



SURAT TUGAS
Nomor: 066/DFT/UKM/III/2023

Yang bertanda tangan di bawah ini menugaskan kepada:

Nama Penulis Tunggal : Robby Yussac Tallar, S.T., M.T., Dipl.IWRM., Ph.D.
NIK/NIDN: 210292/0410027903
Unit Kerja: Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik - Universitas Kristen Maranatha
Program Skema: Buku Ajar
Judul: Menulis pada Buku ISBN 978-623-234-284-2 judul "Dasar – dasar Hidrologi Terapan" (Ideas Publishing)
Waktu Pelaksanaan: 6 bulan (1 Januari 2023 s.d 30 Juni 2023)

Demikian surat tugas ini dibuat agar dapat dilaksanakan dengan penuh rasa tanggung jawab. Tuhan memberkati.

Bandung, 14 Maret 2023

Dekan Fakultas Teknik

(Dr. Yosafat Aji Pranata, S.T, M.T.)

NIK. 210293 IK

Tembusan : Yth, Kaprodi Teknik Sipil – Fakultas Teknik UK. Maranatha

(Surat Tugas)

Visi FT: Fakultas Teknik Universitas Kristen Maranatha dikenal secara nasional maupun internasional sebagai lembaga pendidikan keteknikan yang terkemuka, aktif berkontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta unggul dalam pengelolaannya berdasarkan kasih dan keteladanan Yesus Kristus.

Misi FT: Menyelenggarakan pendidikan, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat dengan budaya cendekia serta merespon tantangan kemajuan teknologi dalam menyiapkan sarjana teknik yang unggul dalam profesinya dengan keterampilan interpersonal yang tinggi

Dasar-dasar
Hidrologi
Terapan

Perkembangan suatu wilayah menyebabkan pergantian fungsi lahan dari lahan berjenis tembus air (pervious area) atau lahan terbuka hijau menjadi lahan kedap air atau tidak tembus air (impervious area) mengakibatkan keseimbangan air pada salah satu proses hidrologi menjadi terganggu, sebagai contoh curah hujan tinggi dan jatuh ke suatu kawasan DAS yang memiliki wilayah kedap air yang tinggi maka jumlah air limpasan lebih besar daripada volume air yang terinfiltasi masuk ke tanah. Hal ini tentunya berdampak negatif yaitu permasalahan banjir yang akan terjadi. Untuk mempertahankan siklus hidrologis pada wilayah tersebut diterapkan komponen-komponen pendukung seperti teknologi pemanenan air hujan maupun teknologi lainnya yang mampu menginfiltirasi air hujan seperti sumur resapan, fasilitas bioretensi, teknologi biopori, dan sebagainya. Konsep berkelanjutan bukan berarti tidak ada pembangunan sama sekali dalam suatu wilayah melainkan tetap memikirkan keberlangsungan fungsi hidrologis yang bekerja ada wilayah tersebut. Dalam buku ini mengupas analisis hidrologi dalam konsep berkelanjutan lebih menekankan pada suatu upaya atau mitigasi mengurangi dampak negatif akibat dari perubahan yang terjadi.

ideas
PUBLISHING

Alamat: Jalan Ir. Joesef Dalle, No. 110 Kota Gorontalo 96128
Pos-el: infoideaspublishing@gmail.com
Website: www.ideaspublishing.co.id

ISBN 978-623-234-284-2



Robby Yussac Tallar

Dasar-dasar
Hidrologi
Terapan

ideas
PUBLISHING

Robby Yussac Tallar

ideas
PUBLISHING

Dasar-dasar
Hidrologi
Terapan



Editor
Rosida Tiurma Manurung

Dasar-Dasar Hidrologi Terapan

Dasar-Dasar Hidrologi Terapan

Robby Yussac Tallar

i deas
PUBLISHING

IP.014.03.2023

Dasar-Dasar Hidrologi Terapan

Robby Yussac Tallar

Pertama kali diterbitkan pada Maret 2023 Oleh

Ideas Publishing

Alamat: Jalan Ir. Joesoef Dalie No. 110

Kota Gorontalo

Surel: infoideaspublishing@gmail.com Anggota

IKAPI No. 001/GORONTALO/14

Tersedia di www.ideaspublishing.co.id

ISBN: 978-623-234-284-2

Penyunting : Rosida Tiurma Manurung

Penata Letak : Chairunnisa Gandura

Desainer Sampul : Ilham Djafar

Dilarang mengutip, memperbanyak, atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku dalam bentuk apa pun, baik secara elektronik dan mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, maupun dengan sistem penyimpanan lainnya tanpa izin tertulis dari penerbit.

Prakata

Ilmu Teknik Sipil secara luas telah diterapkan dalam berbagai bidang kehidupan. Ilmu Teknik Sipil pada dasarnya terbagi menjadi 2 bagian utama yaitu “Sipil Kering” dan “Sipil Basah”. Namun di masa sekarang tentunya perkembangan Ilmu Teknik Sipil saling terhubung antara bidang-bidang keilmuannya. Dewasa ini, salah satu bidang kekhususan dalam Teknik Sipil adalah Hidroteknik. Ilmu Sipil Hidroteknik mencakup berbagai ilmu yang terkait dengan keairan seperti Hidrologi Terapan. Oleh karena itu, penulis ingin berkontribusi lewat pengetahuan yang terkait dasar-dasar Hidrologi Terapan.

Tidak lupa penulis juga terkhusus berterima kasih kepada Vonny Gunawan, S.Si., M.S dan Leonel Adrian Triskanto yang telah membantu proses *editing* dan *formatting* selama proses pembuatan buku serta seluruh kolega dosen maupun mahasiswa. Buku ini merupakan buku perdana yang terkait dengan hidrologi sehingga penulis menerima setiap masukan maupun saran yang dapat meningkatkan kualitas dari buku ini. Terima kasih banyak atas perhatiannya.

Bandung, Februari 2023

Penulis,
Robby Yussac Tallar

Daftar Isi

Prakata.....	v
Daftar Gambar	ix
Daftar Tabel	xv
Bab 1	
Sejarah Ilmu Hidrologi	1
A. Neraca Air	3
B. Daerah Aliran Sungai (DAS)	5
C. Siklus Hidrologi.....	7
D. Dampak Urbanisasi pada Siklus Hidrologi	10
Bab 2	
Hidrologi	15
A. Pengertian Hidrologi.....	15
B. Ruang Lingkup Hidrologi	17
C. Distribusi Air pada Hidrologi.....	19
D. Komponen Hidrologi.....	22
Bab 3	
Presipitasi	27
A. Definisi Presipitasi	27
B. Jenis Hujan	29
C. Pengukuran Curah Hujan.....	31
Bab 4	
Analisis Data Hujan.....	41
A. Definisi Curah Hujan.....	41
B. Analisis Data Hujan.....	43
C. Data Hujan yang Hilang (<i>Missing Data</i>)	49
D. Jaringan Stasiun Hujan	51

Bab 5	
Hidrometri	57
A. Kegunaan Hidrometri	57
B. Pengukuran Muka Air	59
C. Pengukuran Debit Aliran	64
1. <i>Slope Area Method</i>	65
2. <i>Velocity Area Method</i>	69
Bab 6	
Analisis Frekuensi	
Curah Hujan Rencana	79
A. Analisis Frekuensi	81
B. Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi	90
Bab 7	
Debit Banjir Rencana.....	95
A. Metode Rasional.....	95
B. Metode <i>Haspers</i>	99
C. Metode <i>Der Weduwen</i>	100
D. Metode <i>Melchior</i>	101
Bab 8	
Peran Ilmu Hidrologi	
dalam Konsep Berkelanjutan.....	105
Glosarium.....	109
Daftar Pustaka	115
Indeks	121
Pelaku Perbukuan	123

Daftar Gambar

Gambar 1.1	Ilustrasi Batas DAS (sumber: Achmad Syarifudin, 2017)	6
Gambar 1.2	Siklus Hidrologi Tertutup (sumber: Kodoatie, et.al., 2012)	8
Gambar 1.3	Skema Konsep Hidrologi Terbuka (sumber: Kodoatie, et.al., 2012)	10
Gambar 1.4	Siklus Hidrologi Setelah Urbanisasi (sumber: Herjuna Rahman, 2008)	11
Gambar 1.5	Pengaruh Pembangunan pada Siklus Hidrologi (sumber: Robby Yussac Tallar)	11
Gambar 1.6	Ilustrasi Perubahan Limpasan Akibat Perubahan Lahan (sumber: Achmad Syarifudin, 2017)	13
Gambar 2.1	Proses Perjalanan Air dalam Siklus Hidrologi (sumber: Kodoatie, et.al., 2012)	20
Gambar 3.1	Distribusi Frekuensi Curah Hujan (sumber: Suyono Sosrodarsono, 2003)	32
Gambar 3.2	Peta Data Curah Hujan di Indonesia (sumber: Sumardi, 2009)	33

Gambar 3.3	Penakar Hujan Observasi (sumber: Kurniawan, A. 2020)	35
Gambar 3.4	Penakar Hujan Hellman (sumber: Kurniawan, A. 2020)	36
Gambar 3.5	Alat Ukur Hujan Otomatis Jenis Sifon (sumber: Salsaapabila dan Nugraheni, 2020)	37
Gambar 3.6	Alat pengukur curah hujan (<i>Bucket Rain Gauge dan Tipping Bucket</i>) (sumber: Salsaapabila dan Nugraheni, 2020)	38
Gambar 3.7	AWS dengan Sensor Tipping Bucket (sumber: Kurniawan, A. 2020)	39
Gambar 4.1	Metode Rata-Rata Aljabar (sumber: Rizka Arbaningrum, Hidrologi CIV-202: Curah Hujan Kawasan)	44
Gambar 4.2	Metode Poligon <i>Thiessen</i> (sumber: Rizka Arbaningrum, Hidrologi CIV-202: Curah Hujan Kawasan)	45
Gambar 4.3	Metode Isohyet (sumber: Hidrologi dan Neraca Air: Diklat Teknis Perencanaan Irigasi Tingkat Dasar)	47

Gambar 5.1	Kegiatan Hidrometri dan Kegunaan Data Hasil Pengukuran Hidrometri (sumber: Hidrologi: Data Hidrologi dan Survei Hidrometri)	58
Gambar 5.2	Papan Duga Air (<i>Peilschaal</i>) (sumber: Hidrologi: Data Hidrologi dan Survei Hidrometri)	60
Gambar 5.3	Papan Duga Air Bertingkat (sumber: Hidrologi: Data Hidrologi dan Survei Hidrometri)	61
Gambar 5.4	Sketsa Pos Duga Air (sumber: Hidrologi: Data Hidrologi dan Survei Hidrometri)	63
Gambar 5.5	Lokasi Stasiun Hidrometri (sumber: HIDROMETRI)	64
Gambar 5.6	Contoh Penentuan (sumber: Hidrologi dan Hidrogeologi Karst)	66
Gambar 5.7	Contoh Profil Melintang Sungai (sumber: Hidrologi dan Hidrogeologi Karst)	67
Gambar 5.8	Pengukuran Beda Tinggi Muka Air (sumber: Hidrologi dan Hidrogeologi Karst)	68
Gambar 5.9	Kondisi Dasar Sungai (sumber: Hidrologi dan Hidrogeologi Karst)	69

Gambar 5.10	Pengukuran Kecepatan Arus dengan <i>Velocity Head Rod</i> (sumber: Hidrologi: Data Hidrologi dan Survei Hidrometri)	71
Gambar 5.11	<i>Current Meter</i> (sumber: Hidrologi dan Hidrogeologi Karst)	72
Gambar 5.12	Distribusi Kecepatan Aliran Sungai (sumber: Hidrologi dan Hidrogeologi Karst)	72
Gambar 5.13	Contoh Distribusi Penentuan Titik Pengukuran Kecepatan Aliran pada Suatu Penampang Saluran (sumber: Hidrologi dan Hidrogeologi Karst)	73
Gambar 5.14	Cara Menghitung Luas Penampang Basah (sumber: Hidrologi dan Hidrogeologi Karst)	74
Gambar 5.15	Gambar Tipikal Pengukuran Debit dengan Pelampung (sumber: Hidrologi dan Hidrogeologi Karst)	75
Gambar 5.16	Sketsa Perhitungan Debit (sumber: Hidrologi dan Hidrogeologi Karst)	76

Gambar 5.17	Segmen Sungai untuk Pengukuran Debit Metode Apung (sumber: Hidrologi dan Hidrogeologi Karst)	77
Gambar 5.18	Tipe-Tipe Pelampung dan Penentuan Koefisien Pelampung (sumber: Hidrologi dan Hidrogeologi Karst)	77
Gambar 8.1	Contoh Penerapan Sungai Berkelanjutan di Wilayah Perkotaan (sumber: koleksi pribadi)	106

Daftar Tabel

Tabel 2.1	Alokasi Air dalam Bumi	19
Tabel 6.1	Contoh Pemilihan Jenis Sebaran	81
Tabel 6.2	Nilai Koefisien untuk Distribusi Normal	87
Tabel 6.3	Nilai Koefisien untuk Distribusi Log Normal	88
Tabel 7.1	Koefisien Aliran Limpasan Permukaan (C)	97

Bab 1

Sejarah Ilmu Hidrologi

Sejarah ilmu hidrologi dimulai dari suatu pengembangan awal ilmu pengetahuan terkait keairan berupa penerapan praktis di lapangan yang ditemukan di berbagai tempat di dunia sejak peradaban manusia seperti peninggalan sejarah berupa sumur-sumur purba di wilayah Jazirah Arab, sistem jaringan irigasi yang memiliki saluran-saluran di China maupun waduk air terbesar di dunia yang telah ditemukan di Mesir sekitar 4800 tahun yang lalu. Dalam perkembangannya, ilmu hidrologi sekitar abad 16 diawali oleh beberapa ilmuan, antara lain:

1. Konsep siklus hidrologi secara terinci melalui penyelidikan (proses infiltrasi maupun proses-proses lainnya) yang dilakukan oleh Leonardo da Vinci dan Bernard Palissy.
2. Konsep pengukuran aliran sungai pertama kali berupa pengukuran penampang melintang maupun kecepatan aliran, kemudian membandingkannya dengan hujan dan evaporasi

DAS yang dilakukan oleh Pierre Perrault dan Edme Mariotte pada sekitar tahun 1686.

Dewasa ini, perkembangan ilmu hidrologi secara modern antara lain ditemukan pada analisis pengukuran-pengukuran debit sesaat (sekitar tahun 1850-1900), pengimplementasian rumus-rumus empiris terutama untuk data muka air-debit sungai secara sistematis (sekitar tahun 1900-1930), penerapan konsep secara rasional seperti teori infiltrasi, teori unit hidrograf, pengembangan hidrolika air tanah, maupun rumus-rumus semi empiris lainnya (sekitar tahun 1930-1950), pemanfaatan teori-teori analisis *linier* dan *non-linier* sistem hidrologi, teori *unsteady flow* dalam air tanah, aplikasi dan teori *mass transfer* menjadi analisis evaporasi, studi dinamika kelembaban tanah, pengumpulan data hidrologi yang berkesinambungan (sekitar tahun 1950-sekarang). Saat ini, penggunaan alat-alat modern seperti *drone* maupun piranti lunak penunjang seperti Sistem Informasi Geografis (SIG) banyak digunakan dalam proyek-proyek keairan termasuk hidrologi untuk berbagai tujuan penyelidikan, pengumpulan maupun analisis data, dan sebagainya.

Berikut ini beberapa konsep dasar yang umumnya terdapat pada analisis hidrologi.

A. Neraca Air

Neraca air berfokus kepada analisis perhitungan dimulai dari proses presipitasi yaitu butiran air yang biasa dikenal dengan istilah hujan yang datang dari awan menuju suatu area dan dapat menjadi limpasan air apabila air hujan tidak terinfiltrasi pada permukaan tanah secara sempurna sehingga mengalir di atas permukaan tanah, sementara yang terinfiltrasi sempurna masuk ke lapisan permukaan tanah menjadi *flux* atau aliran air yang bergerak pada daerah *unsaturated* yang berada di antara permukaan tanah dengan posisi muka air tanah sehingga terjadi proses perkolasi baik secara vertikal ke dalam lapisan tanah dibawahnya, maupun juga dapat terjadi proses penguapan kembali dari berbagai lapisan permukaan tanah maupun proses transpirasi pada vegetasi atau yang biasa disebut evapotranspirasi. Intinya adalah suatu *input* berupa jumlah air hujan yang setara dengan *output* yang biasanya berupa luaran yang biasanya terdiri dari keempat komponen dalam siklus hidrologi tersebut. Kaitan antara variabel ini biasa disebut dengan neraca air (*water balance*).

Oleh sebab itu, dalam suatu analisis neraca air penjabarannya meliputi aliran air yang menjadi masukan (*inflow*) dan keluaran (*outflow*) dalam badan

air (*waterbody*). Perhitungan neraca air sering dilakukan untuk berbagai tujuan antara lain:

1. Menganalisis potensi kesediaan air pada bagian tepat pada permukaan tanah dan bawah permukaan tanah.
2. Memprediksi rencana pemanfaatan suatu sumber daya air.
3. Memberikan informasi dalam mengambil keputusan terkait dengan manajemen sumber daya air.

Neraca air merupakan suatu cara analisis dengan persamaan yang didasarkan pada hukum kekekalan massa dalam fluida yang dapat diartikan suatu fluida hanya dapat berubah bentuknya tanpa berubah massanya. Persamaan kontinuitas pada fluida ini yang dikembangkan untuk menghitung neraca air sebagai berikut.

$$P + I (\text{masuk}) = Q + E_t + O (\text{keluar}) + S_l + S_t + S_r + P$$

dikembangkan menjadi:

$$P + I_s + I_t = Q_r + E_t + O_s + O_t + S_l + S_t + S_r + P$$

dengan:

P = Presipitasi

I_s = Aliran air dari permukaan melalui sungai dan/atau saluran lainnya yang masuk ke dalam DAS

I_t = Air yang masuk ke dalam DAS

- Qr = Volume air yang menjadi limpasan aliran permukaan (*runoff*)
- Et = Evapotraspirasi
- Os = Aliran air dari permukaan melalui sungai dan/atau saluran lainnya yang keluar dari DAS
- Ot = Aliran air dari dalam tanah yang keluar dari DAS
- Sl = Fluktuasi kondisi kelembapan tanah
- St = Fluktuasi kondisi air tanah
- Sr = Fluktuasi volume air pada DAS
- P = Perkolasi

B. Daerah Aliran Sungai (DAS)

Definisi dasar DAS yaitu wilayah yang memiliki luas jatuhnya hujan dan yang akan mengalir menuju saluran alamiah atau sungai utama. Batas pemisah dari satu DAS dengan DAS-DAS lain disekitarnya berupa ketinggian topografi seperti punggung perbukitan maupun pegunungan.

Karakteristik DAS biasanya diperhitungkan dalam analisis perhitungan curah hujan wilayah dengan hasil akhir debit banjir rencana. Karakteristik tersebut antara lain luasan DAS. Besarnya area DAS adalah salah satu komponen penting dan dibutuhkan dalam menganalisis proses hidrologi. Besarnya area DAS dapat dicari dengan

menggunakan bantuan piranti lunak *arc-gis* sehingga selain besarnya area DAS, komponen-komponen lainnya pada DAS juga dapat dicari seperti kemiringan/gradien saluran atau sungai yang dianalisis dengan menggunakan persamaan berikut.

$$g = \frac{\Delta h}{l}$$

diketahui:

g = Kemiringan saluran

Δh = Selisih elevasi muka air hulu dan hilir pada suatu saluran (m)

l = Panjang saluran (m)

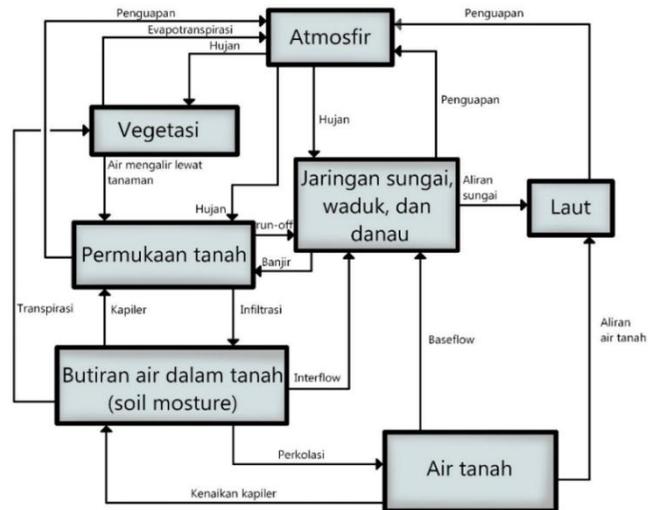


Gambar 1.1 Ilustrasi Batas DAS
(sumber: Achmad Syarifudin, 2017)

C. Siklus Hidrologi

1. Siklus Hidrologi Tertutup

Konsep dasar siklus atau perputaran hidrologi pada prinsipnya berkaitan dengan semua hal yang berhubungan dengan proses pergerakan atau distribusi keairan yang ada di bumi. Pada prinsipnya keseimbangan air di bumi secara menyeluruh sangat tergantung kepada kondisi badan-badan air (*waterbody*) yang ada seperti aliran permukaan baik berupa sungai, saluran buatan, rawa, kolam ataupun danau, maupun air tanah. Hal ini disebabkan badan-badan air tersebut mengalami proses penguapan atau evaporasi dan sebagainya merupakan komponen dalam siklus hidrologi tersebut mencapai kondisi stabil sehingga biasa disebut dengan siklus hidrologi tertutup (*closed system diagram of the global hydrologic cycle*). Siklus hidrologi tertutup memperlihatkan bahwa fluida dalam wujud berupa gas/uap yang melakukan perputaran di dalam suatu sistem adalah tetap kuantitasnya dan terdistribusi dalam berbagai subsistem-subsistem dan dipengaruhi oleh besarnya radiasi sinar matahari.



Gambar 1.2 Siklus Hidrologi Tertutup
(sumber: Kodoatie, et.al., 2012)

Analisis dasar dari perhitungan matematis keseimbangan air dalam siklus ini yaitu:

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

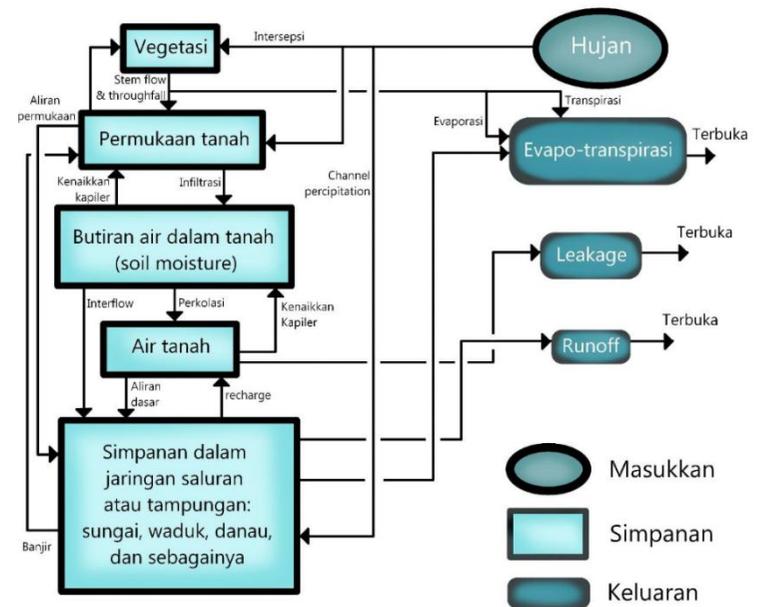
dengan:

- I = Pergerakan fluida yang menuju ke dalam sistem kontrol volume
- O = Pergerakan fluida yang menuju ke luar sistem kontrol volume
- s = Volume atau jumlah fluida atau air pada badan-badan air atau dalam tanah
- t = Waktu

Kondisi keseimbangan air untuk skala besar dalam jangka waktu yang cukup lama cenderung memiliki volume fluida atau air yang mendekati nol, sehingga hanya memperhitungkan pergerakan fluida yang masuk dan yang keluar dalam sistem kontrol volume suatu badan air.

2. Siklus Hidrologi Terbuka

Berbeda dengan siklus hidrologi tertutup, pada siklus hidrologi terbuka, konsep sirkulasi air sebagai suatu subsistem yang diperhitungkan secara terpisah, sebagai contoh aliran air dalam tanah. Air tanah adalah salah satu bagian dari subsistem terbuka, hal ini dikarenakan sistem hidrologi tertutup dipisahkan pada masing-masing subsistem dari seluruh sistem aliran yang ada. Pergerakan perjalanan aliran air di luar subsistem air tanah dapat sebagai *input* dan *output* dari subsistem kontrol volume pada air tanah. Oleh sebab itu, suatu badan air dapat memiliki beberapa subsistem dan termasuk siklus hidrologi terbuka. Gambar 1.3 adalah gambar untuk menjelaskan lebih jauh terkait kondisi siklus hidrologi terbuka.



Gambar 1.3 Skema Konsep Hidrologi Terbuka
(sumber: Kodoatie, et.al., 2012)

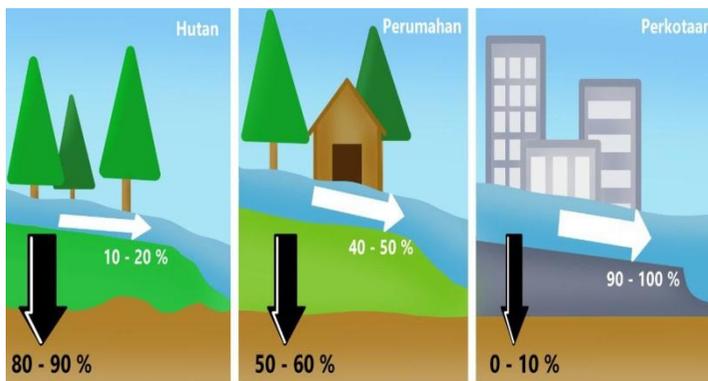
D. Dampak Urbanisasi pada Siklus Hidrologi

Bahasan terkait dampak urbanisasi pada siklus hidrologi termasuk kompleks dan panjang. Bahasan dimulai dari awal pengertian siklus hidrologi yang memaparkan secara terinci tentang pergerakan dan pertukaran air dalam semua bentuk dan lokasi keberadaannya. Di lain pihak, secara nyata keberadaan urbanisasi juga mengakibatkan fungsi lahan atau tata guna lahan yang tadinya hijau atau dapat tembus air beralih fungsi menjadi jenis lahan yang tertutup dan tidak

tembus air. Hal ini dikarenakan kebutuhan akan tempat tinggal dan juga aktivitas masyarakat lainnya semakin meningkat. Gambar 1.4 dan 1.5 memberikan informasi lebih jauh lagi terkait proses tersebut.



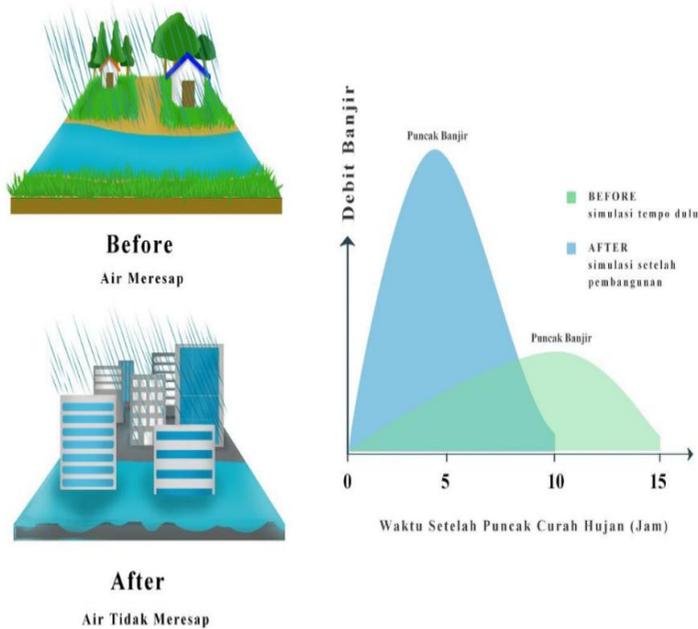
Gambar 1.4 Siklus Hidrologi Setelah Urbanisasi
(sumber: Herjuna Rahman, 2008)



Gambar 1.5 Pengaruh Pembangunan pada Siklus Hidrologi
(sumber: Robby Yussac Tallar)

Gambar di kiri atas menggambarkan kondisi awal lahan berupa hutan tanpa adanya pembangunan sehingga infiltrasi (resapan air) berkisar antara 80-90%, sedangkan limpasan air berkisar antara 10-20%. Pada gambar tengah atas, fungsi lahan berubah dan dibangun menjadi daerah pemukiman sehingga infiltrasi yang terjadi berkurang menjadi 50-60% dengan tingkat limpasan air menjadi 40-50%. Pada gambar kanan atas lahan pemukiman berubah menjadi wilayah yang padat penduduk atau biasa disebut daerah urban sehingga tingkat infiltrasi semakin jauh berkurang menjadi 0-10% dengan tingkat limpasan air yang meningkat tajam berkisar antara 90-100%.

Di samping itu, perubahan lain yang terjadi pada siklus hidrologi lokal sebagai akibat dari perubahan lahan tersebut adalah menurunnya nilai evapotranspirasi di daerah tersebut. Perubahan dari tata guna lahan dengan permukaan terbuka menjadi permukaan-permukaan kedap air ini membuat aliran limpasan air karena jumlah air hujan yang masuk relatif tidak banyak ke dalam tanah. Seharusnya permukaan tanah dengan vegetasi dapat mengambil air hujan dan memprosesnya sehingga akan memperlambat laju peningkatan limpasan aliran permukaan yang dapat menimbulkan banjir maupun longsor.



Gambar 1.6 Ilustrasi Perubahan Limpasan Akibat Perubahan Lahan
(sumber: Achmad Syarifudin, 2017)

Ketika jenis lahan mengalami pergeseran atau berubah menjadi kedap atau tahan air maka dampaknya adalah terjadinya peningkatan pada debit limpasan aliran permukaan sehingga pada bagian hilir akan mendapatkan debit limpasan yang berlebih dari wilayah hulu yang pada akhirnya dapat mengakibatkan peristiwa banjir. Perubahan jenis atau tata guna lahan ini membuat lahan terbuka atau tembus air dengan kapasitas resapan air

menjadi berkurang atau bahkan hilang sehingga pada saat musim kemarau datang maka rawan terjadinya bencana kekeringan. Hal ini dikarenakan cadangan air menjadi berkurang.

Bab 2

Hidrologi

A. Pengertian Hidrologi

Secara umum, pengetahuan terkait peredaran air yaitu hidrologi. Kata hidrologi terbentuk dari dua suku kata dalam Bahasa Yunani yang berarti Ilmu Air. Pada tahun 1608, seorang peneliti dari Perancis mengadakan pengujian dengan cara mengukur curah hujan dan air larian (*runoff*) selama kurang lebih 3 tahun di salah satu wilayah DAS sungai di Perancis. Pengujian berikutnya dilakukan E. Mariotte pada tahun 1620 dan Edmund Halley pada tahun 1656. Beberapa tahun kemudian banyak peneliti dan institusi terkait melakukan penelitian lanjutan dan membuat suatu definisi hidrologi serta proses-proses di dalamnya termasuk di Indonesia antara lain:

1. Menurut Asdak pada tahun 1995, hidrologi adalah ilmu dalam teknik sipil yang membahas tentang pergerakan fluida atau air dalam segala bentuknya baik cairan, gas, maupun padatan yang berada di dalam, maupun di atas daratan atau permukaan tanah.

2. Arsyad pada tahun 2009 mengutarakan bahwa ilmu hidrologi adalah ilmu yang mempelajari proses peningkatan, retensi, dan penurunan air di bumi.
3. Dan masih banyak lagi lainnya.

Berdasarkan rumpun ilmunya, hidrologi dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu:

1. *Scientific hydrology*: menitik beratkan pada aspek akademik dan umumnya dikenal dengan hidrologi atau Ilmu Hidrologi.
2. *Engineering hydrology*: menitik beratkan pada aspek terapan dan disebut dengan *applied hydrology* atau Aplikasi Hidrologi (Hidrologi Terapan)

Hidrologi terapan biasanya diimplementasikan untuk merancang dan mengoperasikan struktur keairan termasuk hidraulika, suplai air, pengolahan air dan limbah, irigasi, drainase, mengontrol aliran limpasan, navigasi, mengontrol erosi dan sedimentasi, wisata air dan perlindungan kehidupan flora dan fauna serta budi daya perikanan. Hidrologi terapan umumnya berhubungan dengan:

1. Estimasi atau perkiraan sumber daya air untuk mengetahui manfaat maupun daya rusak air.
2. Pembelajaran tentang proses terjadinya hujan, limpasan, evaporasi, transpirasi dan interaksi antar proses tersebut.

3. Kajian atau penelitian terkait dengan permasalahan yang mengakibatkan banjir dan kekeringan dan mencari solusi maupun mitigasi dari permasalahan tersebut.

B. Ruang Lingkup Hidrologi

Macam-macam ilmu hidrologi yang terkait yaitu *hidrometeorologi*, *limnologi*, *hidrogeologi*, dan ilmu-ilmu penunjang lainnya sebagai berikut:

1. Meteorologi: ilmu yang terkait dengan fenomena maupun karakteristik fisik atmosfer.
2. Klimatologi: ilmu yang terkait dengan fenomena maupun interpretasi cuaca yang terjadi.
3. Geografi dan agronomi: ilmu yang terkait dengan ciri-ciri fisik atau morfologi vegetasi yang tumbuh dan terdistribusi di wilayah daratan.
4. Geologi: ilmu yang terkait dengan dengan komposisi lapisan batuan dalam bumi.
5. Hidrolika: ilmu yang terkait dengan karakteristik atau gerakan air dalam suatu sistem saluran baik alamiah maupun buatan.
6. Mekanika fluida: ilmu yang terkait dengan karakteristik fluida dalam keadaan statis.
7. Sedimentologi: ilmu yang terkait dengan karakteristik sedimen yang terbawa oleh air, dan sebagainya.

Ilmu hidrologi sering digunakan bidang teknik sipil basah yaitu hidroteknik. Namun tidak jarang juga terhubung dengan jenis bidang teknik sipil lainnya seperti struktur sebagai contoh dalam pembuatan saluran drainase dan sanitasi, transportasi sebagai contoh dalam perencanaan drainase pada jalan raya, pelabuhan udara dan wilayah perkotaan yang membutuhkan pekerjaan hidraulika di dalamnya.

Berikut ini peranan ilmu hidrologi dalam teknik sipil:

1. Untuk memperkirakan besarnya banjir rencana maksimum maupun frekuensinya sehingga dapat direncanakan suatu struktur bangunan pengendalian banjir.
2. Untuk memprediksi atau memperkirakan debit air yang dibutuhkan oleh padi dalam suatu sawah atau tanaman sehingga dapat direncanakan suatu jaringan irigasi baik bangunan maupun salurannya untuk memenuhi kebutuhan air tersebut.
3. Untuk memprediksi jumlah air yang tersedia atau debit air yang terdapat di suatu sumber air.

C. Distribusi Air pada Hidrologi

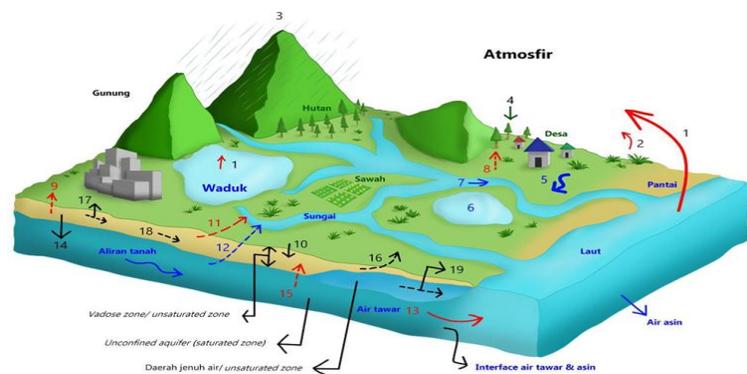
Distribusi air pada hidrologi termasuk proses biogeokimia termasuk air (H₂O) yang berlangsung di bumi. Distribusi air tersebar dalam berbagai proses seperti proses penguapan, kondensasi, transpirasi dan presipitasi yang berlangsung secara terus menerus. Di setiap proses tersebut air dapat berubah wujud baik padat, gas maupun cair. Peristiwa distribusi air ini telah berlangsung sejak lama bahkan termasuk dalam proses terbentuknya bumi. Sebaran terbesar air pada bumi adalah air laut (97%) dan sisanya berupa air tawar (3%). Berikut adalah distribusi jumlah air di bumi dapat dilihat pada Tabel 2.1 Air tawar yang ada di bumi hanya sekitar 2,5% sehingga konservasi sumber daya air sangat penting dan harus didukung semua pemangku kebijakan (*stakeholders*).

Tabel 2.1 Alokasi Air dalam Bumi

Posisi	Area	Volume (km ³)	Kedalaman (m)	Total air (%)
Lautan	361.300.000	1.338.000.000	3.700	96,5
Air bawah permukaan:	134.800.000	23.400.000	174	1,69
• Air tawar		10.530.000		0,76
• Air asin		12.870.000		0,93

Air danau:	2.058.700	176.400	85,70	0,013
• Tawar	1.236.400	91.000	73,60	0,007
• Asin	822.300	85.400	103,80	0,006
Air rawa	2.682.600	11.470	4,28	0,0008
Saluran sungai	148.800.000	2.120	0,014	0,0002
Air tawar	148.000.000	35.029.210	235	2,5

Proses distribusi air dapat diawali dari proses evaporasi atau penguapan air laut oleh sinar matahari air bergerak menuju atmosfer dalam bentuk uap air. Jumlah air yang berada di atmosfer dalam kurun waktu tertentu mengalami proses pembekuan atau kondensasi di mana air berubah wujud menjadi padat dengan suhu tertentu yang dibutuhkan. Gambar 2.1 menunjukkan suatu gambaran perputaran atau perjalanan air dalam suatu wilayah.



Gambar 2.1 Proses Perjalanan Air dalam Siklus Hidrologi
(sumber: Kodoatie, et.al., 2012)

1. Penguapan/evaporasi adalah proses penguapan air pada badan air.
2. Evapotranspirasi adalah pergerakan air oleh di dalam vegetasi dimulai dari akar sampai ke daun untuk dilanjutkan pada proses penguapan pada vegetasi. Proses masuknya air ke dalam akar tanaman disebut proses transpirasi, sedangkan proses penguapan pada tanaman karena radiasi sinar matahari disebut evaporasi.
3. Presipitasi adalah uap air dari proses evaporasi dan evapotranspirasi di atmosfer akan berubah wujud bentuk dari udara yang memiliki kandungan air menjadi fluida dalam bentuk senyawa air akibat proses kondensasi. Senyawa-senyawa air tersebut akhirnya terkumpul dalam jumlah yang cukup besar dan semakin berat sehingga secara gravitasi akan turun ke permukaan bumi.
4. Air hujan pada vegetasi/tanaman adalah proses keberadaan air hujan yang jatuh dari daun kemudian mengalir melalui batang tanaman (*stem flow*) sehingga dikenal dengan istilah intersepsi. Perlu durasi waktu dalam proses perjalanan air hujan untuk sampai tanah karena melewati berbagai komponen vegetasi mulai dari daun sampai ke akar vegetasi tersebut. Komponen distribusi air pada proses ini relatif sulit diukur dan sering diabaikan dalam analisis perhitungan

kecuali untuk kepentingan tertentu seperti penelitian tentang kadar air dalam vegetasi.

D. Komponen Hidrologi

Beberapa komponen yang mempengaruhi siklus hidrologi adalah sebagai berikut:

1. Curah Hujan

Hujan merupakan salah satu jenis dari presipitasi, atau turunnya fluida dalam wujud cairan atau beberapa bentuk padatan dari atmosfer. Hujan terbentuk apabila senyawa air yang berada dalam gumpalan awan yang terpisah dari awan tersebut dan kemudian jatuh ke permukaan bumi dengan kecepatan tertentu. Curah hujan memainkan peranan sangat penting dalam siklus hidrologi. Ketika kelembapan dari laut meningkat sehingga butir-butir air menguap kemudian bertransformasi menjadi awan. Setelah awan mengalami kondensasi maka terkumpul menjadi awan, dan apabila kondisi sudah jenuh maka butir-butir air yang berkumpul dalam awan tersebut turun kembali ke permukaan bumi dalam bentuk curah hujan.

2. Evaporasi dan Transpirasi/Evapotranspirasi

a. Evaporasi

Evaporasi adalah proses perubahan bentuk air dari air permukaan atau daratan berubah menjadi uap. Sumber energi utamanya yaitu radiasi sinar matahari. Berikut ini adalah parameter-parameter utama yang terlibat dalam proses evaporasi yaitu:

1) Sinar Matahari

Parameter sinar matahari merupakan parameter utama yang memberikan panas sehingga dapat mempengaruhi proses evaporasi sesuai dengan iklim yang terjadi.

2) Temperatur

Sementara itu temperatur adalah parameter yang terkait erat dengan proses penguapan.

3) Kecepatan Angin

Faktor kecepatan angin dapat mempengaruhi kelembapan udara maupun proses-proses hidrologi lainnya.

b. Transpirasi dan Evapotranspirasi

Transpirasi adalah proses distribusi air dalam vegetasi dimulai dari daun sampai ke akarnya. Sementara itu, evapotranspirasi adalah proses penguapan air dari seluruh bagian vegetasi. Namun karena jumlah air dalam transpirasi dan evapotranspirasi terbilang sedikit maka sering diabaikan dalam analisis hidrologi.

3. Limpasan

Secara sederhana, limpasan adalah kelebihan air hujan yang jatuh ke bumi dalam bentuk aliran baik secara merata maupun terpusat. Sungai atau saluran buatan dapat mengumpulkan maupun menampung limpasan aliran tersebut. Limpasan aliran pada dasarnya dapat terdiri dari beberapa jenis tergantung dari media di mana aliran tersebut bekerja. Di dalam analisis hidrologi, aliran limpasan permukaan yang paling diperhitungkan dan berpengaruh dalam proses hidrologi suatu wilayah DAS.

4. Perkolasi

Proses pergerakan air dalam media tanah biasa disebut dengan perkolasi. Analisis perhitungan perkolasi dapat dianalisis dengan menggunakan rumus:

$$Q = q \times t$$

dengan:

Q = Tebal perkolasi

q = Volume air yang melewati luasan area per unit waktu

t = Periode terjadinya perkolasi

5. Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah aliran sungai (DAS) didefinisikan sebagai suatu kesatuan wilayah tata air yang terbentuk secara alamiah dengan dibatasi oleh punggung-punggung kontur seperti gunung atau bukit. DAS juga merupakan tempat air hujan yang jatuh melalui proses presipitasi yang kemudian berinfiltrasi ke dalam tanah dan/atau mengalir dari permukaan tanah yang biasa disebut limpasan. Ada tiga aspek utama yang harus dipertimbangkan dalam konsep pengelolaan DAS. Pertama, yaitu jumlah air yang tersedia (*water yield*). Ketersediaan air secara alamiah harus menjadi data dasar di dalam merencanakan suatu pengembangan sumber daya air. Aspek kedua adalah durasi waktu tunggu dan aspek ketiga adalah jenis sedimen. Jenis sedimen bercampur dengan aliran permukaan yang akan mempengaruhi kapasitas suatu penampang saluran. Ketiga aspek tersebut dipengaruhi juga oleh aspek luar seperti jumlah curah hujan dengan evapotranspirasi dan kapasitas infiltrasi tanah. Komponen utama DAS yang sangat mempengaruhi proses hidrologi antara lain tata guna tanah (*land use*), kondisi rupa bumi atau topografi termasuk bentuk DAS yang dapat mempengaruhi volume air tertampung dalam suatu sistem saluran. Di samping itu, kemiringan lahan dan jenis tanah pada DAS juga akan

mempengaruhi laju infiltrasi maupun limpasan aliran.

Bab 3

Presipitasi

A. Definisi Presipitasi

Definisi presipitasi secara umum adalah proses berpindahnya butir air dari atmosfer atau udara bebas dengan awan yang mengandung butir-butir air tersebut ke daratan maupun laut. Perpindahan ini terjadi secara vertikal atau turun ini, dapat berbentuk curah hujan ataupun jenis lainnya seperti salju dan lainnya tergantung pada wilayah jatuh. Jika presipitasi tersebut terjadi di wilayah yang beriklim tropis, maka jenis presipitasi yang terjadi berbentuk air hujan (*rainfall*). Sedangkan jika butir-butir air tersebut jatuh di wilayah yang memiliki iklim sedang, maka jenis presipitasi dapat berbentuk curah hujan ataupun salju atau butir es. Negara Indonesia memiliki iklim tropis dengan jenis presipitasi yang dimiliki hanya curah hujan.

Presipitasi adalah peristiwa alam di mana terdapat proses perubahan dari bentuk uap air menjadi butir-butir air yang diakibatkan proses kondensasi yang terjadi. Peristiwa presipitasi ini selalu didahului oleh peristiwa evaporasi. Uap air

tersebut karena dipengaruhi suhu atmosfer maka menjadi dingin dan mengalami proses kondensasi kemudian membentuk kumpulan butir-butir air. Peristiwa kondensasi terjadi pada saat suhu udara berubah menjadi lebih rendah atau dingin sehingga membentuk gumpalan awan. Terdapat 4 faktor utama yang mendukung proses presipitasi yaitu:

1. Faktor kelembapan udara yang mendukung.
2. Faktor jumlah butir-butir air yang dipengaruhi proses kondensasi.
3. Faktor suhu atau temperatur udara yang cukup tinggi sehingga terjadinya proses penguapan.
4. Faktor pembentukan gumpalan awan melalui proses kondensasi.

Jenis-jenis presipitasi dapat digolongkan dari bentuk dan ukurannya seperti:

1. Gerimis (*Drizzle*): jenis presipitasi yang terbentuk dari butir-butir air dengan perkiraan diameter $< 0,02$ mm atau dengan intensitas presipitasi $< 0,04$ mm/jam.
2. Curah hujan (*Rainfall*): jenis presipitasi yang memiliki ukuran butir air $> 0,02$ mm.
3. Kristal es (*Glaze*): jenis presipitasi berbentuk kristal es sebagai akibat dari proses pembekuan sebagai akibat hubungan atau kontak langsung dengan lingkungan yang relatif bersuhu dingin.
4. Butir es (*Sleet*): jenis presipitasi dengan ukuran bentuk lebih besar dari kristal es.

5. Salju (*Snow*): jenis presipitasi dalam bentuk butir es yang jatuh ke bumi dengan berkelompok sehingga tampak jelas bentuknya.
6. Hujan es (*Hail*): jenis presipitasi dalam bentuk bola es dengan diameter $> 0,2$ inch.

B. Jenis Hujan

Jenis hujan tergantung kepada jenis sumber butir-butir air yang terkumpul di awan. Hujan dapat terjadi akibat dari proses naiknya udara basah ke atmosfer sehingga mengalami proses kondensasi atau pendinginan dengan suhu tertentu yang dingin. Peristiwa naiknya uap air ke udara ini dapat terjadi secara konvektif, siklonik, konvergensi, dan orografis. Oleh karena itu, jenis hujan dapat digolongkan berdasarkan proses terjadinya sebagai berikut:

1. Hujan Konvektif (*Convective Storms*)

Jenis hujan ini terjadi akibat adanya peristiwa kerapatan massa udara menjadi menurun sehingga terjadilah proses pendinginan atau kondensasi yang berakhir pada peristiwa turunnya hujan. Proses kondensasi dalam kumpulan awan ini membentuk jenis awan *cumulonimbus* sehingga hujan yang terjadi karena proses ini disebut hujan konvektif dengan karakteristik hujan ini terjadi pada awal akhir

musim kering dengan intensitas tinggi, durasi hujan yang relatif pendek dengan cakupan wilayah hujan yang tidak luas.

2. Hujan Siklonik (*Frontal/Cyclonic Storms*)

Penyebab terjadinya hujan jenis ini adalah suatu keadaan massa jenis udara dengan temperatur tinggi dan berkumpul dengan massa udara dengan temperatur rendah, maka udara panas tersebut akan naik posisinya melewati peristiwa pendinginan atau proses kondensasi sehingga akan membentuk awan yang akhirnya terjadilah hujan. Hujan yang terjadi akibat peristiwa ini disebut hujan siklonik dengan karakteristik curah hujan yang tidak terlalu lebat dengan durasi waktu yang relatif lebih lama. Jenis hujan siklonik tersebut yaitu dingin dan panas. Karakteristik dari hujan siklonik dingin antara lain mempunyai kemiringan permukaan berhadapan langsung yang besar sehingga dapat memberikan perubahan pada perpindahan massa udara dari tempat rendah ke tempat yang lebih tinggi secara cepat. Hal inilah yang mengakibatkan terjadinya hujan lebat dalam waktu yang relatif singkat. Sedangkan jenis hujan siklonik hangat memiliki karakteristik kemiringan permukaan berhadapan langsung yang tidak terlalu besar sehingga perubahan pergerakan massa udara dari tempat rendah ke tempat yang lebih tinggi berangsur secara lambat yang tentunya mempengaruhi

proses pembentukan awan menjadi lambat pula. Hujan kategori ini termasuk hujan sangat deras yang sering dialami oleh masyarakat.

3. Hujan Orografis

Penyebab terjadinya hujan ini adalah udara dengan kelembapan yang cukup rendah dan terbawa ke wilayah dataran tinggi dengan dibantu oleh angin yang kemudian semakin bertambah tinggi sehingga suhu udara semakin rendah dan menjadi awan yang kemudian menjadi hujan. Hujan jenis ini sering terjadi di wilayah pegunungan di mana pada bagian samping gunung yang dilalui oleh udara akan banyak mendapatkan hujan.

4. Hujan Konvergensi

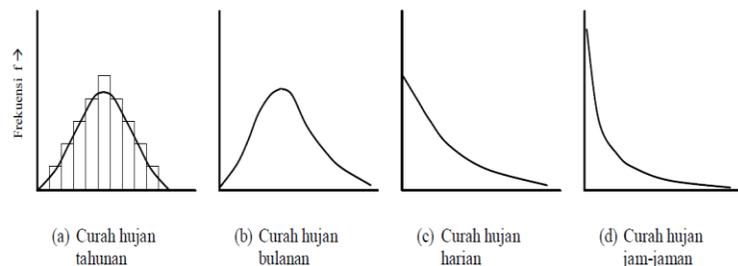
Hujan jenis ini biasa terjadi akibat dari adanya peristiwa bertemunya dua massa udara yang cukup banyak, tebal dan besar sehingga sekumpulan massa udara tersebut naik dan menyebabkan pembentukan awan tebal dan akhirnya terjadilah peristiwa hujan.

C. Pengukuran Curah Hujan

Metode untuk mengetahui banyaknya butiran hujan yang jatuh pada kawasan tertentu disebut pengukuran curah hujan. Hasil dari aktivitas ini adalah sejumlah data yang diperlukan untuk

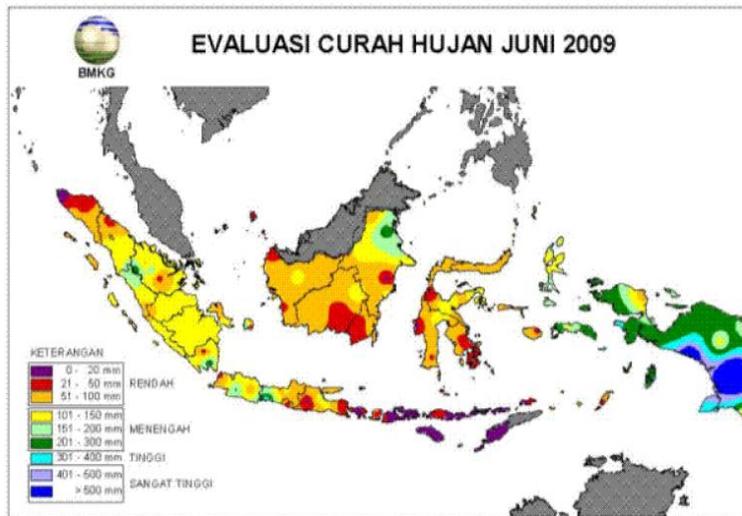
diproses dan dianalisis lanjut yang dapat terbagi menjadi tiga jenis yaitu:

1. Curah hujan harian adalah hasil pengukuran curah hujan selama 24 jam.
2. Curah hujan bulanan adalah hasil pengukuran curah hujan selama satu bulan.
3. Curah hujan tahunan adalah hasil pengukuran curah hujan selama satu tahun.



Gambar 3.1 Distribusi Frekuensi Curah Hujan
(sumber: Suyono Sosrodarsono, 2003)

Dalam penerapannya, pengukuran curah hujan dilakukan oleh instansi pemerintahan yaitu Stasiun Klimatologi yang biasanya dilengkapi oleh alat penakar hujan baik alat penakar curah hujan manual maupun alat penakar curah hujan otomatis. Alat penakar hujan ini memiliki satuan centimeter (cm), millimeter (mm), atau inchi per satuan waktu untuk digunakan dalam melakukan analisis lanjut terkait curah hujan.



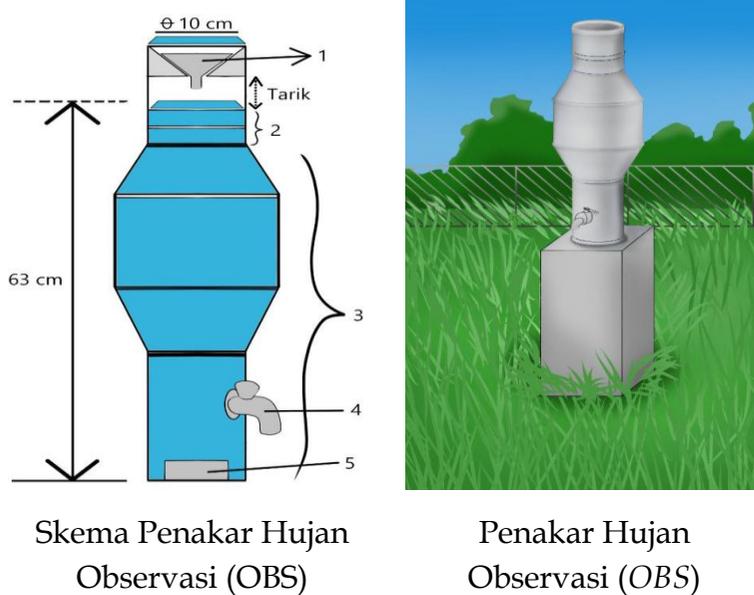
Gambar 3.2 Peta Data Curah Hujan di Indonesia
(sumber: Sumardi, 2009)

Pada alat penakar curah hujan akan terdapat ketinggian muka air hujan yang tertampung dengan ukuran ketinggiannya. Sebagai contoh, curah hujan yang tertampung pada alat penakar hujan setinggi 1 (satu) milimeter, hal ini berarti dalam luasan satu meter persegi pada kawasan yang datar tertampung air setinggi 1 (satu) milimeter atau tertampung air sebanyak 1 (satu) liter atau 1000 mililiter. Data curah hujan sangat diperlukan untuk analisis perencanaan berbagai konstruksi keairan seperti jaringan irigasi, bendung, waduk, saluran drainase perkotaan, dan sebagainya. Oleh karena itu, data curah hujan pada suatu wilayah harus terus dicatat dan diarsip di institusi terkait untuk nantinya digunakan dalam

analisis perhitungan dalam perencanaan yang hendak dilakukan (Prawaka, Zakaria, & Tugiono, 2016). Secara umum walaupun alat penakar hujan biasanya dibedakan menjadi dua, yaitu penakar curah hujan manual (*non-recording*) dan penakar curah hujan otomatis, memiliki juga alat penakar hujan semi otomatis yang bernama penakar hujan *Hellman*.

Sementara itu, alat penakar hujan manual seperti ombrometer atau observasi (OBS), biasanya berupa suatu wadah atau kontainer sederhana dengan ukuran diameter tertentu yang berfungsi untuk menakar atau mengukur hujan harian. Alat penakar hujan manual ini paling banyak ditemukan di Indonesia mengingat cukup ekonomis dalam pemasangan maupun pemeliharannya. Penempatan dari alat penakar hujan manual ini biasanya memiliki luasan area sekitar 50 km² atau sampai radius 5 km. Persyaratan dalam penempatan alat penakar hujan manual antara lain alat penakar hujan manual biasanya ditempatkan di wilayah terbuka yang tidak terganggu oleh keberadaan vegetasi atau bangunan di sekitarnya. Alat penakar hujan manual ini biasanya memiliki bentuk bulat memanjang dengan ukuran standar tertentu. Tujuan dari bentuk tersebut adalah untuk memperkecil terjadinya percikan air hujan yang jatuh ke dalam alat penakar hujan manual tersebut. Adapun cara untuk mengukurnya adalah dengan menghitung air

hujan yang tertampung volumenya pada setiap durasi waktu tertentu atau setiap kejadian hujan. Sebagai contoh pengukuran curah hujan harian yang diambil setiap jam 07.00 atau jam 09.00 waktu setempat (*local time*) (Kurniawan, 2020) dengan satu kali pembacaan dalam sehari.



Gambar 3.2 Penakar Hujan Observasi
(sumber: Kurniawan, A. 2020)

Sementara itu, untuk alat penakar hujan Hellman dilengkapi dengan mata pena, tinta dengan kertas pias seperti kertas millimeter blok. Proses bekerjanya secara mekanik/pegas yang diputar di bagian atas sebelah dalam drum alat penakar hujan. Kertas pias akan ditukar setiap hari pada waktu

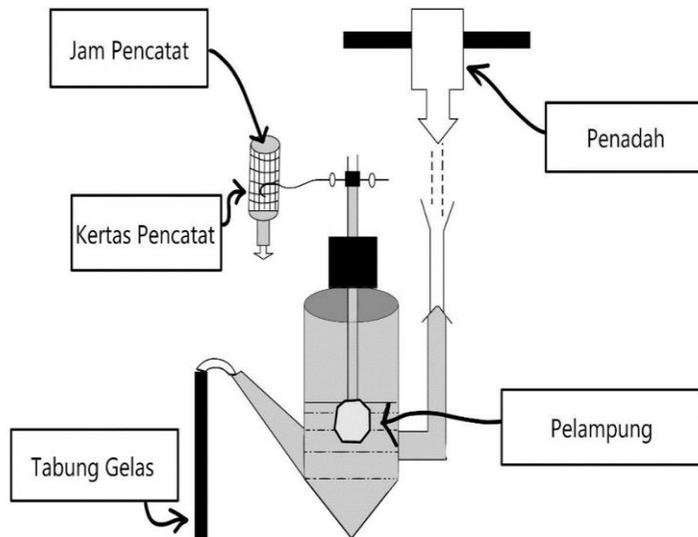
tertentu. Intensitas hujan digambarkan sebagai kurva atau polygon yang digambarkan. Sumbu X menyatakan waktu dalam 24 jam, dan sumbu Y merupakan curah hujan. Maksimum curah hujan dalam kertas pias adalah 10 mm.



Gambar 3.3 Penakar Hujan Hellman
(sumber: Kurniawan, A. 2020)

Alat pengukur hujan otomatis digunakan untuk pemantauan secara terus-menerus yang berfungsi untuk menentukan intensitas hujan dan durasi hujan. Alat pengukur hujan otomatis yang paling umum digunakan adalah alat pengukur hujan tipe *bucket rain gauge* dan *tipping bucket*. Ada juga pengukur hujan siphon otomatis. Dalam sistem siphon, air hujan ditampung dalam sebuah silinder berisi pelampung yang diangkat oleh air hujan yang

masuk. Curah hujan dapat direkam pada sistem pencatatan dengan pelampung pada bagian pena.



Gambar 3.4 Alat Ukur Hujan Otomatis Jenis Sifon
(sumber: Salsaapabila dan Nugraheni, 2020)

Bucket rain gauge tersusun dari wadah yang berfungsi untuk menangkap air hujan dengan dilengkapi bagian bawahnya berupa timbangan dengan mesin pencatat otomatis beserta pena dengan kertas grafik yang tergulung pada sebuah silinder. Proses kerja alat ini adalah apabila ada sejumlah curah hujan yang masuk pada wadah, maka timbangan dan pena akan bekerja sesuai dengan proses mekaniknya. Sementara itu, alat

pengukur hujan lainnya yaitu *Tipping bucket* yang terdiri dari timbangan beserta alat penampung air hujan (*bucket*). Proses kerjanya yaitu ketika air hujan yang jatuh tertampung oleh wadah maka alat pencatat otomatis akan bekerja.



Gambar 3.5 Alat Pengukur Curah Hujan (*Bucket Rain Gauge dan Tipping Bucket*)

(sumber: Salsaapabila dan Nugraheni, 2020)



Gambar 3.6 AWS dengan Sensor Tipping Bucket
(sumber: Kurniawan, A. 2020)

Bab 4

Analisis Data Hujan

Secara umum analisis hidrologi harus dilakukan karena merupakan analisis awal dalam suatu perancangan struktur keairan. Sebelum membahas lebih jauh terkait analisis data curah hujan perlu diketahui terlebih dahulu beberapa pengertian dasar.

A. Definisi Curah Hujan

Curah hujan adalah jumlah hujan terkumpul di wilayah daratan tanpa memperhitungkan penguapan, rembesan, atau aliran lainnya. Arti dari hujan sebesar 1 mm adalah volume hujan yang tertampung setinggi 1 mm dan berinfiltrasi area seluas 1 m² dengan satuan milimeter (mm) atau inci. Sebagai negara kepulauan yang berada di wilayah garis khatulistiwa dengan iklim tropis maka Indonesia termasuk negara dengan tingkat hujan yang cukup besar. Untuk area iklim tropis, tingkat hujan yang relatif tinggi biasanya dihasilkan dari proses konveksi. Sementara itu, definisi dari intensitas curah hujan adalah jumlah curah hujan

yang turun pada durasi waktu tertentu dan biasanya dinyatakan dalam satuan mm/jam, mm/hari, maupun mm/tahun. Umumnya data curah hujan yang digunakan untuk analisis hidrologi adalah nilai maksimum, minimum dan nilai rata-rata dari curah hujan yang terjadi.

Pada umumnya analisis hidrologi memerlukan data curah hujan rata-rata pada suatu daerah aliran sungai (DAS). Sedangkan, alat pengukuran curah hujan memberikan data curah hujan berupa kedalaman hujan pada satu titik saja di mana alat penakar curah hujan tersebut berada. Data curah hujan ini disebut data hujan lokal (*point rainfall*) dan belum bisa digunakan untuk analisis. Untuk menganalisis suatu kawasan yang luas, maka satu stasiun penakar curah hujan belum dapat menggambarkan curah hujan pada wilayah tersebut secara keseluruhan sehingga diperlukan hujan kawasan atau lebih banyak lagi alat penakar curah hujan yang terdistribusi pada kawasan tersebut. Curah hujan ini diperoleh dari harga rata-rata curah hujan beberapa stasiun pengukur hujan yang memiliki alat penakar curah hujan dan berada di dalam atau di sekitar kawasan tersebut. Nilai rata-rata akan diambil untuk mendapatkan nilai curah hujan rata-rata pada suatu daerah aliran sungai. Untuk kasus DAS yang dilengkapi dengan beberapa stasiun hujan yang acak lokasinya, maka kemungkinan besar kedalaman hujan yang tercatat

di masing-masing stasiun hujan tersebut tidaklah sama. Semakin banyak stasiun hujan yang tersebar maka semakin lebih banyak informasi yang diperoleh dengan data hujan yang lebih akurat, namun tentunya konsekuensi yang dihadapi adalah biaya yang diperlukan menjadi lebih besar.

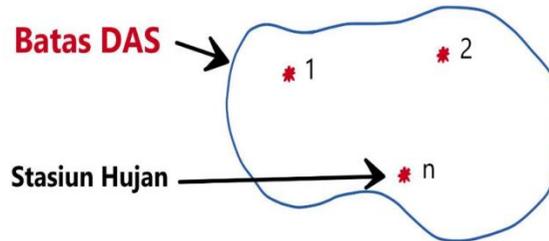
Metode analisis data hujan yang digunakan untuk menghitung hujan setempat dan mengubahnya menjadi hujan rata-rata daerah aliran sungai pada pembahasan ini terdiri atas tiga metode dengan mempertimbangkan luas wilayah tinjauan. Distribusi penyebaran pos curah hujan mempertimbangkan luas dan variasi topografi pada suatu kawasan yang ditinjau. Untuk wilayah DAS yang cukup luas dan berbukit biasanya digunakan metode Isohyet. Sementara untuk wilayah yang relatif kecil dapat digunakan metode rata-rata aljabar.

B. Analisis Data Hujan

1. Metode Rata-Rata Aljabar

Metode rata-rata aljabar adalah metode dasar dan yang paling sederhana dalam menganalisis curah hujan rata-rata yang jatuh di dalam suatu kawasan. Hasilnya akan cukup akurat jika

kawasan yang ditinjau tergolong datar dan dengan pos curah hujan yang tersebar merata.



P = Hujan rata-rata

P_i = Tinggi curah hujan di stasiun i , $i = 1, \dots, n$.

Gambar 4.1 Metode Rata-Rata Aljabar
(sumber: Rizka Arbaningrum, Hidrologi CIV-202: Curah Hujan Kawasan)

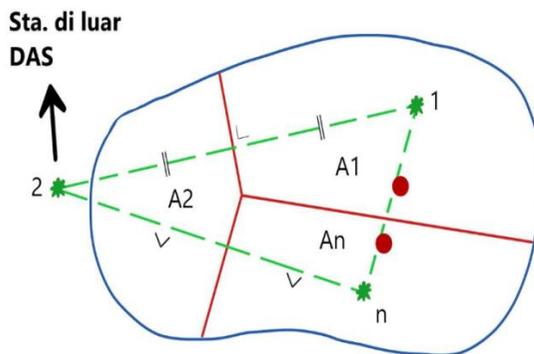
$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$, dengan \bar{P} = hujan rata-rata DAS dan n = banyaknya pos hujan

2. Metode Poligon Thiessen

Penggunaan metode ini dititikberatkan pada analisis curah hujan dengan rata-rata berat kuantitas hujan (*weighted average*) pada wilayah DAS yang ditinjau. Dengan kata lain, metode ini menganalisis seberapa besar bobot/wilayah pengaruh dari penyebaran tiap-tiap stasiun hujan pada daerah tersebut. Metode ini dianggap sesuai diterapkan di wilayah DAS yang ditinjau dengan memiliki kondisi:

- Minimal banyaknya pos hujan yang tersedia sejumlah tiga buah.
- Distribusi pos hujan kurang baik dan jumlahnya terbatas dibanding luasnya.
- Tidak sesuai atau tidak terlalu cocok untuk daerah bergunung (pengaruh orografis).

Berdasarkan metode ini, dilakukan pembagian wilayah DAS dengan membuat *polygon* yang berpusat pada pos hujan. Apabila pada suatu kondisi dibutuhkan pos hujan tambahan maka tentunya akan mengubah hasil analisis perhitungan. Asumsi lain yang diambil pada metode ini adalah tidak memperhitungkan topografi atau kontur wilayah yang ditinjau dan dianggap lebih teliti apabila dibandingkan dengan metode rata-rata aljabar.



Gambar 4.2 Metode Poligon Thiessen

(sumber: Rizka Arbaningrum, Hidrologi CIV-202: Curah Hujan Kawasan)

$$\bar{P} = \frac{\sum A_n P_n}{\sum A_n}$$

dengan:

\bar{P} = Nilai rata-rata hujan pada daerah yang ditinjau

P_n = Nilai tinggi curah hujan pada pos hujan 1, 2, ... n

A_n = Area yang mempengaruhi tiap-tiap pos hujan.

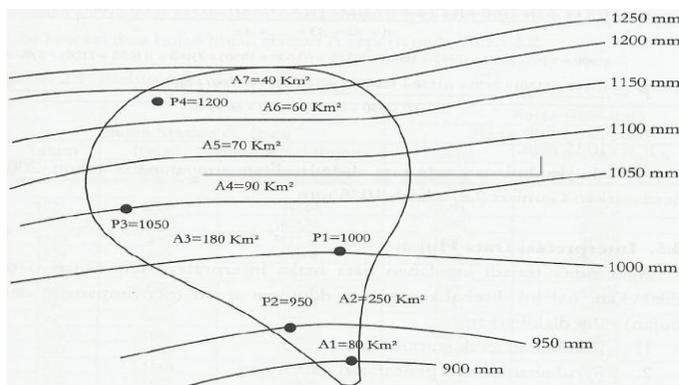
Langkah-langkah pengerjaan dengan menggunakan metode *polygon Thiessen* yaitu:

- a. Tentukan lebih dahulu lokasi stasiun hujan untuk di plot pada peta.
- b. Buatlah garis lurus penghubung antara stasiun hujan sehingga membentuk segitiga.
- c. Bagilah segitiga tersebut dengan garis yang tegak lurus.
- d. Kemudian hitunglah faktor pemberat/ pembobot *Thiessen* $A_i/\sum A_i$.
- e. Perlu diingat bahwa poligon yang telah dibuat memiliki nilai curah hujan masing-masing yang merepresentasikan wilayahnya.
- f. Kemudian hitunglah luas poligon tersebut.
- g. Tahapan akhir yaitu dengan menjumlahkan keseluruhan luasnya.

3. Metode Isohyet

Metode Isohyet adalah salah satu metode untuk menganalisis rata-rata curah hujan wilayah yang menggunakan garis bantu dengan nilai hujan

yang setara. Asumsi yang digunakan pada metode ini adalah hujan pada suatu wilayah di antara dua garis isohyet merata dan sama dengan nilai rata-rata dari kedua garis isohyet tersebut. Metode ini dapat digunakan dengan kondisi batas antara lain lokasi yang sesuai untuk metode ini adalah wilayah pegunungan walaupun bisa juga diterapkan di wilayah dengan kemiringan lahan yang landai, jumlah pos hujan yang tersedia tersebar merata dan cukup representatif, sesuai untuk karakteristik hujan yang relatif waktunya pendek.



Gambar 4.3 Metode Isohyet

(sumber: Hidrologi dan Neraca Air: Diklat Teknis Perencanaan Irigasi Tingkat Dasar)

$$P = \frac{A_1 \frac{I_1 + I_2}{2} + A_2 \frac{I_2 + I_3}{2} + \dots + A_n \frac{I_n + I_{n+1}}{2}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \frac{I_i + I_{i+1}}{2}}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Gambar 4.5 Rumus Metode Isohyet

(sumber: Rizka Arbaningrum, Hidrologi CIV-202: Curah Hujan Kawasan)

P = Curah hujan rata-rata (mm)

I_1, I_2, \dots, I_n = Curah hujan stasiun 1, 2, n (mm)

A_1, A_2, \dots, A_n = Luas area antara dua isohyet (km²)

Adapun proses tahapan atau langkah-langkah dalam mengerjakan metode ini yaitu:

- a. Tentukan dan pastikan lokasi stasiun pengamatan hujan atau pos hujan dan besar kedalaman curah hujan yang terjadi pada pos hujan tersebut.
- b. Setelah diketahui nilai-nilai kedalaman hujan di masing-masing stasiun hujan yang tersebar ataupun berdampingan lalu dilakukan interpolasi dengan pertambahan nilai hujan yang telah yang ditetapkan sebelumnya.
- c. Kemudian buatlah kurva dengan menghubungkan titik-titik interpolasi yang

telah memperhatikan kedalaman hujan yang sama.

- d. Lalu hitunglah luas daerah antara dua garis isohyet yang berurutan dan kalikan dengan nilai rerata dari nilai kedua garis isohyet.
- e. Kemudian jumlahkan hitungan pada langkah 4 sebelumnya untuk seluruh garis isohyet yang telah dibuat dan kemudian dibagi dengan luas daerah yang ditinjau.
- f. Tahap akhir adalah menghitung tebal hujan yaitu dengan menjumlahkan perkalian antara tebal hujan dengan luas wilayah dengan cakupan dua batasan dari garis isohyet yang berdekatan.

C. Data Hujan yang Hilang (*Missing Data*)

Dalam pelaksanaannya, kadang informasi berupa data hujan sering tidak lengkap. Hal ini terjadi diantaranya dikarenakan alat yang sudah tidak berfungsi dengan baik, kelalaian atau kekurangan pegawai maupun data yang hilang. Alat tersebut tidak dapat berfungsi baik, bisa disebabkan oleh kerusakan yang diakibatkan oleh faktor alam atau cuaca, pemeliharaan yang kurang sempurna maupun umur layanan yang sudah lewat. Kelalaian atau kekurangan petugas sering terjadi dikarenakan sakit atau alasan lainnya. Di samping

itu, kesengajaan pengamat untuk tidak mencatat data hujan ataupun ketidakakuratan petugas pencatat dalam mencatat data yang terukur juga sering mengakibatkan informasi data hujan menjadi hilang atau tidak lengkap. Selain itu, di dalam mengelola data hujan perlu diperhatikan juga faktor pengarsipan yang sering kurang baik atau tidak memadai dan masih banyak penyimpanan data dilakukan secara tidak baik. Beberapa metode yang diberikan dalam menganalisis data hujan yang hilang antara lain:

1. Cara Perbandingan Normal (*Normal Ratio*)

Metode ini dinilai mudah dalam pelaksanaannya karena hanya menganalisis data hujan dari lokasi stasiun pengamatan hujan yang berada disekitarnya. Oleh karena itu, faktor penting yang harus dianalisis adalah nilai curah hujan harian dengan pembandingnya dalam durasi satu tahun pada salah satu pos hujan sekitarnya. Dalam metode ini, jumlah stasiun acuan (*reference station*) yang dianjurkan umumnya setidaknya tiga buah. Rumus yang digunakan dalam metode ini adalah sebagai berikut (Wei and McGuinness, 1973):

$$\frac{p_x}{N_x} = \frac{1}{n} \left\{ \frac{p_1}{N_1} + \frac{p_2}{N_2} + \frac{p_3}{N_3} \dots + \frac{p_n}{N_n} \right\}$$

arti:

p_x = Nilai tinggi hujan yang dicari pada pos tertentu atau x

$p_1, p_2 \dots p_n$	= Data hujan stasiun sekitar stasiun x pada kurun waktu yang sama
N_x	= Hujan tahunan di stasiun tertentu atau x
$N_1, N_2 \dots N_n$	= Hujan tahunan di stasiun sekitar stasiun tertentu atau x
n	= Jumlah stasiun hujan di sekitar stasiun tertentu x

D. Jaringan Stasiun Hujan

Kualitas informasi data hujan secara akurat sebagai dasar yang akan digunakan dalam suatu analisis hidrologi tergantung dari informasi jaringan pos hujan termasuk lokasi penempatan, pola penyebaran dan banyaknya pos hujan yang ada untuk memantau karakteristik hidrologi dalam suatu DAS terkait dengan peluang kejadian hujan pada pos hujan yang diamati. Dalam merencanakan jaringan stasiun hujan, ada dua hal penting yang harus diperhatikan, yaitu berapa banyak stasiun yang dibutuhkan dan dinyatakan dalam km²/stasiun (misalnya 1 stasiun per 200 km²), lalu lokasi-lokasi yang tepat untuk memasangnya. Hal ini sangat diperlukan karena dalam suatu jaringan stasiun curah hujan, perbedaan jumlah stasiun dan pola

distribusi yang digunakan untuk memperkirakan jumlah curah hujan yang terjadi pada suatu DAS akan menyebabkan perbedaan jumlah curah hujan yang diterima dan mempengaruhi akurasi rata-rata keseluruhan dalam analisis perhitungan curah hujan di suatu DAS.

Selain kedua faktor tersebut di atas, beberapa faktor lainnya yang juga harus dipertimbangkan dalam perhitungan yaitu:

1. Karakteristik topografi pada DAS yang ditinjau terutama untuk wilayah dataran tinggi umumnya mempunyai karakteristik hujan yang cepat berubah walaupun jaraknya relatif dekat.
2. Kondisi iklim dan kelembapan pada DAS.
3. Ketersediaan sumber daya manusia ataupun sarana dan prasarana pendukung.
4. Faktor ekonomi yang menunjang.
5. Tujuan dari perhitungan yang hendak dilakukan.

Upaya ini harus meliputi kepadatan stasiun hujan dan kemampuannya dalam mengumpulkan data hujan. Oleh karena itu, diperlukan upaya membuat jaringan stasiun hujan primer maupun sekunder. Jaringan utama dirancang untuk dipasang dalam jangka panjang dan diperiksa secara teratur di lokasi yang dipilih dengan cermat. Jaringan sekunder dikatakan memiliki variasi yang lebih besar dalam keadaan presipitasi. Jaringan ini dapat dikonfigurasi di beberapa lokasi yang telah

ditentukan sebelumnya. Selain itu, stasiun sekunder ini dapat dipindahkan ke lokasi lain dengan membangun koneksinya dengan jaringan primer.

Dalam menganalisis jumlah hujan di daerah tangkapan air, diperlukan beberapa stasiun hujan dengan kerapatan dan distribusi yang cukup. Jumlah optimal stasiun hujan dihasilkan dari:

1. Metode Garg SK

$$N = \left(\frac{C_v}{E}\right)^2$$
$$C_v = \frac{100\sigma}{\bar{p}}$$
$$\sigma = \left[\frac{n}{n-1} \left\{ \frac{\sum p^2}{n} - (\bar{p})^2 \right\}\right]^{1/2}$$
$$\bar{p} = \frac{\sum p}{n}$$

dengan:

N = Jumlah stasiun hujan (buah)

C_v = Koefisien variasi hujan

E = % kesalahan yang diizinkan

σ = Standar deviasi

p = Hujan rata-rata tahunan (mm)

\bar{p} = Hujan rerata n stasiun (mm)

n = Banyaknya pos hujan yang ada (buah)

2. *Square Grid Techniques*

Metode ini sering digunakan apabila infiltrasi yang terjadi relatif kecil. Adapun konsep dasar dari persamaannya adalah jumlah hujan yang sebanding dengan jumlah limpasan aliran permukaan dan proses evaporasi (jumlah hujan = limpasan + evaporasi). Semakin kecil gridnya maka akan makin teliti analisis yang dilakukan, misalkan untuk luas DAS berkisar 1-10 km maka luas DAS : luas grid > 6 sudah cukup memadai. Tidak lupa metode ini memperhatikan proses evaporasi termasuk karakteristik DAS yang ditinjau seperti ketinggian, sifat tanah, maupun tata guna lahan. Di samping itu, limpasan aliran permukaan dihitung dari data hujan dan evaporasi dibandingkan dengan hasil pengukuran. Hal ini tentunya memerlukan waktu dan data harus memadai.

3. *Joint Mapping Techniques (Solomon '67)*

Apabila hendak menggunakan metode ini maka harus memperhatikan beberapa hal sebagai berikut:

- a. Stasiun curah hujan yang tersedia harus dapat menyediakan data yang diperlukan.
- b. Kerapatan Jaringan Hidrologi-SEE (*standard error of estimate*).
- c. Curah hujan rata-rata dan aliran limpasan permukaan yang terjadi.

- d. Kemampuan subjektif dalam menggambarkan garis isohyet (garis yang menghubungkan tinggi hujan yang sama) dan isorhet (limpasan).

Bab 5

Hidrometri

Hidrometri adalah turunan istilah dari ilmu hidrologi dan hidraulika yang cabang yang berfokus kepada karakteristik tinggi muka air terkait pengukuran, pengumpulan maupun proses data dasar bagi analisis proses hidrologi seperti data aliran sungai (tinggi muka air dan debit aliran).

A. Kegunaan Hidrometri

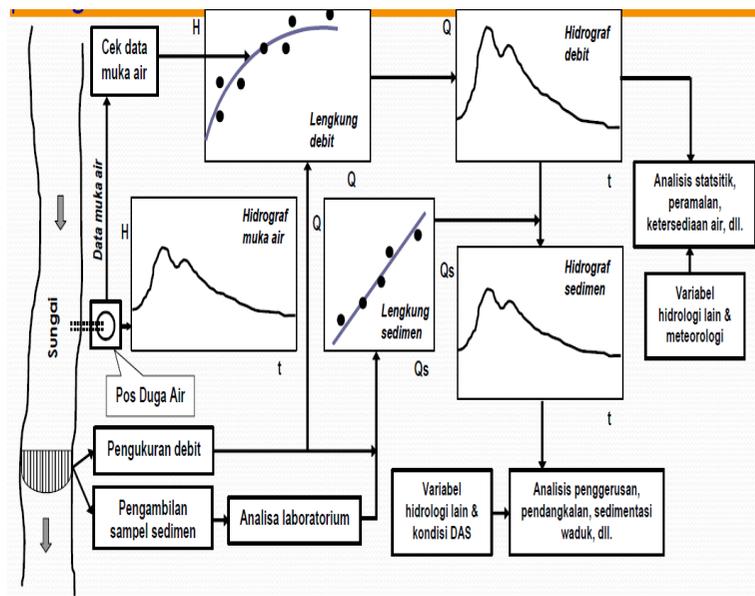
Informasi dan/atau data hasil hidrometri sering diperlukan untuk keperluan perencanaan, operasional atau *monitoring* sistem pada konstruksi keairan. Beberapa contoh dalam penggunaan data hasil hidrometri antara lain, yaitu:

1. Elevasi muka air sungai untuk *monitoring* tinggi muka air banjir maupun memberikan peringatan dini terhadap bencana banjir yang dapat terjadi.
2. Debit aliran eksisting maupun di masa mendatang untuk menganalisis ketersediaan air dalam perencanaan bangunan keairan seperti bendung,

jaringan irigasi, embung, bendungan/waduk, serta lainnya.

- Mengetahui debit banjir terjadi untuk menentukan nilai maksimum debit banjir pada perencanaan tanggul, bendung, bendungan, dan bangunan keairan lainnya.

Gambar di bawah menunjukkan hidrometri dan pemanfaatan data hasil pengukurannya.



Gambar 5.1 Kegiatan Hidrometri dan Kegunaan Data Hasil Pengukuran Hidrometri

(sumber: Hidrologi: Data Hidrologi dan Survei Hidrometri)

Pengukuran seperti elevasi atau kedalaman air, luas penampang saluran yang terkait dengan kecepatan air dan spesimen atau contoh air diambil

langsung di stasiun hidrometri. Beberapa tahapan lainnya antara lain:

1. Contoh air harus diperiksa lebih lanjut di laboratorium untuk mengetahui kadar sedimen.
2. Grafik hidrograf muka air (*stage hydrograph*) dapat dilakukan untuk mempelajari fluktuasi muka air.
3. Aliran dapat dihitung dalam bentuk debit hidrograf (*discharge hydrograph*).
4. Untuk keperluan analisis lanjut, perlu dilakukan perhitungan laju angkutan sedimen layang dengan lebih dahulu mengetahui konsentrasi sedimen layang dan debit aliran air.

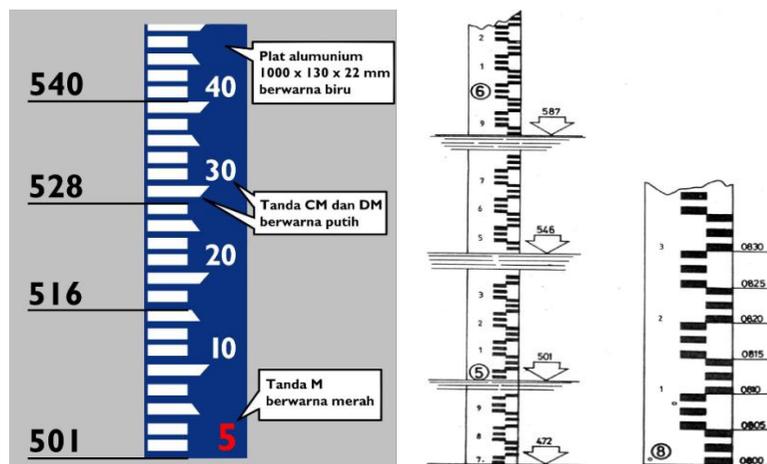
- **Stasiun Pengukuran**

Apabila pengukuran debit aliran tidak dapat terjadi secara otomatis, maka kedalaman atau tinggi muka air (h) dan debit aliran (v) dapat diukur secara langsung di lapangan. Harus dipilih lokasi untuk memasang alat pengukur ketinggian air, yang memungkinkan pemantauan semua kondisi ketinggian air dari batas terendah hingga batas tertinggi.

B. Pengukuran Muka Air

Secara umum pengukuran muka air pada suatu saluran alamiah maupun buatan dapat menggunakan papan duga air (*peilschaal*) maupun

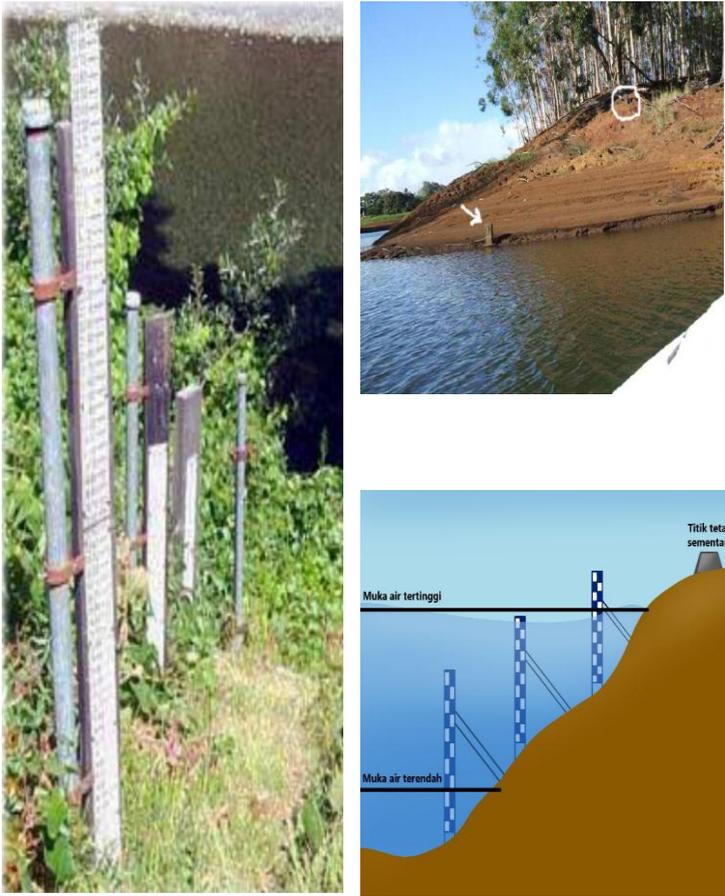
pelampung atau sensor elektronik/gelombang. Papan duga air (*peilschaal*) biasa digunakan untuk mengetahui kedalaman atau elevasi muka air. Papan duga air (*peilschaal*) biasanya dipasang di tepi atau pinggir alur sungai atau di dinding saluran, atau di dinding pilar jembatan. Untuk pengukuran yang bersifat rutin dan membutuhkan tingkat akurasi yang lebih tinggi maka disarankan menggunakan alat pengukur muka air otomatis (*Automatic Water Level Recorder, AWLR*) tipe pelampung atau sensor elektronik/gelombang. Alat AWLR ini dapat menghasilkan langsung data tinggi muka air yang dibutuhkan karena menghasilkan grafik fluktuasi muka air.



Contoh pemberian skala papan duga tegak

Contoh pembacaan papan duga air

Gambar 5.2 Papan Duga Air (*Peilschaal*)
(sumber: Hidrologi: Data Hidrologi dan Survei Hidrometri)



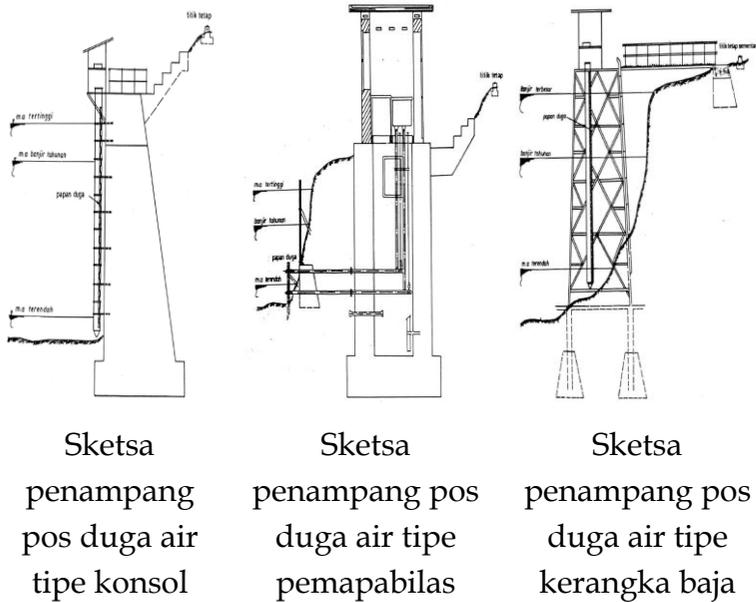
Gambar 5.3 Papan Duga Air Bertingkat
(sumber: Hidrologi: Data Hidrologi dan Survei Hidrometri)

Berdasarkan prinsip cara kerjanya maka terdapat tipe-tipe alat pengukur muka air otomatis yaitu:

1. Pelampung yang dihubungkan dengan sistem perekam grafik fluktuasi muka air pada AWLR akan memberikan hasil yang tergambar di kertas

yang tersedia. Jenis alat memerlukan penentuan kondisi awal untuk menganalisis muka air yang bergerak dengan kecepatan dan waktu tertentu. Data yang didapat disesuaikan dengan kurun waktu atau durasi yang diinginkan.

2. Alat pengukur muka air otomatis ini memiliki sensor elektronik sehingga data muka air direkam secara digital dengan sistem *data logger*. Untuk jenis alat ini apabila diaplikasikan di kondisi sebenarnya, maka perlu dilakukan kalibrasi terhadap sensornya di laboratorium agar mendapat hasil dengan tingkat keakurasian tinggi. Kemudian pada proses pengambilan data, sistem *data logger* ke media penyimpan data digital dapat melalui mesin komputer dalam format digital yang dilakukan setiap periode waktu tertentu (misalnya setiap minggu) tergantung dari kapasitas energi yang tersedia dalam baterai. Satuan waktu dari periode pencatatan dapat diatur sesuai dengan kebutuhan, misal menit, jam, dan lain-lain.



Gambar 5.4 Sketsa Pos Duga Air

(sumber: Hidrologi: Data Hidrologi dan Survei Hidrometri)

Adapun, kelebihan dari alat ukur jenis ini adalah dapat mengetahui dan mendapatkan data muka air secara kontinu termasuk data ekstrim maksimum maupun minimum. Hal ini tidak dapat dilakukan oleh papan duga air yang bersifat manual.

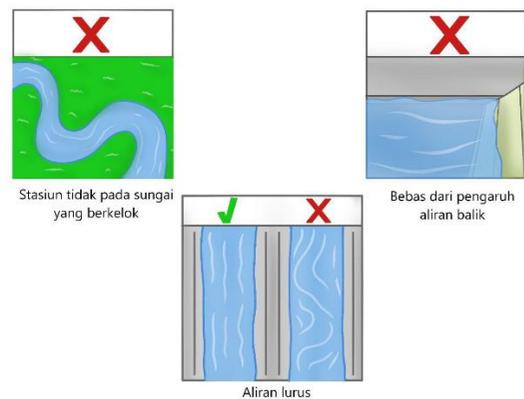
- **Penempatan AWLR**

Adapun panduan untuk terkait posisi yang sesuai untuk AWLR adalah sebagai berikut:

1. Tempatkan stasiun hidrometri yang memiliki aksesibilitas cukup dengan alat duga air secara

sejajar sehingga aliran stabil dan bebas dari masalah erosi maupun sedimentasi.

2. Tidak terganggu oleh keberadaan vegetasi maupun struktur tertentu yang mengakibatkan aliran balik.
3. Hubungkan antara muka air dan debit aliran dengan tingkat akurasi yang tinggi.



Gambar 5.5 Lokasi Stasiun Hidrometri
(sumber: HIDROMETRI)

C. Pengukuran Debit Aliran

Pengukuran debit aliran diperlukan untuk mengetahui banyak jumlah air yang mengalir dalam satuan volume per waktu. Oleh sebab itu, debit aliran adalah satuan besaran volume air yang keluar dari Daerah Aliran Sungai (DAS) dalam suatu kurun waktu dengan satuan yang digunakan adalah meter kubik per detik (m^3/det). Nilai dari debit aliran pada

suatu aliran atau sungai dapat diukur dengan berbagai metode dengan mempertimbangkan beberapa hal seperti kondisi aliran air, alur sungai dan ketersediaan alat. Pengukuran debit aliran dapat dilakukan melalui dua metode atau cara yaitu cara langsung dan tidak langsung. Cara tidak langsung yang dibahas pada bab ini adalah *slope area method*. Sedangkan cara langsung adalah *velocity area method*, *dilution method*, dan *tracer method*.

1. *Slope Area Method*

Konsep dasar untuk mengetahui debit aliran pada suatu saluran atau sungai adalah dengan menggunakan rumus dasar hidraulik yaitu rumus Manning maupun rumus Chezy serta pengukuran penampang basah saluran yang ditinjau. Faktor lainnya yang harus diketahui datanya terlebih dahulu adalah luas penampang saluran, keliling basah, kemiringan muka air, kekasaran dasar. Analisis debit aliran pada saat banjir yang tidak terukur dapat dilakukan dengan memperhatikan bekas muka air yang ditinggalkan oleh kejadian banjir dengan cara melihat tanda-tanda alamiah yang ditinggalkan setelah kejadian seperti garis level muka air banjir. Untuk analisis dengan menggunakan Rumus Manning adalah sebagai berikut:

$$V = \frac{R^{2/3} \times S^{1/2}}{n}$$

$$Q = \frac{AR^{2/3} \times S^{1/2}}{n}$$

dengan:

V = Kecepatan aliran (m/det)

Q = Debit aliran (m^3/det)

R = Jari-jari hidraulis (m); didapat dari $R = A/P$

A = Luas penampang basah (m^2)

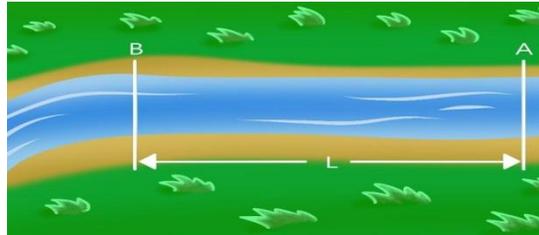
P = Keliling basah (m)

n = Koefisien kekasaran Manning (nilai tergantung dari jenis salurannya)

S = Kemiringan sungai.

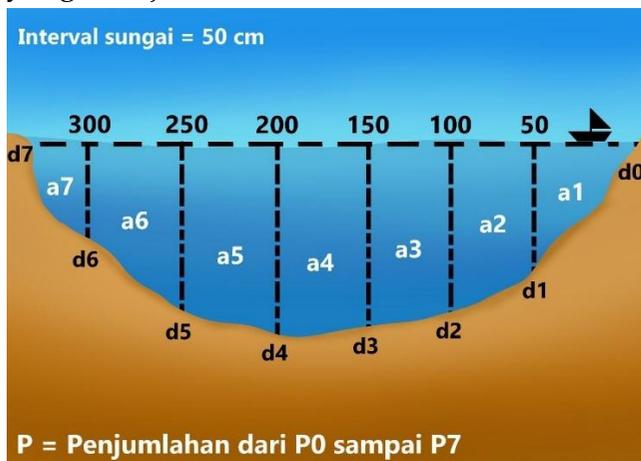
Langkah-langkah pengambilan data untuk melakukan analisis adalah sebagai berikut:

- a. Pertama, tentukan segmen sungai atau saluran yang akan diambil untuk dianalisis. Disarankan ambil segmen saluran yang relatif lurus dengan lebar dan kedalaman yang relatif seragam, untuk kemudian ukur panjang potongan sungai (L) yang akan digunakan untuk perhitungan debit aliran (Gambar 5.6).



Gambar 5.6 Contoh Penentuan
(sumber: Hidrologi dan Hidrogeologi Karst)

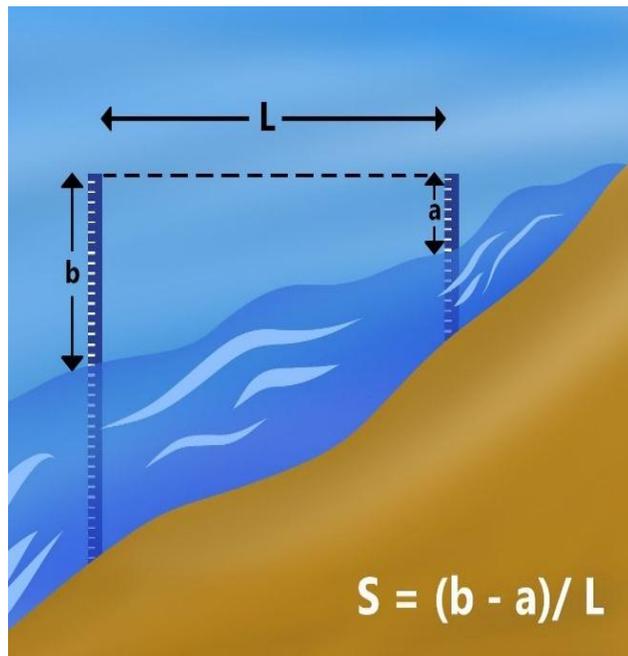
- b. Langkah berikutnya yaitu membuat profil melintang sungai atau saluran yang ditinjau dengan menetapkan beberapa interval pada segmen sungai yang telah dipilih kemudian dilakukan pengukuran kedalaman dan jarak antar interval pengukuran kedalaman. Hasil pengukuran tersebut nantinya akan dianalisis untuk menghitung luas penampang sungai dan panjang penampang basah pada segmen sungai yang ditinjau.



Gambar 5.7 Contoh Profil Melintang Sungai
(sumber: Hidrologi dan Hidrogeologi Karst)

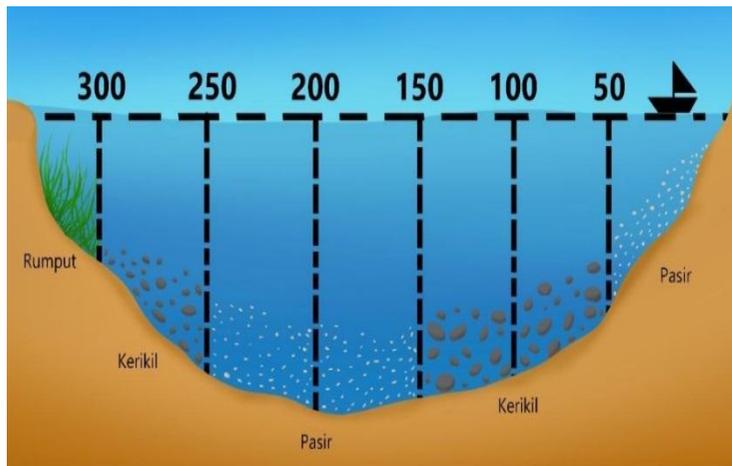
- c. Tahapan berikutnya adalah pengukuran gradien hidraulik yang terdiri atas jarak segmen sungai yang ditinjau (L) dan beda elevasi tinggi muka air untuk menganalisis sederhana dengan rumus sebagai berikut:

$$S = \frac{b-a}{L}$$



Gambar 5.8 Pengukuran Beda Tinggi Muka Air
sumber: Hidrologi dan Hidrogeologi Karst

- d. Tahapan akhir adalah pengumpulan informasi data terkait kondisi karakteristik saluran yang ditinjau, terutama informasi terkait dengan jenis dasar saluran yang memiliki tujuan untuk mengetahui koefisien kekasaran manning (n) sesuai dengan karakteristik materi dasar sungai (seperti lumpur, pasir, kerikil) maupun vegetasi alamiah baik yang diluar maupun di dalam permukaan air (seperti rumput, perdu, pohon).



Gambar 5.9 Kondisi Dasar Sungai
 (sumber: Hidrologi dan Hidrogeologi Karst)

2. *Velocity Area Method*

Metode ini dalam menganalisis debit aliran berdasarkan pada pengukuran suatu aliran yang bergerak sehingga memiliki kecepatan dan area dan bentuk dari penampang melintang pada suatu saluran atau sungai. Oleh karena itu, diperlukan alat-alat bantu untuk mengetahui kecepatan aliran. Alat-alat ukur tersebut adalah *current meter* atau menggunakan metode apung (pelampung). Informasi terkait standarisasi dari pemerintah juga telah tersedia dalam bentuk SNI yang berisi tentang tata cara pengukuran debit aliran sungai dan saluran terbuka dengan menggunakan alat ukur arus dan pelampung (SNI 8066: 2015).

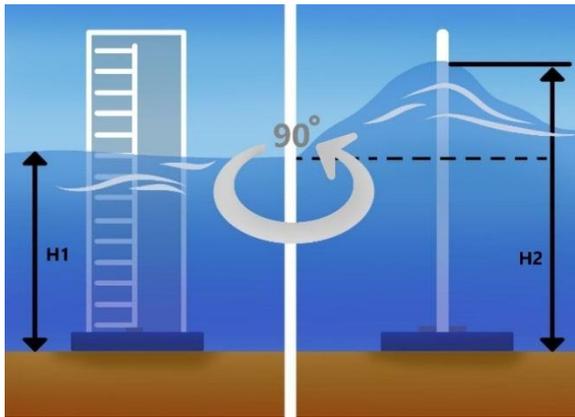
a. *Velocity Head Rod*

Pengukuran dengan alat ini akan memberikan hasil pengukuran berupa kecepatan aliran permukaan. Alat ukur ini biasanya digunakan untuk pengukuran secara cepat pada kecepatan aliran yang lebih besar dari 1 m/detik sehingga kelemahan dari alat ukur ini adalah ketelitiannya. Adapun cara pengukuran dapat dijelaskan sebagai berikut (lihat Gambar 5.10).

- 1) Pertama, posisikan alat ukur pada tempat yang ditinjau dengan posisi alat harus sejajar dengan arus aliran yang mengalir pada saluran atau sungai tersebut.
- 2) Tunggu aliran stabil dalam proses pembacaannya.
- 3) Setelah aliran stabil, maka bacalah ketinggian muka air aliran (H_1).
- 4) Langkah terakhir adalah putarkan alat 90°, sehingga tegak lurus aliran, kemudian baca tinggi muka air yang terjadi (H_2).

Kecepatan arus aliran dengan alat ukur ini dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$V = \sqrt{2g(H_2 - H_1)}$$

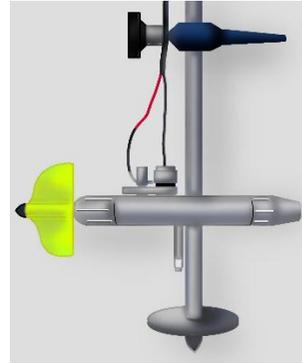


Gambar 5.10 Pengukuran Kecepatan Arus dengan *Velocity Head Rod*
(sumber: Hidrologi: Data Hidrologi dan Survei Hidrometri)

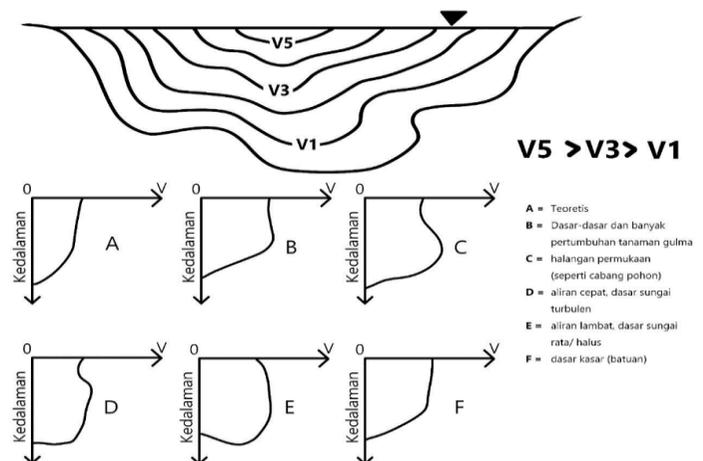
b. *Current Meter*

Kondisi sekarang, pengukuran kecepatan aliran pada suatu sungai atau saluran sering menggunakan *current meter* (Gambar 5.11). Namun dalam penggunaannya harus tetap memperhatikan pabrik atau produsen dari alat *current meter* tersebut karena tiap-tiap *current meter* mempunyai rumus untuk mencari kecepatan alirannya sendiri. Secara umum persamaan kecepatan aliran yang digunakan terbentuk dari nilai koefisien suatu regresi yang terbentuk dan jumlah putaran baling-baling dalam durasi tertentu. Penggunaan alat ini juga memperhatikan distribusi kecepatan aliran baik arah horisontal dan vertikal yang tidak sama (Gambar 5.13). Oleh karena itu, perlu diperhatikan bagaimana cara menggunakan

alat ini di lapangan. Gambar 5.14 menunjukkan bagaimana cara mengambil sampel air dalam suatu saluran atau sungai dengan menggunakan alat ini.

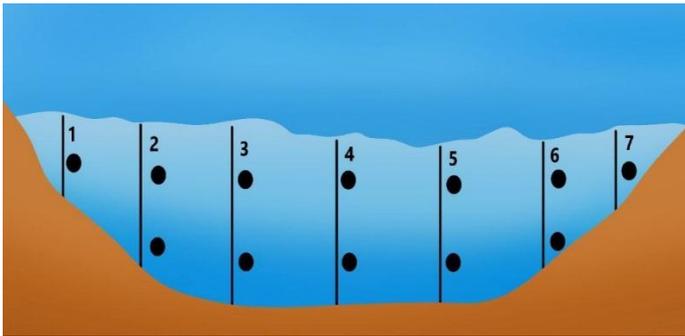


Gambar 5.11 *Current Meter*
(sumber: Hidrologi dan Hidrogeologi Karst)



Gambar 5.12 *Distribusi Kecepatan Aliran Sungai*
(sumber: Hidrologi dan Hidrogeologi Karst)

Pelaksanaan penggunaan alat ini di lapangan dimulai dengan membagi area pengukuran dengan jarak tertentu kemudian alat pengukur kecepatan aliran tersebut dimasukkan ke dalam air sesuai dengan titik-titik pembagian dengan kedalaman tertentu.



Gambar 5.13 Contoh Distribusi Penentuan Titik Pengukuran Kecepatan Aliran pada Suatu Penampang Saluran

(sumber: *Hidrologi dan Hidrogeologi Karst*)

Adapun analisis untuk menghitung luas penampang basah sendiri yang dapat dilakukan yaitu (Gambar 5.14):

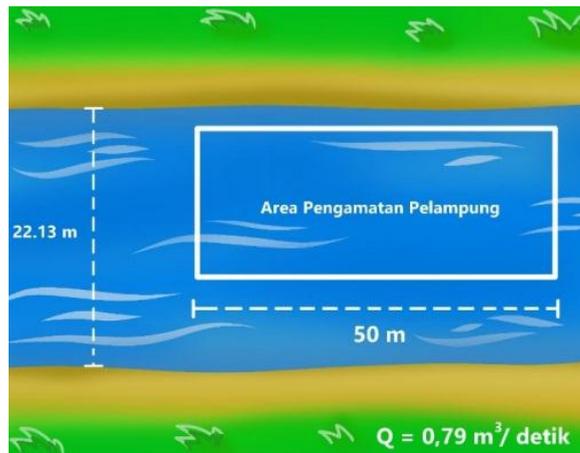
- 1) Metode Rata-rata (*Mean-section method*)
- 2) Metode Tengah (*Mid-section method*)



Gambar 5.14 Cara Menghitung Luas Penampang Basah
(sumber: Hidrologi dan Hidrogeologi Karst)

c. Pengukuran Kecepatan Aliran dengan Pelampung

Untuk kondisi tertentu yang terjadi di lapangan, metode sederhana dapat digunakan pelampung yang akan bergerak mengalir dalam suatu segmen tertentu dalam durasi waktu tertentu (lihat Gambar 5.15)



Gambar 5.15 Gambar Tipikal Pengukuran Debit dengan Pelampung
(sumber: Hidrologi dan Hidrogeologi Karst)

Prinsip kerja pengukuran dengan metode pengapung ini adalah informasi kecepatan aliran didapat dari penggunaan pelampung dengan dilengkapi perhitungan luas penampang basah (A) yang ditetapkan berdasarkan pengukuran kedalaman air dan lebar permukaan air sehingga didapat kecepatan aliran arus pada permukaan. Sementara itu, kecepatan aliran (v) dapat dihitung dengan rumus $v = \frac{L}{t}$ (meter/detik) dengan panjang segmen saluran (L) adalah jarak dan t adalah waktu.

Namun, kecepatan yang diperoleh dari alat ukur ini adalah kecepatan aliran pada permukaan sungai dan bukan kecepatan aliran rata-rata penampang sungai, sehingga masih

diperlukan perhitungan selanjutnya yaitu dengan mengalikan hasilnya dengan faktor koreksi C yang nilainya berkisar antara 0,85-0,95. Di samping itu, perlu dicatat bahwa pengukuran dengan cara ini juga tidak boleh dilakukan hanya sekali. Hal ini dikarenakan distribusi kecepatan aliran permukaan tidak merata. Oleh sebab itu sebaiknya dilakukan tiga kali pengukuran, yaitu sepertiga kiri sungai, bagian tengah, sepertiga kanan sungai. Hasil yang diperoleh kemudian dirata-rata kemudian dimasukkan ke persamaan debit dengan menggunakan rumus:

$$Q = A \times k \times U$$

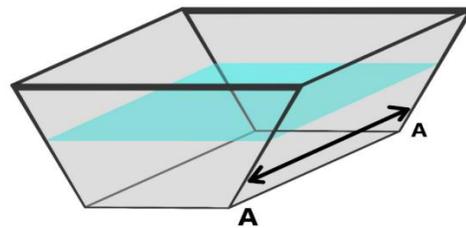
dengan:

Q = Debit aliran (m³/detik)

U = Kecepatan pelampung (m/detik)

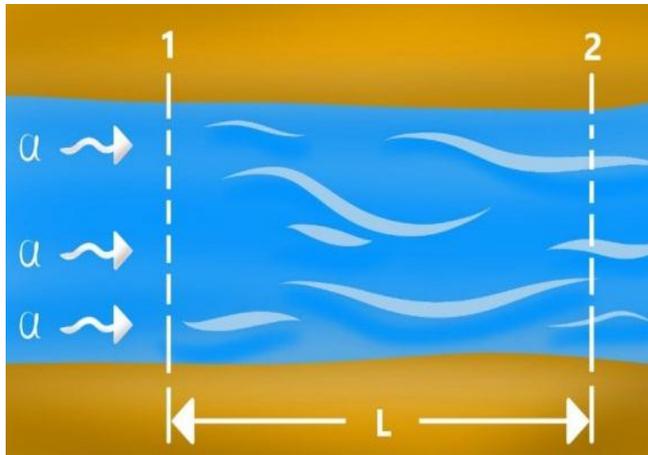
A = Luas penampang basah (m²)

k = Koefisien pelampung

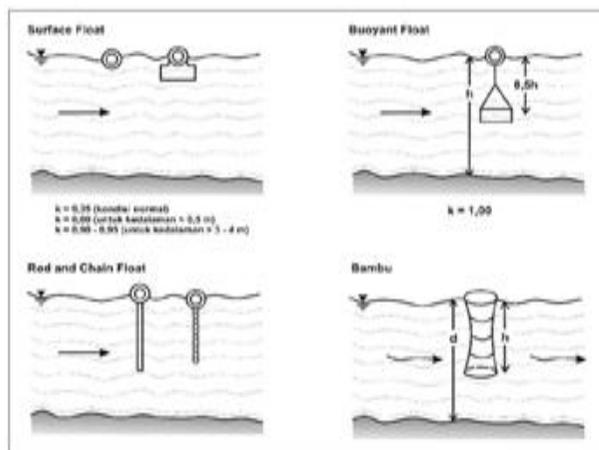


Gambar 5.16 Sketsa Perhitungan Debit
(sumber: Hidrologi dan Hidrogeologi Karst)

Untuk nilai k sendiri ditentukan oleh karakteristik pelampung yang dipasang.



Gambar 5.17 Segmen Sungai untuk Pengukuran Debit Metode Apung
(sumber: Hidrologi dan Hidrogeologi Karst)



Gambar 5.18 Tipe-Tipe Pelampung dan Penentuan Koefisien Pelampung
(sumber: Hidrologi dan Hidrogeologi Karst)

Bab 6

Analisis Frekuensi

Curah Hujan Rencana

Dalam suatu proyek baik perencanaan maupun perancangan yang terkait dengan bangunan keairan, penggunaan analisis hidrologi adalah sesuatu yang mutlak untuk dilakukan terlebih dahulu. Hujan sebagai salah satu komponen utama dalam proses hidrologi sangat mempengaruhi dimensi suatu struktur keairan maupun manajemen sumber daya air. Hujan dapat dianalisis dalam bentuk jumlah kedalaman hujan (*rainfall depth*) yang mencapai permukaan bumi dan akhirnya mengalir di sungai. Untuk hujan yang tidak tertampung di saluran atau sungai akhirnya akan menjadi berbagai jenis limpasan baik di permukaan (*surface runoff*) maupun di dalam tanah. Dalam perencanaan suatu bangunan keairan perlu memperhatikan standar perancangan yang berlaku dan sudah dikeluarkan oleh pemerintah sehingga akan menghasilkan suatu hasil rancangan yang efektif.

Besarnya debit banjir rencana pada suatu DAS yang ditinjau dapat dianalisis dengan menggunakan debit banjir rencana yang memiliki definisi debit maksimum rencana pada suatu sungai dalam kurun waktu ulang tertentu pada suatu DAS. Dalam perencanaan bangunan keairan, seharusnya dilengkapi dengan data riwayat atau historis kejadian banjir. Apabila pada studi yang dilakukan tidak terdapat data pengamatan tinggi elevasi muka air maupun data debit aliran, maka analisis debit banjir rencana menggunakan model limpasan hujan dengan data curah hujan serta karakteristik fisik DAS sebagai data pendukung utama dalam perhitungan.

Data curah hujan yang digunakan adalah data hujan harian maksimum. Hujan harian maksimum rata-rata DAS umumnya diperoleh dengan tahapan sebagai berikut:

1. Tentukan hujan harian maksimum setiap tahunnya dalam kurun waktu tertentu di tiap-tiap pos hujan yang tersebar di wilayah DAS.
2. Kumpulkan informasi atau data hujan dalam durasi tertentu pada pos hujan yang lain di wilayah DAS.
3. Menganalisis hujan yang terjadi pada wilayah DAS dengan menggunakan salah satu metode perhitungan hujan wilayah DAS.

4. Menentukan hujan maksimum harian (langkah pertama) pada tahun yang sama untuk pos hujan yang lain.
5. Selanjutnya ulangi langkah kedua dan ketiga untuk setiap tahunnya.

A. Analisis Frekuensi

Peristiwa berulangnya curah hujan dalam jumlah frekuensi per satuan waktu maupun periode ulangnya biasa dikenal dengan istilah analisis frekuensi curah hujan. Analisis frekuensi ini digunakan untuk menentukan jenis distribusi yang sesuai agar mendapatkan curah hujan yang perhitungannya didasarkan pada nilai-nilai *koefisien asimetri*, *koefisien variasi* dan *koefisien kurtosis* yang diperoleh dari parameter-parameter statistik dan persyaratannya seperti pada Tabel 6.1.

Tabel 6.1 Contoh Pemilihan Jenis Sebaran

No.	Jenis Sebaran	Hasil Perhitungan	Syarat	Keterangan
1	Gumbel	$C_s = 0,77$ $C_k = 6,62$	$C_s \leq 1,1396$ $C_k \leq 5,4002$	Tidak memenuhi
2	Normal	$C_s = 0,77$	$C_s \approx 0$	Tidak

				memenuhi
		$C_k = 6,62$	$C_k \approx 3$	
3	Log Normal	$C_s = -0,9$	$C_s \approx 3C_v + C_v^2 = 3$	Tidak memenuhi
		$C_k = 6,071$	$C_k = 5,383$	
4	Log Pearson III	$C_s = -0,9$	$C_s \neq 0$	Memenuhi

Hubungan antara variabel besarnya kejadian ekstrim terhadap frekuensi kejadian yang menggunakan distribusi probabilitas/kemungkinan dapat diketahui dengan analisis frekuensi data hidrologi. Oleh karena itu, manfaat dari analisis ini antara lain untuk:

1. Menganalisis kapasitas saluran drainase, jaringan irigasi, perencanaan bendung dan bendungan, perencanaan jembatan, dan konstruksi bangunan air lainnya.
2. Memprediksi besarnya kerusakan akibat debit banjir pada suatu wilayah atau konstruksi bangunan air.
3. Menganalisis lanjut terkait nilai ekonomi suatu proyek keairan.

Data curah hujan didapat dari stasiun hujan yang dikumpulkan atau dicatat dalam kurun waktu tertentu. Tujuannya yaitu untuk menganalisis curah

hujan rencana yang diperlukan dalam perencanaan analisis curah hujan di suatu tempat pada waktu tertentu untuk memprediksi debit banjir rencana. Analisis curah hujan rencana tersebut dengan beberapa tahapan analisis statistik lainnya, antara lain:

1. Analisis Parameter Statistik

Adapun analisis nilai parameter-parameter statistik dilakukan dengan menggunakan rumus-rumus sebagai berikut:

a. Rata-rata Nilai (*mean*)

Rata-rata nilai (*mean*) adalah sejumlah nilai (n) yang dijumlahkan lalu dibagi dengan banyaknya data dan biasanya dinyatakan dengan simbol \bar{X} dengan persamaan sebagai berikut:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

dengan:

\bar{X} = Rata-rata (*mean*)

n = Jumlah data

X_i = Nilai pengukuran suatu variat

b. Standar Deviasi

Tahapan berikutnya adalah standar deviasi (*Sd*) yang di dalam analisis statistik, ukuran dispersi umumnya digunakan apabila sebaran data terhadap rata-rata besar, maka nilai *Sd* akan

besar, demikian juga apabila sebaran data terhadap rata-rata kecil, maka nilai Sd akan kecil dengan persamaan sebagai berikut:

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

dengan:

Sd = Standar deviasi

X_i = Nilai pengukuran dari suatu variat

\bar{X} = Rata-rata (*mean*)

n = Jumlah data

c. Koefisien Variasi (*coefficient of variation*)

Tahapan lanjutannya adalah koefisien variasi (*coefficient of variation*) yang merupakan nilai perbandingan antara standar deviasi (Sd) dengan nilai rata-rata hitung (\bar{X}) dari suatu distribusi data dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_v = \frac{Sd}{\bar{X}}$$

Apabila dinyatakan dalam bentuk persentase:

$$C_v = \frac{1000Sd}{\bar{X}}$$

dengan:

C_v = Koefisien variasi

Sd = Standar deviasi

\bar{X} = Rata-rata (*mean*)

d. Koefisien Kemencengan (*coefficient of skewness*)

Kemencengan (*skewness*) adalah tahapan lanjutan yang memiliki definisi suatu nilai yang memperlihatkan derajat ketidaksimetrisan (*assymetry*) dari suatu bentuk distribusi data. Besarnya kemencengan diukur dengan koefisien kemencengan (*coefficient of skewness*) yang disimbolkan dengan C_s dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S_d^3}$$

dengan:

C_s = Koefisien kemencengan

S_d = Standar deviasi

\bar{X} = Rata-rata (mean)

X_i = Nilai dari suatu variat

n = Jumlah data

e. Koefisien kurtosis (*coefficient of kurtosis*)

Tahap terakhir yaitu pengukuran keruncingan dari bentuk kurva distribusi yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal kurtosis dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{S_d^4}$$

dengan:

Ck = Koefisien kurtosis

Sd = Standar deviasi

\bar{X} = Rata-rata (*mean*)

X_i = Nilai pengukuran dari suatu variat

n = Jumlah data

2. Analisis Distribusi Frekuensi Hujan

Analisis ini bertujuan untuk mencari hubungan antara besarnya kejadian ekstrim terhadap frekuensi kejadian dengan menggunakan distribusi probabilitas. Metode analisis distribusi frekuensi hujan yang sering digunakan antara lain:

a. Distribusi Normal

Jenis sebaran hujan pada metode ini adalah sebaran normal atau kurva normal yang biasa dikenal juga dengan istilah sebaran *Gauss*. Rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$X_t = \bar{x} + z.S_x$$

dengan:

X_t = Curah hujan rencana (mm/hari)

\bar{x} = Curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari)

$$S_x = \text{Standar deviasi} = \sqrt{\frac{1}{1-n} \sum (x_1 - \bar{x})^2}$$

z = Faktor frekuensi (Tabel 6.2)

Tabel 6.2 Nilai Koefisien untuk Distribusi Normal

Periode Ulang (tahun)					
2	5	10	25	50	100
0.00	0.84	1.28	1.71	2.05	2.33

b. Metode Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal, merupakan hasil transformasi dari distribusi normal, yaitu dengan mengubah varian X menjadi nilai logaritmik varian X . Rumus yang digunakan dalam perhitungan metode ini adalah:

$$X_t = \bar{x} + K_t \cdot S_x$$

dengan:

X_t = Besarnya curah hujan yang mungkin terjadi pada periode ulang T tahun (mm/hari)

\bar{x} = Curah hujan rata-rata (mm/hari)

$$S_x = \text{Standar deviasi} = \sqrt{\frac{1}{1-n} \sum (x_1 - \bar{x})^2}$$

K_t = Standar variabel untuk periode ulang tahun (tabel 6.3)

Tabel 6.3 Nilai Koefisien untuk Distribusi Log Normal

Periode Ulang (tahun)					
2	5	10	25	50	100
0.00	0.84	1.28	1.71	2.05	2.33

Secara matematis distribusi log normal 2 parameter dapat juga ditulis sebagai berikut:

$$\text{Log } X_t = \overline{\text{Log} \bar{X}} + k \cdot S_{d_{\text{Log} X}}$$

dengan:

X_t = Nilai variat pengamatan

\bar{X} = Nilai rata-rata dari logaritmik variat X

Sd = Standar deviasi dari logaritmik nilai variat X

c. Distribusi Gumbel

Tahapan-tahapan analisis dengan metode Gumbel yaitu:

1) Hitunglah standar deviasi (Sd) dengan

menggunakan persamaan $= \sqrt{\frac{1}{1-n} \sum (x_1 - \bar{x})^2}$

2) Hitunglah nilai faktor frekuensi (k)

$$k = \frac{Y_t - Y_n}{S_n}$$

- 3) Hitunglah hujan dalam periode ulang tahun
T tahun

$$X_t = \bar{X} + k.Sd$$

d. Distribusi Log Pearson III

Langkah-langkah analisis dengan metode ini adalah sebagai berikut:

- 1) Mengubah data curah hujan sebanyak n buah $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ menjadi $\log(X_1), \log(X_2), \log(X_3), \dots, \log(X_n)$.
- 2) Menghitung harga rata-ratanya dengan rumus:

$$\log \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log(X_i)}{n}$$

dengan:

$\log X$ = Harga rata-rata logaritmik

X_i = Nilai curah hujan tiap-tiap

n = Jumlah data

- 3) Menghitung logaritma hujan rencana dengan periode ulang T tahun dengan rumus:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n \{\log(X_i) - \log(\bar{X})\}^2}{n-1}$$

dengan:

S = Standar deviasi

4) Menghitung koefisien *skewness* (Cs) dengan rumus:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n \{\log(X_i) - \log(\bar{X})\}^2}{(n-1)(n-2)S^3}$$

5) Menghitung logaritma hujan rencana dengan periode ulang T tahun dengan rumus:

$$\log Y = \log \bar{X} + k.S$$

$$X_t = 10^{(\log Y)}$$

B. Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi

Penggunaan uji kesesuaian distribusi frekuensi (*Goodness of Fit*) ini bertujuan untuk membuktikan kebenaran suatu hipotesis distribusi frekuensi dalam mengetahui perbandingan hasil antara hasil pengamatan dengan model distribusi yang diharapkan atau yang diperoleh secara teoritis ataupun kebenaran hipotesis secara teoritis.

Uji kesesuaian distribusi frekuensi ini terdiri atas metode Chi Kuadrat atau *Chi-Square* dan metode *Kolmogorov-Smirnov*.

1. Analisis Metode Chi Kuadrat

Metode ini digunakan untuk menguji kebenaran suatu sebaran data curah hujan dengan tahapan-tahapan perhitungan sebagai berikut:

- a. Pertama, carilah jumlah kelas (k) terlebih dahulu dengan rumus sebagai berikut:

$$k = 1 + 3,322 \log n$$

diketahui:

k = Jumlah kelas

n = Jumlah data

- b. Kemudian carilah derajat kebebasan (DK) dengan rumus sebagai berikut:

$$DK = K - (P + 1)$$

diketahui:

k = Jumlah kelas

P = Parameter hujan (P = 1)

- c. Lalu menghitung harga X^2 Cr dari derajat kebebasan dan taraf signifikansi (X) dengan terlebih dahulu mencari nilai yang diharapkan (EF):

$$EF = \frac{n}{k}$$

diketahui:

n = Jumlah data

k = Jumlah kelas

- d. Kemudian mendapatkan nilai X^2 Cr:

$$X^2 \text{ Cr} = \sum \frac{(EF - OF)^2}{EF}$$

diketahui:

Cr = Koefisien *skewness*

X = Taraf signifikansi

EF = Nilai yang diharapkan

OF = Nilai yang diamati

- e. Lalu lihat hasil komparasi antara nilai χ^2 Cr hasil tabel dengan χ^2 Cr hasil hitungan. Syarat: χ^2 Cr hitungan < χ^2 Cr tabel.
- f. Kemudian lakukan analisis nilai koefisien *skewness* (Cs):

$$Cs = \frac{n \sum (X_i - X_r)^3}{(n-1)(n-2)Sx^3}$$

diketahui:

X_i = Curah hujan rata-rata

X_r = Harga rata-rata

S_x = Standar deviasi

- g. Lanjutkan dengan mencari koefisien variasi (Cv):

$$Cv = \frac{Sx}{Xr}$$

- h. Kemudian menganalisis nilai koefisien kurtosis:

$$Ck = \frac{n^2 \sum (X_i - X_r)^4}{(n-1)(n-2)(n-3)Sx^4}$$

- i. Tahap terakhir yaitu dengan menghitung curah hujan yang akan digunakan dalam perencanaan konstruksi hidroteknik atau lainnya.

2. Uji Smirnov–Kolmogorov

Sementara itu, terdapat juga metode lainnya yaitu metode uji kecocokan non parametrik yang tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Metode tersebut diberi nama metode uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov. Metode pengujian ini bertujuan untuk melihat hasil komparasi atau selisih maksimum antara hasil garis teoritis dengan plot data pada kertas probabilitas. Adapun urutannya adalah sebagai berikut:

- a. Langkah pertama lakukan pengurutan data bisa dari besar ke kecil atau sebaliknya dan kemudian carilah besarnya peluang dari masing-masing data tersebut.
- b. Langkah berikutnya yaitu pengurutan nilai dari tiap-tiap peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya).
- c. Kemudian berdasarkan hasil kedua nilai peluang tersebut, maka carilah selisih terbesarnya antar peluang pengamatan dengan peluang teoritis.

$$\Delta = \text{maksimum} (P(X_n) - P'(X_n))$$

- d. Langkah terakhir tentukan harga Δ_0 dengan menggunakan tabel nilai kritis.

Bab 7

Debit Banjir Rencana

Definisi sederhana dari debit banjir adalah sejumlah air atau volume aliran yang mengalir di suatu segmen tertentu dalam durasi waktu tertentu sehingga memiliki satuan m^3/detik . Analisis debit banjir antara lain dipakai untuk perencanaan hidroteknik, untuk memprediksi kemungkinan banjir, untuk penggunaan kebutuhan air baku dan jaringan irigasi, untuk penggunaan PLTA, dan sebagainya.

A. Metode Rasional

Metode rasional digunakan untuk mengestimasi debit pada suatu DAS yang tidak memiliki data pengamatan debit. Konsep kerja metode Rasional adalah intensitas curah hujan yang dianalisis menjadi laju aliran limpasan dalam waktu konsentrasi T_c . Waktu konsentrasi T_c dianalisis pada saluran-saluran dalam DAS dengan nilai koefisien aliran permukaan berkisar $0 \leq C \leq 1$.

Hipotesis awal dalam metode rasional yaitu:

1. Waktu konsentrasi dianggap bernilai sama dengan intensitas curah hujan dalam waktu tertentu.
2. Nilai yang sama juga terjadi pada koefisien aliran limpasan permukaan dan luas DAS tetap selama durasi hujan.

Metode ini biasa digunakan untuk saluran drainase dengan DAS yang relatif tidak besar luas DAS < 300 ha atau sekitar 40-80 km².

Debit banjir dirumuskan secara umum sebagai berikut:

$$Q_p = 0.278 \cdot C \cdot I \cdot A$$

keterangan:

Q_p = Debit puncak (m³/det)

C = Koefisien aliran limpasan permukaan

I = Intensitas hujan berdurasi sama dengan waktu konsentrasi banjir (mm/jam)

A = Luas daerah aliran sungai (km²)

1. Koefisien Aliran Limpasan Permukaan (C)

Definisi sederhana dari koefisien ini adalah nilai konstanta yang berasal dari perbandingan antara nilai air yang mengalir di permukaan tanah dengan nilai hujan yang jatuh dalam suatu wilayah DAS. Beberapa parameter yang

menentukan nilai dari koefisien ini adalah karakteristik tata guna lahan, karakteristik tanah maupun karakteristik DAS seperti luasan, kemiringan maupun pola bentuk DAS. Koefisien ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh dari karakteristik tata guna lahan terhadap nilai kehilangan dari curah hujan hingga menjadi aliran permukaan yang terkait dengan karakteristik vegetasi diatas permukaan tata guna lahan tersebut. Besarnya nilai koefisien aliran limpasan permukaan (C) dapat digunakan seperti pada Tabel 7.1.

Tabel 7.1 Koefisien Aliran Limpasan Permukaan (C)

Jenis Lahan Permukaan	Koefisien
Wilayah hutan dengan ketinggian yang berelevasi ekstrim	0,80 - 0,90
Wilayah hutan di perbukitan	0,70 - 0,80
Wilayah hutan yang memiliki sungai	0,50 - 0,70
Tanah bervegetasi	0,45 - 0,60
Sawah	0,70 - 0,80
Wilayah perkotaan	0,25 - 0,50
Wilayah industri padat	0,15 - 0,25

2. Waktu Konsentrasi (Tc)

Definisi Tc adalah lamanya waktu tempuh dari air larian dari wilayah di mana air larian berasal (hulu) sampai ke wilayah akhir di mana air larian tersebut berkumpul. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$T_c = 0,0195L^{0,77} S^{-0,385}$$

dengan:

Tc = Waktu konsentrasi (m)

L = Panjang sungai/lereng (m)

S = Kemiringan lereng

3. Intensitas Hujan (I)

Definisi intensitas curah hujan secara sederhana adalah jumlah air hujan yang jatuh pada suatu wilayah tertentu. Sebagai contoh untuk curah hujan 1 mm, artinya jumlah curah hujan yang jatuh pada suatu wilayah sebesar 1 liter/m². Satuan curah hujan dinyatakan dalam mm sedangkan derajat curah hujan dinyatakan dalam curah hujan per satuan waktu yang dikenal sebagai intensitas hujan. Untuk menentukan besar intensitas hujan dipergunakan rumus Mononobe yaitu:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{2/3}$$

dengan:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

R₂₄ = Curah hujan harian maksimum (mm)

T = Waktu curah hujan (jam)

B. Metode *Haspers*

Metode *Haspers* digunakan pada luas DAS < 300 km². Persamaan-persamaan yang digunakan sebagai berikut:

$$Q = \alpha \times \beta \times q \times A$$

$$T_c = 0,1 \times L^{0,8} \times i^{-0,30}$$

$$\alpha = \frac{1 + (0,012 \times A^{0,70})}{1 + (0,075 \times A^{0,70})}$$

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t + (3,70 \times 10^{0,40t})}{t^2 + 15} \times \frac{A^{0,75}}{12}$$

$$qt = \frac{R_t}{3,6 \times t}$$

Untuk $t < 2$ jam

$$R_t = \frac{t \times R_{24}}{t + 1 - 0,008(260 - R_{24})(2 - t)^2}$$

Untuk 2 jam < $t \leq 19$ jam

$$R_t = \frac{t \times R_{24}}{t + 1}$$

Untuk 19 jam < $t \leq 30$ hari

$$R_t = 0,707 \times R_{24} \times (t + 1) \times 0,5$$

dengan:

R_t = Intensitas hujan

R_{24} = Curah hujan rancangan (mm)

C. Metode *Der Weduwen*

Analisis perhitungan debit banjir rencana dengan menggunakan metode *Der Weduwen* berlaku pada kondisi luas DAS (A) < 100 km² dengan waktu konsentrasi (t) diantara 6 sampai 12 jam. Adapun analisis perhitungan debit rencana metode *Der Weduwen* adalah sebagai berikut:

1. Pertama, mencari debit banjir dengan kala ulang tertentu menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q_n = \alpha \times \beta \times q_n \times A$$

dengan:

Q_n = Debit banjir rencana

α = Koefisien limpasan

β = Koefisien koreksi wilayah yang mendapatkan hujan

q_n = Besarnya curah hujan

A = Luasan kawasan DAS

2. Berikutnya, menghitung nilai koefisien limpasan:

$$\alpha = 1 - \frac{4,1}{b \times q_n + 7}$$

3. Kemudian, mencari nilai koefisien pengurangan daerah hujan:

$$\beta = \frac{120 + \frac{t+1}{t+9}A}{120+A}$$

4. Selanjutnya, menganalisis curah hujan:

$$Q_n = \frac{R_t}{240} \frac{67,65}{t+1,45}$$

dengan R_t = curah hujan rencana kala ulang

Lalu, mencari lamanya hujan:

$$t = 0,25 \times L \times Q^{-0,125} \times I^{-0,25}$$

dengan:

t = Lama hujan

L = Panjang sungai

Q_n = Debit banjir

I = Kemiringan rata-rata dasar sungai

D. Metode *Melchior*

Metode ini sesuai untuk daerah dengan luas lebih dari 100 km² dan hujan dengan durasi kurang dari 24 jam. Tahapan analisis metode ini adalah sebagai berikut:

1. Gambarkan area lonjong yang mengelilingi DAS dengan perkiraan sumbu panjang 1,5 kali sumbu pendek dan hitung luasnya:

$$nF = 0,25 \cdot \pi \cdot L_1 \cdot L_2$$

2. Menganalisis luas DAS dengan planimeter (km²)
3. Menganalisis rata-rata kemiringan dasar sungai:

$$I = \frac{H}{0,9 \cdot L}$$

4. Menganalisis harga β_1 :

$$nF = \frac{1970}{\beta_1 - 0,12} - 3960 + (1720 \times \beta_1)$$

5. Memperkirakan besarnya hujan maksimum sehari (R_0 , m³/detik/km²).
6. Menganalisis besarnya debit (Q_0):

$$Q_0 = \beta_1 \times R_0 \times A$$

7. Menganalisis kecepatan aliran (V):

$$V = 1,31 \times (Q_0 \cdot I)^{0,2} \cdot \left(\frac{\alpha}{0,52}\right)^{0,2}$$

8. Menganalisis waktu tiba banjir (T_c):

$$T_c = \frac{10L}{36V}$$

9. Menentukan koefisien β_2 dari tabel hubungan T_c dan nF sehingga koefisien reduksi β dihitung:

$$\beta = \beta_1 \times \beta_2$$

10. Menganalisis harga R_T :

$$R_T = \frac{10\alpha\beta xR}{36T_c}$$

11. Mengontrol nilai $R_0 = R_T$, jika nilainya tidak sama diulang mencoba nilai R_0 sampai akhirnya nilai tersebut sama.

12. Menganalisis debit banjir rencana berdasarkan kala ulang:

$$Q_T = \frac{\alpha.R.R_T.A}{200}$$

keterangan:

Q_T = Debit banjir rencana ($m^3/detik$)

α = Koefisien limpasan air hujan Melchior yang berkisar 0,42-0,62; dianjurkan diambil 0,52

β = Koefisien reduksi

R = Nilai curah hujan rencana (mm)

R_T = Nilai curah hujan maksimum (mm)

A = Luas DAS (km^2)

nF = Luas area lonjong (km)

L_1 = Panjang sumbu besar area lonjong (km)

L_2 = Panjang sumbu kecil area lonjong (km)

L = Panjang alur sungai utama (km)

T_c = Waktu tiba banjir (jam)

V = Kecepatan aliran (m/detik)

I = Kemiringan rata-rata sungai

H = Beda elevasi antara titik yang dihitung

Bab 8

Peranan Ilmu

Hidrologi dalam Konsep Berkelanjutan

Konsep berkelanjutan sudah sering diimplementasikan dalam berbagai bidang kehidupan di masyarakat. Tak terkecuali dalam bidang teknik sipil, perkembangan ilmu sangatlah cepat termasuk penggunaan berbagai peranti lunak di bidang-bidang kekhususan seperti struktur, hidroteknik, manajemen konstruksi, geoteknik, dan transportasi. Untuk bidang hidroteknik, tentunya juga perlu dikembangkan lebih jauh terkait bagaimana konsep berkelanjutan terimplementasi pada bidang-bidang keairan termasuk analisis hidrologi di dalamnya. Sebagai contoh, perencanaan konstruksi sungai pada wilayah perkotaan yang lebih memperhatikan faktor ekologi lingkungan baik di kawasan sungai tersebut maupun secara keseluruhan dalam lingkup DAS dalam Gambar 8.1.



Gambar 8.1 Contoh Penerapan Sungai Berkelanjutan di Wilayah Perkotaan
(sumber: koleksi pribadi)

Konstruksi sungai dengan konsep berkelanjutan dapat berupa perencanaan wilayah sungai yang memperhatikan berbagai aspek ekologi lingkungan baik biotik maupun abiotik. Wilayah sepadan sungai juga tetap diperhatikan agar ekosistem keairan tetap berjalan dengan baik. Konsep keberlanjutan dapat diterapkan di area sungai maupun di jenis-jenis badan air lainnya seperti danau, rawa dan sebagainya. Analisis hidrologi dalam konsep berkelanjutan lebih menekankan pada suatu upaya atau mitigasi mengurangi dampak negatif akibat dari perubahan yang terjadi. Perkembangan suatu

wilayah yang menyebabkan pergantian fungsi lahan dari lahan berjenis tembus air (*pervious area*) atau lahan terbuka hijau menjadi lahan kedap air atau tidak tembus air (*impervious area*) mengakibatkan keseimbangan air pada salah satu proses hidrologi menjadi terganggu, sebagai contoh curah hujan tinggi dan jatuh ke suatu kawasan DAS yang memiliki wilayah kedap air yang tinggi maka jumlah air limpasan lebih besar daripada volume air yang terinfiltasi masuk ke tanah. Hal ini tentunya berdampak negatif yaitu permasalahan banjir yang akan terjadi.

Untuk mempertahankan siklus hidrologis pada wilayah tersebut diterapkan komponen-komponen pendukung seperti teknologi pemanenan air hujan maupun teknologi lainnya yang mampu menginfiltasi air hujan seperti sumur resapan, fasilitas bioretensi, teknologi biopori, dan sebagainya. Konsep berkelanjutan bukan berarti tidak ada pembangunan sama sekali dalam suatu wilayah melainkan tetap memikirkan keberlangsungan fungsi hidrologis yang bekerja ada wilayah tersebut. Fungsi hidrologis tersebut harus bisa menyeimbangkan masukan dan luaran aliran air dalam suatu proses komponen hidrologi. Untuk penerapan konsep berkelanjutan tentunya harus memikirkan teknologi apa yang sesuai untuk diterapkan dalam suatu wilayah DAS dengan karakteristik tertentu seperti variasi jenis lahan,

kemiringan lahan, jenis tanah, dan sebagainya di samping tentunya karakteristik hidrologi itu sendiri seperti jumlah dan intensitas curah hujan, nilai evaporasi, nilai infiltrasi dan sebagainya. Upaya tersebut juga harus memperhatikan lingkup wilayah keairan dari hulu ke hilir di samping permasalahan yang bersifat administratif.

Glosarium

Curah Hujan : Jumlah air hujan yang jatuh ke permukaan tanah dalam jangka waktu tertentu di suatu wilayah atau lokasi. Artinya, curah hujan dapat diukur sebagai jumlah air dalam satuan milimeter (mm) atau inci (in) yang jatuh pada suatu daerah dalam waktu tertentu, misalnya per hari, per bulan, atau per tahun.

Daerah Aliran Sungai (DAS) : Wilayah yang berfungsi sebagai tempat pengumpulan air hujan, air permukaan, dan air tanah yang mengalir menuju sungai dan anak sungai yang kemudian mengalir ke laut atau danau. DAS dapat mencakup wilayah yang sangat luas, bahkan melintasi beberapa kabupaten atau provinsi.

DAS dibatasi oleh topografi atau kontur dari sebuah wilayah yang membentuk batas alamiah dari aliran air, dimana aliran air akan bermuara di sungai terdekat. Ketika hujan turun, air akan mengalir melalui saluran alami, seperti anak sungai, sungai kecil, dan kemudian sungai utama. Semua saluran air ini akan berkontribusi pada volume air yang mengalir melalui sungai utama, yang kemudian akan menuju ke laut atau danau.

Kecepatan Aliran : Merujuk pada seberapa cepat air mengalir dalam suatu sungai, saluran air, atau pipa. Kecepatan aliran dapat diukur dalam berbagai satuan, seperti meter per detik (m/s), kilometer per jam (km/jam), atau kaki per detik (ft/s). Kecepatan

aliran dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk kemiringan lereng aliran, bentuk aliran (melengkung atau lurus), hambatan seperti bebatuan, dan volume air yang mengalir. Kecepatan aliran yang lebih tinggi biasanya terjadi pada lereng yang curam, aliran yang lurus, dan dengan volume air yang lebih besar. Sedangkan, kecepatan aliran yang lebih lambat terjadi pada aliran yang melengkung dan bertabrakan dengan hambatan seperti bebatuan.

Siklus hidrologi : Proses alami yang menggambarkan perjalanan air di bumi, melalui fase-fase tertentu dari air yang bergerak dari satu tempat ke tempat lain dan berubah dari satu bentuk menjadi bentuk lainnya. Siklus hidrologi memainkan

kan peran penting dalam menjaga keseimbangan air di bumi. Siklus ini juga berkontribusi dalam membentuk berbagai bentuk permukaan bumi, seperti lembah, sungai, danau, dan pantai, dan memainkan peran penting dalam memberikan sumber daya air yang penting bagi kehidupan manusia dan ekosistem. Namun, aktivitas manusia, seperti polusi dan pengambilan air yang berlebihan, dapat mempengaruhi siklus hidrologi dan mengganggu keseimbangan alami.

Tata Guna Lahan : Mengacu pada cara penggunaan dan pengaturan lahan untuk memenuhi kebutuhan manusia dan lingkungan. Tata guna lahan mencakup alokasi lahan untuk berbagai kepentingan, seperti

perumahan, industri, pertanian, konservasi alam, pariwisata, dan lain sebagainya. Tujuan dari tata guna lahan adalah untuk memastikan bahwa penggunaan lahan dilakukan secara efektif dan efisien, sehingga memberikan manfaat maksimal bagi masyarakat dan lingkungan. Penataan tata guna lahan yang baik dapat membantu mengurangi konflik kepentingan dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat, seperti meningkatkan kesempatan kerja, memperbaiki kualitas lingkungan, dan meningkatkan kesehatan masyarakat.

Daftar Pustaka

- Achmad Syarifudin. 2017. Hidrologi Terapan. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat: Bidang Sumber Daya Air.
- Ahmad Herison, dkk. 2018. Kajian Penggunaan Metode Empiris dalam Menentukan Debit Banjir Rancangan pada Perencanaan Drainase (*Review*). *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, Volume 16, Nomor 2, Agustus 2018 (77-86). <http://dx.doi.org/10.12962/j2579-891X.v16i2.3819>
- Anik Sarminingsih. 2018. Pemilihan Metode Analisis Debit Banjir Rancangan Embung Coyo Kabupaten Grobogan. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, Vol. 15 No.1 Maret 2018.
- Annisa Salsaapabila dan Irma Lusi Nugraheni. 2020. Pengantar Hidrologi. Bandar Lampung: AURA, CV. Anugrah Utama Raharja
- Atep Iman, S.Pd, M.Pd. 2018. Modul Pelatihan Perencanaan Bangunan Sabo: Analisis Hidrologi dan Sedimen. Bandung: Kementerian PUPR-Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi.
- Dr. Ir. Sugeng Prijono, SU. Modul Bahan Ajar: Irigasi dan Drainase. Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya.
- Eko Hartini. 2017. Modul Hidrologi dan Hidrolika Terapan. Fakultas Kesehatan Program Studi Kesehatan Lingkungan Universitas Dian Nuswantoro Semarang.

- Eri Prawati. 2016. Jaringan Stasiun Hujan Ditinjau dari Topografi pada DAS Widas Kabupaten Nganjuk - Jawa Timur. Tapak Vol. 6 No. 1 November 2016. ISSN 2089-2098.
- Ezza Qodriatullah Ajr dan Fitri Dwirani. 2019. Menentukan Stasiun Hujan dan Curah Hujan dengan Metode Polygon Thiessen Daerah Kabupaten Lebak. Vol. 2 No. 2, Agustus 2019. e-ISSN: 2622 8785. JURNALIS.
- Fadrizal Lubis. 2016. Analisis Frekuensi Curah Hujan terhadap Kemampuan Drainase Pemukiman di Kecamatan Kandis. Jurnal Teknik Sipil Siklus, Vol. 2, No. 1, April 2016 pp. 34 - 46.
- Fanny Prawaka. 2016. Analisis Data Curah Hujan yang Hilang dengan Menggunakan Metode *Normal Ratio*, *Inversed Square Distance*, dan Rata-Rata Aljabar (Studi Kasus Curah Hujan Beberapa Stasiun Hujan Daerah Bandar Lampung). *JRSDD, Edisi September 2016, Vol. 4, No. 3, Hal:397 - 406 (ISSN:2303-0011)*.
- Herjuna Rahman. 2008. Aplikasi Program 'Water Balance Model' untuk Manajemen Air Hujan Perkotaan: Studi Kasus pada Sub-DAS Sugutamu, Jawa Barat, Indonesia. Depok: FT UI, Universitas Indonesia.
- Hidrologi dan Neraca Air: Diklat Teknis Perencanaan Irigasi Tingkat Dasar (sumber: https://docplayer.info_700a4_BT_05_Hidrologi_dan_Neraca_Air, tanggal akses 18 Juli 2022)
- Hilaludin dan Joko Santoso. 2008. Perencanaan Dam dan Spillway yang dilengkapi PLTMH di

Kampus Tembalang. Teknik Sipil Universitas Diponegoro, Skripsi.

http://pdfcoffee.com_makalah-alat-ukur-curah-hujan-pdf-free, tanggal akses 16 Juli 2022

http://tep.fateta.unand.ac.id_Hidrologi.pdf, tanggal akses 11 Juli 2022.

http://www.ocw.upj.ac.id_Hidrologi: Data Hidrologi dan Survei Hidrometri, tanggal akses 25 Juli 2022.

https://adoc.pub_bab-ii-tinjauan-pustaka-kondisi-hidrologis-das, tanggal akses 13 Juli 2022.

https://osf.io_download-Hidrologi dan Hidrogeologi Karst, tanggal akses 29 Juli 2022.

[https://spada.kemdikbud.go.id_HIDROMETRI_Prodi Teknik Pertanian -Teknologi Pertanian UNSOED](https://spada.kemdikbud.go.id_HIDROMETRI_Prodi_Teknik_Pertanian_Teknologi_Pertanian_UNSOED), tanggal akses 25 Juli 2022.

I Made Agus Dwi Hadryana, et. al. 2015. Analisis Keseimbangan Air/*Water Balance* di DAS Tukad Sungai Kabupaten Tabanan. **Jurnal Ilmiah Teknik Sipil**. Vol. 19, No. 2, Juli 2015.

Ir. K. M. Arsyad, M.Sc. 2017. Modul Hidrologi Sungai: Pelatihan Perencanaan Teknik Sungai. Bandung: Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi.

Ir. K. M. Arsyad, M.Sc. 2017. Modul Perhitungan Hidrologi: Pelatihan Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar. Bandung: Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat.

- Kodoatie, Robert J, dan Sjarief Roestam. 2012. Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Kurniawan, A. 2020. Evaluasi Pengukuran Curah Hujan Antara Hasil Pengukuran Permukaan (*AWS, HELLMAN, OBS*) dan Hasil Estimasi (Citra Satelit =*GSMaP*) Di Stasiun Klimatologi Mlati Tahun 2018. *Jurnal Geografi, Edukasi dan Lingkungan (JGEL)* Vol. 4, No. 1, Januari 2020:1-7
- Lestari, U.S. 2016. Kajian Metode Empiris untuk Menghitung Debit Banjir Sungai Negara di Ruas Kecamatan Sungai Pandan (Alabio). *Jurnal Poros Teknik*, Volume 8, No. 2, Desember 2016:55-103. ISSN 2442-7764 (Online).
- Natakusumah, dkk. 2011. Prosedur Umum Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetis dengan Cara ITB dan Beberapa Contoh Penerapannya. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 18 No. 3 Desember 2011, ISSN 0853-2982, halaman 251-291.
- Ni Made Karmila Santi. 2014. Jurnal Tugas Akhir: Analisis Beberapa Metode Pengisian Data Hujan yang Hilang di Wilayah Sungai Pulau Lombok. Universitas Mataram: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik.
- Novie Handajani. 2005. Analisis Distribusi Curah Hujan dengan Kala Ulang Tertentu. *JURNAL REKAYASA PERENCANAAN*, Vol 1, No. 3, Juni 2005
- Nurdiyanto, I.A dan Primawan, A.B. 2020. Monitoring Data Curah Hujan Berbasis Internet

of Things (IoT). **SEMINAR NASIONAL**
Dinamika Informatika Universitas PGRI
Yogyakarta

Nurul Khotimah, M. Si. 2008. Diktat Mata Kuliah
Hidrologi. Jurusan Pendidikan Geografi,
Fakultas Ilmu Sosial Dan Ekonomi, Universitas
Negeri Yogyakarta.

Rizka Arbaningrum, ST., MT. Hidrologi CIV-202:
Analisis Frekuensi dan Hujan Rencana. Program
Studi Teknik Sipil. Universitas Pembangunan
Jaya.

Rizka Arbaningrum, ST., MT. Hidrologi CIV-202:
Daerah Aliran Sungai. Program Studi Teknik
Sipil. Universitas Pembangunan Jaya.

Rizka Arbaningrum, ST., MT. Hidrologi CIV-202:
Debit Banjir/Limpasan. Program Studi Teknik
Sipil. Universitas Pembangunan Jaya.

Rizka Arbaningrum, ST., MT. Hidrologi CIV-202:
Hujan dan Curah Hujan Kawasan. Program
Studi Teknik Sipil. Universitas Pembangunan
Jaya.

Rizka Arbaningrum, ST., MT. Hidrologi CIV-202:
Siklus Hidrologi. Program Studi Teknik Sipil.
Universitas Pembangunan Jaya.

Robby Yussac Tallar. Slide Kuliah: Hidrologi.
Bandung: Universitas Kristen Maranatha.

Ruhiat, D. (2022). Implementasi Distribusi Peluang
Gumbel untuk Analisis Data Curah Hujan
Rencana. *Teorema: Teori dan Riset Matematika*,
7(1), 213-224.

- Setiawan, R dan Purwanto, Y. 2019. Perbandingan Pengukuran Debit Sungai dengan Metode Pelampung dan *Current Meter*. Pusat Teknologi Limbah Radioaktif PTLR-BATAN. Prosiding Hasil Penelitian dan Kegiatan Tahun 2018, ISSN 0852-2979.
- SNI 8066:2015. Tata Cara Pengukuran Debit Aliran Sungai dan Saluran Terbuka Menggunakan Alat Ukur Arus dan Pelampung. 2015. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Sosrodarsono, Suyono dan Takeda Kensaku. 2003. Hidrologi untuk Pengairan. Jakarta: PT. Pradnya Paramita. Cetakan ke-9.
- Sumardi. 2009. Penakar Curah Hujan Automatis Menggunakan Mikrokontroler ATMega 32. TRANSMISI, Jurnal Teknik Elektro, Volume 11, Nomor 2, Juni 86, hlm 84-90
- Winda Novita Sari Br Ginting. 2017. Mini Riset Meteorologi dan Klimatologi: Perhitungan Curah Hujan. Universitas Negeri Medan: Pedidikan Geografi, Fakultas Ilmu Sosial.

Indeks

Hidrologi, 1, 7, 9, 10, 11,
12, 17, 18, 19, 21, 22, 24,
46, 48, 50, 57, 60, 62, 63,
65, 68, 69, 70, 71, 73, 74,
75, 76, 78, 79, 107, 111,
112, 113, 115, 116

Hujan, 24, 31, 32, 33, 34,
35, 37, 38, 39, 40, 43, 45,
46, 48, 50, 52, 53, 54, 56,
81, 82, 88, 100, 112, 114,
115, 116

Presipitasi, 4, 23, 29, 111

Sungai, 5, 26, 27, 66, 69,
71, 74, 78, 108, 113, 114,
115, 116

Topografi, 112

Pelaku Perbukuan

Robby Yussac Tallar adalah seorang dosen dan peneliti di Program Studi Teknik Sipil di Universitas Kristen Maranatha. Lahir di Cirebon pada tahun 1979, ia meraih gelar sarjana dalam bidang Teknik Sipil bidang Hidroteknik dari Universitas Kristen Maranatha pada tahun 2001. Kemudian, penulis melanjutkan studinya untuk mendapatkan gelar magister dalam bidang manajemen sumber daya air di bidang Teknik Sipil dari Universitas Indonesia (UI) dan gelar Ph.D dari National Cheng Kung University (NCKU), Taiwan R.O.C

Penulis juga mulai bekerja sebagai dosen di Universitas Kristen Maranatha pada tahun 2015 dengan mengajar beberapa mata kuliah di bidang Teknik Sipil terutama yang terkait dengan bidang keairan termasuk Hidrologi Terapan. Selain mengajar, penulis juga melakukan penelitian dalam berbagai topik dan telah mempublikasikannya ke dalam bentuk luaran seperti beberapa artikel jurnal ilmiah maupun prosiding seminar baik skala nasional maupun internasional.