk mengurangi banjir eksisting dan sekaligus mengontrol pertambahan limpasan akibat pembangunan kawasan dengan menangani aliran off-site dan on-site.

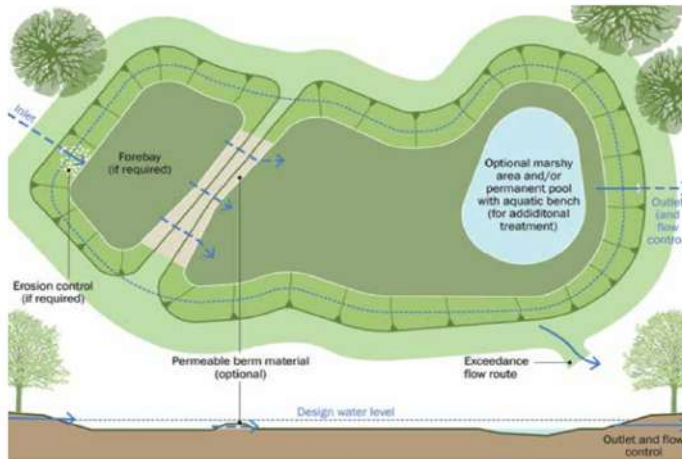
Fungsi sarana ini bisa menyerupai fungsi sarana detensi wilayah (regional detention facilities), yang mengontrol aliran pada sistem drainase utama yang biasanya dimiliki dan dikelola oleh pemerintah. Fungsi dari sarana detensi wilayah adalah untuk mengurangi secara signifikan aliran hilir untuk memaksimalkan kapasitas sistem eksisting dan menjaga aliran agar tetap di bawah kejadian banjir terbesar.

9.3 Metode Perancangan Kolam Detensi

Perencanaan kolam detensi memerlukan perencanaan yang matang. Sering kali perencanaan ini hanya dilakukan dengan memanfaatkan lahan yang tersedia, namun hasil yang dicapai mungkin tidak dapat dipenuhi. Kolam detensi dapat berupa sarana detensi on-line atau off-line. Sarana on-line memiliki rute limpasan permukaan yang melaluinya sebama kejadian hujan, yang berupa outflow yang terbatas yang memungkinkan kolam untuk diisi dan mengalirkan air untuk banjir sesuai periode ulang rencana.

Sedangkan sarana detensi off-line menerima limpasan melalui saluran pengalih (diverter) atau pelimpah (overflow) di mana aliran akan salurkan dari aliran utama, baik itu sungai atau kanal dan selanjutnya disimpan sementara di kolam detensi. Desain harus mempertimbangkan matang-matang kapasitas infiltrasi kolam serta volume banjir puncak untuk periode ulang yang diinginkan (Woods Ballard et al., 2016).

Gambar 9.3 berikut mengilustrasikan denah desain kolam detensi tipikal menurut manual *Sustainable Drainage System* (SuDS) yang diajukan oleh CIRIA (Woods Ballard et al., 2016).



Gambar 9.3: Denah Desain Kolam Detensi Tipikal (Woods Ballard et al., 2016)

Pertimbangan perencanaan sebaiknya memperhatikan hal-hal berikut:

1. Penerapan kolam detensi harus disesuaikan dengan pengelolaan air hujan lokal dan sistem pengendalian banjir.
2. Lokasi pembangunan memiliki kolam permanen atau bisa juga kering saat tidak terjadi hujan deras.
3. Tanah di bawah tanggul dan kolam harus cukup tahan air (impermeabel) untuk memastikan integritas struktur dan menahan air bila diinginkan.
4. Bak penampungan dengan ketinggian cukup besar (lebih dari 3 meter) harus dirancang oleh insinyur profesional yang berpengalaman dalam desain bendungan.
5. Akses ke kolam detensi akan sangat penting untuk menyediakan pemeliharaan praktik tersebut. Pemeliharaan meliputi pemotongan, pembuangan puing-puing, perbaikan daerah erosi, pemupukan vegetasi, dan sebagainya.

6. Sumber polusi di dalam kolam detensi harus dikendalikan.

Keamanan publik, peningkatan visual, dan habitat satwa liar harus menjadi pertimbangan penting dalam mengukur lokasi dan desain. Dalam pembahasan ini, perencanaan fasilitas detensi yang diacu adalah fasilitas detensi regional yang melayani satu kawasan yang luas atau bahkan sebuah kota atau desa.

Secara praktis, beberapa pihak otoritas mematok periode ulang desain antara 10 tahun hingga 100 tahun. Pembangunan kolam retensi dengan periode ulang banjir rencana di bawah 10 tahun tidak bisa terlalu diharapkan untuk mengatasi lonjakan limpasan air yang membahayakan kota. Membangun dengan periode ulang rendah cenderung kurang optimal sedangkan membangun dengan periode ulang banjir rencana lebih dari 100 tahun akan sangat mahal, sehingga secara ekonomis periode ulang yang optimal adalah antara 10 hingga 100 tahun.

Perhitungan banjir yang akan ditangani dapat menggunakan metode rasional untuk wilayah yang tidak terlalu besar, atau menggunakan metode HEC-1 jika wilayahnya cukup luas atau regional dalam hal suatu hidrograf utuh dapat disiapkan untuk ruting tampungan yang umum. Namun jika hanya tersedia debit puncak (peak flow rate), maka digunakan metode rasional.

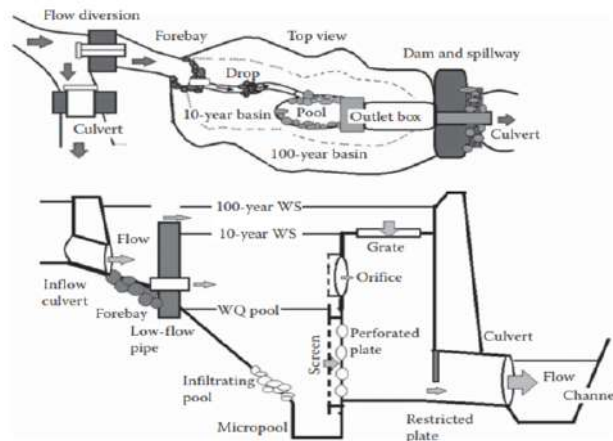
Untuk menghitung volume tampungan yang dibutuhkan pada calon lokasi kolam detensi, maka untuk metode HEC dibutuhkan informasi berikut.

1. Inflow hydrograph.
2. Batasan kapasitas outlet.
3. Outlet discharge yang diusulkan yang diikat dengan data elevasi lokasi.
4. Tampungan yang diusulkan yang diikat dengan data elevasi lokasi.
5. Waktu pematasan untuk lokasi kolam yang diusulkan.

Beberapa langkah untuk menghitung luas kolam yang direncanakan adalah sebagai berikut.

1. Langkah 1. Hitung volume pengolahan yang diusulkan (V_p) untuk tiap satuan limpasan untuk kawasan.
2. Langkah 2. Hitung volume kolam basah permanen hingga kedalaman yang memungkinkan di mana volumenya harus lebih besar dari

presipitasi atau turunnya zat terlarut ke dasar kolam permanen dan terjadinya proses penyerapan oleh tanah di bawahnya selanjutnya terjadi proses difusi ke dalam tanah. Tidak bisa dihindari bahwa akan terjadi interaksi dengan air tanah, namun dengan lamanya proses detensi, interaksi ini tidak perlu dikhawatirkan akan mencemari air tanah secara berlebihan.



Gambar 9.5: Layout Detention Basins Untuk Beberapa Kala Ulang Banjir (Guo, 2017)

Gambar 9.5 memberi ilustrasi layout detention basins untuk beberapa periode ulang banjir (Guo, 2017). Gambar di atas menunjukkan akomodasi dua periode ulang banjir di mana kolam detensinya didesain untuk periode ulang minimum 10 tahun, namun dalam kejadian melewati banjir periode ulang 10 tahun, kolam masih dapat berfungsi hingga banjir periode ulang 100 tahun.

Pembangunan kolam detensi dengan kelengkapan yang cukup kompleks memerlukan perencanaan yang matang. Untuk kolam detensi regional, setidaknya semua tahapan mulai dari studi pendahuluan atau *reconnaissance*, studi kelayakan, dan desain harus dilakukan dengan cermat. Sebaliknya jika tidak melewati tahapan-tahapan penting tersebut maka kegagalan fungsi sering tidak terhindarkan.

Bab 10

Pelestarian Sumber Daya Air

10.1 Pendahuluan

Pelestarian sumber daya air diperlukan sinergitas dan keterpaduan yang harmonis antar sektor, antar generasi maupun antar wilayah. Air merupakan kebutuhan utama makhluk hidup baik manusia, hewan dan tumbuhan. Fungsi air sebagai kehidupan makhluk hidup tidak dapat tergantikan dengan senyawa lainnya. Tanpa air dalam kehidupan makhluk hidup tidak dapat berlangsung, sehingga pelestarian dan penyediaan sumber daya air menjadi harus menjadi perhatian utama dalam proses *sustainable* untuk menjamin ketersediaan sumber daya air ini.

Air dan sumber-sumber air adalah karunia Tuhan Yang Maha Esa, air merupakan zat yang paling esensial dibutuhkan dalam setiap aspek kehidupan dan kita semua tidak dapat hidup tanpa air. Air memiliki peranan sangat penting dalam keberlangsungan kehidupan manusia, yang memberikan banyak manfaat seperti; makan, minum, mencuci, mandi, membersihkan barang, bermain dan sebagainya. Karena pentingnya air dalam kehidupan di bumi ini, maka diamanatkan kepada manusia untuk „menjaga air dan sumber-sumber air dari segala bentuk perbuatan yang menimbulkan kerusakan.

Daerah aliran sungai adalah satu kesatuan wilayah daratan dengan sungai utama dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan dan

mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau ataupun ke laut secara alamiah, dan dibatasi oleh punggung-punggung bukit atau gunung. Potensi sumber daya air yang dimiliki oleh bumi adalah secara garis besar terdiri dari 97% air laut dan 3% air tawar.

Menurut Wolman (1962), dari 3% air tawar yang ada tersebut, terbagi lagi dalam komposisi; 75 % sebagai Es dan Glacier; 24 % air bawah tanah; 0,3 % air danau; 0,06 % sebagai soil moisture; 0,35 % air di atmosfer dan 0,03 % air di sungai-sungai dan lain-lainnya. Potensi Sumber Daya air di Indonesia seperti: curah hujan, cekungan air tanah, memiliki banyak sungai dan DAS. Indonesia sebagai negara tropis memiliki kurang lebih 5.590 sungai yang sebagian besar di antaranya memiliki kapasitas tampungan kurang memadai sehingga tidak terhindarkan dari bencana banjir.

10.2 Pengelolaan Sumber Daya Air

Kebijakan Pemanfaatan Sumber Daya Air

Kebijakan dalam pemanfaatan sumber daya air dituangkan dalam Berdasarkan UU No. 17 tahun 2019 tentang sumber daya air dijelaskan pasal 3 sebagai berikut:

1. Memberikan perlindungan dan menjamin pemenuhan hak rakyat atas Air;
2. Menjamin keberlanjutan ketersediaan Air dan Sumber Air agar memberikan manfaat secara adil bagi masyarakat,
3. Menjamin pelestarian fungsi Air dan Sumber Air untuk menunjang keberlanjutan pembangunan;
4. Menjamin terciptanya kepastian hukum bag, terlaksananya partisipasi masyarakat dalam pengawasan terhadap pemanfaatan Sumber Daya Air mulai dari perencanaan, pelaksanaan, dan evaluasi pemanfaatan;
5. Menjamin perlindungan dan pemberdayaan masyarakat, termasuk Masyarakat Adat dalam upaya konservasi Air dan Sumber Air; dan
6. Mengendalikan Daya Rusak Air secara menyeluruh yang mencakup upaya pencegahan, penanggulangan, dan pemulihan.

Prasarana sumber daya air adalah bangunan Air beserta bangunan lain yang menunjang kegiatan pengelolaan sumber daya air, baik langsung maupun tidak langsung. Pemanfaatan sumber daya air harus mendukung perekonomian rakyat secara efektif dan efisien, dengan cara membuat pertimbangan kepentingan antar sektor dan antar wilayah. Pengendalian pencemaran sumber daya air, terutama untuk sumber air tanah, sungai dan danau.

Efisiensi dan efektivitas penggunaan air untuk irigasi harus ditingkatkan, dengan cara mengutamakan pemeliharaan, kegiatan operasi, peningkatan kerja serta rehabilitasi daripada pembangunan irigasi yang baru. Sistem irigasi dan rawa harus dikembangkan, sehingga dapat membantu produktivitas di bidang pertanian, meningkatkan ketahanan pangan dan menyejahterakan petani. Pola pengelolaan sumber daya air adalah kerangka dasar dalam merencanakan, melaksanakan, memantau, dan mengevaluasi kegiatan konservasi sumber daya air, pendayagunaan sumber daya air, dan pengendalian daya rusak air.

Sumber Daya Air dikuasai oleh negara dan dipergunakan untuk sebesar-besar kemakmuran rakyat (pasal 5 UU PSDA No.17 Thn 2019). Negara menjamin hak rakyat atas air guna memenuhi kebutuhan pokok minimal sehari-hari bagi kehidupan yang sehat dan bersih dengan jumlah yang cukup, kualitas yang baik, aman, terjaga keberlangsungannya, dan terjangkau; (pasal 6 UU PSDA No.17 Thn 2019). Sumber Daya Air tidak dapat dimiliki dan/ atau dikuasai oleh perseorangan, kelompok masyarakat, atau badan usaha (pasal 7 UU PSDA No.17 Thn 2019).

Pengelolaan Sumber Daya Air berdasarkan wilayah sungai paling sedikit memperhatikan tersurat Ayat 2 pasal 22 UU PSDA No.17 Thn 2019 antara lain:

1. Daerah Aliran Sungai secara alamiah.
2. Karakteristik fungsi Sumber Air.
3. Daya dukung Sumber Daya Air.
4. Kekhasan dan aspirasi daerah dan masyarakat sekitar dengan melibatkan para pemangku kepentingan terkait.
5. Kemampuan Pendanaan.
6. Perubahan iklim.
7. Konservasi sumber daya alam hayati dan ekosistemnya.
8. Pengembangan teknologi; dan
9. Jumlah dan penyebaran penduduk serta proyeksi pertumbuhannya.

Pendayagunaan Sumber Daya Air ditujukan untuk memanfaatkan Sumber Daya Air secara berkelanjutan dengan prioritas utama untuk pemenuhan Air bagi kebutuhan pokok sehari-hari masyarakat. Pendayagunaan sumber daya air; (a) Penatagunaan Sumber Daya Air; (b) Penyediaan Sumber Daya Air; (c) Penggunaan Sumber Daya Air; dan (d) Pengembangan Sumber Daya Air. Penggunaan Sumber Daya Air untuk kebutuhan usaha dilakukan dengan memperhatikan fungsi sosial dan lingkungan hidup serta terjaminnya keselamatan kekayaan negara dan kelestarian lingkungan.

Penggunaan Sumber Daya Air untuk kebutuhan usaha dapat diselenggarakan apabila Air untuk kebutuhan pokok sehari-hari dan pertanian rakyat telah terpenuhi serta sepanjang ketersediaan Air masih mencukupi. (Ayat 1, 2 pasal 47 UU PSDA No.17 Thn 2019). Informasi Sumber Daya Air meliputi informasi mengenai kondisi hidrologis, hidrometeorologia, hidrogeologia, kebijakan Sumber Daya Air, Prasarana Sumber Daya Air, teknologi Sumber Daya Air, lingkungan pada Sumber Daya Air dan sekitarnya, serta kegiatan sosial, ekonomi, dan budaya masyarakat yang terkait dengan Sumber Daya Air (Ayat 5 pasal 54 UU PSDA No.17 Thn 2019).

Pemberdayaan dimaksudkan pada kegiatan Perencanaan, pelaksanaan, operasi dan pemeliharaan, serta pemantauan dan evaluasi Pengelolaan Sumber Daya Air. (Ayat 2 pasal 55 UU PSDA No.17 Thn 2019). Pengawasan Pengelolaan Sumber Daya Air dilakukan oleh Pemerintah Pusat dan/ atau Pemerintah Daerah sesuai dengan kewenangannya terhadap Pengelolaan Sumber Daya Air. (Ayat 1 pasal 56 UU PSDA No.17 Thn 2019) Pengawasan Pengelolaan Sumber Daya Air dengan melibatkan peran masyarakat. (Ayat 2 pasal 56 UU PSDA No.17 Thn 2019).

Pendanaan Pengelolaan Sumber Daya Air ditetapkan berdasarkan kebutuhan nyata Pengelolaan Sumber Daya Air. Pendanaan pengelolaan dengan memperhatikan keterkaitan hulu dan hilir Daerah Aliran Sungai dan fungsi kawasan. Pendanaan Pengelolaan Sumber Daya Air dapat bersumber dari: (a) Anggaran Pendapatan Belanja Negara; (b) Anggaran Pendapatan Belanja Daerah; dan/atau (c). sumber lain yang sah sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan. (Ayat 1 pasal 61 UU PSDA No.17 Thn 2019).

Pengelolaan Sumber Daya Air, masyarakat berhak untuk: (a) Memperoleh akses untuk memanfaatkan Sumber Daya Air; (b) Menggunakan Air bagi pemenuhan kebutuhan pokok minimal sehari-hari, pertanian rakyat, dan kegiatan bukan usaha; (c) Memperoleh manfaat atas Pengelolaan Sumber Daya Air; (d) Memperoleh penggantian yang layak atas kerugian yang

dialaminya sebagai akibat pelaksanaan Pengelolaan Sumber Daya Air; (e) Memperoleh informasi yang berkaitan dengan Pengelolaan Sumber Daya Air; (f) Menyatakan pendapat terhadap Rencana Pengelolaan Sumber Daya Air yang sudah diumumkan dalam jangka waktu tertentu sesuai dengan kondisi setempat; (g) mengajukan laporan dan pengaduan kepada pihak yang berwenang atas kerugian yang menimpa dirinya yang berkaitan dengan penyelenggaraan Pengelolaan Sumber Daya Air; dan/atau. (h) mengajukan gugatan kepada pengadilan terhadap berbagai masalah Sumber Daya Air yang merugikan kehidupannya. (Ayat 1,2 dan 3 pasal 57 UU PSDA No.17 Thn 2019)

Masyarakat mempunyai kesempatan yang sama untuk berpartisipasi dalam Pengelolaan Sumber Daya Air. Partisipasi dilakukan untuk menyalurkan aspirasi, pemikiran, dan kepentingan masyarakat dalam Pengelolaan Sumber Daya Air. Partisipasi yang dimaksudkan antara lain: (a) Konsultasi publik; (b) musyawarah; (c) kemitraan; (d) penyampaian aspirasi; (e) pengawasan; dan/atau (f) keterlibatan lain sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan. (Ayat 1,2 dan 3 pasal 63 UU PSDA No.17 Thn 2019)

Pengelolaan Sumber Daya Air mencakup kepentingan lintas sektoral dan lintas wilayah yang memerlukan keterpaduan tindak untuk menjaga kelangsungan fungsi dan manfaat Air dan Sumber Air. Pengelolaan Sumber Daya Air dilakukan melalui koordinasi dengan mengintegrasikan kepentingan berbagai sektor, wilayah, dan para pemilik kepentingan dalam bidang Sumber Daya Air. Koordinasi dimaksudkan dalam tingkatan nasional, provinsi, kabupaten dan Wilayah Sungai (Ayat 1,2 dan 3 pasal 64 UU PSDA No.17 Thn 2019).

Dalam Undang-Undang PSDA No. 17 tahun 2019 dijelaskan bahwa pengelolaan sumber daya air menjadi kewajiban setiap orang untuk senantiasa memelihara kawasan lingkungan hidup, mencegah kerusakan dan pencemaran lingkungan daerah aliran sungai (DAS). Undang-Undang No. 23 Tahun 1997 tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup dijelaskan bahwa setiap orang berkewajiban memelihara kawasan lingkungan hidup, mencegah, menanggulangi pencemaran dan kawasan lingkungan hidup. Lingkungan merupakan wilayah bersama yang harus menjadi tanggung jawab bersama adalah lingkungan yang terdiri dari sumber daya alam, sumber daya alam dan sumber daya manusia. Selanjutnya dalam Alquran, Allah SWT, berfirman:

“Ingatlah ketika Tuhanmu berfirman kepada malaikat, ‘Sesungguhnya Aku hendak menjadikan khalifah di bumi’. Mereka berkata, “Apakah Engkau

hendak menjadikan (khalifah) orang di muka bumi ini yang akan merusak dan menumpahkan darah, sedangkan kami bertasbih memuji-Mu dan menyucikan nama Engkau?” Tuhan Berfirman, “Sesungguhnya, Aku mengetahui apa yang tidak kamu ketahui”. (QS Al Baqarah: 30).

“Dan janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah (Allah) memperbaikinya. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan harapan. Sesungguhnya Allah amat dekat kepada orang yang berbuat baik” (QS Al-A’raf: 56).

Permasalahan Pemanfaatan sumber Daya Air

Permasalahan dengan segala dampaknya akan timbul ketika kapasitas/daya dukungnya terlampaui oleh tekanan pengaruh perubahan kondisi lingkungan yang terjadi. Secara alami, pada dasarnya alam akan selalu mencari suatu keseimbangan (equilibrium condition) secara dinamis. Alam, termasuk air dan sumber air, akan selalu memberikan respons terhadap setiap pengaruh perubahan lingkungan yang terjadi.

Ada sifat kelenturan/kementakan sumber daya ini, yang sering kita sebut sebagai “daya dukung lingkungan”. Ia akan selalu menyesuaikan dan mengabsorb atau meredam pengaruh perubahan tersebut sampai batas waktu/dan kemampuan sesuai kapasitasnya. Faktor daya dukung inilah yang perlu kita jaga dan kita tingkatkan kapasitasnya (melalui upaya-upaya secara struktur maupun non struktur), sehingga mampu mengantisipasi perubahan lingkungan yang terjadi.

Permasalahan pemanfaatan sumber daya air dapat menyebabkan persoalan yang seharusnya tidak boleh terjadi secara berlebihan karena menyebabkan masalah bagi kehidupan habitat alam maupun pemenuhan kebutuhan akan air bagi makhluk hidup dan menjadi persoalan mata rantai siklus hidrologi di permukaan bumi ini.

Akibat permasalahan ini menyebabkan antara lain:

1. Penataan ruang, penataan pembangunan fisik, penataan pertanahan, penataan kependudukan, tidak terkendali dan penegakan hukum tidak jalan, serta adanya ego sektor.
2. Kerusakan hutan dan lahan serta alih fungsi lahan, (penciutan lahan), sehingga kuantitas air terpengaruh.

3. Terjadinya: Peningkatan bahaya Banjir, tanah longsor, dan sedimentasi.
4. Meningkatnya pencemaran akibat limbah padat, limbah cair sehingga kualitas air makin buruk/makin merosot.
5. Penggunaan air untuk irigasi, rumah tangga, perkantoran, Industri, dan air baku yang tidak efisien dan tidak terkendali.
6. Pengelolaan sumber daya air: kinerja rendah, terjadi kekeringan, defisit air, tidak adil, tidak efisien sehingga tidak berkelanjutan.

Akibat poin 1-6 akan terjadi: Ekonomi terhambat yang mengakibatkan peningkatan jumlah kemiskinan dan pembangunan akan mengalami stagnan dan Fluktuasi Kualitas Air dan Keseimbangan Siklus Hidrologi akan terganggu serta berdampak Banjir Ekstrem atau memendekkan waktu puncak banjir



Gambar 10.1: Ilustrasi Kerusakan Hutan Daerah Aliran Sungai

Dampak Pemanfaatan sumber Daya Air

Pemanfaatan lahan DAS yang tidak memperhatikan kaidah-kaidah konservasi yang berkelanjutan, maka akan menyebabkan permasalahan, yang sampai hari ini terlihat nyata di dalam rangka pemenuhan kebutuhan sehari-hari.

Adapun antara lain dampak kerusakan DAS adalah:

1. Sedimentasi waduk

Tingginya tingkat sedimentasi di waduk menyebabkan kapasitas tampung waduk untuk penyediaan air pada musim kemarau dan

kemampuan untuk menahan debit banjir pada musim hujan menjadi berkurang,

2. Banjir, berkurangnya daerah resapan air menyebabkan kemampuan untuk menahan air hujan menjadi berkurang. Kondisi ini menyebabkan hujan yang jatuh sebagian besar menjadi limpasan dan menyebabkan banjir,
3. Pencemaran air
Pertambahan penduduk dan pembangunan ekonomi yang pesat mengakibatkan kualitas air sungai semakin menurun. Beban polutan yang masuk sungai lebih besar dari kemampuan sungai untuk menguraikan polutan tersebut,
4. Menurunnya kuantitas dan kualitas air
Akibat pencemaran, DAS tidak dapat lagi digunakan untuk memenuhi aktivitas manusia.
5. Masih tumpang tindihnya peraturan perundangan antar sector,
6. Koordinasi dan sinergi tas kebijakan, program dan kegiatan antar lembaga yang belum berjalan baik
7. Belum adanya master plan pengelolaan DAS sebagai pedoman,
8. Belum adanya sistem informasi terpadu dalam pengelolaan DAS.
9. Kurangnya kesadaran dan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan DAS,
10. Keterbatasan anggaran dalam pelaksanaan konservasi, rehabilitasi lahan, pemeliharaan sarana dan prasarana pengairan.

Perubahan tata guna lahan menyebabkan tingginya akibat limpasan permukaan dan koefisien pengaliran, limpasan permukaan, debit puncak dan sedimentasi. Perubahan tata guna lahan dapat menyebabkan degradasi ketahanan wilayah lahan DAS sebagai penyangga penyediaan air pada sungai (Mansida et al., 2021).

10.3 Konsep Pelestarian Sumber Daya Air

Pelestarian sumber daya air merupakan salah satu isu strategi yang paling penting yang seharusnya menjadi perhatian kepada semua komponen bangsa ini, sehingga pelestarian SDA ini dengan menggunakan pendekatan prinsip-prinsip hidrologi, mengelola bentang lahan ini yaitu dengan memperbesar resapan air (infiltration) dan memperkecil aliran permukaan (surface runoff).

Pelestarian sumber daya air dikelompokkan menjadi tiga metode yaitu: secara agronomis, mekanis dan kimiawi dapat dilakukan untuk konservasi bentang alam. Metode agronomis atau biologi adalah memanfaatkan vegetasi untuk membantu menurunkan erosi lahan. Metode mekanis atau fisik adalah konservasi yang berkonsentrasi pada penyiapan tanah supaya dapat ditumbuhi vegetasi yang lebat, dan memanipulasi topografi mikro untuk mengendalikan aliran air dan angin. Sedangkan metode kimia adalah usaha konservasi yang ditunjukkan untuk memperbaiki struktur tanah sehingga lebih tahan terhadap erosi. (Suripin, 2004).

Pelestarian Sumber Daya Air dengan Pendekatan Agronomis

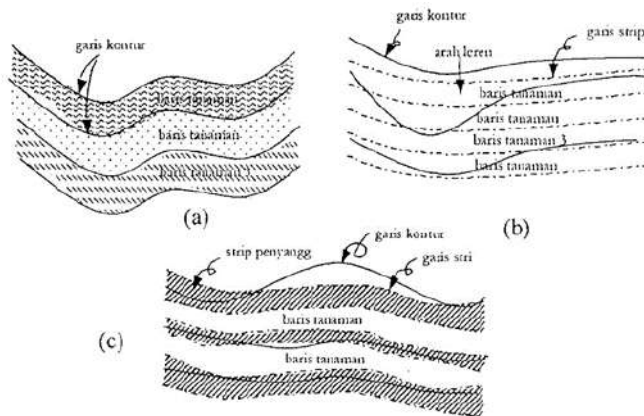
Konservasi tanah dan air secara vegetasi adalah penggunaan tanaman atau tumbuhan dan sisa tanaman dengan cara sedemikian rupa sehingga dapat mengurangi laju erosi dengan mengurangi daya rusak hujan yang jatuh dan jumlah daya rusak aliran permukaan. Konservasi tanah dan air secara vegetatif berfungsi sebagai:

1. Pengurangan daya rusak butiran hujan yang jatuh akibat intersepsi butiran hujan oleh dedaunan tanaman atau tajuk tanaman.
2. Pengurangan volume aliran permukaan akibat meningkatkan kapasitas infiltrasi oleh aktivitas perakaran tanaman dan penambahan bahan organik.
3. Peningkatan kehilangan air tanah akibat meningkatnya evapotranspirasi, sehingga tanah cepat lapar air.
4. Memperlambat aliran permukaan akibat meningkatnya panjang lintasan aliran permukaan oleh keberadaan batang-batang tanaman.

5. Pengurangan daya rusak aliran permukaan sebagai akibat pengurangan volume aliran permukaan, dan kecepatan aliran permukaan akibat meningkatnya panjang lintasan dan kekasaran permukaan.

Konservasi tanah dan air secara vegetatif dapat dilakukan dengan berbagai macam cara, yaitu:

1. Pertanaman tanaman atau tumbuhan penutup tanah secara terus-menerus (permanent plant cover)
2. Penanaman dalam strip (strip cropping)
3. Pertanaman berganda (multiple cropping)
4. Pertanaman bergilir (rotation cropping)
5. Pertanaman mulsa (residue cropping)
6. Sistem pertanian hutan (agroforestry)



Gambar 10.2: Penanaman Dalam Strip (A) Menurut Garis Kontur (Contour Strip Cropping), (B) Lapangan (Field Strip Cropping), dan (C) Strip Bar Penyangga (Buffer Strip Cropping)



Gambar 10.3: Pertanian Berganda Atau Pertanian Lorong (Allary Cropping)

Pelestarian Sumber Daya Air dengan Pendekatan Mekanis

Prinsip dasar konservasi tanah adalah mengurangi banyaknya tanah yang hilang akibat erosi, sedangkan prinsip konservasi air adalah memanfaatkan air hujan yang jatuh ke tanah seefisien mungkin, mengendalikan kelebihan air di musim hujan, dan menyediakan air yang cukup di musim kemarau. Konservasi mekanis mempunyai fungsi sebagai berikut:

1. memperlambat aliran permukaan;
2. menampung dan mengalirkan aliran permukaan sehingga tidak merusak;
3. memperbesar kapasitas infiltrasi air ke dalam tanah dan memperbaiki aerasi tanah;
4. menyediakan air bagi tanaman;

Adapun usaha konservasi tanah dan air yang termasuk dalam metode mekanis antara lain meliputi:

1. Pengolahan tanah
2. Pengolahan tanah menurut garis kontur
3. Pembuatan teras
4. Pembuatan saluran air (waterways)
5. Pembuatan dam pengendali (check dam).
6. Pembuatan Bangunan Resapan Air dengan beberapa metode di antaranya;

- a. pembuatan embung dimaksudkan untuk penyimpanan atau retensi air pada musim hujan dan dapat dimanfaatkan di musim kering;
- b. pembuatan biopori di permukaan tanah untuk memperbesar daya infiltrasi tanah dan mengurangi volume aliran permukaan (runoff), sehingga dapat meningkatkan air tanah;
- c. Pembuatan DAM pengendali sedimen pada daerah cekungan lahan untuk menahan laju erosi dan sedimen, menampung air, meresapkan air serta mengurangi daya gerus tanah di sepanjang bagian aliran sekaligus menjadi penyediaan sumber air.
<http://dlhk.jogjaprovo.go.id/konservasi-sumber-daya-air>

Pelestarian Sumber Daya Air dengan Pendekatan Kimiawi

Perkembangan penggunaan bahan pemantap tanah pada awal cukup baik, tetapi berhubungan mahalnya preparat-preparat yang dipasarkan, penggunaannya semakin terbatas, khusus hanya pada lahan-lahan sempit. Walaupun telah terbukti bahwa penggunaan pemantap tanah tidak hanya mampu meningkatkan kemantapan agregat tanah, tetapi juga mampu meningkatkan hasil tanaman.

Bahan pemantap tanah yang baik harus mempunyai sifat-sifat sebagai berikut (Seta, 1987):

1. Mempunyai sifat yang adhesif serta dapat bercampur dengan tanah secara merata.
2. Dapat merubah sifat hidrofobik atau hidrofilik tanah, yang dengan demikian dapat merubah kurva penahan air tanah.
3. Dapat meningkatkan kapasitas tukar kation tanah, yang berarti memengaruhi kemampuan tanah dalam menahan air.
4. Daya tahan sebagai pemantap tanah cukup memadai, tidak terlalu singkat dan tidak terlalu lama.
5. Tidak bersifat racun (phytotoxix) dan harganya terjangkau (murah).

Pengendalian Air Tanah (Groundwater) Pengisian reservoir air tanah secara buatan ini dapat dipakai untuk:

1. Menyimpan kelebihan air permukaan menjadi air tanah;
2. Memperbaiki kualitas air tanah dengan mencampur air tanah lokal dengan air pengisian;
3. Membentuk tabir tekanan untuk mencegah intrusi air laut;
4. Meningkatkan produksi pertanian karena lebih terjaminnya air irigasi;
5. Menurunkan biaya pemompaan air tanah karena kedalaman air tanah yang relatif menjadi kecil;
6. Mencegah terjadinya penurunan muka tanah.

Reformasi Konsep Pengelolaan Sumber Daya Air

Pengelolaan sumber daya air sampai saat ini, diperlukan tindakan yang lebih komprehensif dan mendesak dilakukan reformasi pengelolaan sumber daya air dengan konsep integralistik, sistematis, dan berbasis pada pendekatan eko hidrolik (ekohidrologi).

Reformasi sumber daya air dilakukan pada tiga belas bidang adalah (Maryono, 2018):

1. Reformasi konsep pengelolaan daerah aliran sungai (DAS);
2. Reformasi konsep pengelolaan sungai (restorasi sungai)
3. Reformasi konsep drainase konvensional ke ekodrainase;
4. Reformasi konsep pengelolaan danau, telaga dan situ;
5. Reformasi konsep pengelolaan daerah pantai dan estuari;
6. Reformasi konsep memanen air hujan;
7. Reformasi konsep dalam membangun kota sebagai DAS (city as a catchments area);
8. Reformasi konsep menuju nawa gatra dan budaya paham air (water culture);
9. Reformasi konsep dalam mengembalikan kualitas dan kuantitas air sungai (moratorium pencemaran sampah dan limbah pada air sungai);
10. Reformasi konsep pemahaman keterkaitan gempa bumi, longsor, dan banjir;

11. Reformasi konsep penanganan perubahan iklim;
12. Reformasi konsep pemanfaatan energi dari sumber daya alam;
13. Reformasi konsep pengembangan irigasi modern.

Sumber daya alam adalah milik generasi yang akan datang merupakan tanggung jawab bersama semua elemen masyarakat tanpa terkecuali untuk menjaga sumber daya alam untuk anak cucu kita.

“Jangan Tinggalkan Air Mata tapi Tinggalkan Mata Air”

Konservasi sumber daya alam merupakan upaya jangka panjang yang hasilnya tidak dapat dirasakan segera akan tetapi untuk generasi mendatang.

Daftar Pustaka

- Adytiosulindro S, Rochmatia N H, Hartono D mulyo and Moersidik S S (2020) Evaluasi Kualitas dan Kuantitas Lumpur Alum dari Instalasi Pengolahan Air Minum Citayam Center for Environmental Technology - Agency for Assessment and Application of Technology Vol. 21 No. 2 (2020) Online: <https://>
- Ahearn, D. S. (2005). Land use and land cover influence on water quality in the last free-flowing river draining the western Sierra Nevada, California. *Journal of Hydrology*, 313, 234.
- Alabaster, J.S dan R. Lloyd. (1982). *Water Quality Criteria for Frashwater Fish*, Food and Agricultural Organization of the United Nation, London. Boston.
- Allan, J. D. (2004). Influence of land use and landscape setting on the ecological status of rivers. *Limnetica*, 23, 187-198.
- Amein, M. and Fang, C.S., (1970), "Implisit Penyaluran Banjir di Saluran Alami," *Jurnal divisi hidrolik, ASCE*, Vol. 96, No. HY12, Makalah Prosiding 7773, hal. 2481-2500.
- Anagnostou et al., (2006), Anagnostou, E.N., Grecu, M., Anagnostou, M.N., 2006. X-band polarimetric radar rainfall measurements in keys area microphysics project. *J. Atmos. Sci.* 63, 187–203.
- Anagnostou, M.N., Kalogiros, J., Anagnostou, E.N., Tarolli, M., Papadopoulos, A., Borga, M., (2010). Performance evaluation of high-resolution rainfall estimation by X-band dual-polarization radar for flash flood applications in mountainous basins. *J. Hydrol.* doi: 10.1016 / j.jhydrol.2010.06.026.
- Anton Sudarwo, Isril Berd, dan J. N. (2009) *Kajian Karakteristik Daerah Aliran Sungai (Das) Batang Kuranji Untuk Ketersediaan Air Berkelanjutan*.

Available at: https://123dok.com/document/y4ed470q-kajian-karakteristik-daerah-aliran-sungai-kuranji-ketersediaan-berkelanjutan.html?utm_source=search_v3.

- Anwar, N. (2001) *Analisa Sistem Untuk Teknik Sipil*. Surabaya: Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Anwar,Saihul, (2009), *Pengelolaan Sumber Daya Air*, PT. Mediatama Saptakarya Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum
- APHA, AWWA. (2000). *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, Fourteenth Edition. American Public Health Association.
- Araki H, Koga K, Y.Nishi, Y.Kajiwa, S.Imae, S.Kimura, K.Hirano, S.Toyosaki, H.Fukuyama. (1999). Development of evaluation method for river environment. *Lowland technology international*.Vol. 1.No.2.41-53.
- Armus R (2014) *Pengantar Teknik Lingkungan vol 1* (Yogyakarta: Sibuku Media)
- Armus R, Noor A, Ahmad A and Lukman M (2018) Surface Temperature Distribution Analysis Using Remote Sensing System in Spermonde Estuary Hasanuddin University Vol 19, No 2 (2018) Online: <https://journal.unhas.ac.id/index.php/mca>
- Arsyad, S. (2006) "Konservasi Tanah dan Air," Bogor: IPB Press.
- Arsyad, S. (2010) "Konservasi Tanah dan Air," Institut Pertanian Bogor.
- Asdak, C. (2004) *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Asdak, C. (2010) "Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai," Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Asdak, Chay. (2002). *Manajemen Hidrologi dan Daerah Aliran Sungai*. Universitas Gajah Mada Press Yogyakarta.
- Badan Pusat Statistik, (2020), *Sensus Penduduk 2019*.
- Badan Standarisasi Nasional, (2016). *Komputasi Desain Banjir, Standar Nasional Indonesia (SNI 2415 – 2016)*.
- Baede A.P.M, E.Ahlonsou.Y.Ding.D.Schimmel, B.Bolin.S.Pollonais. *The Climate System: an Overview*. 87-98.

- Balai Penerapan Teknologi Konstruksi, Direktorat Jenderal Bina Konstruksi, Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat (2018) “Prinsip Perencanaan Bendungan dan Bangunan Pelengkap”.
- Bambang, Triatmodjo. (2008) “Hidrologi Terapan,” Yogyakarta: Beta Offset.
- Bangun Muljo Sukojo, Diah Susilowati. (2003). Penerapan Metode Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis untuk Analisa Perubahan Penggunaan Lahan (Studi Kasus:Wilayah Kali Surabaya).Makara Teknologi.
- Barlage, M. J., Richards, P. L., Sousounis, P. J. & Brenner, A. J. (2002). Impacts of climate change and land use change on runoff from a Great Lakes watershed. *Journal of Great Lakes Research*, 28, 568-82.
- Beniston, (2009) Trends in joint quantiles of temperature and precipitation in Europe since 1901 and projected for 2100. *Geophysical Research Letters*, Volume 36, Issue 7, 16 April 2009.
- Beniston, Markus Stoffel, Margot Hill, (2011). Impacts of climatic change on water and natural hazards in the Alps: Can current water governance cope with future challenges? Examples from the European “ACQWA” project. Vol. 14, issue 7, Pages 734-743.
- Berger T., Coucletis H., Manson M.S. and Parker C.D. (2001). Introduction and conceptual overview. Report and review of International Workshop. October 4-7 California USA.
- Bertoni, J.C., Tucci, C.E. and Clarke, R.T., (1992). Perkiraan banjir setiap waktu berbasis curah hujan. *J. Hydrol.*, 131:313-339.
- Biggs, E. M. & Atkinson, P. M. (2010). A characterisation of climate variability and trends in hydrological extremes in the Severn Uplands. *International Journal of Climatology*, 9999, n/a.
- BLO schl dan Zehe, (2005); Blöschl, G., Zehe, E., 2005. On hydrological predictability. *Hydrol. Process.* 19, 3923–3929.
- Boman, B., Wilson, C., Jennings, M., Shukla, S., (2018). Detention/Retention for Citrus Stormwater Management. UF/IFAS Extension.
- Borga et al., 2008. Flash floods : Observations and analysis of hydro-meteorological controls. *Journal of Hydrology* (2010).

- Boyd, C.E.(1990). Water Quality in Ponds for Aquaculture.Birmingham Publishing Co. Birmingham, Alabama, 482 pp.
- Bronsveld K.Huizing.H. and Omakupt M. (1994). Improving land evaluation and land use planning.ITC Journal 4, 359-365.
- Brown. A. dan M. D. Matlock, (2011). A Review of Water Scarcity Indices and Methodologies, The Sustainability Consortium, University of Arkansas.
- Brunner, Gary W. and Mark E. Forest, (2002). Simulasi Aliran Tidak Tetap Dengan HEC-RAS - Truckee River, Konferensi Bersama Interagensi Federal, April 2002, Las Vegas, NV.
- Burrough P.A. (1996). Principles of Geographical Systems for Land Resources Assesment.Oxford University Press.New York.
- Butler, D., Digman, C.J., Makropoulos, C., Davies, J.W., (2018). Urban Drainage, Fourth Edition. CRC Press, Taylor & Francis Group.
- California Department of Transportation. (2001) ” Highway Design Manual, 2001 : 810,” California: Caltrans
- Chaerul M, Marbun J, Destiarti L, Armus R, Marzuki I, NNPS R I N, Mohamad E, Widodo D, Tumpu M, Tamim T, and others (2021) Pengantar Teknik Lingkungan (Yayasan Kita Menulis) Online: <https://books.google.co.id/books?id=-Tk4EAAQAQBAJ>
- Chapman, T. G. (1970). Optimization of a rainfall-runoff model for an arid zone catchment. In: Symposium on the Results of Research on Representative and Experimental Basins (Wellington, 1970), vol. 1, 126-144. IAHS Pub!. no. 96.
- Chapra, Steven C. (1997). Surface Water Quality Modelling.The McGraw Hill Companies International Editions.Singapore.
- Charles Perrin, Claude Michel, Vazken Andreassian, (2003). Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. Volume 279, Issues 1-4, 25 August 2003, pages 275-289.
- Chaturvedi,M.C., Water Resources Systems Planning and Management, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.
- Chen J.G. Peng. H.Chunyang, L. Wei, T. Masayuki, and S. Peijun. (2002) Assessment of the urban development plan of Beijing by using a CA-based

- urban growth model. *International Journal of Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 68 (10) 1063-1073
- Chow, V. T. (1988) "Applied Hydrology," Singapore: McCraw-Hill Book Co.
- Chow, V.T. (1964). *Buku Pegangan Hidrologi Terapan*. McGraw-Hill Book Company, New York.
- Claude E.Boyd, C.Wesley Wood, Philip L. Chaney, Julio F. Queiroz. (2010). *Role of aquaculture pond sediments in sequestration of annual global carbon emissions*. Elseiver Ltd.
- Collier, C., (2007). Peramalan banjir bandang: apa saja batas prediktabilitasnya? *Quart. J. Roy. Meteorol. Soc.* 133 (622A), 3–23.
- Crawford, N. H., and R. K. Linsley, (1966). *Digital simulation in hydrology: Stanford Watershed Model IV*, Dep. of Civ. Eng. Rep. 39, Stanford Univ., Stanford, California, USA.
- Crooks, S. & Davies, H. (2001). Assessment of land use change in the thames catchment and its effect on the flood regime of the river. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, 26, 583-591.
- CSIRO Atmospheric Research (2003). *Cellular Automata : some source material*. [www.csiro.au/complex system](http://www.csiro.au/complex%20system).
- Dahlan E N, P R and Rusdiana O (2014) *Pemanfaatan Sumber Daya Air di Sub DAS Lubuk Paraku Sumatera Barat Media Konservasi* 19 Online: <http://journal.ipb.ac.id/index.php/konservasi/article/view/12830/9726>
- Davide Luciano De Luca et.al. (2010). *Model matematika untuk sistem peringatan dini*. IAHS Publ. 340, 2010, hal. 485 - 495.
- Davis, M.L. and Cornwell, D.A. (1991). *Introduction to Environmental Engineering*. Second Edition. Mc-Graw-Hill. Inc, New York.
- Departemen Pekerjaan Umum, RSNi M-2002. "Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Urugan".
- Departemen Pekerjaan Umum. (1989) "SK SNI M-18-1989-F: Metode Perhitungan Debit Banjir," Bandung: Yayasan LPMB.

- DeVries and Hromadka, (1993). Computer Model for Surface Water. Water Resources Center University of California Davis. Book Chapter 21, page 21.1 – 21.37.
- Downing J.A., Prairie Y.T. & Cole J.J. et al. (2006). The global abundance and size distribution of lakes, ponds, and impoundments. *Limnology and Oceanography*, 51,2388–2397.
- E. Todini, (2007). Hydrological Catchment Modelling past, present and future. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11(1), 468-482.
- E. Toth, A. Montanari and Brath, (1999). Real Time Flood Forecasting via Combined Use of Conceptual and Stochastic Models. *Phys. Earth (B)*, Vol. 24, No. 7, pp. 793-798.
- E. Toth. A. Brath, A. Montanari, (2000). Perbandingan model prediksi curah hujan jangka pendek untuk peramalan banjir waktu nyata. *Jurnal Hidrologi* 239(2000) 132-147.
- Edward dan Tarigan,M.S. (2003). Pengaruh Musim terhadap Fluktuasi Kadar Fosfat dan Nitrat di Laut Banda. *Makara, Sains*.7,(2), 82-89.
- Effendi Hefni, (2003). Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan, Kanisius.Yogyakarta.
- Eldrandaly et al, (2003). Expert Systems, GIS, and Spatial Decision Making : Practices and New Trends.Nova Science Publishers, Inc.
- FAO. (1993). Guidelines for land use planning.FAO development series 1. Food and Agriculture Organisation of the United Nations.Rome.
- Fardiaz, S. (1992). Mikrobiologi Pangan I. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Farni, E. A. & I. (2018) ‘Poli Rekayasa’, Poli Rekayasa, 14(1).
- Fian Syauqi, Sigit Sutikno, A. S. (2016) ‘Model Hidrologi Untuk Analisis Ketersediaan Air Di Daerah Aliran Sungai (DAS) Tapung Kiri Menggunakan Data Satelit’, *Jurnal Online Mahasiswa*, 3(2), p. 12. Available at: <https://jom.unri.ac.id/index.php/JOMFTEKNIK/article/view/10556>.
- Gao Q and Sun Y (2016) Changes in water vapor transport during the Meiyu season after 2000 and their relationship with the Indian ocean SST and Pacific-Japan pattern *Dynamics of Atmospheres and Oceans* 76 141–53

- Georgakakos dan Hudlow, (1984). Sistem prediksi banjir bandang, Laboratorium Penelitian Hidrologi, NWS, Noaa. Simposium Hidrologi Tropis; San Yuan, Puerto Rico, Mei 5-8, 1985 .
- Ginting, Perdana. (2007). Sistem Pengelolaan Lingkungan dan Limbah Industri, Cetakan Pertama. Bandung: Yrama Widya.
- Grigg, Neil. dan Fontane, G. Darell. (2000) “Infrastructure Systems Management and Optimization, International Seminar Paradigm and Strategy of Infrastructure Management,” Civil Engineering Department Diponegoro University.
- Groisman et al., (2005); Flash Flood Forecasting, Warning and Risk Management, Environmental Science & Policy, Volume 14, Issue 7, November 2011, Pages 834-844.
- Guo, J.C.Y., (2017). Urban flood mitigation and stormwater management. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL.
- Harlina S, Armus R and usman usman 2019 Analisis Regresi Linier Dalam Prediksi Kepadatan Hujan Data Suhu Permukaan Laut Dan Pertumbuhan Klorofil Sensitif 771–7
- Harto, S. (1993) Analisis Hidrologi. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Hatmoko M. Waluyo, dkk. (2012), Neraca Ketersediaan dan Kebutuhan Air pada Wilayah Sungai di Indonesia, Pusat Litbang Sumber Daya Air.
- Hicks, F.E. and T. Peacock. (2005). Kesesuaian HEC-RAS untuk Alur Banjir. Jurnal Sumber Daya Air Kanada. Vol. 30(2): 159-174. Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, University of Alberta, Edmonton.
- HR Wallingford, (2003). Handbook for the Assessment of Catchment Water Demand and Use, Department for International Development (DFID), United Kingdom.
- Huntington, Thomas G. (2006) Bukti untuk intensifikasi siklus air global: Tinjauan dan sintesis. Jurnal Hidrologi. Volume 319, Issues 1–4, 15 March, hal. 83-95.
- Imam Anshory, (2010), Konsepsi Pengelolaan Sumber Daya Air Menyeluruh dan Terpadu,; ww.dsdan.go.id

- Indra Kusuma Saria, Lily Montarcih Limantara, & D. P. (2011) 'Analisa Ketersediaan Dan Kebutuhan Air Pada Das Sampean', *Jurnal Teknik Pengairan*, 2(1), pp. 29–41.
- Kartasapoetra, A.G. (1991) "Teknologi Pengairan Pertanian Irigasi," Jakarta: Bumi Aksara.
- KemenPUPR (2015) 'Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat RI No. 27/PRT/M/2015 Tentang Bendungan'. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat RI.
- Kementerian Kehutanan R.I., (2010). Tata Cara Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Hutan dan Lahan.
- Kimpraswil (2004) 'Keputusan Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah Nomor : 360/KPTS/M/2004 Tentang Pedoman Konstruksi dan Bangunan Pd T-25-2004-A (Pengoperasian Waduk Tunggal)'. Jakarta: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- Kleinen dan Petschel- Held, (2007); Beniston et al., 2011). Integrated assessment of changes in flooding probabilities due to climate change. *Springer Science + Bussines Media : Climate Change* (2007) 81:283-312, 19 January 2007.
- Kodoatie, J Robert, Sjarief Roestam, (2010), *Tata Ruang Air*, Penerbit ANDI Yogyakarta
- Lee, R. (1988) "Hidrologi Hutan," Gadjah Mada University Press.
- Linsley K. Ray, Franzini B. Joseph, Sasongko, Djoko. (1996) *Teknik Sumber Daya Air*, Penerbit Erlangga.
- Linsley, R. K. and Franzini, J. B. (1995) *Teknik Sumber Daya Air*, Jilid 3, Edisi Ketiga, Alih Bahasa Djoko Sasongko. Jakarta: Erlangga.
- Linsley, R. K. Kohler, M. A. dan Paulhus, J. L. H. (1983) "Hydrology for Enginers (Third Edition)," New York: Mc. Graw Hill Book Company.
- Loebis, J. (1992) "Banjir Rencana Untuk Bangunan Air," Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta: Chandy Buana Kharisma.
- Manoj K. Jain, Umesh C. Kothiyari, Kittur G Ranga Raju. (2004) A GIS based distributed rainfall-runoff model. *Journal of Hydrology* : 299107-135.

- Mansida, A. et al. (2021) 'Analysis of infiltration and surface runoff using rainfall simulator with variation of rain intensity and vegetation', in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, p. 12108.
- Marchi et al. (2010) Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management. *Journal of Hydrology* 394 (2010) pages 118-133.
- Maryono, A. (2018) Reformasi Pengelolaan Sumberdaya Air. UGM PRESS.
- Mawardi, I., (2008). Upaya Meningkatkan Daya Dukung Sumberdaya Air Pulau Jawa, *Jurnal Teknik Lingkungan*, Vol 9, No. 1, Jakarta.
- McKay, Kristi Ann. (1997). Alur Banjir Hidraulik dengan Data Saluran Minimal. *Teknik Sumber Daya Air*, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan. Admonton, Alberta.
- Mizzanuddin Sitompul & Rizki Efrida (2018) 'Evaluasi Ketersediaan Air Das Deli Terhadap Kebutuhan Air (Water Balanced)', *Jurnal Rekayasa Sipil*, 14(2), pp. 121–129. Available at: <http://jrs.ft.unand.ac.id/index.php/jrs/article/view/169/128>.
- Montarich, L. (2009) "Hidrologi TSA-2," Malang: CV. Asrori.
- Moore, et al (2002), Accuracy of radar estimates for streamflow simulation. *Journal of Hydrology*, Volume 267, Issues 1-2, 1 October 2002, pages 26-39.
- Nasa, (2010). Peta Citra SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) lembar Pulau Ambon Skala 1:20.000.
- Nugraha N and Aditya D (2013) Pemetaan Bawah Permukaan Dan Analisis Persebaran Reservoir Pada Formasi Talangakar Area Lapangan Raraswari Cekungan Jawa Barat Utara. Studi Kasus : Batupasir Taf-3 Oligosen Akhir *Geological Engineering E-Journal* Vol 5, No 1 (2013): Volume 5, Nomor 1, Tahun 2013 Online: <http://>
- Odum H T, Odum B and Howard 2003 Concepts and methods of ecological engineering *Ecological Engineering* 20 339–61
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum nomor 11A /PRT/M/2006 tentang Kriteria dan Penetapan Wilayah Sungai Puslitbang Sumber Daya Air, (dari berbagai tahun). Publikasi Data Debit Aliran Sungai.

- Peraturan Menteri PU No.72/KPTS/1977 “Tentang Keamanan Bendungan,”
Peraturan Pemerintah RI No. 37 Tahun 2010 “Tentang Bendungan,” hal. 61–64.
- Pirzan, Marsabuana A, Masak P and Rani P (2007) Hubungan Produktivitas Tambak Dengan Keragaman Fitoplankton Di Sulawesi Selatan Pusat Riset Perikanan, Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan Vol 2, No 2 (2007): (Agustus 2007) Online: [http:](http://)
- Ponce, Victor Miguel. (1989) “Engineering Hydrology: Principles and Practices,” New Jersey: Prentice Hall.
- Pusdiklat SDA dan Konstruksi (2017) ‘Modul Operasi Waduk’. Bandung: Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi KemenPUPR.
- Rahayu S, Widodo RH, van Noordwijk M, Suryadi I dan Verbist B. (2009). Monitoring air di daerah aliran sungai. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre - Southeast Asia Regional Office. 104 p.
- Rajib Shaw (2006), Critical Issues of Community Based Flood Mitigation. Journal of Science & Culture Special Issue on Flood Disaster Risk Reduction in Asia, Jan 2006, Vol. 72, No. 1-2.
- Ramadani, M. N. (2012) Analisa Debit Air Menggunakan Metode Log Person Type Iii Dan Metode Gumbel Berbasis Sistem Informasi Geografi (Sig) Di Sub Das Martapura, Analisa Debit Air Menggunakan Metode Log Person Type Iii Dan Metode Gumbel Berbasis Sistem Informasi Geografi (Sig) Di Sub Das Martapura. Available at: <https://media.neliti.com/media/publications/270056-analisa-debit-air-menggunakan-metode-log-8c722480.pdf>.
- Rockwood (1968), Application of Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation, SSARR Program to Lower Mekong River.
- Saidah, H., Nur, N.K., Rangan, P.R., Mukrim, M.I., Tamrin, T., Tumpu, M., Nanda, A.R., Jamal, M., Mansida, A., Sindagamanik, F.D., (2021). Drainase Perkotaan. Yayasan Kita Menulis.
- Sani, Asrul. (2008) “Analisis Kapasitas Waduk dengan Metode Ripple dan Behaviour,” Studi Kasus Pada Waduk Mamak Sumbawa. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

- Sarma Y V B, Rao E P R, Saji P K and Sarma V V S S (1999) Hydrography and circulation of the bay of Bengal during withdrawal phase of the southwest Monsoon *Oceanologica Acta* 22 453–71
- Sarono, E.W. & Asmoro, W. (2007) “Evaluasi Kinerja Waduk Wadaslintang,” Tugas Akhir Jurusan Teknis Sipil, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
- Sidharta, S. K. (1997) *Irigasi dan Bangunan Air*. Jakarta: Penerbit GUNADARMA.
- Soemarto, C. D. (1999) *Hidrologi Teknik*. Airlangga, Jakarta.
- Soemarto. (1987). *Teknik Hidrolik*. Penerbit Bisnis Nasional, Surabaya.
- Soemarto. (1999). *Teknik Hidrolik vol 2* . Penerbit Bisnis Nasional, Surabaya.
- Soewarno. (1995). *Penerapan Metode Statistik Vol 1*. Penerbit Nova, Bandung.
- Sosrodarsono, S. dan K. Takeda. (1993) “Hidrologi Untuk Pengairan,” Bandung: PT. Pradya Paramita
- Sosrodarsono, S., and Tominaga, M. (1985). *Rehabilitasi dan Pengelolaan Sungai*. Pradnta Paramita, Jakarta.
- Subarkah, Imam. (1980) ”Hidrologi Untuk Perencanaan Bangunann Air,” Bendungan: Idea Dharma.
- Sugiyanto, R. J. K. & (2002) *Banjir: Beberapa Penyebab dan Metode Pengendaliannya dalam Perspektif Lingkungan*. Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Sullivan, C A, J R Meigh, A M Giacomello, T Fediw, P Lawrence, M Samad, S Mlote, et al. (2003). “The Water Poverty Index: Development and application at the community scale.” *Natural Resources Forum* 27: 189-199.
- Suripin (2002) *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*. Andi, Jogjakarta.
- Suripin, (2004). *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*. Penerbit ANDI Yogyakarta.
- Suripin. (2004) “Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan,” Yogyakarta: Andi.

- Suripin. (2004). Sistem drainase kota yang berkelanjutan. Andi Offset, Yogyakarta.
- susilastuti D (2009) Model Hubungan Penduduk Dan Konversi Lahan Dengan Ketersediaan Air Bersih Untuk Perencanaan Pengelolaan Sumber Daya Air Melalui Metode System Dynamics Di Kabupaten Bekasi Environmental Research Center (PPLH) of Udayana University Vol 9 No 2 (2009) Online: <https://>
- Suyono Sosrodarsono & Kensaku Takeda (2003) Hidrologi Untuk Pengairan. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Suyono Sosrodarsono Ir, Kensaku Takeda, Pradnya Paramita (1976) "Bendungan type urugan".
- Suyono, S. (2006) "Hidrologi Untuk Pengairan," Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Syafri I and Ekarina N (2013) Penyusunan Pola Pengelolaan Sumber Daya Air vol 1 (Surakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air)
- Tahir, M.P., (2011). Analisis tingkat kekritisian lahan dan arahan penggunaannya di DAS Wai Ruhu Kota Ambon. Tesis Program Pasca Sarjana Unpatti Ambon.
- Talakua, S,M, (1991). Studi kerusakan tanah melalui pendugaan erosi potensial dengan metode USLE di DAS Wai Ruhu Kecamatan Sirimau Kota Ambon. Skripsi Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian Unpatti.
- Tikno, Sunu. (2002). Aplikasi dengan metode pemetaan banjir untuk sistem peringatan dini banjir sungai ciliwung. Jurnal ilmu pengetahuan dan teknologi peramalan cuaca Vol 3, No 1.
- Undang Undang Nomor 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air
- Wanielista, M. P. (1990) "Hydrology and Water Quality Control," Florida USA: John Wiley & Sons.
- Wardoyo S T H (1981) Kriteria kualitas air untuk keperluan pertanian dan perikanan. (Bogor: IPB)
- WMO, (2008a). Guide to Hydrological Practices Volume I, Hydrology – From Measurement to Hydrological Information, WMO-No. 168, Geneva.

-
- WMO, (2008b). Guide to Hydrological Practices Volume II, Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices, WMO-No. 168, Geneva.
- Woods Ballard, B., Wilson, S., Udare-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., Kellagher, R., (2016). The SuDS manual. CIRIA, London.
- World Resources Institute, (2011). The Earth Trends Information Guide for Water Resources,

Biodata Penulis



Dr. Rakhmad Armus, ST., M.Si, lahir di Enrekang, Sulawesi Selatan. Beliau menyelesaikan pendidikan Ahli Madya pada Jurusan Teknik Kimia Politeknik Universitas Hasanuddin pada 1995, melanjutkan pendidikan sarjana dari Jurusan Teknik Kimia Universitas "45" Makassar. Pernah bekerja di Industri Plastik sebagai quality control (1995-1998), pernah bekerja pada Industri Pengolahan Air minum (1998-2004), pernah bekerja pada industri

tambang emas sebagai quality controll (2010). Beliau menyelesaikan program Magister bidang Teknik lingkungan Universitas Hasanuddin (2008-2010). Sebagai dosen tamu dalam bidang laboratorium limbah Industri dan laboratorium Kimia fisika pada jurusan teknik kimia Politeknik Negeri Ujung Pandang. Saat ini sebagai Dosen tamu pengampu mata kuliah Instalasi Pengolahan Air Limbah di Universitas Fajar Makassar (2013-2020), beliau juga telah menyelesaikan studi pada program doktor ilmu Kimia di Universitas Hasanuddin (2020). Saat ini beliau bekerja sebagai peneliti dan dosen di Stitek Nusindo Makassar.



Ir. Miswar Tumpu, ST., MT., CST lahir di Ujung Pandang pada tanggal 23 Februari 1995. Menempuh pendidikan S-1 Teknik Sipil, di Universitas Hasanuddin Makassar, selesai tahun 2016. Gelar S-2 (MT) Teknik Sipil diperoleh pada tahun 2018 di Universitas Hasanuddin, pada bidang konsentrasi Struktur Material. Pada tahun 2019, mengikuti studi profesi Insinyur (Ir) di Universitas Hasanuddin Makassar. Tahun 2020 mengikuti pelatihan sebagai Construction Safety Trainer (CST) melalui Balai Jasa Konstruksi Wilayah VI Provinsi Sulawesi Selatan.

Tahun 2019 – sekarang, sementara melanjutkan studi S-3 ilmu teknik sipil di Universitas Hasanuddin. Pada tahun 2019 bergabung

menjadi Dosen Universitas Fajar. Aktivitas publikasi ilmiah baik nasional maupun internasional terindeks scopus dimulai sejak tahun 2018.



Ir. Tamrin Tamim, S.Pd., ST., MT., CP.NLP lahir di Waole pada tanggal 14 Mei 1973. Menempuh pendidikan S-1 Pendidikan Ekonomi, di Universitas Dayanu Ikhsanuddin, Baubau selesai tahun 1998. Kemudian melanjutkan Sarjana Teknik Arsitektur pada tahun 2006 di Universitas Borobudur Jakarta. Gelar S-2 (MT) Teknik Perencanaan Prasarana diperoleh pada tahun 2017 di Fakultas Sekolah Pascasarjana, Universitas Hasanuddin, Makassar. Tahun 2020 mengikuti diklat sebagai Neo Neuro Linguistic Programming (NNLP) melalui Lembaga Pengembangan & Konsultansi Nasional-LPKN.

Pada tahun 2020, mengikuti studi profesi Insinyur (Ir) di Universitas Hasanuddin Makassar. Tahun 2019 – sekarang, sementara melanjutkan studi S-3 ilmu teknik sipil di Universitas Hasanuddin dengan bidang konsentrasi keairan. Karirnya dimulai Pada tahun 1998 – sekarang sebagai Engineer maupun Team Leader di berbagai macam proyek yang berkaitan dengan Air baku dan Air bersih. Saat ini dipercaya sebagai Direktur PDAM Kabupaten Buton Selatan.



Nenny lahir di Makassar, pada 16 Maret 1968. Anak dari pasangan Abd. Karim (ayah) dan Hj. Kursiah (ibu). Dosen program studi Teknik Pengairan, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Jenjang pendidikan Formal (SD, SMP, SMA) dan melanjutkan ke Perguruan Tinggi (S1, S2 dan S3) ditempuh di Makassar. Bekerja sebagai staf pengajar pada Program Studi Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada tahun 1997 sampai sekarang. Menjabat sebagai Pembantu Dekan II, 2 (dua) periode, yaitu pada tahun 2004 – 2008 dan 2008 –

2012.



Nur Azizah Affandy, ST., MT, lahir di Lamongan pada tanggal 05 Desember 1979. Penulis menyelesaikan S1–Sarjana Teknik (S.T) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang (UNISMA) tahun 2002, S2-Magister Teknik (M.T.) pada Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS Surabaya tahun 2011. Saat ini penulis sedang menempuh Doctoral di ITS Surabaya dengan jurusan Teknik Sipil. Mulai menekuni karier sebagai dosen sejak tahun 2003 kemudian diangkat menjadi dosen dpk di Universitas Islam lamongan sejak tahun 2005.

Mata kuliah yang diampu Hidrolika, Bangunan Air, Teknik Pengendalian Banjir dan Pengelolaan Manajemen Sumber Daya Air. Selain mengajar penulis juga menjabat sebagai Editor in Chief pada jurnal CIVILLA Fakultas Teknik UNISLA. Organisasi yang diikuti HATHI, PII, PERTALINDO, HEBII IATPI dan IWRA.



Muhammad Amin Syam lahir di Pangkep, pada tanggal 24 Desember 1988. Ia tercatat sebagai lulusan Universitas Hasanuddin (S1) dan Universitas Gadjah Mada (S2). Sekarang berkarir sebagai dosen di Program Studi Teknik Geologi Universitas Mulawarman, Samarinda, Kalimantan Timur dan aktif melakukan Tri Dharma Perguruan Tinggi. Hidrologi, Hidrogeologi, dan Sistem Informasi Geografis adalah bidang yang ditekuni penulis sampai saat ini.



Fauzan Hamdi, S.T., M.T., lahir di Makassar, pada 30 April 1975. Ia tercatat sebagai lulusan S1 Universitas Islam Indonesia, dan lulusan S2 di Universitas Muslim Indonesia. Pria yang kerap disapa Fauzan ini adalah anak dari pasangan Drs. S. Musa Al-Mahdi (ayah/alm) dan Hj. St. Muthiah Djamal (ibu). Fauzan selama ini mengabdikan diri di Universitas Muhammadiyah Makassar dan Ia kerap wara-wiri di dunia konstruksi keairan Indonesia.



Fathur Rahman Rustan, lahir di Kendari, tanggal 25 Maret 1985. Tercatat sebagai lulusan Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Halu Oleo Kendari di tahun 2009. Menyelesaikan gelar Magister Teknik Sipil di bidang Manajemen Rekayasa dan Sumber Air Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya tahun 2013. Memperoleh gelar keprofesian Insinyur dari Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur Universitas Hasanuddin Makassar pada tahun 2020. Pria yang kerap kali disapa Koh Ahong ini terlahir dari pasangan Ahmad S. Rustan (ayah) dan St. Mulyani M. (ibu). Pengalaman mengajarnya dimulai sejak tahun 2014 di Universitas Halu Oleo sebagai dosen tetap Non-PNS, dan tahun 2019 terangkat menjadi dosen tetap di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Sembilanbelas November Kolaka. Saat ini penulis mengampu berbagai mata kuliah bidang keairan diantaranya Rekayasa Hidrologi, Sistem dan Bangunan Irigasi, Sistem dan Bangunan Drainase, serta Mekanika Fluida dan Hidrolika.



Ir. Muhammad Ihsan Mukrim, ST., M.Eng., M.Sc. Lahir di Watampone, 20 Pebruari 1977. Menyelesaikan pendidikan dasar dan menengah di Watampone dan memperoleh gelar sarjana teknik sipil (2001) dan profesi insinyur (2019) dari Universitas Hasanuddin serta magister (S2) dari Universitas Gadjah Mada dan Asian Institute of Technology, Thailand (2010). Mulai bekerja tahun 1998, sebagai asisten Laboratorium Hidraulika dan

Ilmu Ukur Tanah pada Departemen Teknik Sipil Unhas, hingga 2002. Sejak 2001, bekerja pada beberapa perusahaan konsultan dan kontraktor, pada instansi pemerintah (Dinas Bina Marga dan Dinas Pekerjaan Umum Kota Makassar, 2004-2014) serta pada beberapa lembaga pendidikan tinggi (Universitas Fajar, Institut Sains dan Teknologi Pembangunan Indonesia). Pernah menjabat sebagai Kepala Seksi Pembangunan Bangunan Air dan Kepala Seksi Penelitian dan Pengawasan Bangunan Air, Dinas PU Makassar, tahun 2013-2014. Sejak akhir 2015, bekerja sebagai Dosen DPK pada Prodi Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknik Baramuli.



Amrullah Mansida, lahir di Enrekang tanggal 13 Oktober 1969; Lulus S-1 pada program Studi Teknik Pengairan Unismuh Makassar tahun 1996. Melanjutkan Studi pada Pasca Sarjana S-2 Unhas Program Studi teknik Sipil dan lulus Tahun 2011, Tahun 2018 melanjutkan Studi dan sedang dalam tahap penyelesaian Studi Pasca Sarjana S-3 pada Program Studi Teknik Sipil Unhas. Sejak tahun 1996, penulis aktif pada profesi jasa konstruksi sebagai tenaga Ahli Konsultan Sumber Daya Air pada perusahaan swasta multinasional. Telah menulis

beberapa journal internasional dan nasional serta konferensi (prosiding) internasional dan nasional. Pada tahun 2004 aktif menjadi staf pengajar pada almamater program Studi Teknik Pengairan Unismuh Makassar sampai sekarang.

Pengalaman mengajar penulis sebagai mengajar matakuliah Hidrologi Teknik Dasar, Hidrologi Terapan, Marfologi Sungai, Teknik Sungai dan Pengembangan Sumber Daya Air sampai sekarang. Pengalaman menulis telah

menyelesaikan bahan ajar Teknik Sungai dan Morfologi Sungai, Drainase Perkotaan, dan Insinyur Indonesia.

PENGEMBANGAN SUMBER DAYA AIR

Pembaca akan diajak untuk dapat memahami dan mengerti konsep-konsep awal kebijakan pemerintah dalam mengalokasikan tapak dasar survey sumber daya air yang ada di Indonesia guna memaksimalkan kebutuhan akan air melalui investigasi sumber daya air. Di dalam buku ini diulas dengan sangat gamblang masalah kebutuhan air dengan membangun pemikiran pembaca mengenai prasarana yang layak sebagai dasar dari infrastruktur akan konsep kebutuhan air (Water Demand) di setiap rentang wilayah dengan mengartikulasikan wilayah topografi daerah pengaliran sungai (DPS) sebagai daerah tangkapan hujan. Buku ini dibahas pula mengenai sistem perencanaan penampung air yang luas sebagai wadah yang beroperasi secara multifungsi yang mencakup pemodelan penampung hujan, sistem Pengembangan sumber air dan sebagai sumber energi baik potensial maupun kinetik yang terpaat dalam pengelolaan sumber daya air secara estetis dan alami sebagai wujud nyata mendukung keberlanjutan lingkungan alam dalam koridor pelestarian sumber daya air yang sempurna.

Secara rinci buku ini membahas:

Bab 1 Pendahuluan Pengembangan Sumber Daya Air

Bab 2 Survey dan Investigation Proyek SDA

Bab 3 Daerah Pengaliran Sungai (DPS) atau River Basin Komponen Water Infrastructure

Bab 4 Kebutuhan Air (Water Demand)

Bab 5 Kajian Rekayasa Hidrologi Ketersediaan Air Daerah Pengaliran Sungai (DPS)

Bab 6 Penerapan Pemodelan Hujan dan Aliran Permukaan Dengan Metode Rasional

Bab 7 Sistem Perencanaan Waduk Dalam Rangka Pemanfaatan Potensi SDA Untuk Kebutuhan Air Baku, Energi Listrik, dan Irigasi

Bab 8 Sistem Pengelolaan Waduk Tunggal Multi Tujuan Dengan Teknik Optimasi

Bab 9 Perencanaan Detention Pond Untuk Pengendalian Banjir

Bab 10 Pelestarian Sumber Daya Air



YAYASAN KITA MENULIS
press@kitamenulis.id
www.kitamenulis.id

ISBN 978-623-342-214-7

