

DRAINASE PERKOTAAN

DRAINASE PERKOTAAN

**Erna Tri Asmorowati
Anita Rahmawati
Diah Sarasanty
Aptu Andy Kurniawan
M. Adik Rudiyanto
Edna Nadya
Meriana Wahyu Nugroho
Findia**



DRAINASE PERKOTAAN

© Penerbit Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia (PRCI)

Penulis:
Erna Tri Asmorowati
Anita Rahmawati
Diah Sarasanty
Aptu Andy Kurniawan
M. Adik Rudiyanto
Edna Nadya
Meriana Wahyu Nugroho
Findia

Editor: Eko Sutrisno, S.Si, M.Si

Cetakan Pertama : Oktober 2021

Cover: Rusli

Tata Letak : Tim Kreatif PRCI

Hak Cipta 2021, pada Penulis. Diterbitkan pertama kali oleh:

Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia
ANGGOTA IKAPI JAWA BARAT
Pondok Karisma Residence Jalan Raflesia VI D.151
Panglayungan, Cipedes Tasikmalaya – 085223186009

Website : www.rcipress.rcipublisher.org
E-mail : rumahcemerlangindonesia@gmail.com

Copyright © 2021 by Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia
All Right Reserved

- Cet. I - : Perkumpulan Rumah Cemerlang Indonesia, 2021
; 14,8 x 21 cm
ISBN :

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak buku ini dalam bentuk dan dengan
cara apapun tanpa izin tertulis dari penulis dan penerbit

Isi diluar tanggung jawab Penerbit
Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang
Hak Cipta Pasal 72

Undang-undang No.19 Tahun 2002 Tentang Hak Cipta
Pasal 72

Barang siapa dengan sengaja melanggar dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam pasal ayat (1) atau pasal 49 ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling sedikit 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp.1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).

Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta terkait sebagai dimaksud pada ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp.500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat serta karunia-Nya kepada kami sehingga kami berhasil menyelesaikan Buku dengan judul Drainase Perkotaan sesuai yang ditargetkan. Buku ini berisikan tentang hal hal yang berkaitan dengan drainase perkotaan dari pembahasan pengertian dasar drainase, analisa hidrologi, limpasan dan hidrologi saluran, perencanaan drainase yang baik dan berwawasan lingkungan dan cara pemeliharannya. Buku ini disusun oleh para ahli di bidangnya masing-masing terutama teksik sipil. Kami menyadari bahwa buku ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat membangun selalu kami harapkan demi kesempurnaan buku ini.

Akhir kata, kami sampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan serta dalam penyusunan Buku ini dari awal sampai akhir. Semoga Allah SWT senantiasa meridhoi segala usaha kita. Amin.

November 2021

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
BAB 1 DRAINASE PERKOTAAN.....	1
A. Pengertian Drainase Perkotaan.....	1
B. Jenis Drainase Perkotaan.....	2
C. Sistem Drainase Perkotaan.....	6
D. Pola Jaringan Drainase	7
E. Urbanisasi Dan Drainase Perkotaan	10
F. Sejarah Drainase Perkotaan	12
G. Paradigma Baru Drainase Perkotaan	18
H. Kebijakan Drainase Perkotaan Di Indonesia.....	20
BAB 2 ANALISA HIDROLOGI.....	23
A. Pendahuluan.....	23
B. Siklus Hidrologi	24
C. Analisa Hidrologi.....	27
1. Perhitungan Hujan Rata-Rata Daerah Aliran.....	28
2. Analisa Periode Ulang Curah Hujan.....	32
3. Analisa Frekuensi Hujan.....	32
4. Perhitungan Curah Hujan Rencana.....	35
5. Uji Kecocokan Distribusi Frekuensi.....	41
6. Analisis Intensitas Hujan.....	43
7. Analisa Debit Banjir Rencana	47
BAB 3 ANALISIS FREKUENSI DAN PROBABILITAS	51
A. Pendahuluan.....	51
B. Aplikasi Sebaran Normal.....	53
C. Aplikasi Sebaran Log Normal Dua Parameter	58

D. Aplikasi Sebaran Log Normal Tiga Parameter	60
E. Aplikasi Sebaran Log – Pearson Tipe III	61
F. Aplikasi Sebaran Log – Pearson Tipe III	62
G. Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi.....	66
H. Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi.....	66
Uji Chi Kuadrat.....	69
BAB 4 LIMPASAN	73
A. Pendahuluan.....	73
B. Elemen-elemen Meteorologi.....	74
C. Elemen Daerah Pengaliran	76
D. Koefisien Air Larian atau Limpasan air permukaan (<i>Surface Runoff</i>).....	79
E. Pendugaan Limpasan Permukaan	79
1. Metode Rasional	80
2. Metode Pengukuran Langsung	81
3. Metode US Soil Conservation Service	82
BAB 5 HIDROLIKA SALURAN.....	85
A. Pendahuluan.....	85
B. Klasifikasi Aliran.....	85
1. Aliran Tunak dan Tidak Tunak.....	86
2. Aliran Seragam dan Tidak Seragam.....	86
3. Aliran Laminer dan Turbulen.....	87
4. Aliran Subkritis, Kritis dan Superkritis	88
C. Geometri Saluran.....	88
D. Rumus Empiris Kecepatan Rata-rata	90
1. Rumus Chezy (1769)	91
2. Persamaan Manning.....	95
E. Bentuk Saluran yang Paling Ekonomis.....	97
1. Penampang Berbentuk Persegi yang Ekonomis.....	98
2. Penampang Berbentuk Trapesium yang Ekonomis	99

3. Penampang Berbentuk Segitiga yang Ekonomis...	101
BAB 6 PERENCANAAN SISTEM DRAINASE	105
A. Gambaran Umum.....	105
B. Tahapan Perencanaan Drainase	105
C. Kriteria Teknis Perencanaan Drainase	106
1. Aspek Teknis	106
2. Aspek Biaya.....	114
D. Perencanaan Saluran.....	115
BAB 7 DRAINASE BERWAWASAN LINGKUNGAN	119
A. Sistem Drainase.....	119
B. Drainase Berwawasan Lingkungan.....	120
C. Konsep Drainase Berwawasan Lingkungan.....	122
D. Metode Penerapan Drainase Berwawasan Lingkungan	125
E. Jenis Drainase yang dapat di bangun pada Kawasan Perumahan Berwawasan Lingkungan	128
F. Perbedaan Drainase Konvensional dan Eko-Drainase	137
BAB 8 OPERASI DAN PEMELIHARAAN SISTEM DRAINASE	139
A. Pendahuluan.....	139
B. Perencanaan O&P Drainase Perkotaan.....	141
C. Pelaksanaan O&P Drainase Perkotaan	145
D. Monitoring dan Evaluasi (Money) O&P Drainase Perkotaan.....	150
DAFTAR PUSTAKA	152
BIOGRAFI PENULIS	158

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Bentuk saluran terbuka dan fungsinya	5
Tabel 2.1 Karakteristik Distribusi Frekuensi	35
Tabel 2.2 Nilai Koefisien untuk Distribusi Normal	36
Tabel 2.3 Nilai Koefisien untuk Distribusi Log Normal	36
Tabel 2.4 <i>Reduced Mean</i> , Y_n	38
Tabel 2.5 <i>Reduced Standard Deviation</i> , S_n	38
Tabel 2.6 Nilai K untuk Distribusi <i>Log Pearson Type III</i>	40
Tabel 2.7 Nilai Kritis D_0 untuk Uji Smirnov-Kolmogorov	42
Tabel 2.8 Koefisien Aliran (C).....	48
Tabel 3.1 Periode Ulang dan Peluang.....	58
Tabel 3.2 Faktor reduksi Gumbel	65
Tabel 3.3 Hubungan Reduksi Rata – rata (Y_n) dan Reduksi Standar Deviasi (S_n) Dengan Jumlah Data Kejadian (n).....	65
Tabel 3.4 Nilai Δ kritis Uji <i>Smirnov-Kolmogorov</i>	68
Tabel 3.5 Nilai χ^2 Kritis Untuk Chi Kuadrat (Chi Square)	70
Tabel 4.1 Nilai Koefisien Limpasan (C) dari berbagai tipe penutup tanah dengan topografi dan tekstur yang berbeda	81
Tabel 5.1 Unsur-unsur geometrik saluran	90
Tabel 5.2 Tipikal harga koefisien kekasaran Manning , n , yang sering digunakan.....	96
Tabel 6.1 Koefisien pengaliran (C) secara umum	107
Tabel 6.2 Kemiringan dinding saluran sesuai bahan	111
Tabel 6.3 Kemiringan talud saluran	111
Tabel 6.4 Perkiraan kecepatan rata-rata pengaliran di dalam saluran alami	112
Tabel 6.5 Tipikal harga koefisien kekasaran <i>manning</i> n yang sering digunakan.....	112

Tabel 6.6 Kala ulang untuk perencanaan sistem penyaluran air hujan (S.N., 1997)	115
Tabel 7.1 Kecepatan Aliran yang Dijinkan pada Bahan Dinding dan Dasar Saluran	130
Tabel 7.2 Penerapan Sumur Resapan Air Hujan Pada Areal Maksimal 5 Ha	132
Tabel 7.3 Hasil Tumbuh-Tumbuhan Sebagai Peningkat Kualitas Lingkungan	136
Tabel 8.1 Lingkup O&P Prasarana dan Sarana Drainase Perkotaan	142
Tabel 8.2 Pemeliharaan Prasaraana dan Sarana Drainase Perkotaan	146

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Sungai sebagai saluran drainase alami.....	3
Gambar 1.2 Saluran drainase buatan.....	3
Gambar 1.3 Ilustrasi drainase bawah permukaan	4
Gambar 1.4 Pola jaringan siku	7
Gambar 1.5 Pola aliran paralel.....	8
Gambar 1.6 Pola <i>Grid Iron</i>	8
Gambar 1.7 Pola alamiah	9
Gambar 1.8 Pola radial	9
Gambar 1.9 Pola jarring-jaring	10
Gambar 1.10 Saluran drainase pada reruntuhan kota Mahenjo-Daro.....	13
Gambar 1.11 Cloaca Maxima.....	15
Gambar 1.12 Pipa drianase yang ditemukan pada penggalian di Kota Ephesus pada masa Kekaisaran romawi	16
Gambar 1.13 Elemen Kunci dalam LID	19
Gambar 2.1 Siklus Hidrologi	24
Gambar 2.2 Metode Rata-rata Aljabar.....	29
Gambar 2.3 Metode <i>Thiessen Polygon</i>	30
Gambar 2.4 Metode Isohyet.....	31
Gambar 3.1 Kurva Sebaran Frekuensi Normal	55
Gambar 5.1 Definisi potongan melintang dan memanjang saluran.....	89
Gambar 5.2 Pias aliran seragam	91
Gambar 5.3 Penampang persegi panjang.....	98
Gambar 5.4 Penampang melintang saluran berbentuk trapesium	100
Gambar 5.5 Penampang melintang saluran berbentuk segitiga	102
Gambar 6.1 Bentuk penampang persegi.....	109

Gambar 6.2 Bentuk penampang trapesium	109
Gambar 6.3 Bentuk penampang segitiga	109
Gambar 6.4 Bentuk penampang setengah lingkaran.....	110
Gambar 6.5 Bentuk penampang tersusun.....	110
Gambar 6.6 Bentuk penampang persegi empat terbuka	116
Gambar 6.7 Bentuk penampang persegi empat tertutup	117
Gambar 8.1 Bagan Alir Jenis Operasi Dan Pemeliharaan Drainase Perkotaan.....	145

BAB 1

DRAINASE PERKOTAAN

Erna Tri Asmorowati

A. Pengertian Drainase Perkotaan

Kata drainase berasal dari bahasa Inggris yaitu *Drainage* yang berarti sarana pembuangan kelebihan air atau limbah. Sedangkan menurut kamus besar Bahasa Indonesia, drainase mempunyai arti pengatusan atau penyaluran air. Dalam ilmu teknik sipil sendiri drainase didefinisikan sebagai suatu tindakan teknis untuk mengurangi kelebihan air pada suatu kawasan sehingga kawasan tersebut dapat berfungsi dengan baik. Kelebihan air tersebut dapat berasal dari air hujan, rembesan maupun kelebihan air irigasi. Cara pembuangan kelebihan air tersebut dapat berupa saluran di permukaan tanah maupun saluran di bawah permukaan tanah.

Drainase perkotaan merupakan suatu bidang ilmu yang mengkhususkan pengkajian drainase pada kawasan perkotaan, dimana kawasan perkotaan merupakan kawasan yang kompleks secara lingkungan fisik, sosial budaya dan ekonomi. Saat ini sistem drainase perkotaan merupakan salah satu infrastruktur penting bagi suatu kawasan perkotaan. Sistem drainase yang baik akan dapat menunjang peningkatan kualitas lingkungan karena masyarakat akan terhindar dari kerugian akibat genangan.

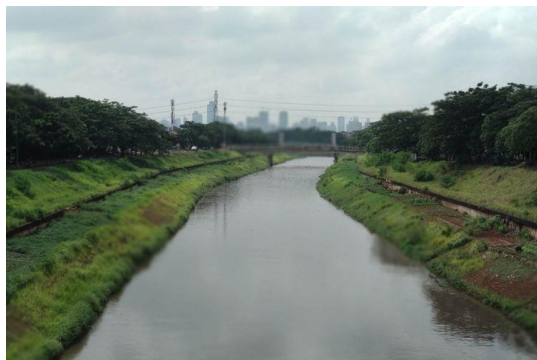
Dalam perencanaan drainase perkotaan tidak bisa lepas dari tata guna lahan, rencana induk sistem drainase dan kondisi sosial budaya masyarakat. Perencanaan sistem drainase seringkali dianggap pekerjaan yang mudah, padahal

kenyataannya perencanaan sistem drainase pada suatu kota merupakan pekerjaan yang rumit sehingga membutuhkan banyak biaya, tenaga dan waktu. Beberapa kasus penyelesaian masalah banjir atau genangan suatu kota, peran serta masyarakat mempunyai arti yang sangat penting dalam memelihara jaringan drainase yang ada.

B. Jenis Drainase Perkotaan

Jenis drainase perkotaan dapat dibedakan berdasarkan sejarah terbentuknya, tempat pengaliran, fungsi dan jenis salurannya. Menurut sejarah terbentuknya drainase dibagi menjadi dua macam yaitu:

1. Drainase alami adalah drainase yang terbentuk secara alami tanpa campur tangan manusia. Contoh dari drainase alami ini adalah sungai-sungai yang mengalir di tengah perkotaan. Pada daerah perkotaan seringkali sungai-sungai alami ini dimanfaatkan sebagai saluran pembuangan (pematusan). Material pembentuk saluran alami ini masih berupa tanah asli yang dilapisi oleh rumput atau semak serta bentuk saluran yang tidak beraturan membuat sifat aliran pada saluran ini sulit untuk dipelajari.



Gambar 1.1 Sungai sebagai saluran drainase alami
(sumber : Kompas megapolitan.com)

2. Drainase Buatan adalah drainase yang didesain sesuai dengan kaidah teknis untuk mengalirkan limpasan air hujan maupun air limbah perkotaan. Perencanaan drainase buatan didasarkan pada ilmu hidrologi dan hidrolika. Ilmu hidrologi dijadikan dasar dalam penentuan besarnya debit yang masuk kesaluran sedangkan ilmu hidrolika digunakan sebagai dasar perencanaan saluran.



Gambar 1.2 Saluran drainase buatan
(sumber : <https://www.beritajakarta.id/>)

Berdasarkan tempat pengalirannya drainase dibagi menjadi dua yaitu :

1. Drainase permukaan (*surface drainage*) yaitu drainase yang berada di permukaan tanah dan berfungsi untuk membuang kelebihan air di permukaan air secepat mungkin agar tidak menjadi masalah. Drainase permukaan inilah biasanya yang kita temukan pada

daerah perkotaan.

2. Drainase bawah permukaan (*subsurface drainage*) yaitu drainase yang dibuat di bawah permukaan tanah dengan tujuan untuk menurunkan air di bawah permukaan sampai dibawah zona perakaran. Tipe drainase seperti ini banyak digunakan pada lapangan sepak bola dan lapangan golf. Tujuan penggunaan drainase bawah permukaan pada area tersebut adalah menjaga lapangan tetap kering.



Gambar 1.3 Ilustrasi drainase bawah permukaan (Hidayat, Sutanto and Putra, 2016)

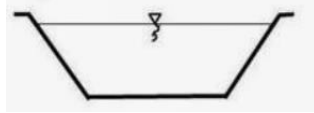
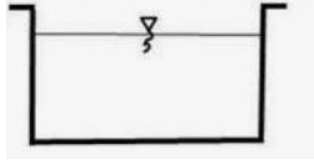
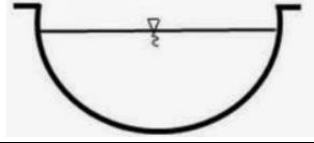

Menurut fungsinya saluran drainase dibagi menjadi:

1. *Single purpose* yaitu drainase yang digunakan untuk mengalirkan satu jenis buangan saja. Contoh dari saluran drainase ini adalah saluran yang hanya menyalurkan air hujan saja atau air limbah saja.
2. *Multipurpose* yaitu saluran yang berfungsi untuk mengalirkan beberapa jenis buangan baik secara bercampur maupun secara bergantian.

Drainase berdasarkan konstruksinya dibagi menjadi:

1. Saluran terbuka yaitu saluran drainase yang mengalirkan air hujan maupun air buangan lainnya yang dibangun tanpa penutup saluran. Saluran drainase seperti ini dapat digunakan pada daerah yang tidak terlalu padat penduduk. Kelebihan dari konstruksi saluran drainase seperti ini adalah mudah dalam pemeliharaan saluran. Kekurangan konstruksi saluran drainase ini adalah mudahnya limbah padat (sampah) mengotori saluran. Bentuk konstruksi saluran terbuka ini dapat berupa saluran trapesium, saluran persegi, setengah lingkaran maupun saluran segitiga.

Tabel 1.1 Bentuk saluran terbuka dan fungsinya

No	Bentuk saluran	Keterangan
1		Saluran berbentuk trapezium dan persegi dapat digunakan pada daerah yang masih tersedia lahan yang cukup luas.
2		
3		Saluran berbentuk lingkaran dan segitiga dapat dibangun pada daerah padat penduduk dan ketersediaan lahan terbatas.
4		

2. Saluran tidak terbuka

Saluran tidak terbuka dibangun dengan tujuan untuk mengalirkan air kotor yang mengganggu Kesehatan lingkungan. Saluran semacam ini biasanya terdapat di area pusat kota, perdagangan dan jalan utama kota. Penutupan saluran juga berfungsi untuk keselamatan pengguna jalan dan estetika kota.

C. Sistem Drainase Perkotaan

Sistem Drainase Perkotaan terdiri dari (Kementrian PUPR,2014):

1. Sistem Teknis merupakan jaringan drainase perkotaan yang terdiri dari saluran induk/primer, saluran sekunder, saluran tersier, saluran lokal, bangunan peresapan bangunan tampungan beserta sarana pelengkap yang berhubungan secara sistemik satu dengan lainnya.
2. Sistem Non Teknis drainase perkotaan merupakan dukungan terhadap sistem teknis drainase perkotaan terkait dengan pembiayaan, peran masyarakat, peraturan perundang-undangan, institusi, sosial ekonomi dan budaya, dan kesehatan lingkungan permukiman.

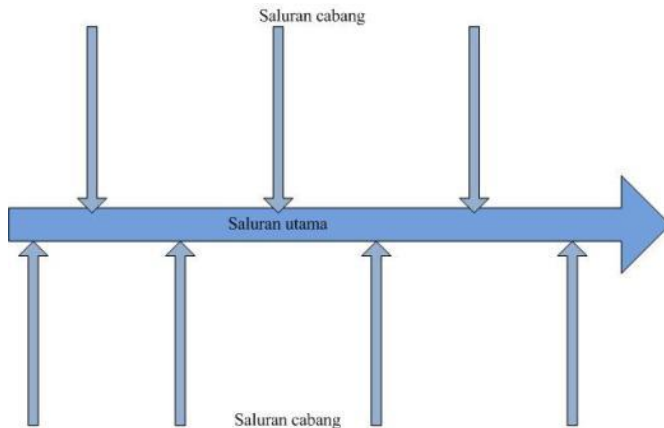
Drainase perkotaan mempunyai fungsi penting untuk menjaga infrastruktur kota dan harta masyarakat dari genangan yang terjadi akibat banjir pada daerah perkotaan. Pada saluran-saluran yang alami drainase perkotaan dapat membantu meresapkan air kedalam tanah sehingga dapat menjaga kelestarian air tanah. Air limpasan yang masuk kedalam saluran drainase perkotaan dapat dimanfaatkan sebagai air persediaan dan kebutuhan akuatik.

D. Pola Jaringan Drainase

Dalam pembangunan saluran drainase terdapat beberapa pola jareingan berdasarkan arah aliran dari saluran sekunder ke saluran utama. Beberapa pola jaringan drainase adalah sebagai berikut:

1. Pola siku

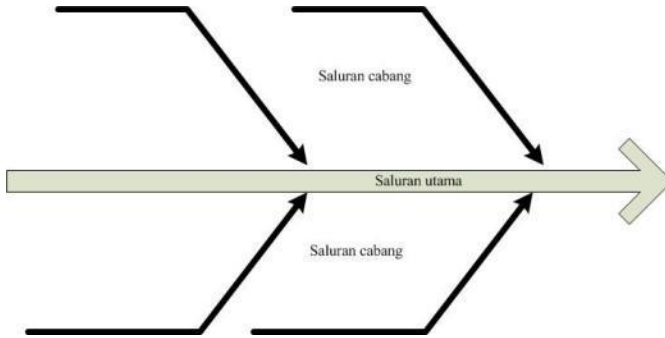
Pola siku ini, biasanya dibuat pada daerah yang mempunyai topografi lebih tinggi dari pada saluran utama (sungai) yang melewati tengah kota.



Gambar 1.4 Pola jaringan siku

2. Pola Paralel

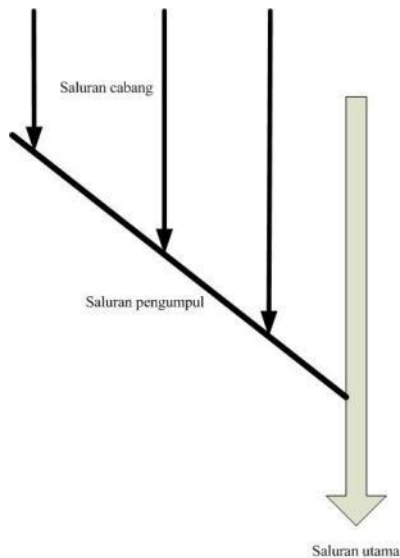
Pada pola ini letak saluran utama sejajar dengan saluran cabang. Saluran cabang berupa saluran yang pendek dan berjumlah banyak. Jika terdapat perkembangan kota dimasa yang akan datang saluran dapat menyesuaikan diri.



Gambar 1.5 Pola aliran paralel

3. Pola *Grid Iron*

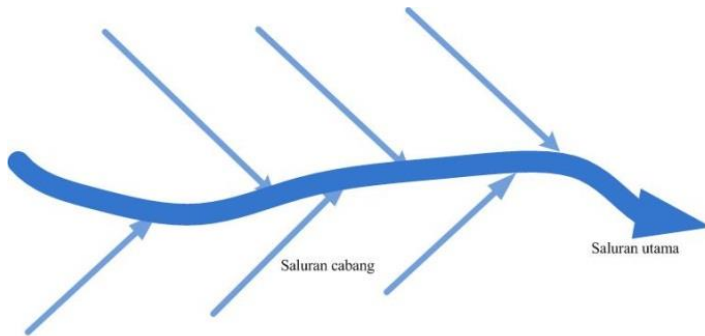
Pola jaringan seperti ini didesain jika saluran utama berupa sungai terletak jauh dari perkotaan sehingga air dari saluran cabang dikumpulkan terlebih dahulu pada saluran pengumpul.



Gambar 1.6 Pola *Grid Iron*

4. Pola Alamiah

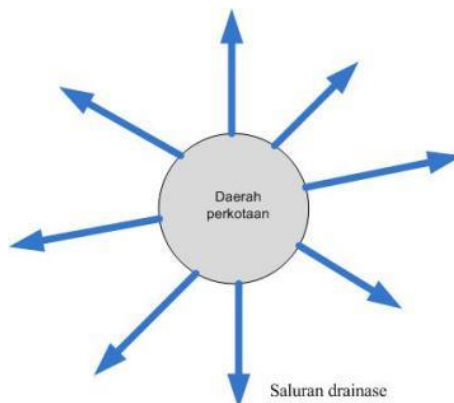
Pola drainase alamiah sama dengan pola siku hanya beban sungai menerima beban yang lebih besar. Pola ini ditunjukkan pada gambar 1.7.



Gambar 1.7 Pola alamiah

5. Pola Radial

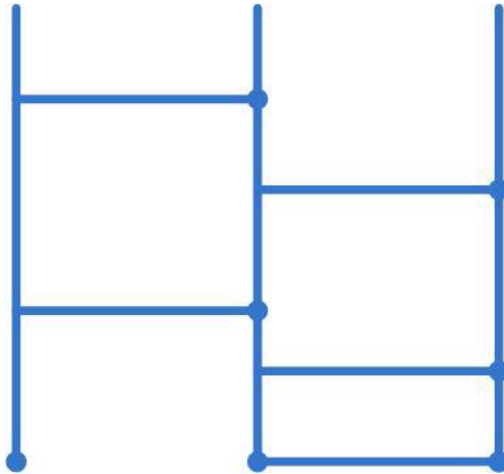
Jika daerah perkotaan mempunyai topografi yang berbukit-bukit, pola jaringan dapat berupa pola radial karena arah aliran dapat mengalir kesegala arah.



Gambar 1.8 Pola radial

6. Pola jarring-jaring

Pola jarring-jaring merupakan pola saluran drainase dimana saluran mengikuti arah jalan raya. Pola seperti ini cocok diterapkan pada daerah dengan topografi datar. Pola jarring-jaring ditunjukkan pada gambar 1.9



Gambar 1.9 Pola jarring-jaring

E. Urbanisasi Dan Drainase Perkotaan

Pertumbuhan dan pertumbuhan suatu kota menjadi salah satu pemicu terjadinya urbanisasi. Hal ini menyebabkan tingkat konsentrasi penduduk pada suatu wilayah lebih tinggi dibanding wilayah sekitarnya. Peningkatan aktivitas perkotaan membutuhkan pelayanan infrastruktur yang memadai pada suatu kota yang berakibat meningkatnya perubahan penggunaan lahan dari lahan terbuka menjadi lahan tertutup (*impervious*). Hasil penelitian yang dilakukan oleh (Elvidge *et al.*, 2007) menunjukkan bahwa secara global lahan tertutup sebesar 0,43% dari total luas daratan di permukaan bumi yaitu 579.735 km². Luas tersebut hampir

seluas negara Kenya dan lebih luas dari negara Perancis atau Spanyol. Seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan penduduk menyebabkan tingkat tutupan lahan juga semakin meningkat. Terbatasnya lahan pemukiman dipusat perkotaan akan mendorong pemekaran daerah perkotaan secara acak (*urban sprawl*) sehingga mengakibatkan dampak negatif berupa segregasi sosial dan degradasi lingkungan (Chang *et al.*, 2021). Menurut (Haase, 2009), *urban sprawl* berpotensi menyebabkan peningkatan resiko banjir yang dihasilkan dari peningkatan limpasan secara langsung daerah perkotaan.

Berdasarkan data dari Badan Pertanahan Nasional (BPN) alih fungsi lahan yang terjadi di Indonesia semakin hari semakin meningkat. Besarnya alih fungsi lahan pada tahun 1990-an sebesar 30.000 ha/tahun menjadi 110.000 ha/tahun di tahun 2011 dan 150.000 ha/tahun di tahun 2019 (<https://money.kompas.com/>). Sedangkan menurut Badan Pusat Statistik (BPS), selama tahun 1993 sampai dari tahun 2000 lahan pertanian berkurang sebesar 710.000 ha atau 56,167 %/tahun.

Tutupan lahan yang semakin meningkat pada daerah perkotaan mempengaruhi siklus hidrologi. Dimana siklus hidrologi pada kondisi alami, hujan yang jatuh pada daerah terbuka meresap kedalam tanah melalui proses infiltrasi dan perkolasi menjadi air tanah. Sebagian air hujan menguap ke atmosfer melalui proses evaporasi atau transpirasi melalui tumbuhan, sisanya melimpas menjadi aliran permukaan. Besarnya proporsi kejadian pada siklus hidrologi tersebut tergantung pada tutupan lahan dan lamanya peristiwa hujan. Baik air tanah maupun air limpasan keduanya bermuara pada sungai, dan tentunya air limpasan mencapai sungai terlebih dahulu dibandingkan air tanah yang akan menjadi aliran dasar pada sungai. Tutupan lahan mengurangi besarnya laju infiltrasi

dan meningkatkan laju limpasan air menuju sungai.

F. Sejarah Drainase Perkotaan

Sejak abad 4000-2500 Sebelum Masehi (SM) pada Kekaisaran Mesopotamia di Irak telah dikenal saluran air di jalan-jalan. Sistem saluran pembuangan dan drainase yang terorganisir dan dioperasikan dengan baik ditemukan pertama kali oleh peradaban Minoa dan Harappa di Kreta dan di lembah Indus setelah abad 3000 SM. Pada era ini sistem drainase direncanakan, dirancang dan dibangun untuk melindungi pusat-pusat pertumbuhan penduduk dan pertanian. Pada reruntuhan kota Harappa dan Mahenjo-Daro memperlihatkan bahwa saluran dihubungkan dari rumah-rumah menuju saluran terbuka di tengah jalan. Saluran digali ke dalam tanah atau dibangun di atas tanah dengan menggunakan batu bata. Air dari rumah-rumah tidak diijinkan masuk secara langsung kedalam sistem drainase melainkan harus dialirkan ke dalam suatu bak kecil melalui saluran terakota. Tujuan dari system tersebut yaitu agar padatan yang ikut terbawa oleh air akan mengendap dan menumpuk di dalam bak, cairan akan mengalir kedalam saluran yang berada di jalan ketika bak tersebut telah tiga per empat penuh. Secara umum drainase pada masa peradaban Indus mempunyai tujuan ganda yaitu untuk pengangkutan air hujan dan limbah rumah tangga (de Feo *et al.*, 2014).



Gambar 1.10 Saluran drainase pada reruntuhan kota Mahenjo-Daro
(sumber : Hodge,1992 dalam (Burian and Edwards, 2002))

Sistem drainase yang lebih rumit juga dibangun pada masa Peradaban Persia. Peradaban Persia menganggap bahwa limpasan air hujan adalah suci dan memberlakukan hukum bagi yang mencemarinya. Air hujan dan limpasan dikumpulkan pada suatu waduk untuk keperluan air minum. Sementara pada masa ini sudah ada usaha untuk mengembalikan air hujan ke dalam akuifer melalui sumur dalam. Seiring berjalannya waktu perilaku dan kebiasaan masyarakat Persia menimbulkan kontribusi pada pencemaran air sehingga meruntuhkan peradaban yang sudah dibangun.

Selama millennium kedua sebelum masehi, Kekaisaran

Mesopotamia Assyria dan Babylonia menandai kemajuan besar dalam peradaban umat manusia. Para arkeolog menemukan sistem drainase dan pembuangan sanitasi yang dibangun dengan baik pada reruntuhan kota. Bangunan tersebut ditemukan pada Kota Ur dan Babel yang terletak di Irak saat ini memiliki sistem drainase yang efektif untuk pengendalian air hujan. Sekitar 600 tahun SM peradaban Etruscan membangun beberapa kota yang terorganisir dengan baik di Italia Tengah, salah satu kota penting pada peradaban ini adalah Kota Marzobotto. Sistem drainase pada kota ini dirancang dengan baik sesuai dengan kondisi kemiringan daerahnya. Jalan-jalan kota dibuat berundak dan berlapis batu untuk melindungi pejalan kaki dari limpasan air hujan. Peradaban-peradaban kuno yang di Mesir, Hit, Yunani dan China juga mempunyai desain sistem drainase yang baik dengan tujuan untuk menyelesaikan masalah banjir yang mengganggu.

Dari zaman kuno hingga tahun 1800an, Bangsa Romawi dikenal sebagai satu-satunya bangsa di Asia Barat dan Eropa yang memasukkan komponen drainase perkotaan kedalam desain konstruksi jalan raya. Pembangunan sistem drainase perkotaan yang efisien dimotivasi oleh kebutuhan untuk mengeringkan daerah dataran rendah, membuang limpasan air hujan perkotaan, dan membuang kelebihan air ke saluran utama. Konstruksi yang paling dikenal pada masa kekaisaran Romawi dan masih berfungsi sampai saat ini adalah *Cloaca Maxima*. *Cloaca Maxima* mempunyai fungsi untuk menghilangkan genangan pada daerah berawa sehingga mengurangi keberadaan nyamuk dan resiko malaria (Evans, 2004).



**Gambar 1.11 Cloaca Maxima
(Diamond et al,2018)**

Keruntuhan bangsa Romawi yang dikenal dengan abad kegelapan, pada masa ini terjadi kemunduran pemeliharaan sistem drainase karena masyarakat pada abad ini apatis dan tidak peduli terhadap kebersihan diri dan lingkungan. Sistem drainase dianggap sebagai sistem suatu layanan yang tidak dibutuhkan. Hal ini terjadi di Eropa sampai abad pertengahan. Pada masa ini penduduk Eropa banyak tinggal di dekat sungai dan menjadikan sungai sebagai tempat pembuangan limbah. Baru pada tahun 1357 di London dikeluarkan peraturan yang melarang pembuangan segala macam jenis limbah ke sungai Thames dan saluran lainnya. Akhir abad ke-12 atau awal abad ke-13, Raja Phillippe Auguste menjadi orang pertama yang menerapkan saluran terbuka di Paris,Perancis.

Dari abad ke-8 sampai dari abad ke-15, wilayah Spanyol dikuasai oleh Kekhalifahan Islam (Bani Ummayah) dan bernama Andalusia. Pada masa itu Andalusia dikenal sebagai

negara yang paling kaya, paling kuat, paling baik pemerintahannya dan paling terkenal di dunia barat. Kondisi sanitasi di daerah Andalusia dapat dianggap paling maju daripada negara-negara Kristen pada masa itu. Fasilitas jamban tersebar merata diseluruh rumah penduduknya. Jamban-jamban tersebut tersambung kesaluran dan keseptiktank. Kota-kota di Andalusia didesain dengan arsitektur yang baik dimana dua sistem pipa dirancang sebagai pasokan air dan sebagai pembuang air limbah. Disamping membuat saluran baru, pemerintahan Bani Umayyah juga mempergunakan saluran peninggalan bangsa Romawi.



Gambar 1.12 Pipa drianase yang ditemukan pada penggalian di Kota Ephesus pada masa Kekaisaran romawi

(sumber : (Evans, 2004))

Sejarah drainase dari pertengahan abad ke-14 sampai dari

1900 di negara-negara eropa berkaitan dengan permasalahan pembuangan limbah dan sampah pada saluran. Kurangnya sanitasi di Perancis pada tahun 1830-an diduga menjadi sebab penyebaran wabah kolera, sehingga pejabat kota Seine yaitu Claude-Philibert Barthelot comte de Rambuteau memulihkan dan memperbesar saluran pembuang. Dilanjutkan oleh Henry Charles Emmerly tahun 1832-1839 dengan mengubah saluran terbuka ditengah jalan menjadi dibawah permukaan tanah. Pada masa kepemimpin Napoleon III, Georges Eugène Haussmann pejabat pemerintahan kota Siene dipercayakan perbaikan saluran di seluruh kota Paris sepanjang 600 km pipa baru kepada Eugène Belgrand. Pada tahun 1870, saluran pembuang baru telah beroperasi dan sedang dibangun sepanjang 560 km.

Di Kerajaan Inggris, tahun 1427 telah dibuat undang-undang tentang saluran. Penataan saluran kota di kerajaan Inggris pada masa itu bertujuan untuk mengumpulkan limbah rumah tangga dan menjaga Kesehatan masyarakat. Tahun 1859 - 1867 sebuah proyek besar dikembangkan untuk membangun saluran limbah rumah tanga yang terhubung dengan saluran pembuangan kota. Total terdapat 139 km kolektor dan 2100 km saluran baru yang dibangun pada masa itu. Hal yang sama dilakukan di Denmark Swedia pada tahun 1857, dan pembangunan salurannya ditingkatkan tahun 1860 dan 1885. Saluran yang dibangun bertujuan untuk menampung air hujan dan air limbah untuk dibuang di pelabuhan. Akhir abad ke-19 saluran-saluran drainase juga diterapkan pada negara-negara koloni jajahan Inggris dan Perancis dengan tujuan untuk menjaga kesehatan masyarakat. Satu titik balik krtitis pada drainase perkotaan terjadi pada pertengahan abad ke-19, pada masa ini saluran dibuat terpisah antara drainase air hujan dan pembuangan limbah

sanitasi.

G. Paradigma Baru Drainase Perkotaan

Dari sejarah drainase yang sudah dibahas sebelumnya, dapat diketahui bahwa pandangan masyarakat terhadap saluran drainase dari abad sebelum masehi sampai awal abad ke-20 mengalami perubahan. Drainase yang dulunya hanya digunakan untuk mengalirkan limpasan air dan limbah rumah tangga menjadi saluran yang digunakan untuk menghilangkan kekumuhan dan menjaga kesehatan masyarakat. Perubahan cara pandang terhadap saluran drainase dari saluran yang sering diabaikan keberadaannya menjadi infrastruktur vital bagi masyarakat dipengaruhi dari kejadian-kejadian di masa lalu dimana saluran drainase mempunyai hubungan yang erat dengan penularan penyakit. Pemisahan saluran limbah rumah tangga dan saluran air hujan dianggap dapat mengurangi penularan penyakit dimasyarakat.

Saat ini sistem drainase tidak hanya dipandang sebagai suatu infrasturktur publik yang hanya mengatasi banjir dan kesehatan masyarakat tetapi lebih terhadap peningkatan kualitas lingkungan, perlindungan ekosistem dan keberlanjutan kota. Penelitian dan pengujian untuk menemukan metode untuk perancangan dan pembangunan sistem drainase perkotaan yang berkelanjutan saat ini sedang banyak dilakukan. Konsep-konsep yang dikembangkan saat ini bertujuan untuk menerapkan koservasi air selaras dengan amanat Undang-undang Sumber Daya Air No. 17 tahun 2019 tentang Sumber Daya Air. Beberapa konsep pembangunan drainase yang berkelanjutan saat ini diantaranya adalah:

1. *Low Impact Developmet (LID)* atau Pembangunan Berdampak Rendah adalah strategi pengelolaan limpasan air hujan yang menekankan pada upaya konservasi sesuai

dengan kondisi daerah yang ada untuk melindungi kualitas air. Konsep ini menerapkan rekayasa dalam skala kecil dalam mengontrol hidrologi untuk meniru pengembangan pra-rezim hidrologi DAS melalui infiltrasi, penyaringan, penyimpanan, penguapan, dan menahan limpasan dekat ke sumbernya. Aplikasi konsep ini terbukti sebagai suatu solusi berkelanjutan untuk mengurangi dampak buruk urbanisasi dan memulihkan hidrologi alami perkotaan.



Gambar 1.13 Elemen Kunci dalam LID (sumber : (Darsono, 2007))

Water Sensitif Urban Design (WSUD) adalah pendekatan filosofis untuk perencanaan dan desain perkotaan yang bertujuan untuk meminimalkan dampak hidrologis pembangunan perkotaan terhadap lingkungan sekitarnya. Pengelolaan air hujan adalah bagian dari WSUD yang

diarahkan untuk menyediakan pengendalian banjir, pengelolaan aliran, peningkatan kualitas air, dan peluang untuk memanen air hujan untuk melengkapi kebutuhan air bersih. Prinsip-prinsip dalam konsep ini adalah (Fletcher *et al.*, 2015):

- a. Pengembangan kota diarahkan untuk melindungi sistem air alami.
- b. Penanggulangan air hujan diintegrasikan dalam perancangan kota.
- c. Melindungi kualitas air dan meningkatkan kualitas sistem pengairan air
- d. Mengurangi aliran air dengan cara mengalirkan limpasan air baik air hujan maupun banjir dan mengintegrasikannya ke lansekap lingkungan
- e. Memanfaatkan limpasan air untuk berbagai macam kebutuhan
- f. Memberikan nilai lahan dengan meminimalkan biaya infrastruktur salah satunya adalah infrastruktur drainase.

2. *Sustainable Urban Drainage System (SUDs)* atau Sistem Drainase perkotaan yang berkelanjutan. Konsep SUDs sama dengan LID dan WSUD dimana SUDs merupakan bagian dari WSUD, istilah ini digunakan di Kerajaan Inggris (UK). SUDs terdiri dari berbagai teknologi dan teknik yang digunakan untuk mengalirkan limpasan air dengan cara yang lebih berkelanjutan dibandingkan dengan cara konvensional.

H. Kebijakan Drainase Perkotaan Di Indonesia

Pengelolaan sistem drainase perkotaan di Indonesia diatur dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor

12/PRT/M/2014 tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan. Dalam peraturan ini drainase perkotaan didesain sebagai drainase ramah lingkungan dengan tujuan untuk menciptakan lingkungan pemukiman yang sehat dan bebas genangan. Tujuan lainnya adalah untuk meningkatkan konservasi, pendayagunaan dan pengendalian air. Hal ini sejalan dengan Undang-undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2019 Tentang Sumber Daya Air, dimana disebutkan bahwa pengelolaan sumber daya air berdasarkan wilayah sungai salah satunya adalah memperhatikan konservasi sumber daya alam hayati dan ekosistemnya.

Penanganan limpasan air hujan juga diatur dalam Peraturan Pemerintah Indonesia No 26 Tahun 2008 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional. Dalam peraturan ini disebutkan bahwa setiap kegiatan budidaya terbangun wajib menerapkan *zero delta Q policy* yaitu keharusan agar tiap bangunan tidak boleh mengakibatkan bertambahnya debit air ke sistem saluran drainase atau sistem aliran sungai. Hal ini bertujuan untuk mengurangi resiko terjadinya banjir akibat meningkatnya tutupan lahan. Beberapa kegiatan yang dapat dikategorikan dalam penerapan *zero delta Q policy* adalah (Indriatmoko, 2018):

1. Penyediaan area resapan air hujan,
2. Pembuatan lubang biopori,
3. Modifikasi *landsekap*.
4. Pembuatan penampungan air hujan,
5. Pembuatan saluran resapan biopori,
6. Sumur injeksi,
7. Sumur Resapan, dll

Jika kegiatan-kegiatan tersebut di atas dapat dilakukan dengan baik secara teknis, maka jumlah limpasan yang disebabkan oleh curah hujan akan dapat dikurangi dengan

baik.

BAB 2

ANALISA HIDROLOGI

Anita Rahmawati

A. Pendahuluan

Konsep ilmu hidrologi telah dikenal sejak tahun 1608, sejak Pierre Parrult (seorang ahli hidrologi asal Negara Prancis) mengamati dan melakukan penelitian terhadap curah hujan dan limpasan air (*run off*) selama tiga tahun di Daerah Aliran Sungai Seine, Prancis. Hidrologi berasal dari bahasa Yunani yaitu *Hydro* yang berarti air, dan *Logia* yang berarti Ilmu. Jadi, hidrologi berarti ilmu yang mempelajari air di muka bumi baik dalam bentuk cairan, padat, maupun gas. Selain itu, hidrologi juga mempelajari karakteristik air, bentuk penyebaran air, dan siklus air yang terjadi di muka bumi (Hadisusanto, 2011).

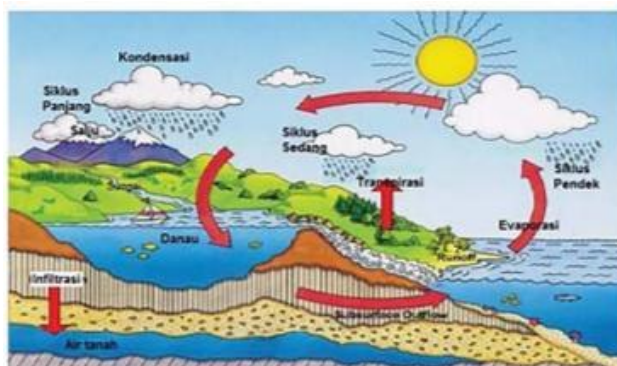
Sebagian besar permukaan bumi tertutupi oleh air sekitar 70,9 % baik berupa perairan darat maupun perairan laut. Perairan darat merupakan semua bentuk perairan yang terdapat di darat yang meliputi: (1) mata air, (2) air yang mengalir di permukaan dan bergerak menuju ke daerah-daerah yang lebih rendah membentuk sungai, danau, telaga, rawa, dan lain-lain yang memiliki suatu pola aliran yang dinamakan Daerah Aliran Sungai (DAS). Berdasar pada penjelasan tersebut dapat disimpulkan bahwa air sumur, air sungai, rawa, telaga, danau, embung dan sejenisnya termasuk jenis perairan darat, sedangkan perairan laut merupakan bentuk perairan yang berada di lautan (Lashari et al., 2017).

Besarnya permukaan air di bumi ini tidak terlepas

kaitannya dengan siklus air. Siklus air ini merupakan siklus perputaran dan pergerakan air di muka bumi ini yang biasa dikenal dengan istilah siklus hidrologi. Siklus hidrologi merupakan perputaran air di Bumi, siklus hidrologi ini tidak pernah berhenti dan jumlah air di permukaan bumi tidak akan berkurang. Porsentase sebaran air di bumi yaitu air laut (97 %), air tawar (3 %). Air tawar terbagi dalam bentuk es dan salju (68,7%), air tanah (30,1%), air permukaan (0,3%) dan lainnya (0,9%). Air permukaan terdiri dari danau (87%), lahan basah/rawa (11%), dan sungai (2%) (Hidayat, 2016).

B. Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi merupakan proses sirkulasi air yang berlangsung secara terus menerus yang dimulai dari atmosfer hingga ke bumi dan kembali ke atmosfer. Adanya siklus hidrologi, maka ketersediaan air yang berada di permukaan bumi dapat tetap terjaga, sehingga keteraturan suhu lingkungan, cuaca, hujan, dan keseimbangan ekosistem di bumi dapat terus terjaga.



**Gambar 2.1 Siklus Hidrologi
(Hadisusanto, 2011)**

Pada Gambar 2.1, dijelaskan bahwa siklus hidrologi merupakan proses yang berlangsung secara terus menerus, dimana air disirkulasikan ke seluruh bumi dan atmosfernya. Proses sirkulasi tersebut dapat terjadi dari proses penguapan air baik di laut (*water evaporation*), di permukaan tanah (*soil evaporation*), dan pada tanaman (*evapotranspiration*) akibat pengaruh sinar dari matahari. Uap air akan naik dan terkondensasi di udara, sebab udara di atas permukaan bumi lebih rendah dari titik embun uap air. Proses kondensasi inilah yang menyebabkan terjadinya awan. Terbentuk awan pembawa hujan (*cumulonimbus*) dari adanya angin yang mendorong berkumpulnya beberapa awan kecil (*cumulus*). Setelah awan tersebut jenuh air, maka akan terjadi hujan (*precipitation*).

Saat proses presipitasi sedang terjadi, sebagian air akan berevaporasi ke atmosfer, ada yang langsung jatuh ke bawah, sebagian ada diintersepsi oleh tanaman, dan sebagian yang jatuh mencapai tanah. Air hujan yang mencapai tanah, ada yang masuk mengisi pori-pori atau cekungan pada permukaan tanah (*surface detention*) di danau dan sungai-sungai, kemudian ada yang langsung mengalir di permukaan (*surface run-off*), dan sebagian lagi yang diserap ke dalam tanah (*infiltration*). Air yang mengalami infiltrasi akan menjadi aliran yang selanjutnya disebut *sub-surface run-off* dan sebagian akan mengalir menuju sumber-sumber air permukaan terdekat seperti badan air (sungai atau danau). Air yang melewati aliran *subsurface run-off*, sebagian akan meresap ke dalam tanah (*percolation*) akan menjadi aliran bawah tanah (*ground water flow*) dan selanjutnya mengalir di dalam akuifer, dan ada yang keluar menjadi mata air (*springs*), dan sebagian lainnya akan bermuara di danau, sungai, dan laut.

Berdasarkan Gambar 2.1, siklus hidrologi dapat digolongkan menjadi 3 (tiga), yaitu:

1. Siklus hidrologi pendek (*short cycle*)

Siklus hidrologi pendek merupakan peristiwa dimana air laut yang menguap akibat pemanasan yang tinggi. Uap air yang menguap ke angkasa, menjadi awan dan kemudian turun sebagai hujan pada permukaan air laut tersebut.

2. Siklus hidrologi sedang (*medium cycle*)

Siklus hidrologi sedang merupakan peristiwa yang terjadi karena adanya angin yang bertiup, sehingga awan yang terjadi diatas laut terdorong sampai ke atas daratan dan turun sebagai hujan. Hujan yang jatuh di daratan mengalir melalui badan air (sungai) dan masuk kembali ke laut.

3. Siklus hidrologi panjang (*long cycle*)

Siklus hidrologi panjang merupakan peristiwa menguapnya air laut menjadi uap gas karena adanya panas dari matahari, kemudian uap air tersebut mengalami sublimasi dan membentuk awan yang mengandung kristal es, dan pada akhirnya jatuh dalam bentuk salju yang kemudian akan membentuk *gletser* (endapan es) yang mencair membentuk aliran sungai dan kembali kelaut. Jadi siklus hidrologi panjang bisa dikatakan hampir mirip dengan siklus hidrologi sedang. Perbedaannya terletak pada daerah yang dilalui, dimana siklus hidrologi panjang daerah cakupannya sangat luas hingga ke daerah subtropis. Angin mendorong awan hingga jauh ke daratan, sehingga mengalami sublimasi dan berubah menjadi hujan salju dan mengalir melalui sungai dan kembali menuju laut.

Neraca Air (Water Balance)

(Hadisusanto, 2011) mengatakan bahwa perhitungan neraca air pada perencanaan hidrologi dapat membantu

untuk menerangkan aliran air yang masuk dan keluar pada satu sistem. Hal itu dikarenakan neraca air memiliki parameter-parameter yang sulit diukur di lapangan. Tujuan perhitungan neraca air adalah sebagai berikut:

- a. Menghitung persediaan air pada permukaan tanah.
- b. Mempekirakan pola penggunaan air yang tersedia.
- c. Membantu menyeimbangkan jumlah ketersediaan air.
- d. Sebagai acuan perencanaan optimasi manajemen sumberdaya air.

Prinsip persamaan neraca air sama halnya dengan prinsip persamaan kontinuitas, seperti pada rumus:

$$I - O = \Delta S$$

dimana:

I = *inflow* pada suatu sistem

O = *outflow* pada suatu sistem

ΔS = perubahan simpanan air.

C. Analisa Hidrologi

Analisa hidrologi merupakan suatu analisa awal dalam menangani penanggulangan banjir dan perencanaan sistem drainase untuk mengetahui besarnya debit yang akan dialirkan sehingga dapat ditentukan dimensi saluran drainase. Besar debit yang akan digunakan sebagai acuan dasar perencanaan drainase terutama dalam penanggulangan banjir adalah debit rancangan yang diperoleh dari penjumlahan debit hujan rencana pada periode ulang tertentu dengan debit air buangan dari daerah tersebut.

Penetapan besarnya banjir rencana merupakan masalah pertimbangan hidroekonomis. Pengetahuan analisa hidrologi mempunyai peran yang sangat penting untuk memprediksi

besarnya banjir rencana yang sesuai. Perhitungan analisa hidrologi dapat menggunakan data debit pada suatu sungai, saluran ataupun curah hujan yang nantinya akan diolah menjadi debit rencana.

1. Perhitungan Hujan Rata-Rata Daerah Aliran

(Salarpour et al., 2014) mengatakan bahwa untuk analisa hidrologi di suatu daerah aliran sungai, diperlukan perhitungan hujan rata-rata. Hal itu diperlukan sebab perhitungan rata-rata pada daerah aliran sungai, hujan yang terjadi distribusinya dianggap sama rata.

Ada 3 (tiga) macam cara yang digunakan dalam menghitung hujan rata-rata daerah aliran, yaitu:

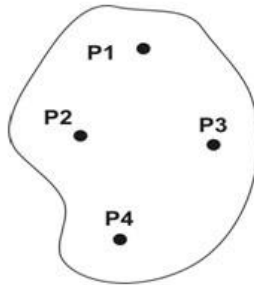
a. Metode Rata-rata Aljabar

(Rahmawati et al., 2015) mengatakan bahwa metode rata-rata aljabar digunakan untuk daerah topografi datar dan penyebaran stasiun hujannya merata. Caranya adalah dengan membagi rata jumlah hujan dari hasil pencatatan stasiun yang ada pada Daerah Aliran Sungai, dengan rumus sebagai berikut

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

dimana:

\bar{P}	= Tinggi hujan rata-rata (mm)
$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$	= Tinggi hujan pada stasiun ke i (mm)
n	= Banyaknya stasiun hujan.



**Gambar 2.2 Metode Rata-rata Aljabar
(Hadisusanto, 2011)**

b. Metode *Thiessen Polygon*

(Widianto et al., 2010) mengatakan bahwa metode *Thiessen polygon* sering dikenal sebagai metode rata-rata timbang. Cara perhitungannya dengan memberikan proporsi luasan daerah di stasiun hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak sehingga metode ini sering digunakan karena lebih akurat. Berikut langkah-langkah pembuatan metode *Thiessen polygon*:

- 1) Lokasi stasiun hujan digambar pada suatu peta DAS dan dibuat garis lurus sebagai penghubung antar stasiun hujan.
- 2) Buat garis tegak lurus ditengah-tengah tiap garis penghubung hingga membentuk *Thiessen Polygon*. Semua titik dalam satu poligon akan mempunyai jarak terdekat dengan stasiun hujan yang ada di dalamnya. Kemudian curah hujan pada stasiun hujan tersebut dianggap representasi hujan pada kawasan dalam poligon yang bersangkutan.
- 3) Luas total DAS (A) dapat diketahui dengan menjumlahkan semua luasan poligon.
- 4) Rata-rata curah hujan DAS dapat dihitung dengan persamaan:

$$\bar{P} = \frac{P_1 \cdot A_1 + P_2 \cdot A_2 + \dots + P_n \cdot A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

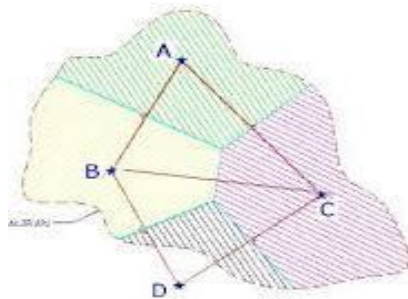
dimana:

\bar{P} = Tinggi hujan rata-rata (mm)

P_1, P_2, \dots, P_n = Tinggi hujan pada stasiun ke 1, 2, n (mm)

A_1, A_2, \dots, A_n = Luas Area poligon stasiun ke 1, 2, n (mm)

n = Banyaknya stasiun hujan.



Gambar 2.3 Metode Thiessen Polygon (Hadisusanto, 2011)

c. Metode Isohyet

Metode Isohyet merupakan metode yang paling akurat dalam menentukan rata-rata curah hujan, tetapi diperlukan suatu keahlian dan pengalaman. Metode tersebut dapat mengoreksi asumsi Metode *Thiessen Polygon* dimana tiap stasiun hujan mencatat kedalaman yang sama untuk daerah sekitarnya. Metode Isohyet mampu memperhitungkan secara aktual pengaruh tiap stasiun hujan. Adapun langkah-langkah penggunaan Metode Isohyet adalah sebagai berikut:

- 1) Plot data kedalaman air hujan untuk tiap stasiun.
- 2) Gambar kontur kedalaman air hujan dengan menghubungkan titik-titik yang mempunyai kedalaman air

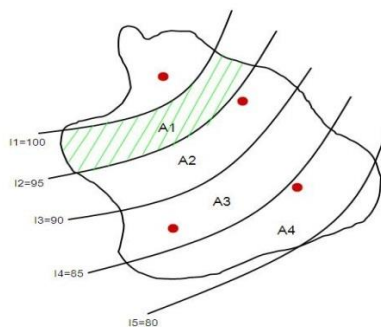
yang sama, interval isohyet yang umum digunakan adalah 10 mm.

- 3) Luas area antar dua garis isohyet dapat dihitung dengan menggunakan planimeter. Masing-masing luas area dikalikan dengan rata-rata hujan antara dua Isohyet yang berdekatan.
- 4) Curah hujan rata-rata DAS dapat dihitung dengan persamaan :

$$\bar{P} = \frac{A_1 \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) + A_2 \left(\frac{P_2 + P_3}{2} \right) + \dots + A_{n-1} \left(\frac{P_{n-1} + P_n}{2} \right)}{A_1 + A_2 + \dots + A_{n-1}}$$

dimana:

- \bar{P} = Tinggi hujan rata-rata (mm)
- P_1, P_2, \dots, P_n = Tinggi hujan pada stasiun ke 1,2,n (mm)
- A_1, A_2, \dots, A_n = Luas Area poligon pada stasiun ke 1,2, n (mm)
- n = Banyaknya stasiun hujan.



Gambar 2.4 Metode Isohyet (Hadisusanto, 2011)

2. Analisa Periode Ulang Curah Hujan

Analisis untuk daerah pemukiman umumnya dipilih hujan rencana dengan periode ulang 5-15 tahun. Daerah pusat pemerintahan yang penting, daerah komersil, dan daerah padat dengan nilai ekonomi tinggi dengan periode ulang 10-15 tahun. Sedangkan perencanaan gorong-gorong jalan raya dan lapangan terbang 3-15 tahun (Rahmawati et al., 2015).

3. Analisa Frekuensi Hujan

Analisa frekuensi hujan merupakan analisa statistik penafsiran hujan, tujuannya untuk menentukan terjadinya periode ulang hujan pada periode tahun tertentu (misalkan 10 tahunan, 100 tahunan, atau 1000 tahunan). Proses perhitungan hidrologi, analisa frekuensi hujan diperlukan dalam merencanakan kejadian banjir pada debit maksimum secara jangka panjang dan terus menerus (Junaidi, 2012).

(Lashari et al., 2017) menyatakan bahwa parameter statistik pada Analisa frekuensi meliputi nilai rata-rata, simpangan baku, koefisien varian, koefisien *skewness*, koefisien kurtosis, yang akan diuraikan pada penjelasan berikut:

a. Nilai Rata-Rata

Tinggi rata-rata hujan diperoleh dengan mengambil harga rata-rata yang dihitung dari penakaran pada penakar hujan dalam area tersebut. Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut (Hadisusanto, 2011):

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

dimana:

\bar{X} = Nilai rata-rata

X_i = Nilai varian ke-

n = Jumlah data

b. *Standard Deviasi*

Standard Deviasi atau biasa dikenal dengan simpangan baku. Berikut rumus standard deviasi yang sering digunakan (Triatmodjo, 2010):

$$S = \sqrt{\left[\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \right]}$$

dimana:

- s = Standard deviasi
- n = Jumlah data
- X_i = Nilai varian ke-i
- \bar{X} = Nilai rata-rata

c. Koefisien Varian

Koefisien varian merupakan nilai perbandingan antar*standard deviasi* dan nilai rata-rata, yang dapat dihitung dengan rumus (Triatmodjo, 2010):

$$Cv = \frac{s}{\bar{X}}$$

dimana:

- Cv = Koefisien variasi
- s = Standard deviasi
- \bar{X} = Nilai rata-rata

d. Koefisien *Skewness*

(Triatmodjo, 2010) menyatakan bahwa Koefisien *Skewness* atau koefisien kemencengan merupakan suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan dari suatu bentuk distribusi, yang dapat dihitung dengan rumus:

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

dimana:

- Cs = Koefisien kemencengan
- s = Standard deviasi
- \bar{X} = Nilai rata-rata
- X_i = Nilai varian ke-i
- n = Jumlah data

e. Koefisien Kurtosis

(Triatmodjo, 2010) menyatakan bahwa Koefisien Kurtosis digunakan untuk menentukan keruncingan kurva distribusi yang dibandingkan dengan distribusi normal dengan rumus sebagai berikut:

$$Ck = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)s^4} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4$$

dimana:

- Ck = Koefisien kurtosis
- s = Standard deviasi
- \bar{X} = Nilai rata-rata
- X_i = Nilai varian ke-i
- n = Jumlah data

Kemudian penentuan jenis distribusi yang sesuai dengan data dilakukan dengan mencocokkan parameter statistik dengan syarat masing-masing jenis distribusi. Syarat disribusi dengan ketentuan koefisien kemencengan (Cs) dan koefisien kurtosis (Ck) pada distribusi frekuensi yang akan digunakan, dijelaskan pada tabel 2.1 berikut.

**Tabel 2.1 Karakteristik Distribusi Frekuensi
(Triatmodjo, 2010)**

No	Distribusi Frekuensi	Syarat Distribusi	
		Cs	Ck
1	Normal	0	3
2	Log Normal	0	>3
3	Gumbel	1,14	5,4
4	Pearson Type III	Fleksibel	Fleksibel
5	Log Pearson Type III	Selain dari nilai diatas	

4. Perhitungan Curah Hujan Rencana

(Widiyanto et al., 2010) mengatakan bahwa pada perhitungan debit banjir rencana, metode sebaran yang umum digunakan untuk aplikasi hidrologi adalah sebagai berikut:

a. Metode Normal

Metode Normal juga dikenal dengan Metode *Gauss* yang sering digunakan untuk analisis frekuensi hujan harian maksimum, dan rumus yang digunakan pada metode ini adalah sebagai berikut:

$$X_t = \bar{X} + z \cdot S_x$$

dimana:

X_t = Curah Hujan Rencana (mm/hari)

\bar{X} = Curah Hujan Maksimum rata-rata (mm/hari)

S_x = Standar Deviasi/ Simpangan Baku

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

z = Faktor Frekuensi yang didapatkan dari tabel 2.2 berikut.

**Tabel 2.2 Nilai Koefisien untuk Distribusi Normal
(Lubis, 2016)**

Periode Ulang (tahun)					
2	5	10	25	50	100
0,00	0,84	1,28	1,71	2,05	2,33

b. Metode 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 Log Normal adalah sebagai berikut:

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

dimana:

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 = Standar deviasi/ simpangan baku

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

K_t = Nilai koefisien untuk periode ulang tahun seperti pada tabel 2.3 berikut.

**Tabel 2.3 Nilai Koefisien untuk Distribusi Log Normal
(Lubis, 2016)**

Periode Ulang (tahun)					
2	5	10	25	50	100
0,00	0,84	1,28	1,71	2,05	2,33

c. Metode Gumbel

Metode Gumbel, digunakan pada perhitungan hujan harian maksimum untuk menentukan kejadian yang tidak biasa (ekstrem). Rumus yang digunakan untuk menghitung metode ini adalah sebagai berikut

$$X = \bar{X} + sK$$

dimana:

\bar{X} = harga rata-rata sampel

s = Standar deviasi

Faktor probabilitas K untuk harga –harga ekstrem Gumbel dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$K = \frac{Y_{Tr} - Y_n}{S_n}$$

Dimana:

Y_n = *reduced mean* yang tergantung jumlah sampel atau data n

S_n = *reduced standard deviation* yang juga tergantung pada jumlah sampel/data n

Y_{TR} = *reduced variate*, yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Y_{Tr} = -\ln\left\{-\ln \frac{Tr}{Tr - 1}\right\}$$

**Tabel 2.4 Reduced Mean, Yn
(Suripin, 2004)**

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,8396	0,5403	0,5410	0,5418	0,5424	0,5436
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600	0,5602	0,5603	0,5604	0,5606	0,5607	0,5608	0,5609	0,5610	0,5611

**Tabel 2.5 Reduced Standard Deviation, Sn
(Suripin, 2004)**

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0881	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1080
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065	1,2069	1,2073	1,2077	1,2081	1,2084	1,2087	1,2090	1,2093	1,2096

d. Metode Distribusi Log Pearson Type III

Salah satu distribusi yang dikembangkan Pearson yang menjadi perhatian ahli sumberdaya air adalah *Log Pearson Type III*. Tiga parameter penting dalam *Log Pearson Type III* diantaranya:

- 1) Harga rata-rata
- 2) Simpangan baku/*Standar Deviasi*
- 3) Koefisien kemencengan (*skewness*)

Adapun langkah-langkah penggunaan distribusi *Log Pearson Type III* adalah sebagai berikut:

- 1) Ubah data ke dalam bentuk logaritmis, $X = \text{Log } X$
- 2) Hitung harga rata-rata dengan rumus

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

- 3) Hitung harga simpangan baku dengan rumus

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

- 4) Hitung koefisien kemencengan dengan rumus

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

- 5) Hitung logaritma hujan atau banjir dengan periode ulang T dengan rumus:

$$\log X_T = \log \bar{X} + K.s$$

dimana :

- log = Harga rata-rata dari logaritma data hujan
- \bar{X} = Logaritma hujan rencana untuk T tahun
- $\log X_T$ = Logaritma hujan rencana untuk T tahun
- log S = Koefisien kemencengan
- G = Variabel standar untuk X yang besarnya tergantung koefisien kemencengan G
- K (lihat tabel 2.6)

**Tabel 2.6 Nilai K untuk Distribusi Log Pearson Type III
(Suripin, 2004)**

Koef.G	Interval kejadian (<i>Recurrence interval</i>), tahun (periode ulang)							
	1,0101	1,2500	2	5	10	25	50	100
Koef.G	Persentase peluang terlampaui (<i>Percent chance of being exceeded</i>)							
	99	80	50	20	10	4	2	1
3,0	-0,667	-0,636	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051
2,8	-0,714	-0,666	-0,384	0,460	1,210	2,275	3,114	3,973
2,6	-0,769	-0,696	-0,368	0,499	1,238	2,267	3,071	2,889
2,4	-0,832	-0,725	-0,351	0,537	1,262	2,256	3,023	3,800
2,2	-0,905	-0,752	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705
2,0	-0,990	-0,777	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,192	3,605
1,8	-1,087	-0,799	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499
1,6	-1,197	-0,817	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388
1,4	-1,318	-0,832	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271
1,2	-1,449	-0,844	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149
1,0	-1,588	-0,852	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022
0,8	-1,733	-0,856	-0,132	0,780	1,336	1,993	2,453	2,891
0,6	-1,880	-0,857	-0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755
0,4	-2,029	-0,855	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615
0,2	-2,178	-0,850	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472
0,0	-2,326	-0,842	0,000	0,842	1,282	1,751	2,051	2,326
-0,2	-2,472	-0,830	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178
-0,4	-2,615	-0,816	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029
-0,6	-2,755	-0,800	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880
-0,8	-2,891	-0,780	0,132	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733
-1,0	-3,022	-0,758	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588
-1,2	-2,149	-0,732	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449
-1,4	-2,271	-0,705	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318
-1,6	-2,388	-0,675	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,197
-1,8	-3,499	-0,643	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087
-2,0	-3,605	-0,609	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990
-2,2	-3,705	-0,574	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905
-2,4	-3,800	-0,537	0,351	0,725	0,795	0,823	0,830	0,832
-2,6	-3,889	-0,490	0,368	0,696	0,747	0,764	0,768	0,769
-2,8	-3,973	-0,469	0,384	0,666	0,702	0,712	0,714	0,714
-3,0	-7,051	-0,420	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667

5. Uji Kecocokan Distribusi Frekuensi

Penentuan kecocokan distribusi frekuensi dari sampel data terhadap fungsi distribusi frekuensi teoritis yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi empiris, diperlukan pengujian secara statistik (Salarpour et al., 2014). Menentukan kesesuaian distribusi frekuensi pada perhitungan statistik hidrologi sering diterapkan dua cara pengujian yaitu:

a. Uji Chi-Kuadrat

Uji distribusi data curah hujan yang dianggap paling mudah perhitungannya untuk menguji peluang curah hujan adalah metode chi kuadrat tes (*Chi Square Test*). Uji Chi Kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang dapat mewakili dari distribusi sampel data analisis (Suripin, 2004).

$$x^2 \cdot h = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

dimana

$x^2 \cdot h$ = Parameter Chi kuadrat terhitung

O_i = Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke i

E_i = Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke i .

b. Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Adapun prosedur pelaksanaannya adalah sebagai berikut:

- 1) Urutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan tentukan besarnya peluang dari masing-masing data tersebut

$$X_1 = P(X_1)$$

$$X_2 = P(X_2)$$

$$X_3 = P(X_3), \text{ dan seterusnya}$$

2) Urutkan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya)

$$X_1 = P(X_1)$$

$$X_2 = P(X_2)$$

$$X_3 = P(X_3), \text{ dan seterusnya}$$

3) Dari kedua nilai peluang tersebut, tentukan selisih terbesarnya antar peluang pengamatan dengan peluang teoritis.

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

Berdasarkan tabel nilai kritis (*smirnov-kolmogorov test*) harga D_0 dapat ditentukan dari Tabel 2.7 berikut.

Tabel 2.7 Nilai Kritis D_0 untuk Uji Smirnov-Kolmogorov (Suripin, 2004)

N	Derajat kepercayaan, α			
	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
N>50	1,07	1,22	1,36	1,63
	N ^{0,5}	N ^{0,5}	N ^{0,5}	N ^{0,5}

6. Analisis Intensitas Hujan

Intensitas hujan merupakan ketinggian atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Semakin singkat intensitas hujan maka waktu yang diperlukan semakin lama. Dan sebaliknya, semakin lama intensitas hujan, maka waktu yang diperlukan semakin pendek. (Harsoyo, 2010) mengatakan bahwa rumus umum intensitas curah hujan adalah:

$$I_t = \frac{R_t}{t}$$

dimana:

I_t = Intensitas curah hujan (mm/jam)

R_t = Jumlah hujan (mm)

t = Waktu hujan (jam).

Sedangkan hujan yang turun selama 5 menit sampai 2 jam, metode yang dapat digunakan untuk menghitung intensitas curah hujan adalah:

a. Rumus Talbot (1881)

$$I = \frac{a}{t + b}$$

dimana:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

T = Lamanya hujan (jam)

a dan b = Konstanta yang besarnya tergantung pada keadaan daerah setempat.

Besarnya konstanta a dan b dapat ditentukan dengan melakukan pengamatan hujan dengan lama waktu hujan t_1 , t_2 , t_3 ,, t_n . Biasanya pengamatan n diambil kurang lebih 8

kali pengamatan yang intensitasnya $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$, yang dinyatakan dalam mm/jam. Konstanta a dan b dapat dihitung dengan persamaan:

$$a = \frac{\sum[I \cdot t] \cdot \sum[I^2] - \sum[I^2 \cdot t] \cdot \sum[I]}{N \sum[I^2] - \sum[I] \cdot \sum[I]}$$

$$a = \frac{\sum[I] \cdot \sum[I \cdot t] - \sum N \cdot [I^2 \cdot t]}{N \sum[I^2] - \sum[I] \cdot \sum[I]}$$

dimana:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Durasi curah hujan (menit)

N = Banyaknya data.

b. Rumus Sherman (1905)

Rumus Sherman biasanya digunakan untuk hujan yang lamanya lebih dari 2 jam

$$I = \frac{a}{t^k}$$

$$a = \frac{\sum(\log I) \cdot \sum(\log t)^2 - \sum(\log t \cdot \log I) \cdot \sum(\log t)}{N \cdot \sum(\log t)^2 - \sum(\log t) \cdot \sum(\log t)}$$

$$b = \frac{\sum(\log I) \cdot \sum(\log t) - \sum(\log t \cdot \log I)}{N \cdot \sum(\log t)^2 - \sum(\log t) \cdot \sum(\log t)}$$

dimana:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam).

a dan b = Konstanta yang besarnya tergantung pada keadaan daerah setempat.

c. Rumus Ishiguro (1953)

$$I = \frac{a}{\sqrt{t} + b}$$

Perhitungan konstanta a dan b dapat dihitung dengan persamaan

$$a = \frac{\sum[I \cdot \sqrt{t}] \cdot \sum[I^2] - \sum[I^2 \cdot \sqrt{t}] \cdot \sum[I]}{N \sum[I^2] - \sum[I] \cdot \sum[I]}$$

$$b = \frac{\sum[I] \cdot \sum[I \cdot \sqrt{t}] - \sum N \cdot [I^2 \cdot \sqrt{t}]}{N \sum[I^2] - \sum[I] \cdot \sum[I]}$$

dimana:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam).

a dan b = Konstanta yang besarnya tergantung pada keadaan daerah setempat.

Dari ketiga metode perhitungan intensitas hujan diatas, dapat dilakukan perhitungan untuk menentukan deviasi antara nilai intensitas hujan, untuk durasi dan periode ulang yang sama. Kemudian dilakukan perbandingan terhadap persamaan yang memperoleh hasil deviasi rata-rata terkecil (Noguchi et al., 1997).

Apabila data hujan yang tersedia hanyalah data hujan harian, maka intensitas hujan dapat dihitung dengan rumus Mononobe (Suripin, 2004):

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

dimana:

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

R_{24} = Curah hujan maksimum harian (selama 24 jam)
(mm)

t = Lamanya hujan (jam).

Lamanya hujan pada perumusan tersebut, dinyatakan sama dengan waktu konsentrasi (t_c) yaitu waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir dari suatu titik terjauh pada Daerah Aliran Sungai (DAS) hingga mencapai titik yang ditinjau pada sungai. Kemiringan daerah aliran dan kemiringan saluran dapat dihitung dengan rumus:

$$t_c = t_o + t_f$$
$$t_o = 0.0195 \left(\frac{L_o}{\sqrt{S}} \right)^{0,77}$$

dimana:

t_c = Waktu yang diperlukan air hujan untuk mengalir di permukaan (jam)

t_o = Waktu konsentrasi (jam)

t_f = Waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir (jam)

L_o = Panjang jarak dari tempat terjauh di daerah aliran sampai mencapai inlet atau tempat pengamatan banjir atau jarak titik terjauh pada lahan terhadap saluran (m)

s = Kemiringan rata-rata dari daerah aliran atau kemiringan lahan atau perbandingan dari selisih tinggi antara tempat terjauh dan tempat pengamatan terhadap panjang jaraknya $\left(\frac{\Delta h}{l} \right)$.

d. Waktu Pengaliran Saluran (t_f)

Waktu pengaliran saluran dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut (Subarkah, 1980):

$$t_f = \frac{L}{V}$$

dimana:

L = Panjang Saluran (m)

V = Kecepatan rata-rata saluran (m/det).

7. Analisa Debit Banjir Rencana

Dimensi saluran direncanakan berdasarkan besarnya debit air hujan yang akan dialirkan dengan menggunakan Metode Rasional. Metode tersebut dapat menggambarkan hubungan antara debit limpasan dengan besar curah hujan untuk luas DAS hingga 300 ha (Yustika et al., 2012):

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

dimana:

Q = Debit puncak yang ditimbulkan oleh hujan dengan intensitas, durasi dan frekuensi tertentu (m^3/dt)

I = Intensitas hujan (mm/jam)

A = Luas daerah tangkapan (km^2)

C = Koefisien aliran, tergantung pada jenis permukaan lahan (tabel 2.8).

**Tabel 2.8 Koefisien Aliran (C)
(Triatmodjo, 2010)**

Tipe Daerah Aliran	C
Rerumputan	
Tanah pasir, datar, 2%	0,50 – 0,10
Tanah pasir, sedang, 2-7%	0,10 – 0,15
Tanah pasir, curam, 7%	0,15 – 0,20
Tanah gemuk, datar, 2%	0,13 – 0,17
Tanah gemuk, sedang, 2-7%	0,18 – 0,22
Tanah gemuk, curam, 7%	0,25 – 0,35
Perdagangan	
Daerah kota lama	0,75 – 0,95
Daerah pinggiran	0,50 – 0,70
Perumahan	
Daerah single family	0,30 – 0,50
Multi unit terpisah	0,40 – 0,60
Multi unit tertutup	0,60 – 0,75
Suburban	0,25 – 0,40
Daerah apartemen	0,50 – 0,70
Industri	
Daerah ringan	0,50 – 0,80
Daerah berat	0,60 – 0,90
Taman, kuburan	0,10 – 0,25
Tempat bermain	0,20 – 0,35
Halaman kereta api	0,20 – 0,40
Daerah tidak dikerjakan	0,10 – 0,30
Jalan : Beraspal	0,70 – 0,95
Beton	0,80 – 0,95
Batu	0,70 – 0,85
Atap	0,75 – 0,95

(Subarkah, 1980) menyatakan bahwa metode rasional memperkirakan debit limpasan dengan pendekatan koefisien pengaliran yang merupakan perbandingan antara debit

maksimum dengan intensitas hujan. Sehingga Metode Rasional Modifikasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Q = 0,00278 \times C_s \times C \times I \times A$$

dimana:

Q = Debit puncak (m^3/dt)

I = Intensitas hujan (mm/jam)

A = Luas daerah tangkapan (ha)

C_s = Koefisien tampungan

C = Koefisien pengaliran.



BAB 3

ANALISIS FREKUENSI DAN PROBABILITAS

Diah Sarasanty

A. Pendahuluan

Analisa frekuensi hujan adalah analisa statistik (*statistical inference*) hujan yang dalam perhitungan hidrologi digunakan dalam menentukan terjadinya periode ulang hujan pada periode tahun tertentu. Pada perencanaan teknik sumberdaya air, analisa frekuensi hujan ini sangat diperlukan dalam perhitungan kejadian banjir rencana apabila pada lokasi yang direncanakan tidak terdapat pencatatan debit maksimum jangka panjang dan terus menerus. Tidak adanya curah hujan, pencairan salju dan masukan lainnya, air yang disimpan di jaringan hidrografi cekungan dan di dalam tanah dikeringkan oleh jaringan. Aliran arus oleh karena itu berkurang secara teratur. Kurva yang mewakili penurunan debit ini dengan waktu pada titik tertentu dari jaringan disebut sebagai kurva resesi. Pelepasan air disimpan dalam jaringan umumnya memiliki efek marjinal pada resesi, yang sesuai volume menjadi beberapa kali lipat lebih rendah dari volume air tanah.

Air yang tersimpan di permukaan umumnya berubah menjadi limpasan jauh lebih cepat daripada air tanah mengingat kecepatan aliran yang sangat rendah dari yang terakhir. Untuk mengidentifikasi resesi pada hidrograf, komponen aliran yang berbeda harus dipisahkan. Prediksi aliran rendah merupakan masalah penting yang terdiri dari

kekambuhan yang terkait interval atau periode ulang dengan perkiraan debit aliran rendah. Dasar untuk menentukan karakteristik debit aliran rendah yang diperlukan menetapkan peraturan tentang perlindungan sumber daya air.

Metode prediksi aliran rendah didasarkan baik pada data aliran rendah historis atau pada analisis frekuensi pelepasan yang diamati selama periode tertentu. Simulasi hidrologi model atau metode regional juga sering digunakan ketika tidak tersedia debit yang diamati. Pendekatan yang berbeda ini dijelaskan pada bab ini. Analisis frekuensi dapat memiliki satu atau dua tujuan. Salah satu tujuannya adalah untuk menentukan berapa hari per tahun rata-rata yang diberikan debit harian Q tercapai atau terlampaui. Tujuan lainnya adalah untuk menentukan nilai debit harian rata-rata Q yaitu, rata-rata, mencapai, atau melampaui n hari per tahun. Kurva aliran-durasi harus dibangun untuk memenuhi salah satu dari tujuan ini. Analisis frekuensi dapat digunakan untuk menentukan periode ulang karakteristik aliran rendah atau berbanding terbalik dengan nilai karakteristik aliran rendah yang sesuai untuk periode T . Metode ini menggunakan teknik analisis frekuensi klasik yang diterapkan pada sampel estimasi N dari karakteristik aliran rendah yang diperoleh dari periode pengamatan.

Hasil analisa frekuensi hujan harian maksimum, kebenaran perhitungan yang dibuat dari analisa data hujan harian maksimum sebenarnya tidak dapat dipastikan kebenarannya secara absolut, oleh karena itu aplikasi teori peluang sangat diperlukan. Pada distribusi peluang terdapat persamaan distribusi peluang untuk variabel acak deskrit (*discrete random variables*) misalnya Binomial dan Piosson, sedangkan variabel acak kontinyu (*continue random*

variables) terdapat beberapa persamaan distribusi peluang kontinu yang sering digunakan dalam perhitungan hidrologi untuk perhitungan hujan harian maksimum rencana misalnya sebaran Normal, Log Normal 2 Parameter, Log Normal 3 Parameter, Pearson tipe III, Log – Pearson tipe III dan Gumbel tipe I.

B. Aplikasi Sebaran Normal

Simulasi model hidrologi tertentu memerlukan penyempurnaan. Untuk setiap variabel keluaran model yang dapat dibandingkan dengan pengamatan, ketidaksempurnaan ini menghasilkan kesalahan yang bervariasi terhadap waktu. Kesalahan ini sering dianggap sebagai realisasi variabel acak. Idealnya, mereka harus *homoscedastic*, independen, dan distribusi normal dengan nilai rata-rata nol. Apapun sifat kesalahannya, nilai simulasi dari variabel yang diberikan mempunyai karakteristik tidak pasti. Meskipun tidak dilakukan secara luas, sangat penting untuk mengkaraktirasi ketidakpastian terkait dengan keluaran model hidrologi. Hal ini memungkinkan misalnya untuk menetapkan *confidence interval* ke nilai yang disimulasikan atau memperkirakan signifikansi tes kinerja. Bagian berikut berhubungan dengan sumber ketidakpastian, metode yang mungkin untuk menganalisis pentingnya ketidakpastian dan untuk mengkaraktirasi ketidakpastian pada parameter model dan simulasi terkait (Hingray, B., Picouet, C., Musy, 2015).

Sebaran normal juga disebut sebaran *Gauss* yang sering dipakai untuk analisis frekuensi hujan harian maksimum, dimana sebarannya mempunyai fungsi kerapatan kemungkinan (*probability density function*) sebagai berikut :

$$P(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)^2}$$

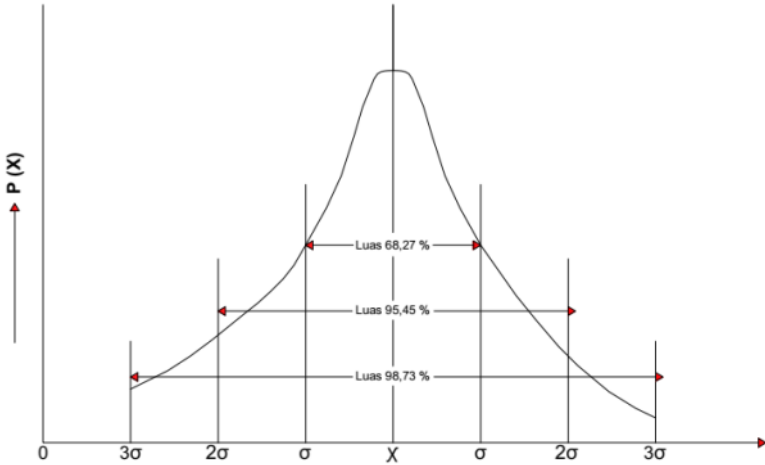
dimana :

P(X)	= fungsi kerapatan peluang normal
π	= 3,14156
e	= 2,71828
μ	= nilai X rata - rata
σ	= standar deviasi nilai X

Sebaran normal mempunyai sifat khusus bahwa besarnya koefisien asimetris (*skeness*) $C_s = 0$ atau $-0,015 < C_s < +0,015$, dengan koefisien ketosis sebesar $C_k = 3\sigma^2$ atau $+2,70 < C_k < 3,30$. Apabila populasi dari data hidrologi, mempunyai sebaran normal, maka kemungkinan (*probability*) adalah :

$P(x - \sigma)$	= 15,87 %
$P(x)$	= 50 %
$P(x + \sigma)$	= 84,14 %

Sehingga nilai variat yang berada pada daerah antara yaitu Nilai 68,27 %, terletak didaerah stau standar deviasi sekitar nilai rata - ratanya, antara $x - \sigma$ dan $x + \sigma$, nilai 95,45 % terletak didaerah dua standar deviasi sekitar nilai rata - ratanya, antara $x - 2\sigma$ dan $x + 2\sigma$, sedangkan nilai 99,73 % terletak di daerah tiga standar deviasi sekitar nilai rata - ratanya, anatar $x - 3\sigma$ dan $x + 3\sigma$. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Kurva Sebaran Frekuensi Normal

Untuk perhitungan nilai sebaran baik itu sebaran normal atau sebaran yang lain biasanya seri data hujan harian maksimum jangka panjang, setelah dilakukan sorting urutan terbesar ke urutan terkecil kemudian diplot pada kertas grafik peluang yang mempunyai skala vertikal linier atau logaritmik, untuk menggambarkan data variat X dan skala horisontal untuk menggambarkan frekuensi komulatif variat X. Metode plot data untuk menentukan peluang yang sering digunakan untuk menghitung periode ulang kejadian hujan harian maksimum adalah metode Kalifornia dan metode Weibull (Davis, M., 2012).

a) Metode Kalifornia

Peluang Xi dengan metode Kalifornia dapat dihitung dengan rumus :

$$P(X_i) = \frac{m}{N} \times 100 \%$$

$$T(X_i) = \frac{m}{N} \times 100 \%$$

dimana :

$P(X_i)$ = peluang terjadinya kumpulan nilai yang diharapkan selama periode pengamatan.

$T(X_i)$ = periode ulang dari kejadian yang diharapkan.

n = jumlah data pengamatan.

m = nomor urut kejadian atau peringkat yang diharapkan.

Cara ini mempunyai kelemahan apabila $m = N$, maka $P(X_i) = 1$, hal ini tidak dapat terjadi pada data kejadian yang terbatas.

b) Metode Weibull

Peluang X_i dengan metode Weibull yang paling banyak digunakan pada setiap analisa frekuensi hujan harian maksimum. Adapun metode Weibull dihitung dengan rumus :

$$P(X_i) = \frac{m}{n+1} \times 100 \%$$

$$Tr(X_i) = \frac{n+1}{m} \times 100 \%$$

dimana :

$P(X_i)$ = peluang terjadinya kumpulan nilai yang diharapkan selama periode pengamatan.

$Tr(X_i)$ = periode ulang dari kejadian X_i yang diharapkan.

n = jumlah data pengamatan.

m = nomor urut kejadian atau peringkat kejadian.

Cara ini lebih sesuai dengan kenyataan, baik untuk nilai m kecil atau besar. Berdasarkan rumus Kalfornia dan rumus Weibull, untuk menghitung periode ulang kejadian hujan harian maksimum dapat dipermudah dengan persamaan :

$$P_i (X_i) = \frac{1}{T_r (X_i)} \times 100 \%$$

Data kejadian hujan harian maksimum yang telah dihitung periode ulangnya, selanjutnya di plot pada kertas grafik peluang umumnya akan berbentuk persamaan garis lurus dengan persamaan umum sebagai berikut :

$$X_{tr} = x + k \cdot s$$

dimana :

- X_{tr} = perkiraan nilai yang diharapkan terjadi pada periode tertentu.
- x = nilai rata - rata kejadian.
- k = faktor frekuensi, merupakan fungsi peluang atau periode ulang.
- s = standar deviasi

Adapun faktor frekuensi k untuk sebaran normal atau sebaran Gauss dapat ditetapkan berdasarkan fungsi Periode ulang dan peluang seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Periode Ulang dan Peluang

Periode Ulang T (tahun)	Peluang	k
1,001	0,999	-3,050
1,110	0,990	-1,280
2,000	0,500	0,000
2,500	0,400	0,250
3,330	0,300	0,520
4,000	0,250	0,670
5,000	0,200	0,840
10,000	0,100	1,280
20,000	0,050	1,640
50,000	0,020	2,050
100,000	0,010	2,330
200,000	0,005	2,580
500,000	0,002	2,880
1000,000	0,001	3,090

C. Aplikasi Sebaran Log Normal Dua Parameter

Sebaran log normal dua parameter merupakan sebaran yang terdiri dari dua parameter yaitu, μ n dan σ^2 n, yang masing – masing merupakan harga tengah dan variansi untuk fungsi logaritma dari variabelnya (Mark J. Hammer, Mark J. Hammer, 2014). Kemungkinan fungsi ketepatannya (*probability density function*) sebagai berikut :

$$P(X) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu}{\sigma}\right)^2}$$

dimana :

P (X) = fungsi kerapatan peluang normal

π = 3,14156

- e = 2,71828
- σ = standar deviasi nilai X
- μn = nilai X rata - rata

dengan :

$$\begin{aligned} \text{Nilai X rata - rata } \mu n &= \frac{1}{2} \ln \left(\frac{\mu^4}{\mu^2 + \sigma^2} \right) \\ \text{Variansi } \sigma^2 n &= \ln \left(\frac{\sigma^2 + \mu^2}{\mu^2} \right) \\ \text{Koefisien variansi } C_v &= \frac{\sigma n}{\mu n} = (e \sigma n - 1) \frac{1}{2} \\ \text{Koefisien kemencengan } C_s &= 3 C_v + C_v^3 \\ \text{Koefisien kortuis } C_k &= C_v^8 + 6 C_v^6 + 15 C_v^4 + 16 C_v \end{aligned}$$

Sebaran log normal dua parameter juga sering dipakai untuk analisis frekuensi hujan harian maksimum, dimana sebarannya mempunyai persamaan transformasi sebagai berikut :

$$\text{Log } X_{tr} = \log x + k \cdot S \log x$$

dimana :

- $\log X_{tr}$ = perkiraan nilai yang diharapkan terjadi pada periode ulang tertentu.
- $\log x$ = nilai rata - rata kejadian.
- k = faktor frekuensi, merupakan fungsi peluang atau periode ulang (lihat Tabel 2.6).
- $S \log x$ = standar deviasi.

Apabila prosedur perhitungan tidak menggunakan nilai logaritmik, maka persamaannya sama seperti persamaan 2.26, tetapi dipakai nilai karakteristik distribusi loga normal dua parameter yang nilainya tergantung pada nilai koefisien variasi.

$$X_{tr} = x + k \cdot S$$

dimana :

X_{tr} = perkiraan nilai yang diharapkan terjadi pada periode ulang tertentu.

x = nilai rata - rata kejadian.

S = standar deviasi.

K = nilai karakteristik distribusi log normal dua parameter nilainya

Sebaran log normal dua parameter mempunyai sifat khusus bahwa besarnya koefisien asimetris (*skeness*) $C_s = +$ (positif) atau $\log C_s \approx 0$ atau $C_s = C_v^3 + 3 C_v$, dengan koefisien kortuis sebesar $C_k \approx 3$.

D. Aplikasi Sebaran Log Normal Tiga Parameter

Sebaran log normal tiga parameter, merupakan sebaran yang mirip dengan sebaran normal dua parameter, akan tetapi batas bawahnya tidak selalu sama dengan nol, oleh karena itu diperlukan modifikasi parameter dengan batas bawah β sehingga nilai kejadian rangkaian datanya adalah $\ln(x + \beta)$, adapun fungsi sebaran log normal tiga parameter adalah : kemungkinan fungsi kerapatannya (*probability density function*) sebagai berikut :

$$P(X) = \frac{1}{\ln(X - \beta) \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right)^2}$$

dimana :

$P(X)$ = fungsi kerapatn peluang normal

π	= 3,14156
e	= 2,71828
μ	= nilai X rata - rata
σ	= standar deviasi nilai X

Sebaran loga normal tiga parameter juga sering dipakai untuk analisis frekuensi hujan harian maksimum, dimana sebarannya mempunyai persamaan transformasi sebagai berikut :

$$\text{Log } X_{tr} = \log x + k \cdot S \log x$$

dimana :

$\log X_{tr}$	= perkiraan nilai yang diharapkan terjadi pada periode ulang tertentu.
$\text{Log } x$	= nilai rata - rata kejadian.
k	= nilai karakteristik distribusi log normal tiga parameter, nilainya tergantung dari nilai koefisien skewness
$S \log x$	= standar deviasi.

Sebaran loga normal tiga parameter mempunyai sifat khusus bahwa besarnya koefisien kortuis sebesar $C_k = 1,50 C_s^2 + 3$.

E. Aplikasi Sebaran Log - Pearson Tipe III

Sebaran log-Pearson tipe III, sering digunakan pada perhitungan hujan harian maksimum untuk menghitung besarnya banjir rencana yang terjadi pada periode ulang tertentu. Adapun persamaan fungsi kerapatan peluangnya adalah :

$$P(X) = \frac{1}{a \cdot \Gamma \cdot b} \left[\frac{X - C}{a} \right]^{b-1} e^{-\left(\frac{X - C}{a}\right)}$$

dimana :

- P (X) = fungsi kerapatan peluang variat X
- X = nilai variat
- a, b, c = parameter
- Γ = fungsi gamma

Apabila nilai variat X diplot pada kertas logaritmik, maka bentuk persamaan matematikanya merupakan persamaan garis lurus sebagai berikut :

$$X_{tr} = x + k \cdot S$$

dimana :

- X_{tr} = nilai logaritma X
- x = nilai rata - rata X
- S = standar deviasi X
- k = karakteristik distribusi log-Pearson tipe III, yang Nilainya tergantung dari nilai koefisien skewnessnya seperti Tabel II - 3 lampiran.

Adapun parameter statistik yang diperlukan pada sebaran log-Pearson tipe III yaitu : Harga rata - rata, Standar deviasi dan Koefisien *Skewness*, yang nilainya efisien *kortuis* mendekati $Ck = 1,50 Cs^2 + 3$.

F. Aplikasi Sebaran Log - Pearson Tipe III

Sebaran Gumbel tipe I, umumnya digunakan pada perhitungan hujan harian maksimum untuk menentukan kejadian yang ekstrem (Vasco, D., W.; Gupta, A., 2014). Dimana

sebaran ini mempunyai fungsi distribusi eksponensial ganda sebagai berikut :

$$P(X) = e^{(e) - Y}$$

Dengan batasan : $X \leq x$

$$- \infty < X < + \infty$$

dimana :

- P(X) = fungsi kerapatan peluang X
- X = variabel acak kontinyu
- e = 2,71828
- Y = faktor reduksi (*reduced variate*)

Persamaan garis lurus sebaran Gumbel tipe I, ditentukan dengan menggunakan metode momen :

$$Y = a (X - X_0)$$

Fisher dan Tippett mendapatkan harga

$$a = \frac{1,281}{\sigma}$$

$$X_0 = \mu - \frac{0,577}{a} \text{ maka}$$

$$X_0 = \mu - 0,455 \sigma$$

dimana :

- μ = nilai rata - rata
- σ = standar deviasi

Selanjutnya dengan penjabaran lebih lanjut, pada sebaran

Gumbel tipe I mempunyai nilai koefisien kemencengan (*skewness*) $\approx 1,1396$ dan kortusis $\approx 5,4002$, sedangkan nilai Y , faktor reduksi Gumbel merupakan fungsi dari besarnya peluang atau periode ulang seperti ditunjukkan pada Tabel 3.2. Persamaan garis lurus sebaran Gumbel tipe I juga dapat didekati dengan persamaan :

$$X = x + k \cdot S$$

dimana :

- X = perkiraan nilai yang diharapkan terjadi pada periode ulang tertentu.
- x = nilai rata - rata kejadian.
- S = standar deviasi kejadian.
- k = faktor frekuensi k untuk harga ekstrim Gumbel, ditulis dengan rumus.

$$k = \frac{Y_{\tau} - Y_n}{S_n}$$

dimana :

- Y_{τ} = reduksi variat.
- Y_n = reduksi rata - rata variat yang nilainya tergantung jumlah data (n).
- $T_{\tau} = -\ln \left[-\ln \left\{ \frac{(Tr-1)}{Tr} \right\} \right]$
- Tr = periode ulang.
- S_n = standar deviasi variat yang nilainya tergantung jumlah data (n).

Hubungan jumlah data kejadian (n) dengan reduksi rata - rata variat (Y_n) dan standar deviasi variat (S_n), dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.2 Faktor reduksi Gumbel

Periode Ulang T (tahun)	Peluang (%)	Y_T
1,001	0,999	-1,930
1,110	0,990	-0,834
2,000	0,500	0,366
2,500	0,400	0,671
3,330	0,300	1,030
4,000	0,250	1,240
5,000	0,200	1,510
10,000	0,100	2,250
20,000	0,050	2,970
50,000	0,020	3,900
100,000	0,010	4,600
200,000	0,005	5,290
500,000	0,002	6,210
1000,000	0,001	6,900

Tabel 3.3 Hubungan Reduksi Rata - rata (Y_n) dan Reduksi Standar Deviasi (S_n) Dengan Jumlah Data Kejadian (n).

n	Y_n	n	Y_n	n	S_n	n	S_n
10	0,4952	30	0,5362	10	0,9496	30	1,1124
11	0,4996	31	0,5371	11	0,9676	31	1,1159
12	0,5035	32	0,5380	12	0,9833	32	1,1193
13	0,5070	33	0,5388	13	0,9971	33	1,1226
14	0,5100	34	0,5396	14	1,0095	34	1,1255
15	0,5128	35	0,5402	15	1,0206	35	1,1285
16	0,5157	36	0,5410	16	1,0316	36	1,1313
17	0,5181	37	0,5418	17	1,0411	37	1,1339

18	0,5202	38	0,5424	18	1,0493	38	1,1363
19	0,5220	39	0,5430	19	1,0565	39	1,1388
20	0,5236	40	0,5436	20	1,0628	40	1,1413
21	0,5252	41	0,5442	21	1,0696	41	1,1436
22	0,5268	42	0,5448	22	1,0754	42	1,1458
23	0,5283	43	0,5453	23	1,0811	43	1,1480
24	0,5296	44	0,5458	24	1,0864	44	1,1499
25	0,5309	45	0,5463	25	1,0915	45	1,1519
26	0,5320	46	0,5468	26	1,0961	46	1,1538
27	0,5332	47	0,5473	27	1,1004	47	1,1557
28	0,5343	48	0,5477	28	1,1047	48	1,1574
29	0,5353	49	0,5481	29	1,1086	49	1,1590

G. Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi

Untuk menentukan kesesuaian (*the goodness of fit*) distribusi frekuensi empiris dan sampel data terhadap fungsi distribusi frekuensi teoritis yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi empiris, diperlukan pengujian secara statistik. Dalam menentukan kesesuaian distribusi frekuensi pada perhitungan statistik hidrologi sering diterapkan dua cara pengujian yaitu : Uji kesesuaian *Smirnov-Kolmogorov* dan Uji Chi Kuadrat (*Chi-Square Test*) (Riffat, 2013).

H. Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi

Uji kesesuaian *Smirnov-Kolmogorov* merupakan uji kesesuaian non parametik, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi sebaran tertentu. Sehingga pengujian kesesuaian dapat dilakukan lebih sederhana dengan membandingkan kemungkinan untuk setiap peluang dan peluang teoritisnya untuk mendapatkan nilai perbedaan D

maksimum (D_{max}). Berdasarkan perbedaan antara peluang pengamatan dan peluang teoristis didapat persamaan :

$$D = \text{maksimum} [P(X_m) - P'(X_m)]$$

dimana :

- D = perbedaan peluang maksimum.
- $P(X_m)$ = nilai peluang data pengamatan.
- $P'(X_m)$ = nilai peluang teoristis.

Apabila nilai D_{max} yang terbaca pada kertas probabilitas $< \Delta$ kritis yang didapat dari Tabel 2.9 maka dapat ditetapkan bahwa penyimpangan yang terjadi hanya karena kesalahan yang terjadi secara kebetulan sehingga sebaran teoristis yang digunakan untuk menentukan persamaan sebaran dapat diterima. Sebaliknya apabila nilai D_{max} yang terbaca pada kertas probabilitas $> \Delta$ kritis maka sebaran teoristis yang digunakan untuk menentukan persamaan sebaran tidak dapat diterima.

Pemeriksaan uji kesesuaian cara Smirnov-Kolmogorov ini dimaksudkan untuk mengetahui suatu kebenaran hipotesa frekuensi sebaran. Dengan pemeriksaan uji ini akan diketahui beberapa hal seperti :

- a. Kebenaran antara hasil pengamatan dengan model sebaran yang diharapkan atau diperoleh secara teoristis.
- b. Kebenaran hipotesa diterima atau ditolak.

Untuk mengadakan pemeriksaan uji tersebut terlebih dahulu dilakukan plotting data hujan hasil pengamatan pada kertas probabilitas dan garis durasi yang sesuai. Plotting data pengamatan hujan dan garis durasi pada kertas probabilitas

tersebut dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

1. Data hujan harian maksimum tiap tahun disusun dari urutan besar ke kecil.
2. Peluang (probabilitas) dihitung dengan persamaan Weibull
3. Plot data hujan X_m pengamatan dan peluangnya pada kertas probabilitas.
4. Plot persamaan analisis frekuensi hujan berdasarkan periode ulang yang ditetapkan.
5. Membandingkan perbedaan plotting nilai peluang data pengamatan, $P(X_m)$ dengan Plot persamaan analisis frekuensi hujan berdasarkan periode ulang yang ditetapkan sebagai nilai peluang teoritis $P'(X_m)$.
6. Nilai perbedaan yang terbesar antara $P(X_m)$ dan $P'(X_m)$, dibandingkan dengan Nilai delta Δ kritis untuk uji kesesuaian Smirnov-Kolmogorv, kalau hasilnya nilai $(P(X_m) - P'(X_m) < \text{Nilai} - P'(X_m) > \text{Nilai}$ delta Δ kritis artinya hipotesa ditolak.

Uji kecocokan ini sebaiknya dilakukan pada setiap perhitungan analisa frekuensi hujan, hal ini untuk melihat apakah data kejadian hujan yang dipakai untuk perhitungan peluang kejadian hujan secara hipotesa diterima atau ditolak. Nilai delta Δ kritis untuk uji kesesuaian *Smirnov-Kolmogorov* dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Nilai Δ kritis Uji *Smirnov-Kolmogorov*

N	α			
	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40

20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
N > 50	1,07 / \sqrt{N}	1,22 / \sqrt{N}	1,36 / \sqrt{N}	1,63 / \sqrt{N}

α = derajat kepercayaan

Uji Chi Kuadrat

Metode Uji kesesuaian *Chi Kuadrat* biasanya digunakan untuk menguji apakah distribusi pengamatan dapat disamai dengan baik oleh distribusi teoritis, yakni menguji kebenaran distribusi yang digunakan pada perhitungan frekwensi analisis. Uji *Chi Kuadrat* ini menggunakan parameter χ^2 , dimana metode ini diperoleh berdasarkan rumus :

$$\chi^2 = \sum \frac{(Ef - Of)^2}{Ef}$$

dimana :

χ^2 = harga *Chi kuadrat*.

Ef = Frekwensi (banyaknya pengamatan) yang diharapkan, sesuai Pembagian kelas.

Of = Frekwensi yang terbaca pada kelas yang sama.

Nilai χ^2 hasil perhitungan nilainya harus lebih kecil dari harga χ^2_{cr} (Chi kuadrat kritis) pada Tabel 3.5, untuk derajat nyata tertentu (*level of significance*), yang sering diambil 5%. Adapun derajat kebebasan ini secara umum dapat dihitung dengan :

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

dimana :

DK = derajat kebebasan.


K = banyaknya kelas.

P = banyaknya keterikatan atau banyaknya parameter.

Untuk sebaran untuk *Chi kuadrat* ditetapkan
nilainya = 2.

Dalam hal ini disarankan pula agar banyaknya kelas tidak kurang dari lima dan frekwensi absolut tiap kelas juga tidak kurang dari lima. Apabila terdapat kelas yang frekwensinya kurang dari lima, maka dapat dilakukan penggabungan dengan kelas yang lainnya.

Tabel 3.5 Nilai χ^2 Kritis Untuk Chi Kuadrat (Chi Square)

Degrees of Freedom					
	Chi-Square				
Y	0,20	0,10	0,005	0,001	0,001
1	1,642	2,706	3,841	6,635	10,827
2	3,219	4,605	5,991	9,210	13,815
3	4,642	6,251	7,815	11,345	16,268
4	5,989	7,779	9,488	13,277	18,465
5	7,289	9,236	11,070	15,086	20,517

6	8,558	10,645	12,592	16,812	22,457
7	9,803	12,017	14,067	18,475	24,322
8	11,030	13,362	15,507	10,090	26,125
9	12,242	14,684	16,919	21,666	27,877
10	13,442	15,987	18,307	23,209	29,588
11	14,631	17,275	19,675	24,725	31,264
12	15,812	18,549	21,026	26,217	32,909
13	16,985	19,812	22,362	27,688	34,528
14	18,151	21,064	23,685	29,141	36,123
15	19,311	22,307	24,996	30,578	37,697
16	20,465	23,542	26,296	32,000	39,252
17	21,615	24,769	17,587	33,409	40,790
18	22,760	25,989	28,869	34,805	42,312
19	23,900	27,204	30,144	36,191	43,820
20	25,038	28,412	31,410	37,566	45,315



BAB 4

LIMPASAN

Aptu Andy Kurniawan

A. Pendahuluan

Menurut Asdak (2010), Air Larian atau Limpasan air permukaan (*surface run-off*) merupakan bagian dari curah hujan yang mengalir di atas permukaan tanah menuju ke sungai, danau, dan lautan. Bagian terpenting dari *surface run-off* yang berkaitan dengan rancang bangunan pengendali *surface run-off* adalah besarnya debit puncak (*peak flow*) dan waktu tercapainya debit puncak, volume, dan penyebaran *surface run-off* (Kodoatie, 2012). Air hujan yang jatuh ke permukaan tanah ada yang langsung masuk ke dalam tanah atau disebut infiltrasi. Sebagian lagi tidak sempat masuk ke dalam tanah sehingga mengalir di atas permukaan tanah ke tempat yang lebih rendah.

Sebagian air hujan yang telah masuk ke dalam tanah, terutama pada tanah yang hampir atau telah jenuh, kemudian air tersebut ke luar ke permukaan tanah kemudian mengalir ke bagian yang lebih rendah. Kedua fenomena aliran air permukaan itu disebut air larian atau limpasan permukaan (*surface run-off*). Sebelum air dapat mengalir di atas permukaan tanah, curah hujan terlebih dahulu harus memenuhi keperluan air untuk evaporasi, intersepsi, infiltrasi, dan berbagai bentuk cekungan tanah (*surface detentions*) dan bentuk penampungan air lainnya. Air Larian atau Limpasan air permukaan (*surface run-off*) berlangsung saat jumlah curah hujan melampaui laju infiltrasi air ke dalam

tanah. Setelah laju infiltrasi terpenuhi, air mulai mengisi cekungan-cekungan pada permukaan tanah. Setelah pengisian air pada cekungan selesai, air dapat mengalir di atas permukaan tanah dengan bebas. Terdapat bagian air larian atau limpasan air permukaan yang berlangsung agak cepat yang membentuk aliran debit. Bagian air aliran lain, disebabkan melewati cekungan-cekungan permukaan tanah memerlukan waktu beberapa hari atau bahkan berminggu-minggu yang akhirnya menjadi aliran debit.

Dengan demikian, kondisi aliran air permukaan yang berbeda menentukan bentuk dan besaran hidrograf aliran (berbentuk hubungan grafis antara debit dan waktu) suatu daerah aliran sungai. Aliran sungai itu tergantung dari berbagai faktor secara bersamaan. Faktor-faktor ini dibagi menjadi 2 kelompok, yakni elemen-elemen meteorologi yang diwakili oleh curah hujan dan elemen-elemen daerah pengaliran yang menyatakan sifat fisik daerah pengaliran (Sosrodarsono dan Takeda, 1993).

B. Elemen-elemen Meteorologi

1. Jenis Presipitasi

Berpengaruh terhadap limpasan sangat berbeda, yang tergantung pada jenis presipitasinya yakni hujan atau salju. Jika hujan maka pengaruhnya langsung dan hidrograf hanya dipengaruhi intensitas curah hujan dan besarnya curah hujan.

2. Intensitas Curah Hujan

Pengaruh intensitas curah hujan pada limpasan permukaan tergantung dari kapasitas infiltrasi, jika infiltrasi curah hujan melampaui kapasitas infiltrasi, maka besarnya limpasan permukaan akan meningkat sesuai dengan peningkatan intensitas curah hujan. Akan tetapi, besarnya peningkatan limpasan itu tidak sebanding dengan

peningkatan curah hujan lebih, hal ini disebabkan efek penggenangan di permukaan tanah.

3. Lamanya Curah Hujan

Pada tiap daerah aliran terdapat lamanya curah hujan kritis. Jika lamanya curah hujan itu lebih panjang, maka lamanya limpasan permukaan itu juga menjadi lebih panjang. Durasi curah hujan mengakibatkan penurunan kapasitas infiltrasi. Untuk curah hujan berjangka waktu panjang, limpasan permukaan menjadi lebih besar meskipun intensitasnya relatif sedang.

4. Distribusi Curah Hujan dalam Daerah Pengaliran

Jika kondisi seperti topografi, tanah, dan lain-lain pada seluruh daerah pengaliran itu sama dan jumlah curah hujan itu sama, maka curah hujan yang berdistribusi merata mengakibatkan debit puncak minimum. Banjir di daerah pengaliran yang besar terkadang terjadi oleh curah hujan lebat berdistribusi merata, dan sering kali terjadi oleh curah hujan biasa yang mencakup daerah luas meskipun intensitasnya kecil. Sebaliknya, di daerah pengaliran yang kecil, debit puncak maksimum dapat terjadi oleh curah hujan lebat dengan daerah hujan yang sempit. Mengingat limpasan yang diakibatkan oleh curah hujan itu sangat dipengaruhi oleh distribusi curah hujan, maka untuk skala penunjuk faktor digunakan koefisien distribusinya. Distribusi koefisien merupakan harga curah hujan maksimum dibagi harga curah hujan rerata di daerah pengaliran. Jadi curah hujan berjumlah tetap mempunyai debit puncak lebih besar yang sesuai dengan koefisien distribusi yang bertambah besar.

5. Arah Pergerakan Curah Hujan

Umumnya curah hujan mengalami pergerakan. Curah hujan lebat bergerak sepanjang sistem aliran sungai sangat mempengaruhi debit puncak dan lamanya limpasan

permukaan.

6. Curah Hujan Terdahulu dan Kelembaban Tanah

Jika kadar kelembaban lapisan teratas tanah tinggi, maka akan mudah terjadi banjir karena kapasitas infiltrasi yang kecil. Demikian pula jika kelembaban tanah meningkat dan mencapai kapasitas lapangan, maka air infiltrasi akan mencapai permukaan air tanah dan memperbesar aliran air tanah. Selama periode pengurangan kelembaban tanah oleh evapotranspirasi dan lain-lain, curah hujan yang lebat tidak akan mengakibatkan kenaikan permukaan air, disebabkan air hujan yang menginfiltrasi tertahan sebagai kelembaban tanah. Sebaliknya, jika kelembaban tanah sudah meningkat disebabkan curah hujan terdahulu yang cukup besar, maka terkadang curah hujan dengan intensitas yang kecil dapat mengakibatkan kenaikan permukaan air yang besar dan terkadang dapat mengakibatkan banjir.

7. Kondisi-Kondisi Meteorologi lainnya

Seperti telah dikemukakan di atas, dari elemen-elemen meteorologi, curah hujan mempunyai pengaruh terbesar pada limpasan. Secara tidak langsung, suhu, kecepatan angin, kelembaban relative, tekanan udara rata-rata, curah hujan tahunan dan seterusnya berhubungan satu dengan yang lain juga mengontrol iklim di daerah tersebut sehingga mempengaruhi limpasan.

C. Elemen Daerah Pengaliran

1. Kondisi Penggunaan Tanah (*Landuse*)

Hidrograf sebuah sungai adalah sangat dipengaruhi oleh kondisi penggunaan tanah dalam daerah pengaliran itu. Daerah hutan yang ditutupi tumbuh-tumbuhan yang lebat adalah sulit mengadakan limpasan permukaan karena

kapasitas infiltrasinya yang besar. Jika daerah hutan ini dijadikan daerah pembangunan dan dikosongkan (hutannya ditebang), maka kapasitas infiltrasi akan turun karena pemampatan permukaan tanah. Air hujan akan mudah berkumpul ke sungai dengan kecepatan yang tinggi yang akhirnya dapat mengakibatkan banjir yang belum pernah dialami terdahulu.

2. Daerah Pengaliran

Jika semua faktor termasuk besarnya curah hujan, intensitas curah hujan dan lain-lain itu tetap, maka limpasan itu (yang dinyatakan dengan dalamnya air rata-rata) selalu sama, dan tidak tergantung dari luas daerah pengaliran. Berdasarkan asumsi ini, mengingatkan aliran per satuan itu tetap, maka hidrograf itu adalah sebanding dengan luas daerah pengaliran itu. Akan tetapi, sebenarnya makin besar daerah pengaliran itu, makin lama limpasan itu mencapai tempat titik pengukuran. Jadi, panjang dasar hidrograf debit banjir itu menjadi lebih besar dan debit puncaknya berkurang.

Salah satu sebab dari pengurangan debit puncak ialah hubungan antara intensitas curah hujan maksimum yang berbanding balik dengan luas daerah hujan itu. Berdasarkan asumsi tersebut di atas, curah hujan itu dianggap merata. Akan tetapi mengingat intensitas curah hujan maksimum yang terjadiannya diperkirakan terjadi dalam frekuensi yang tetap menjadi lebih kecil sebanding dengan daerah pengaliran yang lebih besar, maka ada pemikiran bahwa puncak banjir akan menjadi lebih kecil. Seperti telah dikemukakan di atas, debit banjir yang diharapkan per satuan daerah pengaliran itu adalah berbanding balik dengan daerah pengaliran, jika karakteristik-karakteristik yang lain itu sama. Tetapi kali ini adalah aneh karena luas daerah tidak menghasilkan peristiwa yang disebut di atas ini. Tetapi jika faktor-faktor lain yang

berbeda maka akan terjadi perbedaan besar dalam debit banjir.

3. Kondisi Topografi dalam Daerah Pengaliran

Corak, elevasi, gardien, arah, dan lain-lain dari daerah pengaliran mempunyai pengaruh terhadap sungai dan hidrologi daerah pengaliran itu. Corak daerah pengaliran adalah faktor bentuk, yakni perbandingan panjang sungai utama terhadap lebar rata-rata daerah pengaliran yang sama, maka hujan lebat yang merata akan berkurang dengan perbandingan yang sama sehingga sulit akan terjadi banjir. Elevasi daerah pengaliran dan elevasi rerata mempunyai hubungan erat terhadap suhu dan curah hujan. Demikian pula gradiennya berhubungan dengan infiltrasi, limpasan permukaan, kelembaban dan pengikisan air tanah. Gardien daerah pengaliran adalah salah satu faktor penting yang mempengaruhi waktu mengalirnya aliran permukaan, waktu konsentrasi ke sungai dari curah hujan dan mempunyai hubungan langsung terhadap debit banjir. Arah daerah pengaliran itu berpengaruh terhadap kehilangan evaporasi dan transpirasi karena mempengaruhi kapasitas panas yang diterima dari matahari.

4. Jenis Tanah

Mengingat bentuk butir-butir tanah, coraknya, dan cara mengendapnya adalah faktor-faktor yang menentukan kapasitas infiltrasi, maka karakteristik limpasan itu sangat dipengaruhi oleh jenis tanah daerah pengaliran itu, juga bahan-bahan kolodial merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi kapasitas infiltrasi karena bahan-bahan ini mengembang dan menyusut sesuai dengan variasi kadar kelembaban tanah.

5. Faktor-faktor lain yang memberikan pengaruh

Disamping hal-hal yang dikemukakan di atas, maka faktor-

faktor penting lain yang berpengaruh pada limpasan adalah karakteristik jaringan sungai, adanya daerah pengaliran yang tidak langsung, drainase buatan dan lain-lain. Untuk mempelajari adanya puncak banjir, debit air rendah, debit rata-rata dan lain-lain, diperlukan penyelidikan yang akurat dan perkiraan faktor-faktor yang berpengaruh.

D. Koefisien Air Larian atau Limpasan air permukaan (*Surface Runoff*)

Koefisien air larian atau limpasan air permukaan atau sering disingkat C adalah besarnya curah hujan. Misalnya C untuk hutan adalah 0,10 artinya 10 persen dari total curah hujan menjadi air larian. Secara matematis, koefisien air larian dapat dijabarkan sebagai berikut :

Koefisien air larian (C) = air larian (mm) / curah hujan (mm) Angka koefisien air larian ini merupakan salah satu indikator untuk menentukan apakah suatu DAS telah mengalami gangguan (fisik). Nilai C yang besar menunjukkan bahwa lebih banyak air hujan yang menjadi air larian. Hal ini kurang menguntungkan dari segi pencagaran sumberdaya air karena besarnya air yang akan menjadi air tanah berkurang. Kerugian lainnya adalah semakin besarnya jumlah air hujan yang menjadi air larian, maka ancaman erosi dan banjir menjadi lebih besar. Angka C berkisar antara 0 hingga 1. Angka 0 menunjukkan semua air hujan terdistribusi menjadi air intersepsi dan terutama infiltrasi. Sedangkan angka C=1 menunjukkan bahwa semua air hujan mengalir sebagai air larian. Di lapangan, angka koefisien air larian biasanya lebih besar dari 0 dan lebih kecil dari 1.

E. Pendugaan Limpasan Permukaan

Pendugaan limpasan permukaan bergantung pada tiga hal.

Pertama, bergantung berapa jumlah maksimum curah hujan per satuan waktu (intensitas maksimum). Kedua, bergantung berapa curah hujan tersebut menjadi limpasan permukaan (nilai faktor limpasan permukaan). Besarnya nilai faktor selain bergantung kepada topografi terutama kemiringan lereng dan tekstur tanah, juga bergantung kepada tipe penutupan tanah serta pengelolaannya. Faktor ketiga yakni luas areal tangkapan (*catchment area*). Dalam pendugaan laju puncak limpasan permukaan setidaknya ada tiga metode yang umum digunakan. Pertama adalah metode rational, kedua metode pengukuran langsung dan ketiga adalah metode US - SCS (*U.S. Soil Conservation Service*).

1. Metode Rasional

Untuk menduga besarnya laju maksimum limpasan permukaan, maka kita perlu menggunakan rumus berikut yakni :

$$Q \text{ (m}^3\text{/dt)} = 1/360 \times C \times I \times A$$

Dimana : C = koefisien limpasan permukaan
I = intensitas maksimum (mm/jam)
A = luas areal dalam hektar

Koefisien tersebut merupakan kombinasi tiga faktor yaitu topografi datar, bergelombang, dan berbukit; dua kategori tata guna lahan dan tiga tekstur tanah. Variabel lainnya diabaikan. Untuk lahan dengan kondisi areal tangkapan yang berbeda maka nilai C secara keseluruhan merupakan nilai rerata dari nilai C pada masing -masing luasan. Nilai C ini akan digunakan untuk seluruh areal tangkapan. Keuntungan dari metode ini adalah metode ini sederhana dan mudah.

**Tabel 4.1 Nilai Koefisien Limpasan (C) dari berbagai tipe penutup tanah dengan topografi dan tekstur yang berbeda
(Supli Effendi Rahim, 2012)**

Tipe Penutup Tanah & Topografi	Tekstur Tanah		
	Pasir dan Pasir Berlempung	Liat dan Lempung Berdebu	Liat Berat
Hutan			
• Datar, 0 – 5 %	0,10	0,30	0,40
• Bergelombang, 5 – 10 %	0,25	0,35	0,50
• Berbukit, 10 – 30 %	0,30	0,50	0,60
Padang Rumput			
• Datar, 0 – 5 %	0,10	0,30	0,40
• Bergelombang, 5 – 10 %	0,16	0,36	0,55
• Berbukit, 10 – 30 %	0,22	0,42	0,60
Lahan Usaha			
• Datar, 0 – 5 %	0,30	0,50	0,60
• Bergelombang, 5 – 10%	0,40	0,60	0,70
• Berbukit, 10 – 30 %	0,52	0,72	0,82
Daerah urban	30% area kedad Air	50% area kedad air	70% area kedad air
• Datar, 0 – 5 %	0,40	0,55	0,65
• Bergelombang, 5 – 10%		0,65	0,80

2. Metode Pengukuran Langsung

Perkiraan besarnya aliran permukaan selain dilakukan melalui persamaan empiris dapat juga dilakukan dengan cara pengukuran langsung di lapangan. Kekurangan yang diperoleh dengan pendekatan empiris, tingkat akurasi hasil

perhitungan tidak sebaik cara pengukuran langsung di lapangan. Ketidaktepatan hasil yang diperoleh menjadi lebih besar bila persamaan empiris yang digunakan untuk data masukan yang diperlukan berasal di tempat yang mempunyai karakteristik biogeofisik dan iklim yang berbeda dari tempat dimana persamaan tersebut diterapkan. Menyadari hal tersebut, maka dimungkinkan, pengukuran aliran permukaan langsung di lapangan sangat disarankan.

Metode pengukuran langsung dapat dilakukan dengan menggunakan alat simulasi hujan (*rainfall simulator*). Prinsip dasar dari alat ini membuat hujan buatan dengan bermacam intensitas sesuai dengan yang dikehendaki. Hujan buatan menyirami suatu petak tanah dengan luasan tertentu yang sebanding dengan ukuran dari perangkat alat ini. Alat simulasi hujan bisa dilakukan dalam skala kecil beberapa proses fisik yang ada dalam bidang hidrologi, juga memiliki kegunaan sangat besar berhubungan dengan hidrolika teknik. Telah dibuktikan bahwa alat ini bisa mengkonfigurasi secara cepat semua situasi sederhana dengan aliran 3 D dan melakukan pengukuran level muka air pada tempat yang sesuai dengan model, pengaturan intensitas hujan, dan mungkin mendapatkan hasil yang realistis

3. Metode US Soil Conservation Service

Metode yang dikembangkan oleh Dinas Konservasi Tanah Amerika atau juga dikenal sebagai Metode SCS paling banyak dimanfaatkan. Menurut Asdak (2010), metode untuk menentukan volume aliran permukaan pengukuran (Q) bergantung pada curah hujan (P) dan volume limpasan tersedia untuk menahan air (S).

$$Q = \frac{(P - 0.2 S)^2}{P + 0.8 S}$$

Dimana : Q = jumlah aliran permukaan
P = curah hujan
S = retensi air potesial maksimum (perbedaan antara curah hujan dan aliran permukaan)

Terdapat ketentuan yang harus dicermati sebelum menggunakan persamaan SCS CN ke dalam perhitungan, ketentuan tersebut berupa syarat yang harus dipenuhi yakni sebagai berikut (Fan,et all.2013):

- a. Apabila $I > 0,2S$ maka $Q = (I - 0,2 S)^2 / (I + 0,8S)$
- b. Apabila $I \leq 0,2S$ maka $Q = 0$

Menurut Asdak (2012) penetapan nilai S dilakukan dengan melalui nilai *run off Curve Number* (CN) dengan rumus sebagai berikut :

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

dimana

- S : Potensial maksimum retensi setelah dimulainya *runoff*
CN : Bilangan CN (*Curve Number*)

Menurut Mc Cuen (1982) angka CN (*curve number*) bervariasi dari 0 sampai 100 yang dipengaruhi oleh hidrologi tanah, penggunaan lahan, perlakuan lahan pertanian, kondisi hidrologi, dan AMC (*Antecedent Soil Moisture*).



BAB 5

HIDROLIKA SALURAN

M. Adik Rudianto

A. Pendahuluan

Dalam sistem drainase, saluran memegang peranan penting dalam membawa dan menyalurkan air hujan maupun air limbah yang akan dibuang ke saluran pembawa utama (sungai). Saluran-saluran ini bisa terbuka maupun tertutup pada bagian atasnya. Saluran terbuka digunakan apabila tersedia ruang yang cukup luas pada daerah perkotaan dan air yang dibawanya tidak mengganggu kesehatan. Jika air yang dialirkan ke dalam saluran dianggap dapat mengganggu kesehatan masyarakat dan keamanan pejalan kaki maka saluran tersebut bisa ditutup di atasnya. Pengetahuan tentang hidrolika perlu dikuasai dalam perencanaan saluran drainase sebagai dasar untuk merencanakan saluran yang sesuai dengan karakteristik aliran dan keekonomisan bangunan.

B. Klasifikasi Aliran

Menurut (M. Hanif Chaudhry, 2008) aliran pada saluran terbuka diklasifikasikan menjadi berbagai tipe tergantung dari kriteria yang digunakan. Berdasarkan perubahan kedalaman dan/atau kecepatan mengikuti fungsi waktu, maka aliran dibedakan menjadi aliran permanen (*steady*) dan tidak permanen (*unsteady*), sedangkan berdasarkan fungsi ruang, maka aliran dibedakan menjadi aliran seragam (*uniform*) dan tidak seragam (*non uniform*).

1. Aliran Tunak dan Tidak Tunak

Jika kecepatan aliran pada suatu titik tidak berubah terhadap waktu, maka alirannya disebut aliran tunak (*steady flow*), jika kecepatan pada suatu lokasi tertentu berubah terhadap waktu, maka alirannya disebut aliran tidak tunak (*unsteady flow*). Aliran tidak permanen bisa menjadi aliran permanen dengan mengacu pada koordinat referensi yang bergerak. Penyederhanaan ini menawarkan beberapa keuntungan, seperti kemudahan visualisasi, kemudahan penulisan persamaan yang terkait dan sebagainya. Penyederhanaan ini hanya mungkin jika bentuk gelombang tidak berubah dalam perambatannya.

Bentuk gelombang kejut (*surge*) tidak berubah ketika merambat pada saluran halus dan konsekuensinya perambatan gelombang kejut yang tidak permanen dapat dikonversi menjadi aliran permanen dengan koordinat referensi yang bergerak dengan kecepatan absolut gelombang kejut. Hal ini ekuivalen dengan pengamat yang bergerak di samping gelombang kejut sehingga gelombang kejut terlihat *stationer* atau tetap oleh pengamat jadi aliran dapat dianggap sebagai aliran permanen. Jika bentuk gelombang berubah selama perambatannya, maka tidak mungkin mentransformasikan gerakan gelombang tersebut menjadi aliran permanen. Misalnya gelombang banjir yang merambat pada sungai alamiah tidak dapat digranformasikan menjadi aliran permanen karena bentuk gelombang termodifikasi dalam perjalanannya sepanjang sungai.

2. Aliran Seragam dan Tidak Seragam

Apabila kecepatan aliran pada suatu waktu tersebut tidak berubah sepanjang saluran yang ditinjau, maka alirannya disebut aliran seragam (*uniform flow*). Namun jika kecepatan

aliran pada saat tertentu berubah terhadap jarak, maka alirannya disebut aliran tidak seragam atau aliran berubah (*non uniform flow or varied flow*). Berdasarkan laju perubahan kecepatan terhadap jarak, maka aliran dapat diklasifikasikan menjadi aliran berubah lambat laun (*gradually varied flow*) atau aliran berubah tiba-tiba (*rapidly varied flow*).

3. Aliran Laminer dan Turbulen

Aliran laminer didefinisikan sebagai suatu aliran dimana kondisi partikel zat cair yang mengikuti alur tertentu dan aliran tampak seperti gerakan serat-serat atau lapisan-lapisan tipis yang paralel. Sebaliknya jika partikel zat cair bergerak mengikuti alur yang tidak beraturan, baik ditinjau terhadap ruang maupun waktu, maka alirannya disebut aliran turbulen. Faktor yang menentukan keadaan aliran adalah pengaruh relatif antara gaya kekentalan (viskositas) dan gaya inersia. Jika gaya viskositas yang dominan maka alirannya laminer, sedangkan jika gaya inersia yang dominan maka alirannya turbulen. Nisbah antara gaya kekentalan dan inersia dinyatakan dalam bilangan Reynold (Re) yang didefinisikan seperti rumus berikut:

$$Re = \frac{V.L}{\nu} \quad (5.1)$$

Dengan :

V = kecepatan aliran (m/det)

L = panjang karakteristik (m) pada saluran muka air
bebas $L = R$

R = jari-jari hidraulik saluran

ν = kekentalan kinematik (m^2/det)

Batas peralihan antara aliran laminer dan turbulen pada

aliran bebas terjadi pada bilangan Reynold. $Re \pm 600$, yang dihitung berdasarkan jari-jari hidraulik sebagai panjang karakteristik.

4. Aliran Subkritis, Kritis dan Superkritis

Aliran dikatakan kritis apabila kecepatan aliran sama dengan kecepatan gelombang gravitasi dengan amplitudo kecil. Gelombang gravitasi dapat dibangkitkan dengan merubah kedalaman. Jika kecepatan aliran lebih kecil daripada kecepatan kritis, maka alirannya disebut subkritis sedangkan jika kecepatan alirannya lebih besar daripada kecepatan kritis, maka alirannya disebut superkritis (Suripin, 2008).

Parameter yang menentukan ketiga jenis aliran tersebut adalah nisbah antara gaya gravitasi dan gaya inerti, yang dinyatakan dengan bilangan Froude (F). Bilangan Froude untuk saluran berbentuk persegi didefinisikan sebagai :

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}} \quad (5.2)$$

Dengan :

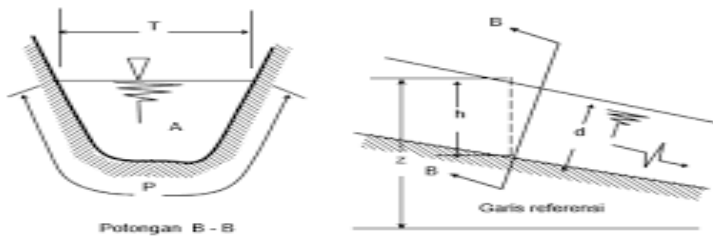
- v = Kecepatan aliran (m/det)
- h = kedalaman aliran (m)
- g = percepatan gravitasi (m/d^2)

C. Geometri Saluran

Menurut asalnya saluran terbuka dapat digolongkan menjadi saluran alamiah dan buatan. Dalam prakteknya saluran buatan diberi istilah yang berbeda-beda seperti *canal* yaitu saluran panjang dengan kemiringan sedang yang dibuat dengan menggali tanah disebut. Talang (*flume*) merupakan

saluran yang disangga di atas permukaan tanah dan terbuat dari kayu, beton atau logam. Got miring (*chute*) yaitu saluran yang sangat curam dengan dinding hampir vertikal. Terowongan (*tunnel*) adalah saluran yang digali melalui bukit atau gunung. Gorong-gorong (*culvert*) adalah saluran tertutup pendek yang mengalir tidak penuh (Chow,1998).

Sifat-sifat suatu penampang aliran dapat diuraikan seluruhnya berdasarkan geometri saluran dan kedalaman aliran. Untuk penampang saluran buatan yang berbentuk sederhana dapat dinyatakan dengan cara matematik menurut kedalaman aliran dan dimensi lainnya dari penampang tersebut. Definisi dari beberapa unsur geometrik saluran adalah sebagai berikut :



Gambar 5.1 Definisi potongan melintang dan memanjang saluran

1. Kedalaman aliran vertikal adalah jarak vertikal antara titik terendah pada dasar saluran dan permukaan air (m) dinotasikan dengan h
2. Kedalaman air normal (d) adalah kedalaman yang diukur tegak lurus terhadap garis aliran (m)
3. Lebar puncak (T) adalah lebar potongan melintang pada permukaan air (m)
4. Luas penampang basah (A) adalah luas penampang melintang saluran diukur tegak lurus arah aliran (m^2)

- Keliling basah (P) yaitu panjang garis persinggungan antara air dan dinding dan/atau dasar saluran yang diukur tegak lurus arah aliran.
- Jari-jari hidraulik (R) adalah rasio antara luas basah dengan keliling basah saluran dengan bidang penampang melintang yang tegak lurus arah aliran.




$$R = \frac{A}{P} \quad (5.3)$$

- Kedalaman hidraulik (D) adalah rasio antara luas penampang basah (A) dengan lebar puncak (T)

$$D = \frac{A}{P} \quad (5.4)$$

Untuk berbagai bentuk penampang saluran persamaan untuk unsur-unsur geometriknya disajikan pada table 5.1. berikut.

Tabel 5.1 Unsur-unsur geometrik saluran

Penampang Melintang	Area (A)	Keliling Penampang Basah (P)	Radius (R)	Lebar Atas (T)	Kedalaman (D)
 Persegi Panjang	bh	$b+2h$	$\frac{bh}{b+2h}$	b	h
 Trapezium	$(b+zh)h$	$b+2h\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zh)h}{b+2h\sqrt{1+z^2}}$	$b+2y$	$\frac{(b+zh)h}{b+2z}$
 Segitiga	zh^2	$2h\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zh}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zh$	$\frac{1}{2h}$

sumber: Chow, 1998

D. Rumus Empiris Kecepatan Rata-rata

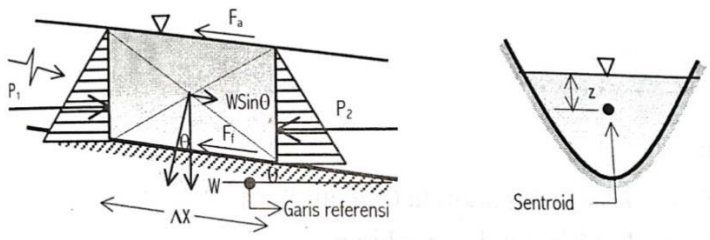
Karena sulit menentukan tegangan geser dan distribusi kecepatan dalam aliran turbulen, maka digunakan pendekatan empiris untuk menghitung kecepatan rata-rata. Beberapa rumus empiris kecepatan rata-rata akan kita bahas

pada bagian berikut:

1. Rumus Chezy (1769)

Persamaan kecepatan yang masih digunakan sampai saat salah satunya adalah Rumus Chezy yang ditemukan oleh seorang Insinyur Perancis bernama Antonie Chezy pada tahun 1769. Asumsi yang digunakan dalam persamaan ini adalah aliran permanen, kemiringan dasar saluran kecil dan prismatik. Persamaan Chezy diturunkan dari gaya-gaya seperti pada gambar 5.2. Perhatikan sepotong aliran (*control volume*) sepanjang ΔX , resultan gaya-gaya yang bekerja pada *control volume* tersebut ke arah bawah adalah:

$$\sum F = P_1 - P_2 + W_x - F_f - F_a \quad (5.5)$$



Gambar 5.2 Pias aliran seragam (Suripin,2004)

dimana :

P_1 dan P_2 = tekanan hidrostatik

F_f = gaya geser antara dasar / dinding saluran dan air
 $\text{air} = \tau_0 P \Delta x$

F_a = gaya geser antara permukaan air dan udara = 0

W = berat air dalam segmen yang ditinjau = $\gamma A \Delta x$

Apabila aliran seragam, $P_1 = P_2$, maka persamaan (5.1) menjadi:

$$W.\sin \theta = \tau . P . dx \quad (5.6)$$

$$A . dx . \gamma . \sin \theta = \tau . P . dx \quad (5.7)$$

$$\tau = \gamma . R . S_o \quad (5.8)$$

di mana :

τ = gaya geser tiap satuan luas dinding / dasar saluran
(N/m²)

γ = berat jenis air (N/m³)

R = jari - jari hidraulik = A/P (m)

A = luas penampang basa (m²)

P = keliling basa (m)

S_o = kemiringan dasar saluran ,apabila θ kecil, maka S_o =
sin θ

Berdasarkan analisis dimensi, persamaan (5.4) dapat ditulis sebagai berikut :

$$\tau_o = k\rho V^3 \quad (5.9)$$

di mana k adalah konstanta tidak berdimensi yang bergantung pada bilangan Reynolds, kekasaran dasar dan dinding saluran , dan sebagainya sehingga dari persamaan (5.4) dan (5.5) diperoleh persamaan.

$$V = \sqrt{\frac{g}{k}} RS_o \quad (5.10)$$

$$V = C \sqrt{RS_o} \quad (5.11)$$

Dimana :

V = kecepatan rata - rata (m/detik)

S_o = kemiringan dasar saluran

c = faktor tahanan aliran yang disebut koefisien chezy.

Berikut ini beberapa rumus yang telah dikembangkan untuk menentukan koefisien Chezy C.

a. Bazin

Pada tahun 1897 H. Bazin, seorang ahli hidraulika Prancis, merumuskan suatu persamaan untuk menghitung koefisien Chezy C sebagai fungsi kemiringan, S, jari-jari hidraulik, R, dan koefisien kekasaran, m, dalam bentuk sebagai berikut :

$$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}} \quad (5.12)$$

b. Ganguillet dan Kuetter

Pada tahun 1869, dua insinyur Swiss. Ganguillet dan Kuel mengumumkan rumus yang menyatakan besarnya nilai se fungsi kemiringan, S, jari-jari hidraulik. R. dan koefisien kekasaran m. dalam bentuk sebagai berikut:

$$C = \frac{23 + \frac{0,00155}{S} + \frac{1}{m}}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}} \left(23 + \frac{0,00155}{S} \right)} \quad (5.13)$$

Koefisien *m* dalam rumus ini terkenal dengan sebutan nilai *m* dari kuetter.

c. Colebrook

$$C = 18 \log \left(\frac{12 R}{k + \frac{2}{7} \delta} \right) \quad (5.14)$$

Hidraulik kasar **k > 6δ** ; hidraulik halus **k < 3,5δ**

$$C = 18 \log \left(\frac{12 R}{\frac{2}{7} \delta} \right) \quad (5.15)$$

Atau

$$C = 18 \log \left(\frac{42R}{k} \right) \quad (5.16)$$

dimana :

v = kecepatan (m/det)

C = koefisien chezy (m /det)

R = jari-jari hidrolis (m)

S = kemiringan energi (-)

n = koefisien kekasaran Manning (det/m^{1/3})

m = koefisien kekasaran, harganya tergantung jenis bahan saluran (-)

V = kekentalan kinematik (m²/det).

d. Darcy - Weisbach

Bandingkan persamaan Chezy (5.7) untuk saluran terbuka dengan Persamaan gesekan untuk pipa dari Darcy-Weisbach,

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (5.17)$$

untuk saluran terbuka $D = 4R$ dan $S = \frac{h_f}{L}$

$$V = \sqrt{\frac{8gRS}{f}} \quad (5.18)$$

$$C = \left(\frac{8g}{f} \right)^{1/2} \text{ atau } \frac{V}{U_*} = \left(\frac{8}{f} \right)^{1/2} \quad (5.19)$$

dimana :

hf = kehilangan energi akibat geseran (m)

f = faktor geseran dari Darcy-Weisbach (-)

L = panjang pipa (m)

D = diameter pipa (m)

V = kecepatan rata-rata (m/det)

8 = percepatan gravitasi (m/det²)

R = radius hidrolis (m)

S = kemiringan energi (-).

2. Persamaan Manning

Seorang insinyur Irlandia bernama Robert Manning (1889) mengemukakan sebuah rumus yang akhirnya diperbaiki menjadi rumus yang sangat terkenal sebagai berikut:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (5.20)$$

Berdasar rumus tersebut, n dikenal sebagai koefisien kekasaran Manning. Perlu dicatat bahwa n bukan bilangan nondimensional, tetapi berdimensi $TL^{-1/3}$. Dari kedua rumus kecepatan Chezy dan Manning dapat ditarik suatu korelasi antara koefisien Chezy dan koefisien Manning sebagai berikut:

$$C = \frac{R^{1/6}}{n} \quad (5.21)$$

Nilai koefisien n Manning untuk berbagai macam saluran secara lengkap dapat dilihat di berbagai referensi, di sini hanya ditampilkan beberapa yang dianggap paling sering dipakai dalam perencanaan praktis (lihat tabel 5.2)

Konstanta Manning Ekuivalen

Sejauh ini kita mengasumsikan bahwa penampang melintang saluran mempunyai kekasaran yang sama sepanjang keliling basah. Hal ini tidak selalu benar. Misalnya, saluran yang dinding dan dasarnya terbuat dari material yang berbeda, maka angka n Manning untuk dinding dan dasar saluran akan berbeda. Perlu di tentukan harga n ekuivalen, n_e yang berlaku untuk keseluruhan penampang basah untuk memudahkan perhitungan.

Tabel 5.2 Tipikal harga koefisien kekasaran Manning, n, yang sering digunakan.

No.	Tipe saluran dan jenis bahan	Harga n		
		Minimum	Normal	Maksimum
1.	Beton			
	▪ Gorong-gorong lurus dan bebas dari kotoran	0,010	0,011	0,013
	▪ Gorong-gorong dengan lengkungan dan sedikit kotoran/gangguan	0,011	0,013	0,014
	▪ Beton dipoles	0,011	0,012	0,014
	▪ Saluran pembuang dengan bak kontrol	0,013	0,015	0,017
2.	Tanah, lurus dan seragam			
	▪ Bersih baru	0,016	0,018	0,020
	▪ Bersih telah melapuk	0,018	0,022	0,025
	▪ Berkerikil	0,022	0,025	0,030
	▪ Berumput pendek, sedikit tanaman pengganggu	0,022	0,027	0,033
3.	Saluran alam			
	▪ Bersih lurus	0,025	0,030	0,033
	▪ Bersih, berkelok-kelok	0,033	0,040	0,045
	▪ Banyak tanaman pengganggu	0,050	0,070	0,08
	▪ Dataran banjir berumput pendek – tinggi	0,025	0,030	0,035
	▪ Saluran di belukar	0,035	0,050	0,07

Daftar lengkap dapat dilihat dalam *Open Channel Hydraulics* oleh Ven Te Chow.

Luas basah dimisalkan dibagi menjadi N sub bagian dengan keliling basah masing-masing P_1, P_2, \dots, P_n dan koefisien kekasaran $n_1, \dots, n_2, \dots, n_N$ untuk penentuan kekasaran ekuivalen. Horton dan Einstein (1942) menganggap bahwa setiap bagian mempunyai kecepatan rata-rata sama dengan kecepatan rata-rata untuk seluruh penampang, yakni $V_1 = V_2 = \dots = V_N = V$. Berdasar anggapan ini, maka kekasaran ekuivalen dapat dihitung dari persamaan:

$$V = \frac{R^{2/3}}{n} S^{1/2} \text{ atau } R = \frac{n^{3/2} V^{3/2}}{S^{3/4}} \quad (5.22)$$

Luas total sama dengan jumlah luasan dari semua bagian, yaitu:

$$A = \sum_{i=1}^n A_i \text{ atau } RP = \sum_{i=1}^n R_i P_i \quad (5.23)$$

$$\frac{n^{3/2} V^{3/2}}{S^{3/4}} = \frac{V^{3/2}}{S^{3/4}} \sum_{i=1}^n n_i^{3/2} P_i \quad (5.24)$$

sehingga koefisien Manning ekuivalen, n_e adalah:

$$n_e = \left[\frac{\sum_{i=1}^n P_i n_i^{3/2}}{p} \right]^{2/3} \quad (5.25)$$

Lotter menganggap bahwa jumlah debit aliran sama dengan jumlah debit dari masing-masing bagian luas penampang sehingga koefisien kekasaran ekuivalen adalah:

$$n_e = \frac{PR^{5/3}}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{P_i R_i^{5/3}}{n_i} \right)} \quad (5.26)$$

di mana n_i angka kekasaran Manning ekuivalen. N jumlah bagian (pias), P_i , R_i dan n_i adalah masing – masing keliling basah, jari – jari hidrolis, dan angka kekasaran Manning bagian i .

E. Bentuk Saluran yang Paling Ekonomis

Potongan melintang saluran yang paling ekonomis adalah saluran yang dapat melewatkan debit maksimum untuk luas penampang basah, kekasaran dan kemiringan dasar tertentu. Berdasarkan persamaan kontinuitas, tampak jelas bahwa untuk luas penampang melintang tetap, debit maksimum dicapai jika kecepatan aliran maksimum. Berdasar rumus Manning maupun Chezy dapat dilihat bahwa untuk kemiringan dasar dan kekasaran tetap, kecepatan maksimum dicapai jika jari-jari hidraulik R maksimum. Selanjutnya, untuk luas penampang tetap jari – jari maksimum jika keliling basah, P , minimum. Kondisi tersebut memberi jalan untuk menentukan dimensi penampang melintang saluran yang ekonomis untuk berbagai macam bentuk, seperti dijabarkan berikut:

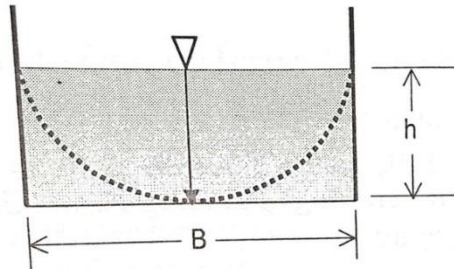
1. Penampang Berbentuk Persegi yang Ekonomis

Pada penampang melintang saluran berbentuk persegi dengan lebar dasar B dan kedalaman air h (Gambar 5.3), luas penampang basah, A , dan keliling basah, P , dapat dituliskan sebagai berikut: $A = Bh$

$$A = Bh \quad (5.27)$$

atau

$$B = \frac{A}{h} \quad (5.28)$$



Gambar 5.3 Penampang persegi panjang

$$P = B + 2h \quad (5.29)$$

Substitusi persamaan (5.28) ke dalam persamaan (5.29), maka diperoleh persamaan :

$$P = \frac{A}{h} + 2h \quad (5.30)$$

Dengan asumsi luas penampang, A , adalah konstan, maka persamaan (5.30) dapat dideferensialkan terhadap h dan dibuat sama dengan nol untuk memperoleh harga P minimum.

$$\frac{dP}{dh} = -\frac{A}{h^2} + 2 = 0 \quad (5.31)$$

$$A = 2h^2 = Bh \quad (5.32)$$

$$B = 2h \text{ atau } h = \frac{B}{2} \quad (5.33)$$

Jari - jari hidraulik

$$R = \frac{A}{P} = \frac{Bh}{B+2h} \quad (5.34)$$

Atau

$$R = \frac{2h^2}{2h+2h} = \frac{h}{2} \quad (5.35)$$

Perhatikan, bentuk penampang melintang persegi yang paling ekonomis adalah jika kedalaman air setengah dari lebar dasar saluran, atau jari-jari hidrauliknya setengah dari kedalaman air.

2. Penampang Berbentuk Trapesium yang Ekonomis

Luas penampang melintang, A , dan keliling basah, P , saluran dengan penampang melintang yang berbentuk trapesium dengan lebar di kedalaman aliran h , dan kemiringan dinding $l : m$ (Gambar 5.17): dirumuskan sebagai berikut:

$$A = (B + mh) h \quad (5.36)$$

$$P = B + 2h \sqrt{m^2 + 1} \quad (5.37)$$

Atau

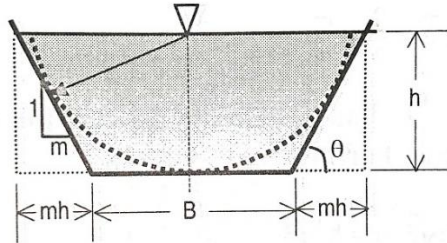
$$B = P - 2h \sqrt{m^2 + 1} \quad (5.38)$$

Nilai B pada persamaan (5.38) disubstitusikan ke dalam persamaan (5.36), maka diperoleh persamaan berikut :

$$A = (P - 2h \sqrt{m^2 + 1})h + mh^2 \quad (5.39)$$

Atau

$$A = Ph - 2h^2 \sqrt{m^2 + 1} + mh^2 \quad (5.40)$$



Gambar 5.4 Penampang melintang saluran berbentuk trapesium

Kita asumsikan bahwa luas penampang, A , dan kemiringan dinding, m , adalah konstan, maka persamaan (5.40) dapat dideferensialkan terhadap h dan dibuat sama dengan nol untuk memperoleh kondisi P minimum.

$$\frac{dA}{dh} = P - 4h \sqrt{m^2 + 1} + 2mh = 0 \quad (5.41)$$

Atau

$$P = 4h \sqrt{m^2 + 1} + 2mh = 0 \quad (5.42)$$

Dengan menganggap h konstan, mendefersial persamaan (5.42) dan membuat sama dengan nol, maka diperoleh persamaan berikut:

$$\frac{dP}{dm} = \frac{1}{4} \left(4h \frac{2m}{\sqrt{m^2 + 1}} \right) - 2h = 0 \quad (5.43)$$

atau

$$\frac{2m}{\sqrt{m^2 + 1}} = 1 \quad (5.44)$$

$$4m^2 = 1 + m^2; m = \sqrt{\frac{1}{3}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad (5.45)$$

$$3m^2 = 1 \quad (5.46)$$

Nilai m disubstitusikan ke dalam persamaan (5.42) , maka persamaan yang diperoleh adalah :

$$P = \frac{8}{3} h\sqrt{3} - \frac{2}{3} h\sqrt{3} = 2h\sqrt{3} \quad (5.47)$$

Nilai m disubstitusikan ke dalam persamaan (5.38) , maka persamaan yang diperoleh adalah :

$$B = 2h\sqrt{3} - \frac{4}{3} h\sqrt{3} = \frac{2}{3} h\sqrt{3} \quad (5.48)$$

Selanjutnya , jika nilai m disubstitusikan ke dalam persamaan (5.36) maka diperoleh persamaan berikut :

$$A = \left(\frac{2}{3} h\sqrt{3} + \frac{1}{3} h\sqrt{3}\right)h = h^2\sqrt{3} \quad (5.49)$$

Jadi, penampang trapesium yang paling efisien adalah jika kemiringan dindingnya, $m = 1/3$) atau $\theta = 60^\circ$. Trapesium yang terbentuk berupa setengah segienam beraturan (heksagonal).

3. Penampang Berbentuk Segitiga yang Ekonomis

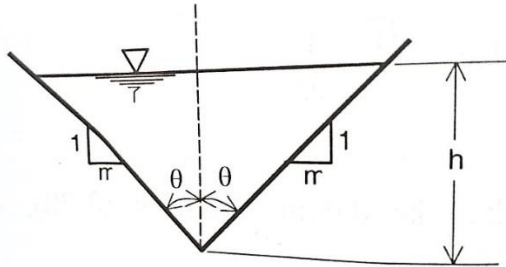
Perhatikan gambar 5.6 berikut, potongan melintang saluran yang berbentuk segitiga dengan kemiringan sisi terhadap garis vertikal, θ , dan kedalaman air, h , maka penampang basah, A , dan keliling basah. P , dapat ditulis sebagai berikut:

$$A = h^2 \tan \theta \quad (5.50)$$

atau

$$h = \sqrt{\frac{A}{\tan \theta}} \quad (5.51)$$

$$P = (2h) \sec \theta \quad (5.52)$$



Gambar 5.5 Penampang melintang saluran berbentuk segitiga

Substitusi nilai h , dari persamaan (5.51) ke dalam persamaan (5.50) maka persamaan berikut :

$$P = \frac{2\sqrt{A}}{\sqrt{\tan \theta}} (\sec \theta) \quad (5.53)$$

Pada luas penampang, A , konstan, dengan mendiferensial persamaan (5.52) terhadap θ dan dibuat sama dengan nol, maka diperoleh persamaan berikut:

$$\frac{dP}{d\theta} = 2\sqrt{A} \left[\frac{\sec \theta \tan \theta}{\sqrt{\tan \theta}} - \frac{\sec^3 \theta}{2(\tan \theta)^{3/2}} \right] = 0 \quad (5.54)$$

atau

$$\sec \theta (\tan^2 \theta - \sec^2 \theta) = 0$$

karena $\sec \theta \neq 0$, maka $2\tan^2 \theta - \sec^2 \theta = 0$ atau $\sqrt{2 \tan \theta} = \sec \theta$

Jadi, $\theta = 45^\circ$ atau $m = 1$

Dengan demikian, saluran berbentuk segitiga yang paling ekonomis adalah jika kemiringan dindingnya membentuk sudut 45° dengan garis vertikal.



BAB 6

PERENCANAAN SISTEM DRAINASE

Edna Nadya

A. Gambaran Umum

(Wesli, 2008) mengatakan drainase berasal dari kata *drainage* yang memiliki arti mengeringkan atau mengalirkan. Penanganan drainase berawal dari kelebihan air yang melimpas ke permukaan dikarenakan intensitas hujan yang tinggi. Maka dibutuhkan penanganan yang secara holistik/ menyeluruh.

Pada musim hujan air seringkali menyebabkan banjir, hal ini dapat dialirkan dan dikendalikan dengan ilmu drainase. Perencanaan drainase khususnya drainase perkotaan memiliki keterkaitan dengan tata guna lahan, tata ruang kota, masterplan dan kondisi sosial masyarakat di kawasan perkotaan. Penanganan drainase ini tidak terbatas pada aspek teknis saja, namun menyangkut aspek non teknis seperti pola hidup di kawasan perkotaan. Keberhasilan persoalan drainase cukup kompleks, maka perlu adanya kolaborasi antar pemerintah, swasta, masyarakat dan *stakeholder* terkait.

B. Tahapan Perencanaan Drainase

Tahapan awal untuk memulai perencanaan yaitu menentukan lokasi genangan dan mengumpulkan data primer (data yang diperoleh dari sumbernya) maupun data sekunder (data yang diperoleh dari pengukuran lapangan secara langsung) (S.N, 1997). Berikut jenis data yang harus diperoleh sebagai berikut :

1. Data primer : data topografi (berupa peta kontur yang berfungsi elevasi permukaan), data tata guna lahan (berupa peta penggunaan lahan yang berfungsi untuk mengetahui koefisien larian air), jenis tanah (berupa data jenis tanah untuk mengetahui kemampuan menyerap air), masterplan (dokumen masterplan berfungsi untuk mengetahui arah perkembangan kota sehingga perencanaan drainase menyesuaikan dengan dokumen masterplan), peraturan (data yang memuat peraturan-peraturan terkait drainase), data prasarana utilitas, data kependudukan, pendanaan (data pendanaan yang berkaitan penanganan drainase melalui APBN/APBD, Swasta/CSR, maupun masyarakat), dan data hujan (data curah hujan berfungsi untuk menghitung curah hujan harian selama 10 tahun).
2. Data sekunder : lama genangan, tinggi genangan, besarnya kerugian, peta situasi dan pengukuran jalur saluran, dan data bahan bangunan. Data ini dilakukan bisa dengan wawancara/pengukuran lapangan/survei harga bahan.

C. Kriteria Teknis Perencanaan Drainase

Merencanakan sistem drainase harus diperhatikan aspek teknis dan aspek biayanya agar terlaksana dengan baik dan efisien. Berikut beberapa aspek yang harus diperhatikan menurut (S.N, 1997), yaitu:

1. Aspek Teknis

Beberapa aspek teknis dalam perencanaan drainase meliputi koefisien pengaliran (C), bentuk penampang saluran, material saluran, kemiringan saluran, kecepatan aliran, koefisien kekasaran *manning* dan tinggi jagaan (*freeboard*) .

a. Koefisien Larian (*run off*)

Koefisien larian (*run off*) harus dialirkan melalui saluran drainase pada daerah tertentu dengan desain saluran yang tepat dan ekonomis, agar tingkat keberhasilan yang tinggi. Perhitungan debit rancangan drainase umumnya menggunakan metode Rasional dan jika memiliki luas daerah kurang dari 0,8 km², maka dapat dihitung kapasitas pengalirannya dengan rumus sebagai berikut :

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

Keterangan :

Q = Kapasitas pengaliran (m³/dt)

C = Koefisien pengaliran

I = Intensitas hujan (mm/jam)

A = Luas daerah pengaliran (km²)

Koefisien pengaliran dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 6.1 Koefisien pengaliran (C) secara umum (Wesli, 2008)

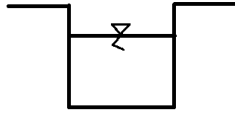
Tipe Daerah Pengaliran	Kondisi	Koef
1. Rerumputan	Tanah pasir datar, 2 %	0.05 - 0.10
	Tanah pasir rata-rata, 2-7 %	0.10 - 0.15
	Tanah pasir curam, 7 %	0.15 - 0.20
	Tanah gemuk datar, 2 %	0.13 - 0.17
	Tanah gemuk rata-rata, 2-7 %	0.18 - 0.22
	Tanah gemuk curam, 7 %	0.25 - 0.35
2. Daerah Bisnis	Daerah Kota lama	0.75 - 0.95
	Daerah pinggiran	0.50 - 0.70

Tipe Daerah Pengaliran	Kondisi	Koef
3. Perumahan	Daerah 'Single Family'	0.30 - 0.50
	"MultiUnit" terpisah-pisah	0.40 - 0.60
	"Multy Unit" tertutup	0.60 - 0.75
	"Sub Urban"	0.25 - 0.40
	Daerah rumah Apartemen	0.20 - 0.70
4. Industri	Daerah ringan	0.60 - 0.80
	Daerah berat	0.60 - 0.90
5. Pertamanan, kuburan		0.10 - 0.25
6. Tempat bermain		0.20 - 0.35
7. Halaman kereta api		0.20 - 0.40
8. Daerah yang tidak dikerjakan		0.10 - 0.30
9. Jalan	Beraspal	0.70 - 0.95
	Beton	0.80 - 0.95
	Batu	0.70 - 0.95
10. Untuk berjalan		0.75 - 0.85
11. Atap		0.75 - 0.95

b. Bentuk Penampang Saluran

Bentuk saluran-saluran dimensi drainase sama halnya saluran irigasi. Dalam perencanaan dimensi saluran drainase harus memperoleh dimensi yang ekonomis. Bentuk tampang saluran drainase berkaitan dengan fungsi saluran terdiri dari:

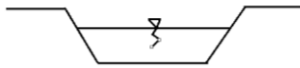
1) Persegi



**Gambar 6.1 Bentuk penampang persegi
(S.N, 1997)**

Umumnya saluran ini terbuat dari pasangan batu dan beton. Berfungsi untuk mengalirkan limpasan air hujan, air rumah tangga ataupun air irigasi. Saluran dengan bentuk persegi tidak banyak membutuhkan ruang/dapat digunakan dengan lahan terbatas.

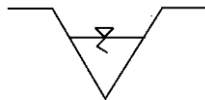
2) Trapesium



**Gambar 6.2 Bentuk penampang trapesium
(S.N, 1997)**

Umumnya saluran bentuk trapesium dari tanah, tetapi tidak menutup kemungkinan dari pasangan atau beton. Berfungsi untuk mengalirkan limpasan air hujan air rumah tangga ataupun air irigasi.

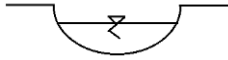
3) Segitiga



**Gambar 6.3 Bentuk penampang segitiga
(S.N, 1997)**

Saluran bentuk segitiga sangat jarang digunakan tetapi mungkin digunakan untuk kondisi tertentu.

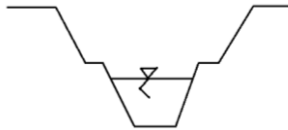
4) Setengah Lingkaran



**Gambar 6.4 Bentuk penampang setengah lingkaran
(S.N, 1997)**

Saluran bentuk setengah lingkaran kombinasi pipa beton dan pasangan ataupun pasangan. Bentuk saluran ini umumnya digunakan saluran-saluran penduduk dan pada sisi jalan perumahan padat, dan dapat memudahkan pengangkutan bahan endapan/limbah.

5) Tersusun



**Gambar 6.5 Bentuk penampang tersusun
(S.N, 1997)**

Saluran bentuk tersusun dapat berupa saluran tanah maupun dari pasangan. Tampang saluran ini berfungsi mengalirkan air rumah tangga pada kondisi tidak hujan, apabila terjadi hujan maka kelebihan air dapat ditampung pada saluran atas. Membutuhkan ruang yang cukup dan dapat digunakan saluran air hujan, air rumah tangga dan air irigasi.

c. Material Saluran

Pemilihan material saluran bergantung pada kondisi lahan/konstruksi yang sesuai dan material yang tersedia di tempat. Umumnya di lapangan memakai bentuk penampang persegi. Saluran drainase bisa terbuat dari tanah, pasangan batu merah, beton, hayu, baja, plastik, aspal, dll.

Dalam keadaan tertentu dipakai bentuk trapesium maka besarnya kemiringan saluran berdasarkan jenis bahan yang

membentuk bahan saluran. Dapat dilihat dari tabel dibawah ini.

Tabel 6.2 Kemiringan dinding saluran sesuai bahan (S.N, 1997)

Bahan saluran	Kemiringan dinding (m)
Batuan/cadas	~0
Tanah lumpur	0.25
Lempung keras/tanah	0.5 - 1
Tanah dengan pasangan batuan	1
Lempung	1.5
Tanah berpasir lepas	2
Lumpur berpasir	3

d. Kemiringan Saluran

Perbandingan antara lebar dengan dalam saluran, yaitu $n = \frac{b}{h}$ (b = lebar, h = kedalaman). Kemiringan tanah harus memperhatikan jenis tanah dan stabilitas tanahnya. Saluran-saluran besar harus diperiksa terhadap bahaya *sliding*.

Kemiringan dasar saluran maksimum 0,005 - 0,008 tergantung bahan saluran yang digunakan. Kemiringan 0,005 untuk tanah padat akan menyebabkan erosi (penggerusan). Berikut penjelasan terkait kemiringan talud saluran pada table dibawah ini.

Tabel 6.3 Kemiringan talud saluran (Haryono Sukarto, 2008)

Jenis Tanah	$h < 0,4 \text{ m}$	$0,4 < h < 0,75 \text{ m}$	$0,75 < h < 1,5 \text{ m}$
Lempung kepasiran, tanah kepasiran kohesif	Vertikal	1	1
Tanah kepasiran lepas	Vertikal	1	1,25

Lempung berpori	Vertikal	1	1,25
Tanah gambut lunah	Vertikal	1,25	1,5

e. Kecepatan Aliran

Umumnya di lapangan kecepatan sebesar 0,60 – 0,90 m/dt dengan catatan dapat digunakan dengan aman apabila persentase lumpur yang ada di air cukup kecil. Kecepatan aliran 0,75 m/dt dapat mencegah pengendapan sedimentasi dan berkembangnya tumbuhan-tumbuhan yang dapat memperkecil daya alir saluran. Berikut tabel perkiraan kecepatan rata-rata pengaliran di dalam saluran alami.

Tabel 6.4 Perkiraan kecepatan rata-rata pengaliran di dalam saluran alami
(Ir. Haryono Sukarto, 1999)

Kemiringan saluran (%)	Kecepatan rata-rata (m/dt)
1	0,40
1 – 2	0,60
2 – 4	0,90
4 – 6	1,20
6 – 10	2,50
10 – 15	2,40

f. Koefisien Kekasaran Manning

Berbagai macam jenis saluran baik secara alami (tanah) maupun secara buatan (pasangan, beton, dll). Besarnya koefisien *manning* dapat mengacu pada table di bawah ini.

Tabel 6.5 Tipikal harga koefisien kekasaran *manning* n yang sering digunakan (V.T. Chow, 1989)

No.	Tipe saluran dan jenis bahan	Harga n		
		Min	Normal	Maks
1.	Beton			
	a. Gorong-gorong harus dan bebas dari kotoran	0,010	0,011	0,013
	b. Gorong-gorong dengan lengkungan dan sedikit kotoran/gangguan	0,011	0,013	0,014
	c. Beton dipoles	0,011	0,012	0,014
	d. Saluran pembuangan dengan bak kontrol	0,013	0,015	0,017
2.	Tanah, lurus dan seragam			
	e. Bersih baru	0,016	0,018	0,020
	f. Bersih telah melapuk	0,018	0,022	0,025
	g. Berkerikil	0,022	0,025	0,030
	h. Berumput pendek, sedikit tanaman pengganggu	0,022	0,027	0,033
3	Saluran alam			
	i. Bersih lurus	0,025	0,030	0,033
	j. Bersih, berkelok-kelok	0,033	0,040	0,045
	k. Banyak tanaman pengganggu	0,050	0,070	0,080
	l. Dataran banjir berumput pendek - tinggi	0,025	0,030	0,035
	m. Saluran di belukar	0,035	0,050	0,070

g. Tinggi Jagaan (*freeboard*)

Jagaan direncanakan untuk mencegah peluapan air akibat gelombang serta fluktuasi permukaan air. Jagaan direncanakan antara 5% - 30% lebih dari dalamnya aliran. Untuk saluran terbuka permukaan diperkeras (*lining*) tinggi jagaan ditentukan berdasarkan pertimbangan-pertimbangan yaitu ukuran saluran, kecepatan pengaliran, arah dan lengkung (belokan) saluran, debit banjir, dan gelombang permukaan akibat tekanan aliran angin.

Tinggi *freeboard* biasanya diambil antara 0,15 - 0,60 m dan tinggi timbunan tanah di atas puncak perkerasan (*lining*) saluran, umumnya diambil antara 0,30 - 0,60 m. Rumus dan ketentuan yang dipakai untuk *freeboard* dengan *lining*:

1. $F_b = 0,07 d + 0,05 H_v$

Dimana:

F_b = Tinggi minimum *freeboard* (feet)

d = Tinggi air (feet)

H_v = Tinggi tekanan (feet)

2. Tinggi *freeboard* yang paling rendah ditentukan sebesar 10 cm di atas permukaan air rencana untuk debit maksimum rencana (Q_{maks}).
3. Tinggi *freeboard* yang dihasilkan dari perhitungan berdasarkan rumus $F_b = 0,07 d + 0,05 H_v$

2. Aspek Biaya

Salah satu kriteria yang mendasarkan pada aspek biaya dan manfaat adalah kala ulang untuk debit rencana. Berikut tabel kala ulang untuk perencanaan sistem penyaluran air hujan.

Tabel 6.6 Kala ulang untuk perencanaan sistem penyaluran air hujan (S.N., 1997)

Jenis Saluran	Tata Guna Lahan	Kala Ulang (thn)
Permulaan	Permukiman	2
	Komersial	5
	Industri	5
Utama	Saluran-saluran	25

D. Perencanaan Saluran

Langkah pertama untuk merencanakan dimensi saluran yaitu mengetahui debit rencananya. Debit rencana diketahui dari luasan daerah yang akan dikeringkan/dialirkan limpasan air (S.N, 1997). Perlu disinkronkan dengan peta kota dan peta topografi agar mengetahui besaran air yang dibuang/dialirkan berdasarkan tata guna lahan. Lalu menentukan letah saluran-saluran (*inlet/outlet*) dari saluran terkecil hingga saluran induk. Setelah didapat debit untuk masing-masing saluran didapat, lakukan perhitungan dimensi saluran.

Dalam kasus ini dapat diambil bentuk penampang saluran drainase yang merupakan saluran terbuka maupun tertutup tergantung kondisi di lapangan, dengan rumus kecepatan rata-rata pada perhitungan dimensi penampang menggunakan rumus *manning* dengan menggunakan rumus aliran seragam seperti rumus di bawah ini.

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

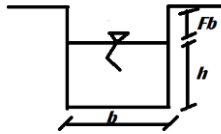
$$Q = A \cdot V = A \cdot 1/n \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

Dimana:

- V = Kecepatan aliran (m/dt)
- N = Angka kekasaran saluran

- R = Jari-jari hidrolis saluran (m)
- S = Kemiringan dasar saluran
- Q = Debit saluran (m³/dt)
- A = Luas penampang basah saluran (m²)

Contoh perhitungan pada bentuk penampang saluran persegi empat terbuka dan tertutup di bawah ini.

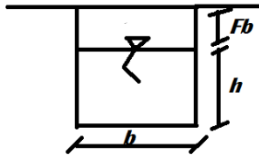


Gambar 6.6 Bentuk penampang persegi empat terbuka (S.N, 1997)

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

$$Q = A \cdot V = A \cdot 1/n \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

- a. Angka kekasaran *manning* (n) dapat ditentukan berdasarkan material yang digunakan (lihat tabel 6.4).
- b. Kemiringan tanah = kemiringan dasar saluran (S) didapat dari peta topografi dan survey lapangan.
- c. Penampang segi empat talud t = 1:1. m = 1, perbandingan lebar saluran (b) dan tinggi air (h) = b/h = 1, sehingga b = h.
- d. Luas penampang (A) = b x h = h².
- e. Keliling basah (P) = b + 2h = h + 2h = 3h.
- f. Jari-jari hidrolis (R) = A/P = h²/3h = 0,333 h.
- g. Kecepatan aliran V = 1/n . R^{2/3} . S^{1/2}.
- h. Q = A . V → **didapat tinggi saluran.**
- i. Tinggi jagaan = 25% h.
- j. Jadi tinggi saluran (H) = h = tinggi jagaan



Gambar 6.7 Bentuk penampang persegi empat tertutup

Perhitungan saluran segi empat tertutup sama seperti penampang segi empat terbuka, tetapi yang membedakan hanya di Q rencana. Untuk data kemiringan saluran sesuai data topografi dan hidrologi. Proses perancangan drainase perkotaan, diperlukan pula bermacam-macam bangunan yang berfungsi sebagai sarana untuk memperlancar surutnya genangan, memperlancar arus saluran, mengamankan terhadap bahaya degradasi pada dasar saluran, dan mengatur saluran terhadap pasang surut (khususnya daerah pantai) (S.N, 1997). Bangunan-bangunan tersebut di atas sebagai berikut :

1. *Inlet*-tegak.
2. *Inlet*-datar.
3. *Grill*.
4. *Manhole*.
5. Gorong-gorong.
6. Jembatan.
7. Bangunan terjun.
8. *Ground sill*.
9. Pintu air.



BAB 7

DRAINASE BERWAWASAN LINGKUNGAN

Meriana Wahyu Nugroho

A. Sistem Drainase

Pada dasarnya drainase berasal dari bahasa Inggris yaitu *drainage* yang mempunyai arti mengalirkan, menguras, membuang atau mengalihkan air. Drainase secara umum didefinisikan sebagai ilmu pengetahuan yang mempelajari usaha untuk mengalirkan air yang berlebihan dalam suatu konteks pemanfaatan tertentu. Pengertian dalam bidang teknik sipil, drainase adalah suatu tindakan teknis untuk mengurangi kelebihan air yang berasal dari air hujan, rembesan, maupun kelebihan air irigasi dari suatu kawasan atau lahan, sehingga fungsi kawasan atau lahan tidak terganggu. Drainase juga dapat diartikan sebagai suatu tindakan teknis untuk mengurangi kelebihan air yang berasal dari air hujan, rembesan, maupun kelebihan air irigasi dari suatu kawasan atau lahan, sehingga fungsi kawasan atau lahan tidak terganggu (Nurhapni, 2011).

Drainase perkotaan adalah sistem prasarana drainase dalam wilayah kota yang intinya berfungsi selain untuk mengendalikan dan mengalirkan limpasan air hujan yang berlebihan dengan aman, juga untuk mengendalikan dan mengalirkan kelebihan air lainnya yang mempunyai dampak mengganggu dan/atau mencemari lingkungan perkotaan, yaitu air buangan atau air limbah lainnya (Hardjosuprpto, 1999).

Drainase merupakan salah satu fasilitas dasar yang dirancang sebagai sistem guna memenuhi kebutuhan masyarakat dan merupakan komponen penting dalam perencanaan kota (perencanaan infrastruktur khususnya).

B. Drainase Berwawasan Lingkungan

Drainase permukiman merupakan sarana atau prasarana di permukiman untuk mengalirkan air hujan, dari suatu tempat ke tempat lain. Pengembangan permukiman di perkotaan yang demikian pesatnya, mengakibatkan makin berkurangnya daerah resapan air hujan, karena meningkatnya luas daerah yang ditutupi oleh perkerasan dan mengakibatkan waktu berkumpulnya air (*time of concentration*) jauh lebih pendek, sehingga akumulasi air hujan yang terkumpul melampaui kapasitas drainase yang ada. Hal ini sering ditunjukkan dengan terjadinya air yang meluap dari saluran drainase baik di perkotaan, maupun di permukiman secara khusus, sehingga terjadi genangan air bahkan akan terjadi banjir yang mengganggu aktivitas masyarakat (Nurhapni, 2011).

Pembangunan saluran drainase berwawasan lingkungan (SDBL) merupakan koreksi terhadap pengelolaan limpasan hujan yang boros tanpa kendali sehingga kurang mengindahkan tujuan konservasi air. Melalui pembangunan SDBL limpasan air dari daerah hulu dihambat sementara untuk memberikan kesempatan sebesar mungkin air meresap ke dalam tanah. Sementara di bagian hilir diupayakan aliran secepat mungkin untuk menghindari tumpukan air yang dapat berakibat banjir. Pembangunan sumur dan kolam resapan, saluran tidak kedap, penanaman pohon, pemakaian material lolos air untuk halaman atau jalan merupakan konsep yang

dapat diterapkan untuk menyukseskan pembangunan SDBL (Nurhapni, 2011).

Sunjoto, (1987) memberikan pengertian sistem drainase berwawasan lingkungan adalah usaha menampung air yang jatuh di atap pada suatu reservoir tertutup di halaman masing-masing atau secara kolektif untuk memberikan kesempatan air meresap ke dalam tanah dengan harapan sebanyak mungkin air hujan diresap ke dalam tanah (Nurhapni, 2011). Berdasarkan beberapa literatur dapat diketahui bahwa ciri-ciri drainase permukiman dapat terlihat dari konstruksinya yang dapat menyerap air (biasanya menggunakan pasangan batu kali), dimensi yang sesuai (dapat menampung, mengalirkan dan menyerap air hujan), dilengkapi sumur resapan, pemasangan paving blok di halaman atau pekarangan rumah dan jalan-jalan lingkungan dan adanya ruang terbuka hijau di kawasan tersebut.

Drainase berwawasan lingkungan dimaksudkan sebagai upaya mengelola kelebihan air dengan cara meresapkan sebanyak-banyaknya air ke dalam tanah secara alamiah atau mengalirkan air ke sungai dengan tanpa melampaui kapasitas sungai sebelumnya (Kementerian PU, 2011). Arah penangan drainase dapat dibagi menjadi 3 wilayah penanganan sebagai berikut (Kementerian PU, 2011):

1. Wilayah Hulu

Limpasan air hujan dialirkan untuk kemudian diresapkan (pola retensi).

2. Wilayah Tengah

Limpasan air hujan dialirkan ke kolam tampungan untuk ditampung sementara atau diresapkan bila memungkinkan (gabungan pola retensi dan detensi).

3. Wilayah Hilir

Air limpasan dialirkan melalui saluran drainase ke waduk atau kolam untuk penampungan sementara (pola detensi) sebelum dialirkan atau dipompa ke badan air (sungai atau laut).

C. Konsep Drainase Berwawasan Lingkungan

1. *Drainase Pengatusan*

Konsep drainase yang dulu dipakai di Indonesia (paradigma lama) adalah drainase pengatusan yaitu mengataskan air kelebihan (utamanya air hujan) ke badan air terdekat. Air kelebihan secepatnya dialirkan ke saluran drainase, kemudian ke sungai dan akhirnya ke laut, sehingga tidak menimbulkan genangan atau banjir. Konsep pengatusan ini masih dipraktekkan masyarakat sampai sekarang. Pada setiap proyek drainase, dilakukan upaya untuk membuat alur-alur saluran pembuang dari titik genangan ke arah sungai dengan kemiringan yang cukup untuk membuang sesegera mungkin air genangan tersebut. Drainase pengatusan semacam ini adalah drainase yang lahir sebelum pola pikir komprehensif berkembang, dimana masalah genangan, banjir, kekeringan dan kerusakan lingkungan masih dipandang sebagai masalah lokal dan sektoral yang bisa diselesaikan secara lokal dan sektoral pula tanpa melihat kondisi sumber daya air dan lingkungan di hulu, tengah dan hilir secara komprehensif (Kemen PU, 2012)

2. *Drainase Ramah Lingkungan (Ekodrainase)*

Drainase ramah lingkungan didefinisikan sebagai upaya untuk mengelola air kelebihan (air hujan) dengan berbagai metode diantaranya dengan menampung melalui bak tandon air untuk langsung bisa digunakan, menampung dalam

tampungan buatan atau badan air alamiah, meresapkan dan mengalirkan ke sungai terdekat tanpa menambah beban pada sungai yang bersangkutan serta senantiasa memelihara sistem tersebut sehingga berdaya guna secara berkelanjutan (Kemen PU, 2012)

Dengan konsep drainase ramah lingkungan tersebut, maka kelebihan air hujan tidak secepatnya dibuang ke sungai terdekat. Namun air hujan tersebut dapat disimpan di berbagai lokasi di wilayah yang bersangkutan dengan berbagai macam cara, sehingga dapat langsung dimanfaatkan atau dimanfaatkan pada musim berikutnya, dapat digunakan untuk mengisi/konservasi air tanah, dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas ekosistem dan lingkungan, dan dapat digunakan sebagai sarana untuk mengurangi genangan dan banjir yang ada.

Keberadaa drainase yang ramah lingkungan, kemungkinan terjadinya banjir atau genangan di lokasi yang bersangkutan, banjir di hilir serta kekeringan di hulu dapat dikurangi. Hal ini karena sebagian besar kelebihan air hujan ditahan atau diresapkan baik bagian hulu, tengah maupun hilir. Demikian juga Longsor di bagian hulu akan berkurang karena fluktuasi lengas tanah tidak ekstrim dan perubahan iklim yang ada di daerah tengah dan hulu dan beberapa daerah hilir tidak terjadi dengan tersedianya air yang cukup, lengas tanah yang cukup maka flora dan fauna di daerah tersebut akan tumbuh lebih baik. Hal ini dapat mengurangi terjadinya perubahan iklim mikro maupun makro di wilayah yang bersangkutan (Nurhapni, 2011).

3. Drainase Ramah Lingkungan dan Perubahan Iklim

Konsep drainase ramah lingkungan ini merupakan suatu konsep yang ke depan sangat diperlukan dan erat kaitannya dengan perubahan iklim. Dampak perubahan iklim bisa diantisipasi dengan pembangunan drainase yang berwawasan lingkungan. Oleh karena itu perlu dikampa-nyekan drainase ramah lingkungan, yaitu drainase yang mengelola air kelebihan (air hujan) dengan cara ditampung untuk dipakai sebagai sumber air bersih, menjaga lengas tanah dan meningkatkan kualitas ekologi, diresapkan ke dalam tanah untuk meningkatkan cadangan air tanah, dialirkan atau diataskan untuk menghindari genangan serta dipelihara agar berdaya guna secara berkelanjutan.

Konsep drainase konvensional (paradigma lama) adalah upaya membuang atau mengalirkan air kelebihan secepatnya ke sungai terdekat. Dampak dari konsep ini adalah kekeringan yang terjadi di mana-mana, banjir, dan juga longsor. Dampak selanjutnya adalah kerusakan ekosistem, perubahan iklim mikro dan makro serta tanah longsor di berbagai tempat yang disebabkan oleh fluktuasi kandungan air tanah pada musim kering dan musim basah yang sangat tinggi.

Konsep drainase baru (paradigma baru) yang biasa disebut drainase ramah lingkungan atau ekodrainase atau drainase berwawasan lingkungan yang sekarang ini sedang menjadi konsep utama di dunia internasional dan merupakan implementasi pemahaman baru konsep eko-hidrolik dalam bidang drainase. Drainase ramah lingkungan didefinisikan sebagai upaya mengelola air kelebihan dengan cara meresapkan sebanyak-banyaknya air ke dalam tanah secara alamiah atau mengalirkan air ke sungai dengan tanpa melampaui kapasitas sungai sebelumnya. Prinsip drainase ramah lingkungan, justru air kelebihan pada musim hujan harus dikelola sedemikian rupa sehingga tidak mengalir

secepatnya ke sungai. Namun diusahakan meresap ke dalam tanah, guna meningkatkan kandungan air tanah untuk cadangan pada musim kemarau. Konsep ini sifatnya mutlak di daerah beriklim tropis dengan perbedaan musim hujan dan kemarau yang ekstrim seperti di Indonesia.

D. Metode Penerapan Drainase Berwawasan Lingkungan

Ada beberapa metode drainase ramah lingkungan yang dapat dipakai di Indonesia, diantaranya adalah

1. Metode Lubang Resapan Biopori

Lubang Resapan Biopori atau biasa disebut “lubang biopori” merupakan metode alternatif untuk meningkatkan daya resap air hujan ke dalam tanah. Lubang resapan biopori adalah teknologi sederhana yang tepat guna dan ramah lingkungan. Lubang biopori ini mampu meningkatkan daya resap air hujan ke dalam tanah sehingga mampu mengurangi resiko banjir akibat meluapnya air hujan. Selain itu, teknologi ini juga mampu meningkatkan jumlah cadangan air bersih di dalam tanah. Manfaat lubang resapan biopori adalah untuk meningkatkan daya resapan air, mengubah sampah organik menjadi kompos, memanfaatkan fauna tanah dan akar tanaman (DLH, 2019).

2. Metode kolam konservasi

Metode kolam konservasi dilakukan dengan membuat kolam-kolam air baik di perkotaan, permukiman, pertanian atau perkebunan. Kolam konservasi ini dibuat untuk menampung air hujan terlebih dahulu bisa diresapkan atau untuk persediaan air hujan (Sutrisno, dkk., 2016) dan sisanya dapat dialirkan ke sungai secara perlahan-lahan. Kolam konservasi dapat dibuat dengan memanfaatkan daerah

dengan topografi rendah, daerah bekas galian pasir atau galian material lainnya, atau secara ekstra dibuat dengan menggali suatu areal atau bagian tertentu (Kemen PU, 2012).

3. Metode sumur resapan

Metode sumur resapan merupakan metode praktis dengan cara membuat sumur-sumur untuk mengalirkan air hujan yang jatuh pada atap perumahan atau kawasan tertentu. Sumur resapan ini juga dapat dikembangkan pada areal olahraga dan wisata. Konstruksi dan kedalaman sumur resapan disesuaikan dengan kondisi lapisan tanah setempat. Perlu dicatat bahwa sumur resapan ini hanya dikhususkan untuk air hujan, sehingga masyarakat harus mendapatkan pemahaman mendetail untuk tidak memasukkan air limbah rumah tangga ke sumur resapan tersebut (Kemen PU, 2012).

4. Parit Infiltrasi

Parit infiltrasi air hujan adalah suatu bentuk galian parit yang diisi kembali dengan batuan sehingga membentuk cekungan dibawah permukaan tanah yang mampu menampung limpasan air hujan. Tujuan utama dari sumur resapan ini adalah memperbesar masuknya air ke dalam tanah sebagai air resapan (infiltrasi). Dengan demikian, air akan lebih banyak masuk ke dalam tanah dan sedikit yang mengalir sebagai aliran permukaan (*run off*).

Beberapa faktor yang mempengaruhi dimensi kolam tampungan dan sumur resapan serta parit infiltrasi untuk suatu lahan sangat bergantung pada beberapa faktor, diantaranya: (1) luas permukaan penutupan, (2) karakteristik hujan, (3) Koefisien permeabilitas tanah, (4) Tinggi muka air tanah (Abdulgani, 2015).

5. Metode river side polder

Metode *river side polder* adalah metode menahan aliran air dengan mengelola/menahan air kelebihan (hujan) di sepanjang bantaran sungai. Pembuatan polder pinggir sungai ini dilakukan dengan memperlebar bantaran sungai di berbagai tempat secara selektif di sepanjang sungai. Lokasi polder perlu dicari, sejauh mungkin polder yang dikembangkan mendekati kondisi alamiah, dalam arti bukan polder dengan pintu-pintu hidraulik teknis dan tanggul-tanggul lingkaran hidraulik yang mahal. Pada saat muka air naik (banjir), sebagian air akan mengalir ke polder dan akan keluar jika banjir reda, sehingga banjir di bagian hilir dapat dikurangi dan konservasi air terjaga (Kemen PU, 2012).

6. Rorak

Rorak merupakan saluran buntu atau bangunan berupa got dengan ukuran tertentu yang dibuat pada bidang olah teras dan sejajar garis kontur yang berfungsi untuk menjebak/menangkap aliran permukaan dan tanah yang tererosi serta dapat bermanfaat sebagai media penampungan bahan organik, sebagai sumber hara bagi tanaman di sekitarnya.

Ketika hujan deras, rorak dapat berfungsi sebagai lubang drainase untuk mempercepat penyusutan air hujan yang menggenang di atas permukaan tanah. Air yang menggenang dapat mengganggu pertumbuhan tanaman. Stagnasi air dapat berakibat fatal pada pertanaman kakao. Biasanya saluran drainase dibuat di pinggir blok kebun. Di blok kebun yang terlalu luas, air yang menggenang di atas hamparan lahan pertanaman membutuhkan waktu cukup lama untuk keluar melalui saluran drainase ini. Karena itu, rorak yang dibuat di

sekitar pertanaman dapat membantu mempercepat keluarnya air dari hamparan pertanaman, khususnya di lahan yang tekstur tanahnya berat dan beriklim sangat basah dengan curah hujan bulanan relatif tinggi (Ratnada, 2019).

7. Metode pengembangan areal perlindungan air tanah (*ground water protection area*).

Metode areal perlindungan air tanah dilakukan dengan cara menetapkan kawasan lindung untuk air tanah, dimana di kawasan tersebut tidak boleh dibangun bangunan apapun. Areal tersebut dikhususkan untuk meresapkan air hujan ke dalam tanah. Di berbagai kawasan perlu sesegara mungkin dicari tempat yang cocok secara geologi dan ekologi sebagai areal untuk recharge dan perlindungan air tanah sekaligus sebagai bagian penting dari komponen drainase Kawasan (Kemen PU, 2012).

E. Jenis Drainase yang dapat di bangun pada Kawasan Perumahan Berwawasan Lingkungan

1. Drainase Saluran

Fungsi saluran ini adalah untuk mengalirkan limpasan air hujan ke badan peresap. Tujuannya adalah untuk menjaga keseimbangan sistem tata air di lingkungan. Persyaratan umum drainase saluran adalah (1) air yang masuk adalah air hujan yang tidak tercemar, bukan air limbah (2) mampu mengalirkan serta meresapkan sebagian air hujan kedalam tanah dengan kecepatan tertentu (3) dipasang di atas tanah yang stabil.

Pembangunan drainase saluran sangat erat kaitannya dengan kemampuan struktur saluran dalam meresapkan air. Untuk mendapatkan rancangan struktur saluran ini diperoleh melalui serangkaian hitungan hidrolis sebagai berikut :

a. Analisa Debit Limpasan

Analisa Hidrologi atau analisis curah hujan dalam perencanaan sistem jaringan drainase ini bertujuan untuk mendapatkan nilai curah hujan maksimum yang terjadi selama 24 jam(R24). Nilai R24 yang dipergunakan dalam kebutuhan analisis sistem drainase permukiman menurut Petunjuk Teknis Penyediaan Prasarana Drainase Kawasan Perumahan dari Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah adalah nilai R24 pada periode ulang tahun (PUH) 2 tahun.

b. Analisa Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi hujan atau volumehujan tiap satuan waktu. Tujuan analisis ini adalah untuk mengetahui nilai intensitas hujan yang akan diterima oleh saluran - saluran drainase pada kawasan perumahan.

c. Analisa Perhitungan Debit Limpasan

Air limpasan/ larian (*run off*) adalah bagian dari curah hujan yang mengalir diatas permukaan tanah menuju sungai, danau, dan lautan. Air hujan yang tidak sempat masuk kedalam tanah dan oleh karenanya mengalir diatas permukaan tanah ke tempat yang lebih rendah. Air larian berlangsung ketika jumlah curah hujan melampaui laju infiltrasi air kedalam tanah. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan debit limpasan (*run off*) sebagai masukan untuk arahan sistem drainase permukiman yang berwawasan lingkungan di kawasan perumahan.

d. Penggunaan Bahan Saluran Lolos Air

Penggunaan bahan saluran yang mampu meloloskan air hujan pada dasarnya harus tetap mengacu kepada

persyaratan teknis hidrolis saluran terutama dilihat dari indikator kecepatan pengaliran dengan batas minimum 0,6 meter/detik sampai dengan batas maximum 3,0 meter/detik. Bahan saluran yang biasa digunakan adalah pasangan batu kali.

Dalam drainase saluran ini terdapat kriteria yang mendukung terutama dalam hal konstruksi saluran sehingga dalam kecepatan pengalirannya masih mampu meresapkan air hujan. Beberapa kriteria dalam penggunaan konstruksi saluran dapat dilihat pada.

Tabel 7.1 Kecepatan Aliran yang Dijinkan pada Bahan Dinding dan Dasar Saluran

Jenis Bahan	Kecepatan Aliran Ijin (m/dt)
Pasir Halus	0,045
Lempung Kepasiran	0,050
Lanau Aluvial	0,060
Kerikil halus	0,075
Lempung keras / kokoh	0,075
Lempung padat	1,100
Kerikil kasar	1,200
Batu-batu besar	1,500
Beton-beton bertulang	1,500

Sumber: (Hasmar, 2002)

Ket. : kecepatan saluran yang dianjurkan adalah 0,6 m/det - 3 m/det (Nurhapni, 2011).

2. Drainase Sumuran / Sumur Resapan Air Hujan

Sumur Resapan Air Hujan (SRAH) adalah prasarana untuk menampung dan meresapkan air ke dalam tanah. Air hujan

yang ditampung dan diresapkan, berasal dari bidang tanah, atap bangunan dan permukaan tanah yang dikedapkan untuk menjaga keseimbangan sistem tata air di lingkungan permukiman. hanya menampung SRAH air hujan, bukan air limbah (Nurhapni, 2011). Sumur resapan air hujan adalah salah satu rekayasa teknik konservasi air berupa bangunan yang dibuat sedemikian rupa sehingga menyerupai bentuk sumsur gali dengan kedalaman tertentu yang berfungsi sebagai tempat menampung air hujan yang jatuh diatas atap rumah atau daerah kedap air dan meresapkannya ke dalam tanah.

Sumur resapan air hujan berfungsi memberikan imbuhan air secara buatan dengan cara menginjeksikan air hujan kedalam tanah. Manfaat sumur resapan adalah :

- a. Mengurangi aliran permukaan sehingga dapat mencegah / mengurangi terjadinya banjir dan genangan air
- b. Mempertahankan dan meningkatkan tinggi permukaan air tanah
- c. Mengurangi erosi dan sedimentasi
- d. Mengurangi/menahan intrusi air laut bagi daerah yang berdekatan dengan kawasan pantai
- e. Mencegah penurunan tanah (land subsidance)
- f. Mengurangi konsentrasi pencemaran air tanah

Berbagai jenis konstruksi sumur resapan adalah :

- a. Sumur tanpa pasangan di dinding sumur, dasar sumur tanpa diisi batu belah maupun ijuk (kosong)
- b. Sumur tanpa pasangan di dinding sumur, dasar sumur diisi dengan batu belah dan ijuk

- c. Sumur dengan susunan batubata, batu kali atau bataki di dinding sumur, dasar sumur diisi dengan batu belah dan ijuk atau kosong
- d. Sumur menggunakan buis beton di dinding sumur
- e. Sumur menggunakan blawong (batu cadas yang dibentuk khusus untuk dinding sumur)

Konstruksi – konstruksi tersebut memiliki keunggulan dan kelemahan masing – masing, pemilihannya tergantung pada keadaan batuan / tanah (formasi batuan dan struktur tanah). Sumur resapan air ini berfungsi untuk menambah atau meninggikan air tanah, mengurangi genangan air banjir, mencegah intrusi air laut, mengurangi gejala amblesan tanah setempat dan melestarikan serta menyelamatkan sumberdaya air untuk jangka panjang (Pasaribu, 1999). Penerapan sumur resapan pada areal maksimal 5 Ha dapat dilihat pada tabel berikut ini (Nurhapni, 2011).

Tabel 7.2 Penerapan Sumur Resapan Air Hujan Pada Areal Maksimal 5 Ha

No	Tipe Rumah dan Resapan Luas Tanah Tiap rumah	Jumlah Rumah (Unit)	Luas Bidang Tadah Tiap Rumah, minimal (M2)	Minimal Sumur Yang Terpasang diAreal Perumahan, Ø 80 m2
1	T.21/60	150	18	1 buah
2	T.36/75	120	27	1 buah
3	T.45/90	100	32	2 buah
4	T.70/110	28	47	3 buah

Sumber: (Puslitbang Permukiman, 2006)

3. Pemasangan Paving Block dan Grass Block

Paving block adalah suatu elemen bahan bangunan yang dibuat dari campuran semen hidrolis atau sejenisnya, agregat dan air dengan atau tanpa bahan tambahan lainnya yang tidak mengurangi mutu beton tersebut. Sedangkan Grass Block adalah suatu elemen bahan bangunan yang terbuat dari campuran semen yang dibuat berlubang-lubang sehingga di bagian dalam lubang dapat dipadukan dengan rumput. Paving block dipergunakan untuk mengalirkan air hujan di permukaan bumi ke lapisan pasir di bawahnya melalui celah-celah antar paving block, sedangkan grass block dipergunakan untuk membantu penyerapan air ke tanah melalui lubang-lubang yang berumput (Nurhapni, 2011).

Fungsinya adalah untuk mengurangi kecepatan erosi tanah, khususnya pada tanah yang miring dan menghambat penguapan air tanah di bawahnya sehingga dapat menjaga kelembaban dan keseimbangan air tanah. Biasanya pada suatu permukiman paving block ini dipasang di setiap halaman rumah-rumah di permukiman tersebut. Persyaratan umum digunakannya paving block adalah air yang meresap melalui celah paving block adalah air hujan yang tidak tercemar/limbah dan paving block tidak digunakan pada jalan yang dilalui oleh kendaraan berat. Sedangkan persyaratan teknis untuk menggunakan paving block ini adalah sebagai berikut: (1) Bentuk dan ukuran paving blok, bentuk dan ukuran dari paving block ini berguna untuk aspek estetika dari lingkungan (2) Pasir pengisi celah-celah antar block harus memenuhi persyaratan fisik sbb : kadar air maks. 5,0 %, kadar lumpur maks. 10,0 %, pasir harus berbutir tajam, lolos ayakan 2,4 mm (3) Pasir alas harus memenuhi persyaratan fisik sbb: kadar air maks. 10,0 %, kadar lumpur maks. 5,0 %, diameter butir maks. 9,6 mm

Beberapa keunggulan paving blok Memiliki kemampuan penyerapan air yang lebih baik dibandingkan beton readymix maupun aspal. Penyerapan air kedalam tanah biasanya melalui rongga naat pemasangan paving blok. Hal ini sangat baik untuk menjaga keseimbangan air tanah untuk menopang bangunan disekitarnya.

- a. Berat paving blok yang relatif lebih ringan dari cor beton atau aspal menjadikan satu penopang utama agar pondasi rumah tetap stabil
- b. Serapan air yang baik disekitar rumah kita akan menjamin ketersediaan air tanah yang digunakan untuk keperluan sehari – hari

Penerapan lokasi paving blok adalah diperkerasan halaman dengan kemiringan daerah 0 – 30%, perkerasan jalan setapak untuk berbagai kondisi kemiringan daerah, dan perkerasan jalan lalu lintas (menerima beban kendaraan). Paving blok ini merupakan salah satu alternatif sebagai upaya pencegah banjir untuk masing-masing rumah.

Grass Block merupakan pengembangan dari produk paving blok yang berfungsi sebagai penutup permukaan tanah yang pada permukaannya masih bisa ditanami rumput. Oleh karena itu grass block lazim disebut juga dengan paving berumput. Kelebihan grass block jika dibandingkan dengan metode perkerasan lahan lainnya seperti aspal atau cor beton adalah :

- a. Memperbesar masuknya air ke dalam tanah
- b. Memperindah lahan perkerasan tersebut, dikarenakan pada lubang – lubang grass block tumbuh rumput – rumput hijau sehingga lahan perkerasanpun tampak lebih indah dan asri

- c. Tahan terhadap perubahan cuaca, karena bahan pembuat grass block memiliki daya serap yang tinggi
- d. Jika rusak atau lepas, bagian yang rusak tersebut bisa diangkat dan diganti dengan yang baru, tanpa harus membongkar keseluruhan area.
- e. Lebih praktis dan efisien

4. Ruang Terbuka Hijau

Secara teoritis, yang dimaksud dengan ruang terbuka (*open space*) oleh Gallion yaitu ruang yang berfungsi antara sebagai tempat bermain aktif untuk anak - anak, orang dewasa dan sebagai areal konservasi lingkungan hijau (Gallion, 1959). Bentuk dan jenis ruang terbuka yang ada di kota dapat berbeda, tergantung dari fungsi yang diembannya.

Penghijauan di perkotaan atau di suatu wilayah dapat meningkatkan produksi oksigen, mengurangi pencemaran udara dan meningkatkan kualitas iklim mikro. Air hujan yang turun diserap oleh tanah, kemudian menguap kembali. Dengan demikian tanaman ikut berperan dalam mengelola air hujan dan berperan juga dalam upaya kegiatan konservasi air tanah.

Tabel 7.3 Hasil Tumbuh-Tumbuhan Sebagai Peningkat Kualitas Lingkungan

	1 Pohon berumur 100 tahun	Tumbuh-tumbuhan seluas 1 Ha
Produksi oksigen	1,7 kg/jam	600 kg/hari
Penerimaan karbon dioksida	2.35 kd/jam	900 kg/jam
Zat arang yang terikat	6 ton	-
Penyaringan debu	-	Sampai 85%
Penguapan air dan penyerapan air	500 lt/hari	
Penurunan suhu	-	Sampai 4°C

Sumber : Arsitektur Ekologis, Heinz Frick dan Tri Hesti Mulyani, Kanisius, 2005

* Tumbuh-tumbuhan dalam hal ini berarti pohon peneduh, perdu, semak belukar, dan tamana hias berbunga dengan sedikit sekali rumput.

Vegetasi untuk RTH permukiman (menggunakan pohon-pohon tahunan, pohon-pohon dipilih dari jenis tidak berduri, tidak bergetah, tidak beracun, kuat dan jika memungkinkan berbunga), seperti: the-tehan, sablo laut, jahe merah, krokot belanda, rumput paitan, cemara kipas, rumput manila. Berdasarkan Undang-undang (UU) nomor 26 tahun 2007 tentang penataan ruang mensyaratkan ruang terbuka hijau pada wilayah kota paling sedikit 30 persen dari luas wilayah kota, ini membawa konsekuensi setiap lahan yang kita tempati, idealnya minimal 70 persen digunakan untuk bangunan dan 30 persen untuk lahan hijau (salim, 2016).

Pada tabel berikut ini dijelaskan mengenai hasil tumbuh-tumbuhan sebagai peningkat kualitas lingkungan kota:

F. Perbedaan Drainase Konvensional dan Eko-Drainase

FILOSOFI	
Drainase Konvensional	Eko Drainase
Air hujan dan limpasan permukaan merupakan ancaman yang dapat menimbulkan banjir dan genangan	Air hujan dan limpasan permukaan serta jalan air/saluran alami adalah aset yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai tujuan (reuse, estetika, etc.)
KONSEP	
Air hujan dan limpasan permukaan secepat-cepatnya dibuang ke badan air terdekat agar tidak menimbulkan banjir/genangan.	Upaya penanganan air hujan dan limpasan permukaan secara komprehensif dengan metoda detensi, retensi dan infiltrasi
PENDEKATAN / APPROACH	
Mitigasi banjir	Mitigasi dampak hidrologi dan dampak lingkungan
TUJUAN / OBJECTIVE	
Hanya fokus pada penanganan kuantitas air hujan.	Multi Objectives: - Kuantitas - Kualitas - Landscape & Estetika - Amenity - Konservasi - Restorasi ekologi - Etc.
KEUNTUNGAN DAN KERUGIAN	
Multi objectives: - Kuantitas - Kualitas - Landscape & Estetika - Amenity - Konservasi - Restorasi ekologi - Etc.	Benefit: - Air hujan diolah untuk dimanfaatkan kembali - Pengisian kembali air tanah - Meningkatkan kualitas ekologi - dll.



BAB 8

OPERASI DAN PEMELIHARAAN SISTEM DRAINASE

Findia

A. Pendahuluan

Salah satu penyebab banjir di Indonesia adalah buruknya sistem drainase sehingga jalannya air ke badan air penerima menjadi terganggu yang menyebabkan meluapnya air. Drainase adalah prasarana yang memiliki fungsi mengalirkan kelebihan air dari suatu kawasan ke badan air penerima seperti sungai, danau, laut dan samudera. Sistem drainase perkotaan merupakan satu kesatuan sistem teknis dan non teknis dari sarana dan prasarana drainase perkotaan.

Prasarana drainase adalah lengkungan atau saluran air di permukaan atau di bawah tanah, baik yang terbentuk secara alami maupun buatan, yang berfungsi menyalurkan kelebihan air dari suatu kawasan ke badan air penerima. Prasarana drainase alami seperti sungai dan muara yang terbentuk tanpa adanya campur tangan manusia, sedangkan prasarana drainase buatan adalah drainase yang sengaja dibuat dengan tujuan tertentu seperti saluran irigasi, saluran drainase jalan, saluran pengendali banjir, dll.

Sarana drainase adalah bangunan pelengkap yang merupakan bangunan yang ikut mengatur dan mengendalikan sistem aliran air hujan agar aman dan mudah melewati jalan, belokan daerah curam, bangunan tersebut seperti gorong-gorong, pertemuan saluran, bangunan terjunan, jembatan, tali-tali air, pompa dan pintu air.

Prasarana dan sarana drainase perkotaan terdiri dari bangunan seperti :

1. Saluran terbuka dan tertutup
2. Bangunan persilangan seperti gorong-gorong dan siphon drainase
3. Bangunan terjun
4. Tanggul
5. Bangunan penangkap air
6. Pintu air
7. Kolam retensi/tandon/detensi
8. Pompa dan rumah pompa
9. *Trash rack*
10. Sumur resapan dan kolam resapan
11. Jalan inspeksi
12. Daerah sempadan
13. Bak pemeriksaan/ *man hole*
14. Tali air/ *street inlet*

Sistem teknis drainase perkotaan merupakan jaringan drainase perkotaan yang terdiri dari saluran induk/primer, saluran sekunder, saluran tersier, saluran lokal, bangunan peresapan, bangunan tampungan beserta sarana pelengkap-nya yang terhubung secara sistemik satu dengan lainnya. Sistem non teknis drainase perkotaan merupakan dukungan terhadap sistem teknis drainase perkotaan terkait dengan pembiayaan, peran masyarakat, peraturan perundang-undangan, institusi, sosial ekonomi dan budaya dan kesehatan lingkungan permukiman.

Sangat penting untuk menjaga agar prasarana dan sarana drainase dapat berfungsi secara optimal. Operasi dan pemeliharaan sistem drainase diperlukan guna menjalankan

dan memfungsikan prasarana dan sarana drainase perkotaan sesuai dengan maksud dan tujuannya sesuai dengan rencana. Untuk mewujudkan drainase yang berwawasan lingkungan, keterlibatan dan peran serta masyarakat sangat diharapkan.

Untuk memperoleh hasil yang optimal maka perlu adanya perencanaan operasi dan pemeliharaan sistem drainase perkotaan yang meliputi kegiatan perencanaan pemrograman, pelaksanaan, monitoring dan evaluasi (monev).

B. Perencanaan O&P Drainase Perkotaan

Dalam upaya penanggulangan banjir menjaga kinerja drainase perkotaan sangat penting agar prasarana dan sarana drainase dapat terus berfungsi untuk mengendalikan air permukaan dan genangan sehingga dapat meminimalkan resiko kerugian dan kerusakan lingkungan akibat banjir. Operasi dan pemeliharaan dilaksanakan untuk menjamin kelangsungan fungsi sistem drainase perkotaan dengan prinsip aman dan bersih.

Perencanaan merupakan kegiatan penyusunan konsep awal kerja di bidang operasi dan pemeliharaan. Dalam perencanaan dibutuhkan survey yang detail seperti gambar kerja sistem drainase pada *outline plan* atau *master plan* agar dalam pembuatan konsep awal sesuai dengan kebutuhan lapangannya. Setelah konsep awal kerja terbentuk maka langkah selanjutnya dilakukan pemrograman. Pemrograman adalah kegiatan penyusunan rencana kerja rinci yang mencakup kriteria dan petunjuk teknis pelaksanaan kegiatan O&P.

Perencanaan operasi drainase perkotaan harus mengikuti ketentuan SOP yang telah disusun. Perencanaan O&P drainase perkotaan untuk tahap awal difokuskan pada kegiatan pemeliharaan. Jenis pemeliharaan yang dimaksud meliputi :

1. Pemeliharaan rutin adalah pemeliharaan yang dilakukan secara terus menerus sepanjang tahun dibawah koordinasi penyelenggara sistem drainase dengan lingkup pekerjaan :
 - a. Dilaksanakan oleh staf lapangan untuk penjaga pintu air/pompa dan pekerjaan saluran.
 - b. Dilaksanakan swakelola dibawah pengawasan staf yang ditunjuk oleh penanggung jawab drainase.
2. Pemeliharaan berkala adalah pemeliharaan yang dilakukan pada waktu-waktu tertentu, misal sebulan sekali atau tiap dua bulan.
3. Pemeliharaan khusus adalah pemeliharaan yang dilakukan saat prasarana dan sarana mengalami kerusakan yang sifatnya mendadak.
4. Rehabilitasi adalah pemeliharaan yang dilakukan apabila prasarana dan sarana mengalami kerusakan yang menyebabkan bangunan tidak atau kurang berfungsi.

Pekerjaan O&P meliputi pengoperasian sebagian bangunan air dan sebagian pemeliharaan bangunan air dan saluran yang dilaksanakan pada seluruh prasarana dan sarana drainase perkotaan yang berfungsi untuk menjaga agar tingkat pelayanan sesuai dengan rencana. Adapun yang menjadi lingkup pekerjaan O&P untuk prasarana dan sarana drainase dapat dilihat pada Tabel 8.1

Tabel 8.1 Lingkup O&P Prasarana dan Sarana Drainase Perkotaan

(Lampiran III, Permen PU No. 14/PRT/M/2014 Tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan)

No	Jenis O&P Prasarana Dan Sarana Drainase Perkotaan			
	Operasional		Pemeliharaan	
	Jenis	Metode	Jenis	Metode
1	2	3	4	5

No	Jenis O&P Prasarana Dan Sarana Drainase Perkotaan			
	Operasional		Pemeliharaan	
	Jenis	Metode	Jenis	Metode
1	Pintu Air	Manual atau Elektro Mekanik	Saluran terbuka	a) Tenaga manusia; b) Alat berat
2	Kolam retensi	Mekanik	Saluran tertutup	a) Tenaga manusia; b) Mekanik
3	Sistem Pompa	a) Pompa dijalankan setelah air saluran masuk ke dalam kolam	Bangunan Terjun	Tenaga Manusia
		b) Dipastikan elevasi badan air penerima elevasi MA Kolam		
		c) Pintu Outlet dibuka, apabila elevasi badan air penerima < elevasi MA kolam		
4	<i>Trash Rack</i> Elektro Mekanik	<i>Trash Rack</i> dijalankan apabila sampah di depannya relatif banyak	Bangunan penangkap pasir	a) Tenaga manusia; b) Alat berat
5	<i>Trash Rack</i> Manual	Petugas mengambil sampah yang ada di depan trash rack relatif banyak	Kolam retensi/ tandon	a) Tenaga manusia; b) Alat berat

No	Jenis O&P Prasarana Dan Sarana Drainase Perkotaan			
	Operasional		Pemeliharaan	
	Jenis	Metode	Jenis	Metode
6			Pompa dan Rumah pompa	Sesuai dengan SOP masing-masing
7			<i>Trash Rack</i>	a) Tenaga manusia; b) Elektro mekanik
8			Sumur resapan	Tenaga manusia
9			Kolam resepan	Tenaga manusia atau alat berat
10			Tanggul Pintu Air	Tenaga manusia atau alat berat Tenaga manusia

Dalam pelaksanaannya pekerjaan O&P prasarana dan sarana drainase perkotaan dilakukan sesuai kebutuhan. Terdapat beberapa sarana yang memerlukan pemeliharaan secara rutin seperti pintu air dan pompa yang menempatkan petugas jaga beroperasi 1× 24 jam setiap hari. Gambar 8.1 menunjukkan bagan alir jenis operasi dan pemeliharaan operasi dan pemeliharaan drainase perkotaan.

Pekerjaan pemeliharaan dilakukan baik pada prasarana dan sarana drainase lama maupun yang baru. Untuk Prasarana dan sarana drainase baru, pekerjaan pemeliharaan dilakukan setelah proyek pembangunan drainase selesai dikerjakan. Untuk proyek baru yang selesai dikerjakan, kontraktor mempunyai kewajiban melakukan pemeliharaan yang lama waktunya diatur dalam kontrak yang telah disepakati bersama. Setelah selesai masa pemeliharaan oleh kontraktor, pemerintah berkewajiban memeliharanya.



Gambar 8.1 Bagan Alir Jenis Operasi Dan Pemeliharaan Drainase Perkotaan

(Lampiran III, Permen PU No. 14/PRT/M/2014 Tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan)

C. Pelaksanaan O&P Drainase Perkotaan

Pelaksanaan kegiatan Operasi dan Pemeliharaan drainase perkotaan di lapangan dilakukan sesuai dengan rencana dan waktu yang telah ditentukan. Saat pelaksanaan O&P drainase dimulai maka hal-hal yang perlu diketahui adalah sebagai berikut :

1. Pelaksanaan dilakukan sesuai dengan rencana

2. Pekerjaan diawasi oleh pengawas lapangan dari direksi
3. Pekerjaan dilakukan oleh kontraktor atau swakelola
4. Pekerjaan dianggap selesai bila disetujui oleh direksi dan kontraktor.
5. Berita Acara serah terima yang ditandatangani oleh kedua belah pihak, direksi dan kontraktor.

Untuk kegiatan O&P yang membutuhkan pengoperasian seperti pintu air, kolam retensi/detensi/tandon, sistem polder, rumah pompa dan *trash rack* , serta pengelolaan endapan sedimen pada saluran memiliki pedoman pelaksanaan operasi yang diatur dalam (Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia, 2014)

Kegiatan operasi pada pekerjaan O&P drainase perkotaan dijelaskan dalam Tabel 8.2.

Tabel 8.2 Pemeliharaan Prasarana dan Sarana Drainase Perkotaan

(Lampiran III, Permen PU No. 14/PRT/M/2014 Tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan)

No	Jenis Komponen	Sub Komponen	Durasi	Ketentuan Operasional
1	Saluran	A. Pengerukan sedimen saluran drainase tersier tipe terbuka di perumahan maupun lingkungan permukiman	Rutin 2-3 kali/tahun	Hanya bisa dilaksanakan dengan tenaga manusia
		B. Pengerukan sedimen saluran drainase tersier tipe tertutup di perumahan maupun lingkungan permukiman	Berkala 1-2 kali/tahun	Hanya bisa dilaksanakan dengan tenaga manusia

No	Jenis Komponen	Sub Komponen	Durasi	Ketentuan Operasional		
		C. Pengerukan sedimen saluran drainase primer/sekunder tipe tertutup	Berkala 1 kali/tahun	Hanya bisa dilaksanakan dengan tenaga manusia		
		D. Pengerukan sedimen saluran drainase sekunder dan primer tipe terbuka dengan menggunakan excavator	Berkala 1 kali/tahun	Pijakan excavator harus berada ditanah yang keras dan talud yang kuat		
		E. Pengerukan sedimen saluran drainase sekunder dan primer tipe terbuka dengan menggunakan excavator phonton	Berkala 1 kali/tahun	Jika saluran drainase lebarnya > 6m jika menggunakan alat excavator darat sudah tidak terjangkau		
		F. Pengerukan sedimen di saluran drainase dengan alat bulldozer keruk	Berkala 1 kali/tahun	Tidak ada tempat untuk operasional excavator darat duduk di pinggir saluran		
		G. Perbaikan saluran drainase primer /sekunder tipe terbuka	Khusus setiap kejadian	Jika konstruksi talud mengalami kerusakan sebesar 40%		
		H. Pengerukan sedimen di saluran drainase dengan alat calm shell	Khusus setiap kejadian	Jika elevasi muka air cukup dalam dari dasar sungai		
		I. Perbaikan saluran drainase tersier tipe lining terbuka karena ambles	Khusus setiap kejadian	Jika lining talud ambles sebesar 40% dari tinggi saluran		
		2	Saluran	A. Mengangkat sedimen dari gorong-gorong	Berkala 1 kali/tahun	Pekerja/alat bisa masuk ke gorong-gorong
				B. Memperbaiki gorong-gorong yang berkarat	Khusus setiap kejadian	Pekerja/alat bisa masuk ke gorong-gorong

No	Jenis Komponen	Sub Komponen	Durasi	Ketentuan Operasional
		C. Pengangkatan sedimen di gorong-gorong dengan metode penyemprotan dan penyedotan	Berkala 1 kali/tahun	Diameter gorong-gorong < 60m, pekerja tidak bisa masuk ke gorong-gorong
		D. Mengangkat sedimen dari siphon	Berkala 1 kali/tahun	Hanya bisa dilaksanakan dengan tenaga manusia
3	Bangunan Terjun	Mengangkat sedimen dari bangunan terjun	Berkala 1 kali/tahun	Hanya bisa dilaksanakan dengan tenaga manusia
4	Tanggul	A. Pemeliharaan rutin/berkala tanggul tanah	Rutin setiap hari	Hanya bisa dilaksanakan dengan tenaga manusia
		B. Pemeliharaan khusus tanggul tanah (kerusakan satu sisi talud)	Berkala 1 kali/tahun	Hanya bisa dilaksanakan dengan tenaga manusia
		C. Pemeliharaan khusus tanggul tanah (kerusakan di kedua sisinya)	Berkala 1 kali/tahun	Hanya bisa dilaksanakan dengan tenaga manusia
		D. Rehabilitasi tanggul tanah	Khusus setiap kejadian	Hanya bisa dilaksanakan dengan tenaga manusia
		E. Rehabilitasi tanggul batu kali	Khusus setiap kejadian	Hanya bisa dilaksanakan dengan tenaga manusia
5	Bangunan Penangkap Pasir	Pengangkatan sedimen bangunan penangkap pasir	Rutin setiap bulan	Pijakan excavator harus berada ditengah yang keras dan talud yang kuat
6	Pintu Air	Perbaikan dan pengecatan	Berkala 1 kali/tahun	Hanya bisa dilaksanakan dengan tenaga manusia

No	Jenis Komponen	Sub Komponen	Durasi	Ketentuan Operasional
7	Kolam retensi/kolam tandon	A. Pengerukan sedimen kolam retensi (metode sling)	Berkala 1 kali/tahun	Kolam retensi luasnya > 2 Ha sedimen dan sampah menjadi satu
		B. Pengerukan sedimen di kolam retensi tipe estafet	Berkala 1 kali/tahun	Bentuk kolam retensi memanjang atau lingkaran lebarnya 40m
		C. Pengerukan sedimen di kolam retensi dengan kapal keruk (tipe pengaduk+pompa)	Berkala 1 kali/tahun	Khusus sedimen tidak tercampur dengan sampah
		D. Pengangkatan sedimen dari kolam retensi secara manual	Berkala 1 kali/tahun	Kolam retensi dengan luas > 2 Ha
		E. Pemeliharaan kolam retensi dari tanaman eceng gondok	Berkala 1-2 kali/tahun	Eceng gondok 10% dari luas kolam retensi
8	Pompa dan Rumah Pompa	A. Pemeliharaan pompa, genset, panel	Rutin setiap minggu	Lihat SOP masing-masing item
		B. Pemeliharaan rumah pompa	Berkala 1 kali/tahun	Hanya bisa dilaksanakan dengan tenaga manusia
9	Trash Rack	A. Trash Rack Mekanik	Berkala/ada kerusakan	Hanya bisa dilaksanakan dengan tenaga manusia
		B. Trash Rack Manual	Berkala 2 kali/tahun	Hanya bisa dilaksanakan dengan tenaga manusia
10	Sumur dan Kolam Resapan	A. Mengangkat sedimen dan sampah yang mengganggu dalam sumur resapan	Berkala 1 kali/tahun	Hanya bisa dilaksanakan dengan tenaga manusia

No	Jenis Komponen	Sub Komponen	Durasi	Ketentuan Operasional
		B. Mengangkat sedimen dan sampah yang mengganggu dalam kolam resapan	Berkala 1 kali/tahun	Hanya bisa dilaksanakan dengan tenaga manusia

D. Monitoring dan Evaluasi (Monev) O&P Drainase Perkotaan

Pekerjaan Monitoring dan Evaluasi (Monev) dilaksanakan saat pekerjaan O&P telah selesai bertujuan sebagai penilaian terhadap kinerja sistem drainase secara keseluruhan yang nantinya akan digunakan sebagai bahan masukan untuk rencana pengelolaan sistem drainase perkotaan kedepannya. Pentingnya tahapan tentang Pekerjaan Monitoring dan evaluasi (Monev) pada suatu kegiatan pengelolaan drainase yaitu untuk memastikan bahwa kegiatan pengelolaan sistem drainase perkotaan dapat berjalan sesuai dengan prosedur serta ketentuan yang berlaku.

Kegiatan monitoring dilakukan secara langsung melalui inspeksi lapangan dan monitoring tidak langsung melalui data/laporan harian atau mingguan yang dilakukan secara berkala untuk mendapatkan data kinerja pengelolaan sistem drainase perkotaan baik teknik maupun non teknis. Kegiatan evaluasi dilakukan dengan mempelajari semua hasil monitoring yang didapat sejak dimulainya perencanaan hingga akhir pengelolaan sistem drainase perkotaan yakni kemanfaatan pembangunan prasarana dan sarana drainase. Evaluasi dilakukan terhadap pengelolaan, pengoperasian, pemeliharaan dan rehabilitasi sistem drainase perkotaan dengan membandingkan tolak ukur/kriteria/standar yang telah ditetapkan terlebih dahulu pada tahap perencanaan.

Hal yang perlu diperhatikan dalam monitoring dan evaluasi pekerjaan O&P Drainase Perkotaan adalah sebagai berikut :

1. Melakukan pengecekan terhadap pelaksanaan di lapangan sesuai dengan gambar rencana dan volume rencana.
2. Apabila terjadi penyimpangan dengan gambar dan volume rencana, maka kontraktor harus menyelesaikan kekurangan tersebut sesuai rencana dan jika terjadi kelebihan maka direksi tidak akan membayar kelebihan tersebut.
3. Selama dalam masa pemeliharaan, kontraktor wajib memelihara sesuai dengan rencana.

Monitoring dan Evaluasi pekerjaan O&P drainase perkotaan dilakukan oleh penanggungjawab/penyelenggara pengelolaan sistem drainase perkotaan dengan menggunakan suatu sistem informasi manajemen pengelolaan sistem drainase perkotaan maupun data elektronik lainnya. Pelaksanaan pekerjaan O&P drainase perkotaan perlu adanya keterlibatan masyarakat dari tahap perencanaan sampai tahap pengawasan, terutama pada sistem drainase lokal masyarakat diharapkan turut berperan serta dalam operasi dan pemeliharaan sistem drainase di lingkungan masing-masing. Sedangkan dalam sistem drainase utama tanggung jawab operasi dan pemeliharaan ada ditangan Pemerintah Daerah dengan dibantu masyarakat dalam hal mencegah adanya biaya ekstra pemeliharaan dengan tidak mendirikan bangunan liar di atas saluran. Untuk menumbuhkan peran serta masyarakat diperlukan penyuluhan di berbagai sektor yang terkait misal sektor drainase, persampahan dan limbah dalam upaya mencipta-kan drainase berwawasan lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulgani, Hamdani. 2015. *Efektifitas Model Sistem Resapan Horizontal Dengan Parit Infiltrasi Dalam Mengurangi Limpasan Permukaan*. Jurnal Rekayasa Infrastruktur. Vol. 1 (1) : 1-43
- Asdak, Chay. (2010) "Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai," *Yogyakarta*, Penerbit Gajah Mada University Press.
- Abdulgani, H. 2015. Efektifitas Model Sistem Resapan Horizontal Dengan Parit Infiltrasi Dalam Mengurangi Limpasan Permukaan. Jurnal Rekayasa Infrastruktur. Vol. 1 (1): 1-43
- Burian, S. J. and Edwards, F. G. (2002) 'Historical perspectives of urban drainage', *Global Solutions for Urban Drainage*, 40644(June 2015), pp. 1-16. doi: 10.1061/40644(2002)284.
- Chang, H. *et al.* (2021) 'Assessment of urban flood vulnerability using the social-ecological-technological systems framework in six US cities', *Sustainable Cities and Society*, 68(February), p. 102786. doi: 10.1016/j.scs.2021.102786.
- Chow, Ven Te (1997) *Hidrolika Saluran Terbuka (Open Channel Hydraulics)*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Darsono, S. (2007) 'Sistem Pengelolaan Air Hujan Lokal Yang Ramah Lingkungan. Jurnal Ilmiah. Universitas Diponegoro', *Desember*, 13(4), pp. 256-263. Available at: <http://eprints.undip.ac.id/25109/>.
- Davis, M., L. (2012) *Water and Wastewater Engineering Design Principles and Practice*. 2nd edn, *Global Biogeochem. Cycles*. 2nd edn. McGraw-Hill Education.
- de Feo, G. *et al.* (2014) "The historical development of sewers

- worldwide', *Sustainability (Switzerland)*, 6(6), pp. 3936–3974. doi: 10.3390/su6063936.
- Dinas Lingkungan Hidup. 2019. *Lubang Resapan Biopori*. Online [https://dlh.bulelengkab.go.id/informasi/detail/artikel/lubang-resapan-biopori-72]
- Elvidge, C. D. *et al.* (2007) 'Global distribution and density of constructed impervious surfaces', *Sensors*, 7(9), pp. 1962–1979. doi: 10.3390/s7091962.
- Evans, T. (2004) 'Urban Drainage and the Water Environment: a Sustainable Future?', *Foundation for water research.*, 44(0). Available at: <http://www.fwr.org/>.
- Fletcher, T. D. *et al.* (2015) 'SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage', *Urban Water Journal*, 12(7), pp. 525–542. doi: 10.1080/1573062X.2014.916314.
- Haase, D. (2009) 'Effects of urbanisation on the water balance - A long-term trajectory', *Environmental Impact Assessment Review*, 29(4), pp. 211–219. doi: 10.1016/j.eiar.2009.01.002.
- Hadisusanto, N., 2011. Aplikasi Hidrologi, 1st ed. Jogja Mediautama.
- Hardjosuprpto, Moh. Masduki. 1999. *Drainase Perkotaan*. Departmen Pekerjaan Umum Jawa Barat.
- Harsoyo, B., 2010. Review Modeling Hidrologi DAS Di Indonesia. *J. Sains Teknol. Modif. Cuaca* 11, 41. <https://doi.org/10.29122/jstmc.v11i1.2179>
- Hidayat, A.K., 2016. Analisis Curah Hujan Efektif Dan Curah Hujan Dengan Berbagai Periode Ulang Untuk Wilayah Kota Tasikmalaya Dan Kabupaten Garut. . November 6.
- Hidayat, R., Sutanto, S. J. and Putra, S. S. (2016) 'Design and preliminary study of subsurface drainage in Hambalang

- Complex Bogor', *Teknik Hidraulik*, 7(1), pp. 61–76.
- Hingray, B., Picouet, C., Musy, A. (2015) *Hydrology A Science for Engineers*. 1st edn. Taylor & Francis Group.
- Indriatmoko, R. H. 2018. Penerapan Prinsip Kebijakan Zero Delta Q Dalam Pembangunan Wilayah. *Jurnal Air Indonesia*, 6(1). doi: 10.29122/jai.v6i1.2457.
- Ir. I Wayan Suparta, M.Si, MT dan I A Suwati Sideman, ST, MSc. *Sumbang Pikiran Drainase Berwawasan Lingkungan*
- Junaidi, E., 2012. PENGGUNAAN MODEL HIDROLOGI SWAT (SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL) DALAM PENGELOLAAN DAS CISADANE (Application SWAT Hydrology Model in Cisadane Watershed Management) 9, 17.
- Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. 2014 'Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 12/PRT/M/2014', *Tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan*, pp. 208–331.
- Kementerian Pekerjaan Umum Tahun 2011 tentang Drainase Perkotaan
- Kementrian Pekerjaan Umum. 2012. *Buku Jilid IA Tata Cara Penyusunan Rencana Induk Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan*
- Kodoatie, Robert. 2012. *Tata Ruang Air Tanah*. Yogyakarta: Penerbit Andi Offset.
- Lashari, K., R.-, Prakasa, F.-, 2017. Analisa Distribusi Curah Hujan di Area Merapi Menggunakan Metode Aritmatika Dan Poligon. *J. Tek. Sipil Dan Perenc.* 19, 39–46. <https://doi.org/10.15294/jtsp.v19i1.9497>
- Lubis, F., 2016. Analisa Frekuensi Curah Hujan Terhadap Kemampuan Drainase Pemukiman Di Kecamatan Kandis 2, 13.

- M. Hanif Chaudhry (2008) *Open Chanel Flow*. 2nd. New York: Springer International Publishing.
- Mangngka, I. R. 2015. *Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan (Eko-Drainase) Untuk Mendukung Sanitasi*. Universitas Sam Ratulangi
- Mark J. Hammer, Mark J. Hammer, J.-V. details-T. 2014. *Water and Wastewater Technology Pearson New International Edition*. 7th edn. Available at:https://trove.nla.gov.au/work/6581256?q&sort=holdings+desc&_=1548350509443&versionId=46379697.
- McCuen, R.H. (1982), "A Guide to Hydrologic Analysis using SCS Methods," *New Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs*.
- Noguchi, S., Nik, A.R., Yusop, Z., Tani, M., Sammori, T., 1997. Rainfall-runoff Responses and Roles of Soil Moisture Variations to the Response in Tropical Rain Forest, Bukit Tarek, Peninsular Malaysia. *J. For. Res.* 2, 125–132. <https://doi.org/10.1007/BF02348209>
- Nurhapni, B H. 2011. *Kajian Pembangunan Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan di Kawasan Perumahan*. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*. Vol. 11 (1)
- Rahmawati, A., Damayanti, A., Soedjono, E. S., 2015. Evaluasi Sistem Drainase Terhadap Penanggulangan Genangan di Kota Sidoarjo, Brantas Catchment Area 11.
- Ratnada, M. 2019. *Pembuatan Rorak di antara Tanaman Bakau*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Nusa Tenggara Timur. Online [<https://ntt.litbang.pertanian.go.id/index.php/program-litbang/program-2019/742-pembuatan-rorak-di-antara-pertanaman-kakao>]
- Riffat, R. (2013) *Fundamentals of Wastewater Treatment and Engineering*. www.iwapublishing.com.
- S.N. (1997). *Drainase Perkotaan*. *Gunadarma*.

- Salarpour, M., Yusop, Z., Jajarmizadeh, M., Yusof, F., 2014. Development of Generalized Feed Forward Network for Predicting Annual Flood (depth) of a Tropical River. *Sains Malays.* 43, 1865–1871. <https://doi.org/10.17576/jsm-2014-4312-07>
- Salim, M. A. 2016 Pembangunan Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan di Kawasan Perumahan. *Jurnal Teknik Sipil.* Vol 9 Hal. 1-5
- Sosrodarsono, Takeda. 1993. Hidrologi Untuk Pengairan. *Jakarta. Pradnya Paramita*
- Subarkah, I., 1980. Hidrologi Untuk Perencanaan Bangunan Air, 1st ed. Idea Dharma, Bandung.
- Sukarto, H. 2009. "Drainase Perkotaan" *Jakarta: PT. Mediatama Saptakarya.*
- Supli, Effendi. (2012) "Pengendalian Erosi Tanah: Dalam rangka Pelestarian Lingkungan Hidup," *Bandung. Bumi Aksara.*
- Suripin (2004) Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Suripin, 2004. Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan, 1st ed. Andi Offset, Yogyakarta.
- Suripin. (2004) "Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan," *Yogyakarta: Andi.*
- Sutrisno, E., Y. I. Siregar., Nofrizal. 2016. Pengembangan Sistem Pemanenan Air Hujan untuk Penyediaan Air Bersih di Selatpanjang Riau. *Dinamika Lingkungan Indonesia.* Vol. 3 (1) Hal. 1- 8.
- Triatmodjo, B., 2010. Hidrologi Terapan, 2nd ed. Beta Offset, Yogyakarta.
- Vasco, D., W.;Gupta, A., D. (2014) *Subsurface Fluid Flow and Imaging.* Edited by P. E. Limited. Water and Wastewater Technology.

- Wesli. (2008) "Drainase Perkotaan," *Yogyakarta: Graha Ilmu*.
- Widianto, Suprayogo, D., Sudarto, Lestariningsih, I.D., 2010. Implementasi Kaji Cepat Hidrologi (RHA) di Hulu DAS Brantas, Jawa Timu. World Agroforestry Centre (ICRAF). <https://doi.org/10.5716/WP10338.PDF>
- Yustika, R.D., Tarigan, S.D., Hidayat, Y., 2012. Simulasi Manajemen Lahan Di Das Ciliwung Hulu Menggunakan Model Swat Simulation Of Land Management In Hulu Ciliwung Use Swat Model. *Inform. Pertan.* 21, 9.

BIOGRAFI PENULIS



Erna Tri Asmorowati lahir di Malang tanggal 12 Juli 1974, menyelesaikan Pendidikan S1 di Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya lulus tahun 1998 dan melanjutkan S2 tahun 2015 pada program Magister Teknik Lingkungan Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya. Saat ini penulis merupakan dosen pada Prodi Teknik Sipil Universitas Islam Majapahit dan tergabung dalam bidang keahlian Sumber Daya Air dan Lingkungan. Beberapa publikasi telah dihasilkan penulis dan diterbitkan dalam prosiding, Jurnal Nasional Terakreditasi dan bereputasi International. Beberapa asosiasi yang diikuti oleh penulis adalah Komisi Nasional Irigasi dan Drainase Indonesia, Asosiasi Sistem Dinamik Indonesia, Forum Alumni Teknik Pengairan Universitas Brawijaya sebagai Sie. Kerjasama Universitas. Tim penilai AMDAL Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Mojokerto, penulis juga memiliki Sertifikasi keahlian sebagai Tenaga Ahli Madya Sumber Daya Air.



Anita Rahmawati lahir di Tuban, pada tanggal 13 Agustus 1990. Ia tercatat sebagai lulusan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Wanita yang kerap disapa Nita ini adalah anak pertama dari pasangan Agus Purwanto (ayah) dan Lilik Sholaikhah (ibu). Nita bukanlah orang baru di dunia pendidikan dan penelitian. Saat ini, Nita fokus penelitian dalam bidang Teknik Sipil konsentrasi bidang air dan lingkungan, dan saat ini ia merupakan salah satu dosen MK program Kemendikbud Kurikulum Merdeka Belajar-Kampus Merdeka.



Diah Sarasanty, Merupakan Sarjana Teknik Sipil di bidang Struktur (ITS) dan Master di bidang Manajemen Proyek Konstruksi (ITS). Beliau adalah seorang Dosen dan peneliti dengan pengalaman lebih dari 15 tahun dalam bidang Pendidikan, Penelitian dan Pengabdian kepada masyarakat. Pengalaman tersebut diampu sebagai tenaga pendidik pada institusi Universitas Islam Majapahit. Beliau juga aktif sebagai *corresponding author* dan *co-author* dalam penulisan makalah baik dalam jurnal ataupun seminar nasional maupun internasional dengan lebih dari 20 *paper* yang telah dipublikasikan. Reconnisi yang telah beliau peroleh adalah sebagai Tenaga Ahli Bangunan Gedung (TABG) dan Tim Profesi Ahli (TPA) pada instansi pemerintah. Bidang riset yang ditekuni adalah Manajemen Proyek Konstruksi dan Struktur Beton Bertulang.



Aptu Andy Kurniawan tercatat sebagai lulusan S1 Teknik Pengairan Universitas Brawijaya. Kemudian mengikuti Master Degree Hydraulic Engineering di Universita Della Calabria Italy pada tahun 2011. Saat ini bekerja di Dinas Pekerjaan Umum Sumber Daya Air Kabupaten Malang sebagai Kepala Seksi Pengembangan Sumber Daya Air. Tercatat sebagai tenaga pengajar di Universitas Yos Soedarso Surabaya dengan NIDN 0728047801.



M. Adik Rudiyanto, ST. MT dilahirkan di Jombang, 17 Februari 1974. Merupakan anak pertama dari 3 bersaduaara. Mengabdikan diri di Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Majapahit dan menjabat sebagai Dekan Fakultas Teknik. Bidang keahlian adalah transportasi, melihat banyaknya permasalahan sistem drainase pada jalan raya maka penulis tertarik untuk turut serta dalam penulisan *book chapter* ini.



Edna Nadya lahir di Bandung, pada 17 Januari 1994. Ia tercatat sebagai lulusan S1-Teknik Sipil di Universitas Pendidikan Indonesia dengan judul skripsi "Analisis Sistem Jaringan Drainase di Komplek Perkantoran Kawaluyaan" tahun 2015. menyelesaikan studi S2-Teknik Sipil di Institut Teknologi Bandung dengan judul thesis "Kajian Kolam Retensi Sebagai Alternatif Implementasi Konsep *Zero Delta Drainage* di Kampus ITB Ganesa (Studi Kasus : Gedung CADL) pada tahun 2020. Penulis saat ini bekerja sebagai Konsultan Individual di salah satu Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat mulai dari tahun 2015.



Meriana Wahyu Nugroho dilahirkan pada tanggal 16 Januari 1983, studi S1 di Program Studi Teknik Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan bidang keahlian Instrumentasi lulus tahun 2006. Tahun 2014 menyelesaikan studi pada Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas 17 Agustus

Surabaya, dengan bidang keahlian Manajemen Konstruksi.



Findia lahir di Samarinda, pada 18 Oktober 1980. Lulusan Program Pasca Sarjana Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya tahun 2014. Anak ke 2 dari 9 bersaudara dari pasangan Nanang Ardi (ayah) dan Narsipah (ibu). Pernah bekerja sebagai fasilitator infrastruktur di program PNPM yang sekarang menjadi Kotaku dari tahun 2009 sampai 2011. Saat ini menjadi dosen Prodi Teknik Sipil di Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda.