

KAJIAN PENYELENGARAAN SISTEM DRAINASE KABUPATEN BULELENG

I Putu Gustave Suryantara Pariartha¹

Silvia Gabrina Tonyes²

I Gst Ngurah Kerta Arsana³

Made Anik Widyaastuti⁴

^{1,2,3}Fakultas Teknik Universitas Udayana, ⁴Balitbang Inovda Buleleng

E-mail:

gustave_sp@unud.ac.id, stonyes@unud.ac.id,

kerta.arsana@unud.ac.id

anikwid@yahoo.com

ABSTRAK

Permasalahan banjir dan genangan air belakangan ini semakin sering mengemuka pada setiap musim penghujan, tidak terkecuali di Kabupaten Buleleng. Berkurangnya daerah resapan air dan fungsi ganda saluran irigasi dan drainase adalah dua hal yang sering dianggap sebagai penyebab terjadinya genangan. Kawasan yang dulunya merupakan daerah pertanian sejalan dengan kebutuhan terhadap perumahan kini banyak beralih fungsi menjadi daerah terbangun. Masalah yang sering muncul adalah digunakannya saluran irigasi sebagai saluran drainase secara bersama-sama. Hal ini kurang tepat karena secara konsep saluran irigasi bertujuan untuk mengairi persawahan. Semestinya, saluran irigasi diletakkan pada elevasi punggung dengan dimensi saluran akan semakin mengecil dari hulu ke hilir, sedangkan saluran drainase berfungsi untuk mengalirkan air limpasan langsung dari hujan untuk menghindari banjir, sehingga harus dibangun di elevasi rendah dengan dimensi saluran drainase harus membesar dari hulu ke hilir. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji penyelenggaraan drainase yang nantinya dijadikan acuan dalam pengelolaan saluran drainase dan penataan wilayah di Kabupaten Buleleng. Kajian ini dilakukan dengan melakukan kunjungan lapangan untuk inventarisasi sistem drainase eksisting kemudian menggunakan analisis curah hujan dalam penentuan debit banjir rencana. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem drainase di Kabupaten Buleleng perlu mengadopsi paradigma baru yaitu sistem drainase yang berwawasan lingkungan sehingga air hujan tidak secepatnya mengalir ke saluran drainase primer. Kearifan lokal Bali seperti penggunaan *telajakan*, *teba* dan *song sombah* perlu diterapkan kembali senada dengan visi pembangunan Bali yang mengutamakan keharmonisan alam Bali beserta isinya. Untuk menindaklanjuti hasil kajian ini, harus juga dilakukan penyusunan peraturan daerah terkait penyelenggaraan sistem drainase Kabupaten Buleleng.

Kata kunci: banjir, sistem drainase berwawasan lingkungan, kearifan lokal, Kabupaten Buleleng

ABSTRACT

Flood is recurrent problems in rainy season around the world, including in Buleleng Regency. The ever decrease of water recharge area and the double uses of irrigation channels as drainage channels are the most possible reasons for inducing flood. Vegetated area and agricultural land are often converted to housing complex and other development projects that altered the previously porous to impermeable surfaces, increasing the volume of runoff. The use of irrigation channels coupled as drainage sistem is basically unsuitable since the purpose of irrigation is to supply water to the agricultural land, hence the location should be in high elevation with reduced in size from upstream downwards. On the contrary, the function of drainage channels is to receive stormwater flow, hence should be located at lower elevation with enlarge sizes downstream. This study consists of site investigation to gather the existing data and collecting secondary data of rainfall to determine the design flood flow. The new paradigm of sustainable drainage system should be applied in Kabupaten Buleleng, such as rain water harvesting that can be reuse and/or as groundwater recharge using infiltration wells, hence to reduce runoff volume entering the primary drainage system. The local wisdom in Bali such as 'telajakan', 'teba' and 'song sombah' should be re-introduced in order to meet the government vision in harmonizing its people and the environment. As a way forward, this study also suggests the provision of local regulation(s) for drainage system management in Buleleng Regency.

Keywords: *flood, sustainable drainage system, local wisdom, Buleleng Regency*

PENDAHULUAN

Permasalahan banjir dan genangan air belakangan ini semakin sering mengemuka pada setiap musim hujan. Berkurangnya daerah resapan air dan sedimentasi saluran akibat drainase yang tidak baik adalah salah satu hal yang sering dituding sebagai penyebab terjadinya genangan. Kawasan yang dulunya merupakan daerah pertanian sejalan dengan kebutuhan terhadap perumahan sekarang banyak beralih fungsi menjadi kompleks permukiman baru. Kondisi seperti ini membawa konsekuensi lahan pertanian menjadi terpencar-pencar di antara permukiman yang menyebabkan saluran irigasi ditutup plat beton, menyempit atau bahkan hilang.

Perkembangan permukiman pada daerah pertanian, sering kali menyebabkan kesulitan tersendiri dalam penanganan banjir dan genangan air. Masalah yang sering muncul adalah digunakannya saluran irigasi sebagai saluran drainase secara bersama-sama. Penggunaan saluran irigasi sebagai drainase tentu merupakan hal yang

kurang tepat dikarenakan secara konsep saluran irigasi bertujuan untuk mengairi persawahan dengan dimensi saluran akan semakin mengecil dari hulu ke hilir sedangkan saluran drainase berfungsi untuk mengalirkan air limpasan langsung dari hujan untuk menghindari banjir, sehingga dimensi saluran drainase harus semakin besar dari hulu ke hilir.

Kabupaten Buleleng dengan kondisi topografi yang sebagian besar berupa perbukitan dengan hampir 40% wilayahnya berupa ekosistem hutan mengalami perubahan fisik alam yang cukup pesat. Dengan laju pertumbuhan penduduk sebesar 2,51%, konsentrasi penduduk terpadat terdapat di Kecamatan Buleleng dengan kepadatan sebesar 591 jiwa/km². Hal ini tentu saja berdampak pada perubahan fungsi lahan dari tidak terbangun, misalnya lahan pertanian, menjadi lokasi permukiman.

Disamping dwifungsi yang kontradiktif, akibat kepadatan penduduk saluran drainase sering juga difungsikan tempat pembuangan limbah rumah tangga dan tempat pembuangan sampah. Dengan terbatasnya lahan maka pembuangan sampah akan menemui hambatan sehingga tidak jarang saluran drainase dimanfaatkan sebagai tempat pembuangan sampah. Ditambah lagi kesadaran dan kebiasaan masyarakat terutama yang tinggal di bantaran sungai sering menjadikan sungai sebagai tempat pembuangan sampah dan limbah rumah tangga. Dampak dari “malfungsi” drainase adalah suatu daerah atau kawasan menjadi daerah rawan genangan dan banjir.

Sesuai dengan visi dan misi pemerintah yaitu untuk menjaga kesucian dan keharmonisan alam Bali beserta Isinya, untuk mewujudkan kehidupan yang sejahtera, maka kajian penyelenggaraan sistem drainase di Kabupaten Buleleng ini ditujukan untuk beralih dari paradigma lama ke pendekatan baru yang lebih berwawasan lingkungan. Paradigma lama dalam pengelolaan drainase adalah secepatnya mengalirkan air limpasan akibat hujan ke saluran atau badan air terdekat. Sistem drainase semacam ini adalah drainase yang lahir sebelum pola pikir komprehensif berkembang, yaitu 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. 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. Salah satu aspek penting dalam sistem drainase berwawasan lingkungan adalah pengelolaan daerah aliran sungai (DAS) secara komprehensif dan memperhitungkan pengaruh hidrologi secara menyeluruh dalam mempertimbangkan perubahan tata guna lahan (Asdak, 2020). Hal ini sesuai dengan peraturan penataan ruang dan penyelenggaraan sistem drainase perkotaan yang berlaku saat ini (Indonesia, 2021; Kementerian Pekerjaan Umum, 2014a, 2014b, 2014c). Untuk

mendukung visi dan misi pemerintah dan memenuhi amanat perencanaan tata ruang, sangat diperlukan juga penekanan kembali prinsip-prinsip kearifan lokal dalam penyelenggaraan infrastruktur, khususnya sistem drainase di Buleleng (Kabupaten Buleleng, 2013; Subawa, 2020).

Belakangan ini dikenal pendekatan baru dalam perencanaan sistem drainase yaitu sedapat mungkin meresapkan air ke dalam tanah sehingga debit air banjir dan genangan dapat tertahan selama mungkin sebelum dialirkan ke dalam saluran drainase (Kodoatie, 2021; Kodoatie & Sjarief, 2010). Dalam drainase ramah lingkungan, kelebihan air pada musim penghujan diupayakan tidak mengalir secepat ke sungai namun digunakan dan/atau mengisi air tanah sebagai cadangan pada musim kemarau sehingga dapat mencegah banjir dan kekeringan. Metode ini dikenal dengan istilah pemanenan air hujan/*rain water harvesting* (Maryono, 2022; Maryono & Santoso, 2006) dan dapat diaplikasikan untuk berbagai kebutuhan air (Dwivedi et al., 2013; Triyono et al., 2021; Tucunan et al., 2018). Beberapa metode drainase ramah lingkungan yang digunakan di Indonesia, diantaranya dengan membangun kolam tandon, kolam konservasi, dan/atau sumur resapan di area perkotaan, permukiman, pertanian atau perkebunan

Penelitian ini mengkaji penyelenggaraan drainase di Kabupaten Buleleng sehingga dapat dijadikan sebagai acuan dalam pengelolaan saluran drainase dan penataan wilayah di Kabupaten Buleleng. Sasaran dari pengkajian yang dilakukan adalah tersusunnya dokumen kajian sebagai acuan dalam rangka pengelolaan yang baik dan tepat untuk penyelenggaraan drainase di Kabupaten Buleleng.

METODOLOGI

Kajian ini dilakukan untuk memberikan masukan dan rekomendasi untuk penyelenggaraan sistem drainase di Kabupaten Buleleng, khususnya di Kota Singaraja. Beberapa hal yang dilakukan adalah 1) inventarisasi sistem drainase eksisting, 2) inventarisasi dan identifikasi titik rawan banjir, 3) penetapan debit banjir rencana, 4) penentuan alternatif sistem dan penentuan prioritas penanganan.

Analisis hidrologi diawali dengan menganalisis hujan dan debit rencana yang digunakan sebagai Q_{disain} bangunan air (Sri Harto, 1993). Dari data curah hujan harian maksimum tahunan dan data karakteristik DAS (luas dan panjang sungai) dianalisis menjadi hujan rancangan dan unit hidrograf (menggunakan Nakayasu) menjadi debit rancangan. Data intensitas hujan digunakan untuk mendapatkan debit rencana dengan memperhitungkan luas daerah pengaliran dan koefisien pengaliran, dan selanjutnya perhitungan kapasitas saluran dengan memperhatikan Koefisien Kekasaran Manning, bentuk penampang saluran, prinsip-prinsip saluran terbuka yang didasarkan pada skema sistem jaringan.

Penerapan sistem drainase berwawasan lingkungan dengan cara pemanenan air hujan bersamaan dengan membiarkan sebagian lahan terbuka tidak kedap air/porous. Hal ini dilakukan dengan menghitung ukuran sumur resapan untuk menampung air hujan pada suatu

bangunan rumah sederhana secara hipotetikal. Kedalaman sumur resapan menggunakan Metode PU dibandingkan pada dua kondisi: 1) hanya bagian atap (54% luas lahan) yang kedap air, dan 2) seluruh permukaan lahan (100%) berupa lapisan kedap air. Perbandingan volume air yang dapat ditampung dalam sumur resapan dari kedua skenario di atas dijadikan dasar untuk menghitung penurunan volume air limpasan yang nantinya diterima oleh sistem drainase.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem pembuangan air hujan di Kota Singaraja telah dikelola dengan baik, disesuaikan dengan kondisi topografi setempat yang meliputi 7 (tujuh) sistem pembuangan utama yaitu:

- Sistem I : Tukad Pasut
- Sistem II : Tukad Banyumala
- Sistem III : Tukad Mumbul
- Sistem IV : Tukad Buleleng
- Sistem V : Tukad Buwus
- Sistem VI : Pangkung Sedahan
- Sistem VII: Tukad Penarukan

Ketujuh sistem ini dilengkapi dengan beberapa sub-sistem yang berfungsi sebagai saluran pembuang utama menuju ke pembuangan akhir berupa laut atau sungai yang dapat menampung aliran dari sistem yang telah diformulasikan.

Permasalahan Banjir/Genangan Drainase Mikro

Permasalahan yang terkait dengan sistem drainase perkotaan di Kabupaten Buleleng adalah sebagai berikut:

- Pemisahan saluran primer dan sekunder belum jelas.
Skema pola aliran sistem drainase perkotaan dan dilengkapi dengan penomoran (nomenklatur) sangat penting untuk lebih mudah koordinasi dalam penyelenggaraan sistem drainase. Pemisahan fungsi saluran drainase dalam peta *database* sangat diperlukan dalam operasi dan pemeliharaan.
Sistem drainase saat ini di tingkat saluran sekunder belum terpola. Beban saluran drainase eksisting cukup besar sehingga perlu dibuatkan sodetan menuju saluran pembuang utama.
- Fungsi ganda saluran irigasi dan saluran drainase
Sistem, sub-sistem bahkan saluran pembuang sekunder ada yang masih dipergunakan dan berfungsi ganda sebagai saluran irigasi. Dari tinjauan lapangan didapatkan bahwa sebagian saluran masih berfungsi dan sebagian sudah tidak berfungsi lagi akibat alih fungsi lahan sawah menjadi kawasan pemukiman.
Fungsi ganda saluran ini menimbulkan masalah pada saat pemeliharaan saluran. Bila kapasitas saluran drainase sudah tidak mampu menampung volume air yang terjadi dan mengakibatkan banjir, makaantisipasi dari Dinas PUTR Kabupaten Buleleng adalah dengan melakukan pengerukan. Hal ini menyulitkan bila saluran tersebut juga berfungsi sebagai saluran irigasi, karena muka air harus tetap terjaga agar air tetap

dapat masuk ke daerah irigasi. Selain itu, sepanjang saluran terdapat banyak bangunan melintang sungai seperti pintu air, peluap/ambang lebar permanen, dan bangunan irigasi lain yang digunakan untuk mengatur air irigasi.

- Perubahan tata guna lahan
Hampir semua halaman rumah, perkantoran dan ruang terbuka diberi perkerasan sehingga menyebabkan nilai koefisien limpasan permukaan/*run-off* menjadi tinggi dan meningkatkan debit genangan/banjir.
Di Kota Singaraja sudah banyak muncul permukiman baru sehingga akan mengubah pola aliran dan tidak tersedianya sempadan saluran sebagai akses pemeliharaan akibat terdesak pemukiman. Hal ini banyak terlihat misalnya di wilayah Baktiseraga sampai ke hilir dan di utara jalan nasional
- Operasi dan Pemeliharaan (O & P) Sistem Drainase Perkotaan di kawasan permukiman yang dibangun oleh pelaku pembangunan belum sepenuhnya menjadi tanggung jawab pelaku pembangunan.
- Fungsi saluran drainase eksisting masih bercampur dengan pembuangan limbah rumah tangga.
- Masih terdapat pemanfaatan ruang di atas saluran drainase/irigasi untuk bangunan
- Penerapan drainase berwawasan lingkungan belum dilakukan.
Sistem penanganan drainase perkotaan di Kabupaten Buleleng masih menerapkan konsep lama yaitu air kelebihan secepatnya dialirkan ke saluran drainase, kemudian ke sungai dan akhirnya ke laut, sehingga tidak menimbulkan genangan atau banjir. Dalam drainase ramah lingkungan, justru air kelebihan pada musim hujan harus dikelola sedemikian rupa sehingga tidak mengalir secepatnya ke sungai sehingga dapat meresap ke dalam tanah, guna meningkatkan kandungan air tanah untuk cadangan pada musim kemarau.
- Belum optimalnya petugas intake dalam mengoperasikan pintu terutama saat terjadinya hujan.
Saluran irigasi yang berfungsi ganda harus mengoperasikan pintu pada intake sehingga kapasitas saluran bisa dioptimalkan mengalirkan limpasan permukaan. Saat hujan, pintu pada intake harus ditutup sehingga saluran irigasi hanya menampung aliran permukaan. Buka tutup pintu pada intake harus dilakukan petugas intake sehingga luapan air pada saluran bisa dikurangi.
- Penanganan sampah perkotaan belum optimal sehingga banyak didapati sampah dalam saluran. Hal ini akan mengurangi kapasitas saluran dan menghambat laju aliran.
- Pemeliharaan saluran drainase hanya bertumpu pada Dinas PUTR Kabupaten Buleleng.
- Terdapat beberapa kesulitan dalam koordinasi penanganan drainase perkotaan sesuai tanggung jawab dan kewenangan masing-masing instansi.

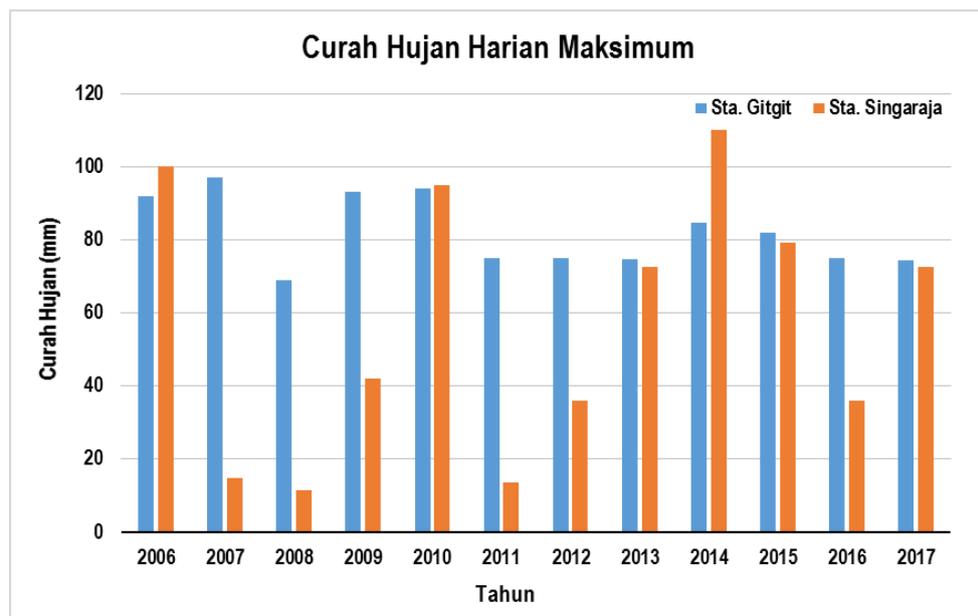
Batas kewenangan ini sebenarnya sudah jelas diatur namun terkadang dalam penerapannya di lapangan masih terdapat banyak kendala dari segi komunikasi, mobilisasi, dan lain lain.

Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi Kabupaten Buleleng berdasarkan pencatatan data curah hujan di stasiun pencatat hujan Gitgit dan Singaraja. Angka curah hujan maksimum selama 12 tahun, yaitu dalam periode tahun 2006 sampai dengan 2017 dapat dilihat dalam Tabel 1 dan digambarkan secara grafis pada Gambar 1 di bawah ini

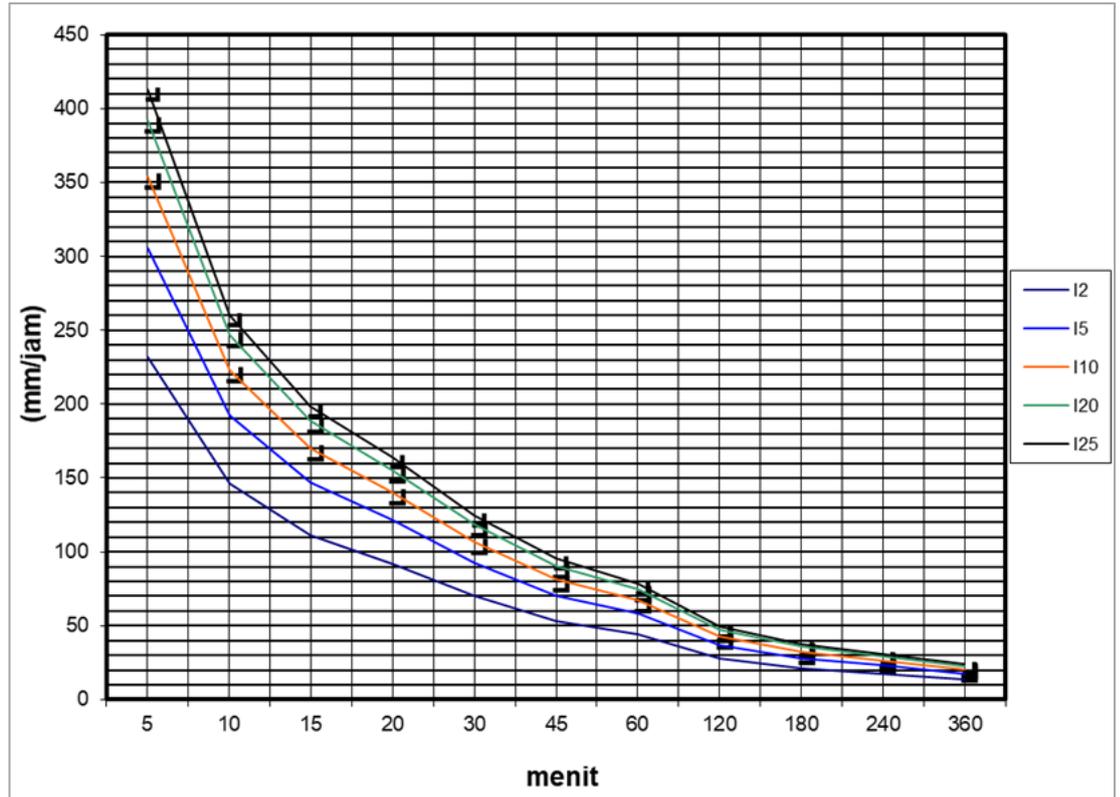
Tabel 1. Data Curah Hujan Harian Maksimum

No.	Tahun	Curah hujan harian maksimum (mm)	
		Sta. Gitgit	Sta Singaraja
1	2006	92,00	100,00
2	2007	97,00	14,71
3	2008	69,00	11,46
4	2009	93,00	42,00
5	2010	94,00	95,00
6	2011	75,00	13,60
7	2012	75,00	36,00
8	2013	74,75	72,50
9	2014	84,50	110,00
10	2015	82,00	79,21
11	2016	75,00	36,00
12	2017	74,45	72,50



Gambar 1. Curah Hujan Harian Maksimum Sta Gitgit dan Sta Singaraja

Dari tabel dan gambar di atas dapat dilihat bahwa curah hujan dalam periode Tahun 2006 sampai dengan 2017 di daerah Gitgit relatif merata, sedangkan di Singaraja berfluktuatif cukup besar. Analisis terhadap data hujan ini menghasilkan kurva intensitas hujan/Kurva IDF untuk beberapa kala ulang seperti ditampilkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Kurva Intensitas Durasi Frekuensi (IDF) Wilayah Singaraja untuk kala ulang 2, 5, 10, 20 dan 25 tahun

Intensitas hujan ini kemudian digunakan untuk mendapatkan debit rencana dengan memperhitungkan luas daerah pengaliran dan koefisien pengaliran, dan selanjutnya perhitungan kapasitas saluran dengan memperhatikan koefisien kekasaran manning, bentuk penampang saluran, prinsip-prinsip saluran terbuka yang didasarkan pada skema sistem jaringan.

Reduksi Aliran Permukaan

Perubahan fungsi lahan sebagai akibat pembangunan permukiman dan fungsi lahan terbangun lainnya menjadikan berkurangnya luas daerah resapan air hujan sehingga air tersebut banyak menjadi limpasan permukaan dan mempersingkat waktu berkumpulnya air (waktu konsentrasi/*time of concentration* t_c). Hal ini menjadikan akumulasi air hujan yang terkumpul bisa melampaui kapasitas drainase yang ada dan berkurangnya kesempatan air hujan berinfiltrasi ke dalam tanah. Salah satu sistem drainase berwawasan lingkungan untuk pengendalian air, baik mengatasi genangan dan kekeringan adalah melalui pemanenan air hujan dan dikumpulkan dalam sumur resapan.

a. Perhitungan intensitas hujan untuk seluruh wilayah perumahan dengan rumus Sherman:

Untuk intensitas dengan periode ulang 2 tahun

$$I_2 = \frac{679}{t^{0,6667}}$$

Untuk intensitas dengan periode ulang 5 tahun

$$I_5 = \frac{895}{t^{0,6667}}$$

Untuk perhitungan waktu konsentrasi (t_c) dihitung dengan rumus Kirpich (1940) dengan persamaan sebagai berikut:

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

Dimana :

L = panjang lintasan aliran (m)

S = kemiringan lintasan aliran

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

$$t_c = \left(\frac{0,87 \times 20^2}{1000 \times 0,009} \right)^{0,385}$$

$$t_c = 4,1 \text{ menit}$$

Maka :

$$I_2 = \frac{679}{t^{0,6667}}$$

$$I_2 = \frac{679}{(4,1)^{0,6667}}$$

$$I_2 = 261,9 \text{ mm/jam}$$

$$I_5 = \frac{895}{t^{0,6667}}$$

$$I_5 = \frac{895}{(4,1)^{0,6667}}$$

$$I_5 = 345,2 \text{ mm/jam}$$

b. Perhitungan Debit Banjir Rencana untuk Periode Ulang 2 Tahun dan 5 Tahun dengan rumus rasional :

$$Q = C.i.A$$

Dimana :

Q = debit (m^3 / dt)

C = koefisien pengaliran permukaan (<1)

i = intensitas hujan (m/detik)

A = luas bidang tangkapan hujan (m^2)

Luas areal perumahan $5000 m^2$, terdiri dari 50 kapling memiliki luas $100 m^2$ dengan komposisi sebagai berikut:

$$\text{Luas kapling per KK} = 5782,5/50 = 100 m^2$$

Komposisi :

- Halaman: $20 m^2$ $\alpha = 0,10$
- Atap : $60 m^2$ $\alpha = 0,95$
- Perkerasan aspal dan beton: $20 m^2$ $\alpha = 0,95$

$$\alpha_{gab} = \frac{(15 \times 0,10) + (60 \times 0,95) + (25 \times 0,95)}{1} = 0,82$$

- Perhitungan debit banjir rencana untuk seluruh wilayah perumahan

Luas wilayah perumahan = $5782,5 \text{ m}^2$
 Dalam kondisi tanpa sumur resapan

$$Q_2 = I.A.C$$

$$Q_2 = \frac{R_{24}}{T} . A.0,84$$

$$Q_2 = \frac{679}{24 \times 3600} \times 10^{-3} \times 5000 \times 0,82$$

$$Q_2 = 0,032 \text{ m}^3 / \text{det ik}$$

$$Q_5 = I.A.C$$

$$Q_5 = \frac{R_{24}}{T} . A.0,84$$

$$Q_5 = \frac{895}{24 \times 3600} \times 10^{-3} \times 5000 \times 0,82$$

$$Q_5 = 0,042 \text{ m}^3 / \text{det ik}$$

Untuk perhitungan debit banjir rencana untuk 1 area rumah. Pada daerah yang kedap air, digunakan 2 asumsi antara lain seluruh area rumah dianggap kedap air (perkerasan). Sedemikian sehingga dalam kondisi seluruh area rumah dianggap kedap air luas area rumah = 90 m^2

Komposisi :

- Halaman: 15 m^2 $\alpha = 0,10$
- Atap : 49 m^2 $\alpha = 0,95$
- Perkerasan aspal dan beton: 26 m^2 $\alpha = 0,95$

$$\alpha_{gab} = \frac{(15 \times 0,10) + (49 \times 0,95) + (26 \times 0,95)}{90} = 0,81$$

$$Q_2 = I.A.C$$

$$Q_2 = \frac{R_{24}}{T} . A.0,81$$

$$Q_2 = \frac{679}{24 \times 3600} \times 10^{-3} \times 90 \times 0,81$$

$$Q_2 = 0,0009 \text{ m}^3 / \text{det ik}$$

$$Q_5 = I.A.C$$

$$Q_5 = \frac{R_{24}}{T} . A.0,81$$

$$Q_5 = \frac{895}{24 \times 3600} \times 10^{-3} \times 90 \times 0,81$$

$$Q_5 = 0,0006 \text{ m}^3 / \text{det ik}$$

c. Pembuatan Sumur Resapan

Pembuatan sumur resapan teknik perencanaan dengan metode PU:

$$H = \frac{D.I.A_t - D.k.A_s}{A_s + D.K.P}$$

Dimana :

D = durasi hujan (jam)

I = intensitas hujan (m/jam)

A_t = luas tadah hujan (m^2), dapat berupa atap rumah atau permukaan yang diperkeras

K = permeabilitas tanah (m/jam)

P = keliling penampang sumur (m)

A_s = luas penampang sumur (m^2)

H = kedalaman sumur (m)

Perencanaan dengan diameter 1,4 m

Untuk kondisi seluruh area rumah dianggap kedap air

$$R = 0,7 \text{ m}$$

$$D = 1.5 \text{ jam}$$

$$K = 0,00192 \text{ cm/detik} = 0,06912 \text{ m/jam}$$

$$A_t = 90 \text{ m}^2$$

Dengan I_2

$$H = \frac{D.I_2.A_t - D.k.A_s}{A_s + D.K.P}$$

$$H = \frac{(1.5 \times 0,0679 \times 90) - (1.5 \times 0,06912 \times 1,5386)}{1,5386 + (1.5 \times 0,06912 \times 4,396)}$$

$$H = 4.30 \text{ m}$$

Dengan I_5

$$H = \frac{D.I_5.A_t - D.k.A_s}{A_s + D.K.P}$$

$$H = \frac{(1.5 \times 0,0875 \times 90) - (1.5 \times 0,06912 \times 1,5386)}{1,5386 + (1.5 \times 0,06912 \times 4,396)}$$

$$H = 5,7 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan diatas, dengan perencanaan sumur resapan menggunakan metode PU yang berdiameter 1,4 m untuk kondisi seluruh area dianggap kedap air (perkerasan) diperoleh kedalaman (H) yaitu untuk I_2 sebesar 4.3 m dan I_5 sebesar 5,7 m.

Untuk kondisi atap rumah yang kedap air

$$R = 0,7 \text{ m}$$

$$D = 1.5 \text{ jam}$$

$$K = 0,00192 \text{ cm/detik} = 0,06912 \text{ m/jam}$$

$$A_t = 49 \text{ m}^2$$

Dengan I_2

$$H = \frac{D.I_2.A_t - D.k.A_s}{A_s + D.K.P}$$

$$H = \frac{(1.5 \times 0,0675 \times 49) - (1.5 \times 0,06912 \times 1,5386)}{1,5386 + (1.5 \times 0,06912 \times 4,396)}$$

$$H = 2,3 \text{ m}$$

Dengan I_5

$$H = \frac{D \cdot I_5 \cdot A_t - D \cdot k \cdot A_s}{A_s + D \cdot K \cdot P}$$

$$H = \frac{(1,5 \times 0,0879 \times 49) - (1,5 \times 0,05724 \times 1,5386)}{1,5386 + (1,5 \times 0,05724 \times 4,396)}$$

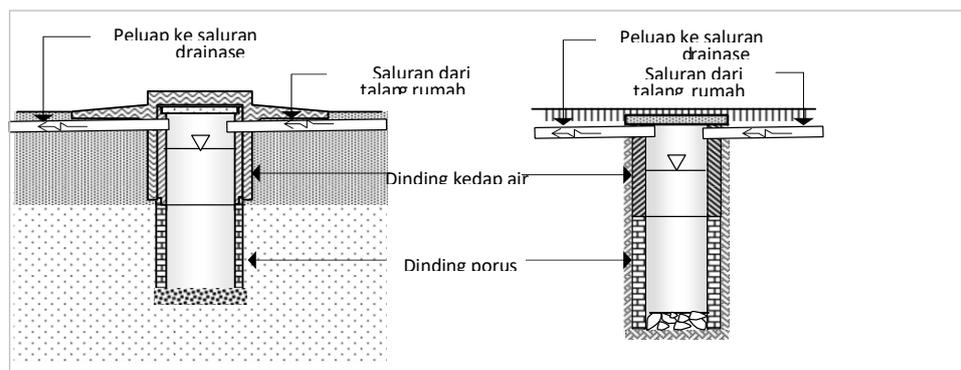
$$H = 3,0 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan diatas, dengan perencanaan sumur resapan menggunakan metode PU yang berdiameter 1,4 m untuk kondisi hanya atap rumah yang dianggap kedap air (perkerasan) diperoleh kedalaman (H) yaitu untuk I_2 sebesar 2,3m dan I_5 sebesar 3,0m.

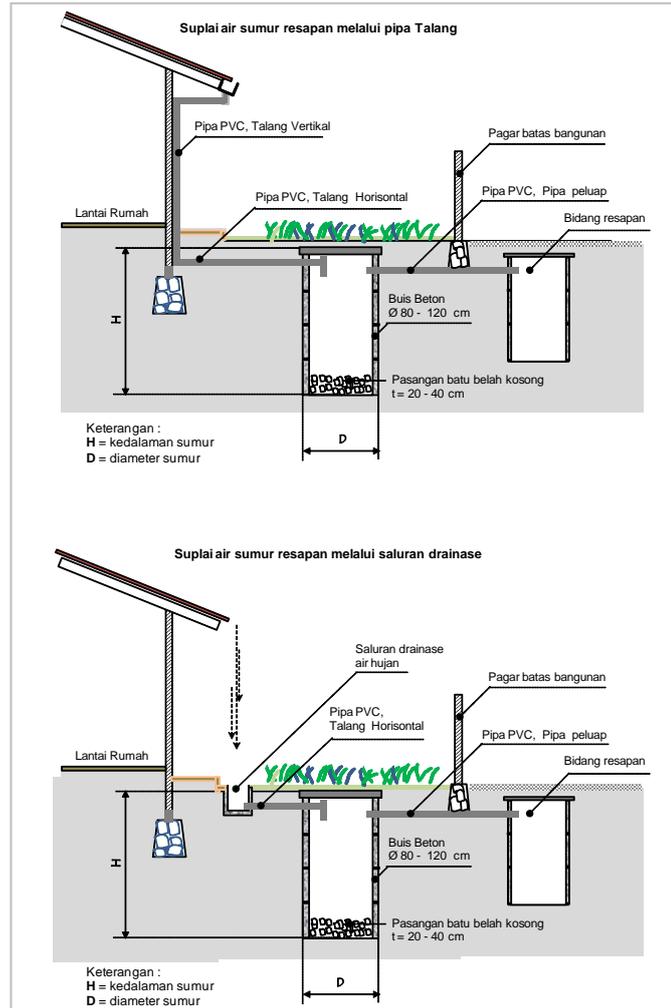
Kebutuhan volume sumur resapan untuk menampung air hujan dari atap untuk lahan 90 m² dengan intensitas periode ulang 2 tahun diperlukan diameter 1,4 dengan kedalaman 2,30 meter. Dimensi sumur resapan ini hanya memperhitungkan air hujan dari atap seluas 49 m² yang berarti area perumahan dengan lahan 90 m² yang kedap air 54 % dan sisanya 46 % merupakan permukaan porous. Keuntungan penerapan sumur resapan ini sebagai konservasi air tanah, mempertahankan dimensi saluran sekunder dengan lebar 1,00 meter dan kedalaman 1,20 meter.

Dari analisis yang dilakukan dapat dilihat bahwa dengan memanen air hujan di 54% luas lahan dan membiarkan 46% lahan tidak kedap air/porous, sekitar 50% air hujan dapat ditampung di dalam sumur resapan dan sisanya dialirkan ke sistem drainase umum. Hal ini dapat menurunkan beban kapasitas penampang saluran. Dampak positif lainnya adalah dengan menampung air hujan dalam sumur resapan dapat mengisi ulang air tanah sehingga dapat dipergunakan dalam musim kering.

Beberapa contoh disain sumur resapan dapat dilihat dalam Gambar 3 dan 4 di bawah ini.



Gambar 3. Contoh Disain Sumur Resapan Air Hujan (Suripin, 2004)



Gambar 4. Contoh Pemanenan Air Hujan dengan dan tanpa talang air (Suripin, 2004)

Rencana Sistem Induk Drainase

Tahap awal dalam suatu perencanaan sistem drainase perkotaan diawali dengan penyusunan Rencana Induk Sistem Drainase. Rencana Induk Sistem Drainase Perkotaan disusun untuk kawasan metropolitan, kawasan perkotaan besar dan kota yang mempunyai nilai strategis. Dalam hal sistem drainase perkotaan untuk kawasan kota sedang dan kecil, Rencana Induk Sistem Drainase Perkotaan disusun secara sederhana. Rencana induk disusun oleh instansi yang berwenang di bidang drainase dan ditetapkan oleh pemerintah kabupaten/kota sehingga Rencana Induk Sistem Drainase Perkotaan untuk wilayah Kabupaten Buleleng sebaiknya ditetapkan oleh Pemerintah Kabupaten Buleleng. Penyusunan rencana induk pada kabupaten/kota harus berdasarkan pada Rencana Umum Tata Ruang Kabupaten/Kota yang bersangkutan dan Rencana Pengelolaan Sumber Daya Air di wilayah tersebut. Rencana induk Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan berlaku 25 (dua puluh lima) tahun atau disesuaikan dengan jangka waktu berlakunya Rencana Umum Tata Ruang Kabupaten/Kota (Pasal 7 Permen PUPR Nomor 12 Tahun 2014).

Berdasarkan Peraturan Daerah Nomor 9 Tahun 2013 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Buleleng Tahun 2013-2033, terdapat beberapa definisi yang terkait dengan kawasan perkotaan, dan pusat-pusat kegiatan, sebagai berikut:

- Kawasan perkotaan adalah wilayah yang mempunyai kegiatan utama bukan pertanian dengan susunan fungsi kawasan sebagai tempat permukiman perkotaan, pemusatan dan distribusi pelayanan jasa pemerintahan, pelayanan sosial, dan kegiatan ekonomi.
- Kawasan strategis adalah wilayah yang penataan ruangnya diprioritaskan karena mempunyai pengaruh sangat penting dalam lingkup kabupaten terhadap ekonomi, sosial, budaya, pariwisata dan/atau lingkungan.
- Pusat Kegiatan Wilayah yang selanjutnya disebut PKW adalah kawasan perkotaan yang berfungsi untuk melayani kegiatan skala provinsi atau beberapa kabupaten/kota.
- Pusat Kegiatan Lokal yang selanjutnya disebut PKL adalah kawasan perkotaan yang berfungsi untuk melayani kegiatan skala kabupaten/kota atau beberapa kecamatan.
- Pusat Pelayanan Kawasan yang selanjutnya disebut PPK adalah kawasan perkotaan yang berfungsi untuk melayani kegiatan skala kecamatan atau beberapa desa.

Pusat-pusat kegiatan dalam RTRW Kabupaten Buleleng disebutkan sebagai berikut:

- Pusat kegiatan Wilayah (PKW) adalah Kawasan Perkotaan Singaraja.
- Pusat kegiatan Lokal (PKL) terdiri atas Kawasan Perkotaan Seririt.
- Pusat pelayanan Kawasan (PPK) terdiri atas ;
 - o Kawasan Perkotaan Gerokgak di Kecamatan Gerokgak;
 - o Kawasan Perkotaan Celukan Bawang di Kecamatan Gerokgak;
 - o Kawasan Perkotaan Busungbiu di Kecamatan Busungbiu;
 - o Kawasan Perkotaan Banjar di Kecamatan Banjar;
 - o Kawasan Perkotaan Kalibukbuk di Kecamatan Buleleng;
 - o Kawasan Perkotaan Pancasari di Kecamatan Sukasada;
 - o Kawasan Perkotaan Sawan di Kecamatan Sawan;
 - o Kawasan Perkotaan Kubutambahan di Kecamatan Kubutambahan; dan
 - o Kawasan Perkotaan Tejakula di Kecamatan Tejakula.

Kabupaten Buleleng telah menyusun masterplan drainase untuk Kawasan Perkotaan Seririt, Perkotaan Pancasari, dan Perkotaan Singaraja. Selanjutnya perlu disusun masterplan sistem drainase perkotaan di tiap-tiap pusat kegiatan dan kawasan strategis berdasarkan RTRW Kabupaten Buleleng.

Studi Kelayakan

Setelah rencana induk sistem drainase disusun maka perlu disusun suatu studi kelayakan. Studi Kelayakan Sistem Drainase

Perkotaan disusun untuk mengukur tingkat kelayakan rencana pembangunan prasarana dan sarana Sistem Drainase Perkotaan di suatu wilayah pelayanan ditinjau dari aspek teknis, ekonomi dan lingkungan. Studi kelayakan disusun oleh penyelenggara sistem drainase perkotaan dan harus mendapatkan pengesahan dari pemerintah daerah (Pasal 11 Permen PUPR Nomor 12 Tahun 2014).

Pelaksanaan Teknis Terperinci

Tahapan perencanaan sistem drainase perkotaan didahului penyusunan rencana induk (masterplan) sistem drainase perkotaan. Berdasarkan muatan penyusunan rencana induk sistem drainase perkotaan akan tergambaran pembagian sistem drainase dan yang berfungsi sebagai pembuangan utama drainase adalah sungai. Dalam satu sistem drainase akan terdiri dari beberapa subsistem. Dalam satu sistem akan terdapat beberapa saluran primer, sekunder dan tersier. Penyusunan sistem drainase akan terdapat prioritas pelaksanaan pembangunan jangka pendek, menengah dan panjang.

Dari skala prioritas penanganan drainase ditindaklanjuti dengan studi kelayakan. Hasil studi kelayakan sangat penting terutama menyangkut kelayakan teknis, ekonomi dan lingkungan. Tahapan penyusunan ini sangat penting untuk perencanaan yang lebih detail. Penyusunan perencanaan teknik rinci saluran drainase melalui beberapa alternatif konstruksi yang disesuaikan dengan kondisi lapangan. Hasil dari penyusunan perencanaan teknik rinci saluran drainase berupa, gambar, spesifikasi teknik, laporan teknis dan rencana anggaran biaya yang nantinya akan digunakan sebagai pedoman pelaksanaan konstruksi saluran drainase di lapangan.

Pelaksanaan Konstruksi

Pelaksanaan konstruksi sistem drainase perkotaan meliputi kegiatan pembangunan baru dan/atau normalisasi. Pembangunan baru meliputi kegiatan membangun saluran, memperbanyak saluran, memperpanjang saluran, mengalihkan aliran, sistem polder, kolam tampung (*storage*) memanjang, kolam retensi. Normalisasi adalah kegiatan untuk memperbaiki saluran dan sarana drainase lainnya termasuk bangunan pelengkap sesuai dengan kriteria perencanaan (Pasal 15 Permen PUPR Nomor 12 Tahun 2014). Pelaksanaan konstruksi wajib mengikuti prinsip pelaksanaan konstruksi aman dan bersih (*clean construction*).

Dalam suatu konstruksi sistem drainase perkotaan, perlu dilakukan uji coba saluran drainase yang dilaksanakan pada prasarana dan sarana drainase yang dibangun agar dapat beroperasi sesuai dengan mutu dan fungsinya. Uji coba prasarana dan sarana sistem drainase sebagaimana pada saluran, bangunan perlintasan, bangunan pompa air, dan bangunan pintu air. Uji coba dilakukan dengan melakukan pengamatan dan pengukuran langsung di lapangan terhadap fungsi prasarana dan sarana sebelum pekerjaan konstruksi diserahkan kepada direksi teknik (Pasal 18 Permen PUPR Nomor 12 Tahun 2014).

Pelaksanaan pembangunan saluran drainase yang menjadi kewenangan pemerintah kabupaten yakni penanganan saluran drainase perkotaan di tingkat saluran primer, sekunder dan tersier. Konstruksi saluran drainase yang terbangun perlu mendapatkan penanganan berupa rehabilitasi dan pemeliharaan saluran drainase untuk mengoptimalkan fungsi dan kapasitas saluran.

Operasi dan Pemeliharaan

Operasi dan Pemeliharaan dilaksanakan untuk menjamin kelangsungan fungsi sistem drainase perkotaan dengan prinsip aman dan bersih yang mana operasi dan pemeliharaan drainase perkotaan primer, sekunder dan tersier menjadi tanggung jawab pemerintah kabupaten/kota. Selanjutnya, operasi dan pemeliharaan drainase perkotaan lokal, menjadi tanggung jawab pengelola kawasan dan kawasan permukiman yang dibangun oleh pelaku pembangunan menjadi tanggung jawab pelaku pembangunan dan/atau masyarakat berdasarkan peraturan perundangan. Pelaksanaan operasi dan pemeliharaan wajib mengikuti kaidah pelaksanaan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja dan Sistem Manajemen Lingkungan (Pasal 20 Permen PUPR Nomor 12 Tahun 2014).

Pengoperasian prasarana dan sarana drainase perkotaan dilakukan untuk memfungsikan secara optimal pengaturan aliran air dan pengelolaan sedimen. Pengoperasian prasarana dan sarana mencakup pintu air manual dan otomatis dan saringan sampah manual dan otomatis. Pengaturan aliran air dilakukan untuk mengendalikan sistem aliran air hujan agar mudah melewati belokan daerah curam, gorong-gorong, pertemuan saluran, bangunan terjun, jembatan, tali air (*street inlet*), pompa, pintu air. Sedangkan pengelolaan sedimen sebagaimana terdiri dari pengerukan, pengangkutan dan pembuangan sedimen secara aman (Pasal 21 Permen PUPR Nomor 12 Tahun 2014).

Pemeliharaan dilakukan untuk mencegah kerusakan dan/atau penurunan fungsi prasarana drainase dan perbaikan terhadap kerusakan prasarana drainase. Pelaksanaan pemeliharaan wajib mengikuti metode pelaksanaan bersih dan aman. Kegiatan Pemeliharaan meliputi (Pasal 22 Permen PUPR Nomor 12 Tahun 2014):

- a. Pemeliharaan rutin;
Pemeliharaan rutin paling sedikit meliputi kegiatan pengangkutan sampah manual/otomatis, pengerukan sedimen dari saluran, dan pemeliharaan *mechanical electrical*.
- b. Pemeliharaan berkala;
Pemeliharaan berkala paling sedikit meliputi kegiatan penggelontoran, pengerukan sedimen saluran/kolam/bak kontrol/gorong-gorong/syphon/kolam tandon/kolam retensi, dan pemeliharaan *mechanical electrical*.
- c. Rehabilitasi;
Rehabilitasi meliputi kegiatan, antara lain: penggantian atau perbaikan saluran, pompa/pintu air, perbaikan tanggul,

penggantian atau perbaikan saringan sampah, perbaikan kolam tampung dan perbaikan kolam tandon/kolam retensi akibat penurunan fungsi maupun darurat (bencana alam).

Rekomendasi

1. Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan

- 1) Perlu adanya bangunan baru berupa pintu air yang digunakan untuk mengatur tinggi ambang air irigasi dan juga dapat mengatur air banjir. Manajemen operasional pintu air perlu didiskusikan bersama dengan beberapa instansi terkait antara lain Dinas PUTR, Dinas Pertanian dan Subak untuk menentukan pihak mana yang bertanggung jawab terhadap operasional pintu air berdasarkan kewenangannya masing-masing.
- 2) Perlu dibentuk suatu forum bersama yang melibatkan semua pihak yang berkepentingan dalam pengelolaan drainase yang dikoordinir oleh Dinas PUTR Kabupaten Buleleng (sesuai dengan amanat Permen PUPR No. 12 tahun 2014, pasal 4 ayat 4). Kewenangan masing-masing instansi pemerintah perlu dipertegas.
- 3) Diperlukan pemisahan antara saluran drainase dengan pembuangan limbah rumah tangga di wilayah perkotaan.
- 4) Sudah saatnya dilakukan penerapan drainase berwawasan lingkungan untuk mengurangi debit aliran permukaan misalnya dengan pembuatan sumur resapan, kolam retensi atau waduk konservasi.
- 5) Penerapan dan pergantian sistem pintu pada pembagian air/peluap ambang lebar pada saluran berfungsi ganda.
- 6) Harus ada koordinasi antar instansi dalam penyelenggaraan sistem drainase dengan mengoptimalkan pengoperasian pintu intake terutama saat terjadinya hujan.

2. Operasi Dan Pemeliharaan (O & P)

- 1) Harus dilakukan studi/review rencana induk sistem drainase perkotaan dan penyediaan studi rencana induk sistem drainase terutama pada Pusat Kegiatan Wilayah (PKW), Pusat Kegiatan Lokal (PKL) dan Pusat Pelayanan Kawasan (PPK).
- 2) Titik lokasi yang meliputi koordinat dan ketinggian (elevasi) bangunan pelengkap sistem drainase dibuat dalam peta database dilengkapi dengan GIS yang dapat diakses secara daring oleh pihak-pihak yang berkepentingan untuk memudahkan koordinasi dalam kegiatan O & P.
- 3) Peluap/ambang pada saluran berfungsi ganda secara permanen harus didesain dengan sistem pintu untuk memudahkan O & P.
- 4) Perlu disediakan harus ada jalan inspeksi pada saluran pembuangan irigasi menuju laut yang berlokasi di sebelah utara jalan nasional untuk memudahkan O & P.
- 5) Pemeliharaan saluran drainase di kawasan permukiman diarahkan pengelolaannya berbasis masyarakat.

- 6) Pemeliharaan saluran drainase di kawasan permukiman yang dibangun oleh pelaku pembangunan menjadi tanggung jawab pelaku pembangunan.
 - 7) Ruang di atas saluran drainase tidak boleh dimanfaatkan untuk bangunan sehingga mengganggu kegiatan O & P.
3. Peran Pemerintah, Swasta dan Masyarakat.
- 1) Peran pemerintah dalam mewujudkan sistem drainase perkotaan berwawasan lingkungan harus diterapkan di masing-masing instansi, pertamanan, ruang parkir, ruang terbuka lainnya, fasilitas umum dan sosial.
 - 2) Peran masyarakat dan swasta dalam penyelenggaraan sistem drainase perkotaan dapat dilakukan pada setiap tahapan, mulai dari perencanaan, pelaksanaan konstruksi, operasi dan pemeliharaan serta pemantauan dan evaluasi.
 - 3) Peran masyarakat dalam penyelenggaraan sistem drainase perkotaan dapat berupa:
 - a. Menyediakan sumur resapan, kolam tandon, kolam retensi, sesuai dengan karakteristik kawasan;
 - b. Mencegah sampah dan air limbah masuk ke saluran;
 - c. Melakukan pemeliharaan dan pembersihan drainase lokal di lingkungannya;
 - d. Mencegah pendirian bangunan di atas saluran dan jalan inspeksi;
 - e. Mengelola sistem drainase kawasan secara swadaya;
 - f. Menyampaikan informasi tentang penanganan drainase kepada pemerintah kabupaten/kota.
 - 4) Peran swasta dalam penyelenggaraan sistem drainase perkotaan dapat berupa:
 - a. Menyediakan sumur resapan, kolam tandon, kolam retensi atau kolam tampung di kawasan permukiman yang menjadi tanggungjawabnya;
 - b. Mencegah sampah dan air limbah masuk ke saluran;
 - c. Melakukan pembangunan saluran dan bangunan pelengkap di kawasan permukiman yang terintegrasi dengan sistem drainase kota;
 - d. Melakukan operasi dan pemeliharaan sistem drainase di kawasan permukiman yang menjadi tanggung jawabnya;
 - e. Mencegah pendirian bangunan di atas saluran dan jalan inspeksi;
 - f. Menyampaikan informasi tentang penanganan drainase kepada pemerintah kabupaten/kota.
 - g. Peran swasta dapat dilakukan setelah mendapat izin dari bupati

Untuk menindak lanjuti hasil kajian penyelenggaraan sistem drainase perkotaan Kabupaten Buleleng harus dilakukan penyusunan peraturan daerah penyelenggaraan sistem drainase perkotaan Kabupaten Buleleng.

Simpulan

1. Pada saluran yang berfungsi ganda sebagai saluran drainase dan irigasi perlu adanya bangunan baru berupa pintu air yang digunakan untuk mengatur tinggi ambang air irigasi dan juga dapat mengatur air banjir. Manajemen operasional pintu air perlu didiskusikan bersama dengan beberapa instansi terkait antara lain Dinas PUTR, Dinas Pertanian dan Subak untuk menentukan pihak mana yang bertanggung jawab terhadap operasional pintu air berdasarkan kewenangannya masing-masing. Selain itu, perlu dibentuk suatu forum bersama yang melibatkan semua pihak yang berkepentingan dalam pengelolaan drainase yang dikoordinir oleh Dinas PUTR Kabupaten Buleleng (sesuai dengan amanat Permen PUPR No. 12 tahun 2014, pasal 4 ayat 4). Kewenangan masing-masing instansi pemerintah perlu dipertegas.
2. Pada dasarnya sistem drainase di Kabupaten Buleleng sudah terselenggara dengan cukup baik, hanya saja terkendala oleh adanya tumpang tindih fungsi saluran irigasi dan drainase, kedisiplinan warga dalam pengelolaan sampah dan lintas kewenangan dalam pengelolaannya. Kondisi topografi Kabupaten Buleleng yang memanjang dari barat ke timur cenderung curam di bagian selatan dengan daerah permukiman yang terkonsentrasi di lokasi dengan elevasi landai. Lokasi permukiman ini luasnya cukup sempit sehingga menyebabkan tingginya laju air banjir. Hal ini ditambah dengan cukup pesatnya peralihan fungsi dari lahan tertutup vegetasi menjadi lahan terbangun menyebabkan debit banjir semakin meningkat akibat tingginya koefisien pengaliran. Sistem drainase di Kabupaten Buleleng sebaiknya dikelola berdasarkan prinsip-prinsip drainase berwawasan lingkungan seperti memaksimalkan ruang terbuka hijau, penggunaan sumur resapan dan pemanenan air hujan. Kearifan lokal Bali seperti penggunaan *telajakan*, *teba* dan *song sombah* perlu diterapkan kembali senada dengan visi pembangunan Bali yang mengutamakan keharmonisan alam Bali beserta isinya. Hal ini perlu ditunjang dengan pembentukan sebuah forum bersama yang melibatkan semua pihak yang berkepentingan dalam pengelolaan drainase yang dikoordinir oleh Dinas PUPR Kabupaten Buleleng. Di dalam forum ini, kewenangan masing-masing instansi pemerintah perlu dipertegas. Sejalan dengan hal ini, dapat dibentuk juga sebuah database sistem drainase dalam suatu peta yang terintegrasi dan dapat diakses oleh pihak-pihak yang berkepentingan. Dalam rangka melaksanakan peraturan dan ketentuan nasional dalam pengelolaan tata ruang dan sistem drainase, perlu dirumuskan peraturan daerah untuk mewadahi pengelolaan drainase stempat. Untuk menindak lanjuti hasil kajian penyelenggaraan sistem drainase perkotaan Kabupaten Buleleng, harus dilakukan penyusunan peraturan daerah penyelenggaraan sistem drainase perkotaan Kabupaten Buleleng.

Daftar Pustaka

- Asdak, C. (2020). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai* 8th ed.. Gadjah Mada University Press.
- Dwivedi, D. A. K., Patil, V. B., & Karankal, A. B. (2013). Rooftop Rain Water Harvesting for Groundwater Recharge in an Educational Complex. *Global Journal of Research in Engineering*.
- Indonesia. (2021). *Penyelenggaraan Penataan Ruang, PP No. 21 Tahun 2021*. Jakarta.
- Kabupaten Buleleng. (2013). *Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Buleleng 2013-2033, Perda Buleleng Nomor 3 Tahun 2013*. Singaraja.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2014a). *Pengelolaan Air Hujan pada Bangunan Gedung dan Persilnya, Permen PUPR No. 11/PRT/M/2014 Tahun 2014*. Jakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2014b). *Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan, No. 12/PRT/M/2014*. Jakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2014c). *Standar Pelayanan Minimal Bidang Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang, Permen PUPR No. 01/PRT/M/2014 Tahun 2014*. Jakarta.
- Kodoatie, R. J. (2021). *Rekayasa dan Manajemen Banjir Kota*. Penerbit Andi.
- Kodoatie, R. J., & Sjarief, R. (2010). *Tata Ruang Air*. Penerbit Andi.
- Maryono, A. (2022). *Memanen Air Hujan (Rainwater Harvesting)*. UGM Press.
- Maryono, A., & Santoso, E. N. (2006). Metode memanen dan memanfaatkan air hujan untuk penyediaan air bersih, mencegah banjir dan kekeringan. *Petunjuk Praktis Pembangunan Penampung Air Hujan, Standar Dinas Pekerjaan Umum*.
- Sri Harto, B. (1993). *Analisis Hidrologi*. Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama.
- Subawa, I. (2020). Nilai Teologis Arsitektur Tradisional Masyarakat Hindu di Bali. *Sphatika: Jurnal Teologi*, 10(2), 21. <https://doi.org/10.25078/sp.v10i2.1548>
- Suripin. (2004). *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*. Andi Offset.
- Triyono, Maryono, A., Fandeli, C., & Setyono, P. (2021). Rainwater harvesting as social capital for urban water supply: Mitigation of floods and droughts. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 683(1), 012144. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/683/1/012144>
- Tucunan, K. P., Ariastita, P. G., Setiawan, Navastara, A. M., & Medha, A. N. (2018). Rain water harvesting: Barrier, potency and projections. Case study: Keputih, Kejawan and Gebang Putih Surabaya. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 202, 012069. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/202/1/012069>
- Utama, I., & Agustana, P. (2021). Manajemen Drainase Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang (PUTR) Kabupaten Buleleng dalam Mengatasi Banjir di Kota Singaraja. *Locus*, 13(2), 18–31. <https://doi.org/10.37637/locus.v13i2.766>