

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1. Drainase

Drainase merupakan sebuah sistem yang dibuat untuk menanggulangi persoalan kelebihan air yang berada di atas permukaan tanah. Kelebihan air dapat disebabkan oleh intensitas hujan yang tinggi. Drainase secara umum dapat didefinisikan sebagai suatu tindakan teknis untuk mengurangi kelebihan air, baik berasal dari air hujan, rembesan, maupun kelebihan air irigasi dari suatu kawasan sehingga fungsi lahan tidak terganggu (Suripin 2004). Sistem drainase didefinisikan sebagai serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi dan/atau membuang kelebihan air dari suatu kawasan, sehingga dapat difungsikan secara optimal (Suripin 2004).

Drainase perkotaan adalah ilmu drainase yang khusus mengkaji kawasan perkotaan yang erat kaitannya dengan kondisi lingkungan fisik dan lingkungan sosial budaya yang ada di kawasan kota tersebut (Wesli 2008). Drainase Perkotaan merupakan sistem pengeringan dan pengaliran air dari wilayah perkotaan yang meliputi: pemukiman, kawasan industri dan perdagangan, sekolah, rumah sakit, fasilitas umum lainnya yang merupakan bagian dari sarana kota. Drainase dalam kota mempunyai fungsi sebagai berikut:

- a. Untuk mengalirkan genangan air atau banjir ataupun air hujan dengan cepat dari permukaan jalan.
- b. Untuk mencegah aliran air yang berasal dari daerah lain atau daerah disekitar jalan yang masuk ke daerah perkerasan jalan.
- c. Untuk mencegah kerusakan jalan dan lingkungan yang diakibatkan oleh genangan air.

Pada lahan perkotaan tertumpuk bahan polutan berupa debu dan sampah organik yang berpotensi mencemari lingkungan hidup. Curah hujan yang terjadi membawa polutan ke dalam sistem drainase dan dialirkan ke badan air penerima sambil dinetralisir secara alami. Suatu badan air seperti sungai secara alami mempunyai kemampuan untuk menetralsiasi polutan yang memasuki alirannya dalam jumlah tertentu menjadi zat-zat anorganik yang tidak mencemari lingkungan. Air buangan berupa air hujan dan limbah harus diatur alirannya melewati sistem drainase dan dialirkan ke tempat penampungan akhir di mana sistem drainase bermuara. Arah aliran akan ditentukan melewati sistem

drainase dan kecepatan alirannya dapat diatur sebaik mungkin sehingga tidak terjadi penggerusan atau pengendapan pada saluran-saluran drainase.

Sistem drainase perkotaan umumnya dibagi atas dua bagian yaitu, sistem drainase makro yaitu sistem saluran yang menampung dan mengalirkan air dari suatu daerah tangkapan air hujan (*Catchment Area*). Pada umumnya sistem drainase makro ini disebut juga sebagai sistem saluran pembuangan utama (*major system*) atau drainase primer. Sistem jaringan ini menampung aliran yang berskala besar dan luas seperti saluran drainase primer, kanal-kanal atau sungai-sungai. Perencanaan drainase makro ini umumnya dipakai dengan periode ulang antara 5 sampai 10 tahun dan pengukuran topografi yang detail mutlak diperlukan dalam perencanaan sistem drainase ini. Sistem drainase mikro yaitu sistem saluran dan bangunan pelengkap drainase yang menampung dan mengalirkan air dari daerah tangkapan hujan. Secara keseluruhan yang termasuk dalam sistem drainase mikro adalah saluran di sepanjang sisi jalan, saluran air hujan di sekitar bangunan, gorong-gorong, saluran drainase kota dan lain sebagainya dimana debit air yang dapat ditampungnya tidak terlalu besar. Pada umumnya drainase mikro ini direncanakan untuk hujan dengan masa ulang 2, 5 atau 10 tahun tergantung pada tata guna lahan yang ada. Sistem drainase untuk lingkungan permukiman lebih cenderung sebagai sistem drainase mikro.

2.2. Konsep Drainase Berkelanjutan

Sistem drainase berkelanjutan merupakan salah satu pemanfaatan sistem drainase pada kawasan perkotaan yang berfungsi mengelola air permukaan sehingga tidak menimbulkan masalah genangan, banjir, dan kekeringan bagi masyarakat, serta bermanfaat bagi kelestarian lingkungan hidup. Terdapat perubahan paradigma sistem drainase konvensional dari sistem drainase yang langsung mengalirkan air menuju drainase ramah lingkungan (*ecodrain*). Prinsip dari *ecodrain* adalah memperbaiki kualitas air pada sistem drainase, menurunkan beban drainase dan melibatkan peran serta masyarakat dalam pengelolaan prasarana drainase (Suripin 2004).

Konsep drainase yang berwawasan lingkungan dengan “*Low Impact Development*” (*LID*) adalah sistem drainase yang berwawasan lingkungan dengan upaya mempertahankan kondisi alam dan hidrologi seperti kondisi awal sebelum dilakukan pembangunan. Pembangunan berdampak rendah memungkinkan potensi pengembangan yang lebih besar dengan dampak lingkungan yang lebih sedikit menggunakan kontrol air

banjir yang didistribusikan di lokasi yang mencapai keseimbangan yang baik antara konservasi, pertumbuhan, perlindungan ekosistem, dan keselamatan publik (Guo 2009).

Dalam konsep drainase dengan LID memiliki lima elemen kunci yaitu :

- a. Rancangan sistem drainase LID harus menyesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi lokasi (kearifan lokal).
- b. Konservasi pada vegetasi (tutupan lahan) dan memelihara sistem drainase alami.
- c. Mengalirkan air hujan ke badan air dan mengatur infiltrasi pada daerah genangan air alami dan buatan sampai pada akuifer.
- d. Kontrol dengan skala kecil, konsep drainase ini meniru proses hidrologi awal.
- e. Pemeliharaan dan pengelolaan drainase melibatkan peran serta masyarakat sebagai subjek dan penerima manfaat.

Low Impact Development (LID) merupakan pendekatan manajemen aliran air permukaan yang inovatif dengan prinsip dasar memodelkan secara alami pengelolaan limpasan dari curah hujan dan penggunaan air perkotaan yang terdistribusi secara seragam. Tujuan LID adalah untuk meniru pengembangan siklus hidrologi dengan menggunakan praktik desain dan teknik yang secara efektif menangkap, menyaring, menyimpan, menguap, menahan, dan infiltrasi limpasan dekat dengan sumbernya. Hal ini dapat dicapai dengan menciptakan desain yang mengarahkan air limpasan ke area vegetasi dengan tanah hasil rekayasa, melindungi tanaman vegetasi asli, ruang terbuka hijau, dan mengurangi jumlah perkerasan permukaan tanah atau pemadatan tanah.

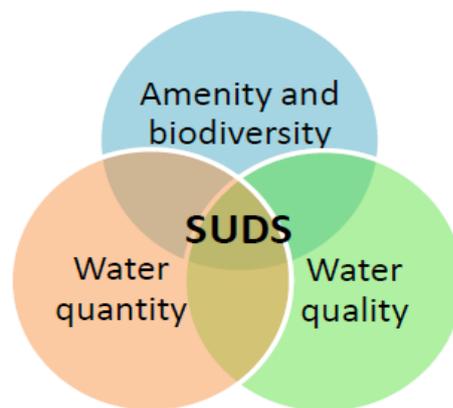
Pertumbuhan kota harus direncanakan dengan cermat, untuk menghadapi perubahan hidrologis yang relevan, yang disebabkan oleh efek urbanisasi. Seringkali, peningkatan area permukaan yang tidak kedap air adalah penyebab utama dari terjadinya banjir perkotaan. Untuk alasan ini, konsep desain drainase perkotaan baru telah diteliti dalam beberapa dekade terakhir, mencari pendekatan manajemen air hujan yang lebih berkelanjutan. Langkah-langkah penyimpanan dan infiltrasi, didistribusikan di daerah aliran sungai dan diintegrasikan dengan lanskap perkotaan, harus diperkenalkan untuk mengurangi puncak banjir dan mengatur kembali pola aliran banjir (Miguez et al. 2012).

Sistem drainase perkotaan yang berkelanjutan (*Sustainable Urban Drainage System*, SUDS) dipahami sebagai teknik hijau dan solusi desain yang meniru proses alami dari drainase air hujan. Ide dasar dari SUDS tidak begitu banyak dalam teknik tertentu

sebagai pendekatan desain umum, dicirikan oleh hal-hal berikut (European Regional Development Fund 2013):

- a. Sistem terpadu mengelola limpasan air hujan, yang terdiri dari sejumlah tahap perawatan.
- b. Kemampuan untuk menangani limpasan air hujan dalam peristiwa hujan ekstrim.
- c. Multi-fungsi, kemudahan, ekologi dengan langkah-langkah manajemen air hujan dan menambahkan fitur pengelolaan air untuk elemen ruang publik.
- d. Efisiensi biaya dan kemudahan pemeliharaan.

Konsep drainase perkotaan yang berkelanjutan mencakup tiga aspek utama sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Berbagai Keuntungan Diterapkannya SUDS (European Regional Development Fund 2013)

Filosofi SUDS bertujuan untuk mencegah masalah yang timbul ketika aliran limbah tercemar mengalir dari pembangunan, menggunakan konsep dan teknik baru yang mengumpulkan, membersihkan, dan menyimpan air sebelum melepaskannya secara perlahan ke lingkungan alam (Robert Bray Associates Ltd 2013). Isu pengelolaan limpasan air hujan yang berkelanjutan membutuhkan strategi berbeda untuk mengintegrasikan komponen-komponen dalam pemerintah maupun masyarakat yang membutuhkan sistem informasi dan pemahaman dari setiap keputusan yang diambil. Informasi mengenai SUDS dapat dikumpulkan dari berbagai sumber literatur yang berbeda, tetapi ada juga alternatif lain seperti pemodelan, meskipun membutuhkan data yang akurat. Konteks desain perkotaan yang mendasar adalah bagaimana mengelola air hujan perkotaan dengan menerapkan prinsip keberlanjutan. Pemahaman keberlanjutan menerapkan pengelolaan curah hujan dengan menyatukan tujuan ekologis dan teknis

dengan tidak membatasi perkembangan kota. Kriteria tentang SUDS yang dikembangkan meliputi berbagai elemen yang terpadu untuk keberlanjutan SUDS (Sánchez et al. 2017) dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Kriteria Utama Evaluasi SUDS (Sánchez et al. 2017)

No.	Kriteria Sustainability	
	Kategori	Kriteria Utama
1.	Karakteristik Ruang Area	Lokasi yang Ditempati
		Karakteristik Tanah dan Lapisan Bawah Tanah
2.	Kinerja Teknis dan Ilmiah	Kinerja Sistem (kuantitas dan kualitas)
		Keandalan Sistem
		Daya Tahan Sistem
		Fleksibilitas Sistem dan Kapasitas Adaptasi
		Dampak Terhadap Sistem Drainase
3.	Dampak Lingkungan	Dampak Volume Air
		Dampak Kualitas Air
		Dampak Ekologis
		Penggunaan Sumber Daya
4.	Manfaat Sosial dan Komunitas Perkotaan	Layanan, Estetika, Akses, Manfaat bagi Masyarakat
		Informasi Publik, Pendidikan, Kepekaan
		Aseptabilitas Pihak yang Berkepentingan, Persepsi dan Sikap terhadap Resiko dan Manfaat.
		Resiko Kesehatan dan Keamanan
5.	Efektivitas dan Pemeliharaan	Kontribusi untuk Pembangunan Berkelanjutan
		Pemeliharaan, Penyediaan, dan Tanggung Jawab Sistem
		Kinerja Integritas, Kesehatan, dan Keamanan
		Manajemen Resiko
		Desain Kehidupan
6.	Perhitungan Biaya Ekonomi	Resiko Keuangan
		Keterjangkauan
		Biaya Siklus Hidup
		Biaya Tanah

Prinsip menyeluruh dari desain SUDS adalah bahwa limpasan air permukaan harus dikelola untuk manfaat maksimal. Jenis manfaat yang dapat dicapai oleh SUDS akan tergantung pada lokasi, tetapi secara luas dapat dibagi menjadi empat kategori: kuantitas air, kualitas air, kemudahan, dan keanekaragaman hayati. Ini juga disebut sebagai empat pilar desain SuDS. Kriteria desain ini memberikan pertimbangan penuh untuk semua jenis pengembangan. Cakupan dan metode setiap kriteria dapat diterapkan bergantung pada karakteristik lokasi, konteks pembangunan, dan keuntungan lokasi. Kriteria kuantitas dan kualitas air kemungkinan menjadi pendorong utama dalam menentukan filosofi desain untuk suatu lokasi, dan ini didukung oleh standar tingkat pelayanan untuk sistem pengelolaan air permukaan. Memaksimalkan kemudahan pada kriteria keanekaragaman hayati akan sering memberikan berbagai hasil perencanaan lain yang diperlukan untuk

lokasi. Kriteria SUDS tidak independen satu sama lain tetapi saling terkait, misalnya, sistem bioretensi yang diterapkan pada area jalan perkotaan dapat memenuhi semua kriteria secara bersamaan, adapun jenis kriteria SUDS yang disampaikan dalam manual SUDS dari *CIRIA Publications* London (Kellagher 2015) dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Kriteria Desain untuk SUDS (Kellagher 2015)

No.	Kategori	Kriteria Desain
1.	Kuantitas Air	Penggunaan Limpasan Air untuk Sumber Daya
		Mendukung Manajemen Resiko Banjir di Daerah Tangkapan Air
		Melindungi Morfologi dan Ekologi dalam Menerima Air Permukaan
		Melestarikan dan Melindungi Sistem Hidrologi Alami di Lokasi
		Efektifitas Drainase di Lokasi
		Pengelolaan Resiko Banjir di Lokasi
		Fleksibilitas Desain dalam Beradaptasi Perubahan di Masa Depan
2.	Kualitas Air	Mendukung Pengelolaan Kualitas Air pada Air Permukaan dan Air Tanah
		Desain Sistem Ketahanan Menghadapi Perubahan Masa Depan
3.	Ramah Lingkungan	Memaksimalkan Multi Fungsi
		Meningkatkan Karakter Visual
		Memberikan Sistem Pengelolaan Air Permukaan yang Aman
		Memaksimalkan Kualitas Pengamatan
		Mendukung Pemahaman Lingkungan pada Masyarakat
4.	Keanekaragaman Hayati	Mendukung dan Melindungi Habitat dan Spesies lokal secara Alami
		Berkontribusi pada Pencapaian Tujuan Keanekaragaman Hayati Lokal
		Berkontribusi pada Konektivitas Habitat
		Menciptakan Ekosistem yang Beragam, Mandiri, dan Tangguh

2.3. Sistem Drainase Jalan Raya

Drainase jalan raya merupakan prasarana jalan raya yang berfungsi untuk mengalirkan air permukaan yang melalui jalan raya dan dialirkan ke sungai atau penampungan lain, sesuai dengan konsep drainase berkelanjutan bisa diresapkan ke dalam tanah. Dalam merencanakan sistem drainase jalan raya berdasarkan pada keberadaan air permukaan dan bawah permukaan (Departemen Pekerjaan Umum 2006). Dalam penelitian ini sistem drainase jalan yang digunakan adalah sistem drainase jalan permukaan (*surface drainage*). Demikian juga mengenai variabel atau elemen-elemen yang terkait dengan drainase berkelanjutan disampaikan dalam pembahasan drainase jalan raya ini.

2.3.1. Beban Drainase Jalan Raya

Beban drainase jalan raya berasal dari aliran permukaan yang ada disekitar jalan raya dengan luasan areal di samping kanan dan kiri jalan raya dengan panjang 10 meter,

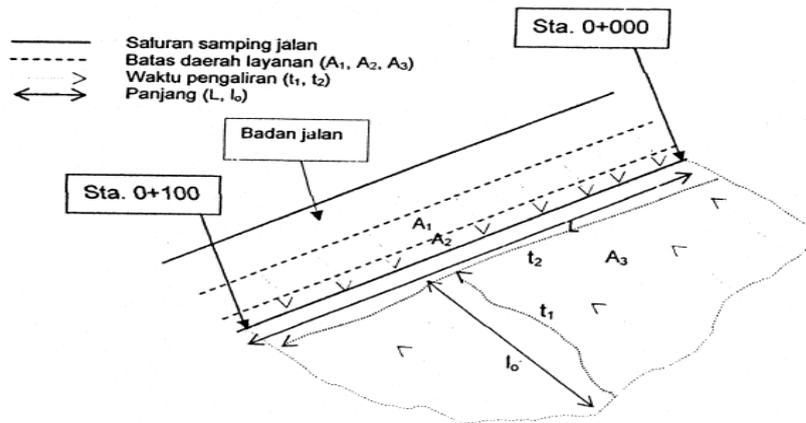
disamping itu juga semua areal yang ada di jalan raya baik badan jalan, bahu jalan, median, trotoar, dan daerah milik jalan (Departemen Pekerjaan Umum 2006). Daerah beban drainase juga terpengaruh oleh kondisi topografi wilayah yang ada di daerah sekitar jalan raya yang ditinjau dalam perencanaan, baik itu kondisi datar atau kondisi wilayah dengan kemiringan. Dengan demikian drainase jalan raya bertujuan mengumpulkan air aliran permukaan yang ada disekitar wilayah jalan raya dan mengelola air tersebut sebelum dialirkan atau diinfiltrasikan ke dalam tanah.

Aspek terpenting dalam drainase jalan raya adalah melindungi jalan dari aliran permukaan akibat curah hujan maupun pengaruh air tanah. Genangan air di permukaan jalan memperlambat kendaraan dan memberikan pengaruh terjadinya gangguan terhadap lalu lintas di jalan raya. Demikian juga pengaruh air terhadap struktur jalan berakibat lemahnya perkerasan jalan dan tanah dasar, yang menimbulkan kerusakan pada permukaan jalan dan mengganggu kelancaran lalu lintas. Berdasarkan fungsinya drainase jalan dibedakan menjadi drainase permukaan dan bawah permukaan. Drainase permukaan ditunjukkan untuk menghilangkan air hujan dari permukaan jalan sehingga lalu lintas dapat berjalan dengan aman dan lancar, sedangkan drainase bawah permukaan berfungsi mencegah masuknya air kedalam struktur jalan atau menangkap dan mengeluarkan air dari struktur jalan.

Perencanaan drainase jalan raya yang dilakukan adalah drainase permukaan yang merupakan sarana untuk mengalirkan air dari suatu tempat ke tempat lain dengan melalui jaringan saluran yang umumnya berbentuk saluran terbuka. Prasarana yang dibuat berbentuk alami atau buatan berfungsi memutuskan dan menyalurkan air permukaan ataupun air tanah dengan menggunakan gaya gravitasi (Departemen Pekerjaan Umum 2006).

1. Luas Daerah Layanan Drainase Jalan Raya (A)

Perhitungan luas daerah layanan berdasarkan pada panjang segmen jalan. Luas daerah layanan terdiri atas luas setengah badan jalan (A_1), luas bahu jalan (A_2), dan luas daerah sekitar (A_3). Panjang daerah pengaliran yang diperhitungkan terdiri atas setengah lebar badan jalan (l_1), lebar bahu jalan (l_2), dan daerah sekitar (l_3) yang terbagi atas daerah perkotaan yaitu ± 10 m dan untuk daerah luar kota yang didasarkan pada topografi daerah, dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Daerah Pengaliran Saluran Samping Jalan (Departemen Pekerjaan Umum 2006)

2. Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi digunakan untuk memperhitungkan besarnya debit aliran yang ditampung dan dialirkan oleh saluran samping dan gorong-gorong. Data masukan yang pertama-tama diolah adalah data curah hujan yang masih merupakan data mentah. Data curah hujan yang digunakan data curah hujan maksimum dalam setahun, dinyatakan dalam mm/hari. Jika daerah layanan tidak memiliki data curah hujan, maka dapat digunakan data dari stasiun diluar daerah layanan yang dianggap masih dapat mewakili, jumlah data curah hujan yang diperlukan minimal 10 tahun terakhir. Karakteristik periode ulang hujan menunjukkan bahwa hujan yang besar tertentu mempunyai periode ulang tertentu, periode ulang untuk pembangunan saluran drainase ditentukan 5 tahun, disesuaikan dengan peruntukannya.

3. Memperkirakan Laju Aliran Puncak

Metode yang dipakai dalam menentukan laju aliran puncak (debit banjir) ditentukan oleh ketersediaan data. Perkiraan debit banjir dilakukan dengan pertimbangan teknis memakai metode umum yang dipakai yaitu metode rasional dan metode hidrograf banjir. Metode rasional dikembangkan berdasarkan asumsi bahwa hujan yang terjadi mempunyai intensitas seragam dan merata diseluruh daerah aliran sungai selama paling sedikit sama dengan waktu konsentrasi daerah aliran sungai. Untuk menghitung debit aliran air (Q) menggunakan rumus Metode Rasional, Persamaan 2.1.

$$Q = 0,0000002778 C x I x A \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana:

- Q = debit aliran air (m³/detik)
- C = koefisien pengaliran rata-rata dari C₁, C₂, C₃
- I = intensitas curah hujan (mm/jam)
- A = luas daerah layanan (m²) terdiri dari A₁, A₂, A₃

- a. Koefisien pengaliran (C), koefisien pengaliran sebagai nisbah antara puncak aliran permukaan terhadap intensitas hujan. Faktor utama yang mempengaruhi adalah laju infiltrasi tanah atau prosentase lahan kedap air, kemiringan lahan, dan intensitas hujan. Angka ini akan mempengaruhi debit yang mengalir, sehingga dapat diperkirakan daya tampung saluran. Dalam hal ini diperlukan peta topografi dan jenis sifat erosi tanah. Nilai koefisien pengaliran (C) terdapat dalam Tabel 2.1.
- b. Waktu konsentrasi (T_c), waktu terpanjang yang dibutuhkan untuk seluruh daerah layanan dalam menyalurkan aliran air secara simultan (*runoff*) setelah melewati titik-titik tertentu. Waktu konsentrasi untuk saluran terbuka dihitung dengan Persamaan 2.2, sampai dengan Persamaan 2.4.

$$T_c = t_o + t_d \dots\dots\dots (2.2)$$

$$t_o = \left(\frac{2}{3} \times 3,28 \times l_o \times \frac{nd}{\sqrt{i_s}}\right)^{0,167} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$t_d = \frac{L}{60 \times V} \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana:

- T_c = waktu konsentrasi (menit)
- t_o = waktu untuk mencapai awal saluran dari titik terjauh (menit)
- t_d = waktu aliran dalam saluran sepanjang L dari ujung saluran (menit)
- l_o = jarak titik terjauh ke fasilitas drainase (m)
- L = panjang saluran (m)
- nd = koefisien hambatan
- i_s = kemiringan saluran memanjang
- V = kecepatan air rata-rata pada saluran drainase (m/detik)

- c. Intensitas curah hujan yang merupakan ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu dimana air tersebut berkonsentrasi, intensitas curah hujan (i) mempunyai satuan mm/jam. Selanjutnya untuk menentukan intensitas hujan digunakan rumus *Mononobe* yaitu Persamaan 2.5.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t}\right)^{2/3} \dots\dots\dots(2.5)$$

dimana:

I = intensitas hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan

R₂₄ = curah hujan maksimum harian (selama 24 jam) (mm)

4. Analisis Hidrolika

Analisis hidrolika dilakukan untuk menganalisis tipe, dimensi, dan posisi saluran drainase, untuk mengalirkan volume air tertentu dalam waktu tertentu. Perencanaan saluran drainase jalan raya digunakan saluran terbuka dengan jenis aliran terbuka (*open channel*). Pemilihan jenis material untuk saluran umumnya ditentukan oleh besarnya kecepatan rencana aliran air yang akan melewati saluran. Disamping itu juga kecepatan aliran ditentukan oleh sifat hidrolis penampang saluran, salah satunya adalah kemiringan saluran. Komponen perhitungan penampang saluran dengan penampang segi empat adalah sebagai berikut:

Jari – jari hidrolis (R) dari penampang saluran seperti Persamaan 2.6.

$$R = \frac{B \times H}{B + 2H} \dots\dots\dots (2.6)$$

Kecepatan aliran pada saluran Persamaan 2.7.

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times i_s^{1/2} \dots\dots\dots (2.7)$$

Sedangkan debit aliran pada saluran Persamaan 2.8.

$$Q_s = F \times V \dots\dots\dots (2.8)$$

dimana:

B = lebar atas

H = tinggi muka air

V = kecepatan aliran

R = jari-jari hidrolis

i_s = kemiringan saluran

Q_s = debit aliran

F = luas penampang saluran

Kemiringan memanjang saluran ditentukan dengan Persamaan 2.9.

$$i_s = \left(\frac{V \times n}{R^{2/3}} \right)^2 \dots\dots\dots (2.9)$$

dimana:

V = kecepatan aliran (m/detik)

- n = koefisien kekasaran *manning*
 R = (F/P) jari-jari hidrolis (m)
 F = luas penampang (m²)
 P = keliling basah
 i_s = kemiringan memanjang saluran

Nilai koefisien kekasaran Manning dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Angka Kekasaran *Manning* (*n*) (Departemen Pekerjaan Umum 2006)

No.	Tipe Saluran	Baik Sekali	Baik	Sedang	Jelek
SALURAN BUATAN					
1.	Saluran tanah, lurus teratur.	0,017	0,020	0,023	0,025
2.	Saluran tanah yang dibuat dengan excavator.	0,023	0,028	0,030	0,040
3.	Saluran pada dinding batuan, lurus, teratur.	0,020	0,030	0,033	0,035
4.	Saluran pada dinding batuan, tidak lurus, tidak teratur.	0,035	0,040	0,045	0,045
5.	Saluran batuan yang diledakkan, ada tumbuh-tumbuhan.	0,025	0,030	0,035	0,040
6.	Dasar saluran dari tanah, sisi saluran berbatu.	0,028	0,030	0,033	0,035
7.	Saluran lengkung, dengan kecepatan aliran rendah.	0,020	0,025	0,028	0,030
SALURAN ALAM					
8.	Bersih, lurus, tidak berpasir dan tidak berlubang.	0,025	0,028	0,030	0,033
9.	Seperti No.8 tapi ada timbunan atau kerikil.	0,030	0,033	0,035	0,040
10.	Melengkung, bersih, berlubang dan berdinding pasir.	0,030	0,035	0,040	0,045
11.	Seperti No.10 dangkal, tidak teratur.	0,040	0,045	0,050	0,055
12.	Seperti No.10, berbatu dan tidak ada tumbuh-tumbuhan.	0,035	0,040	0,045	0,050
13.	Seperti No.11 sebagaimana berbatu.	0,045	0,050	0,055	0,060
14.	Aliran pelan, banyak tumbuh-tumbuhan dan berlubang.	0,050	0,060	0,070	0,080
15.	Banyak tumbuh-tumbuhan	0,075	0,100	0,125	0,150
SALURAN BUATAN, BETON, ATAU BATU KALI					
16.	Saluran pasangan batu, tanpa penyelesaian.	0,025	0,030	0,033	0,035
17.	Seperti No.16 tapi dengan penyelesaian,	0,017	0,020	0,025	0,030
18.	Saluran beton.	0,014	0,016	0,019	0,021
19.	Saluran beton halus dan rata	0,010	0,011	0,012	0,013
20.	Saluran beton pracetak dengan acuan baja	0,013	0,014	0,014	0,015
21.	Saluran beton pracetak dengan acuan kayu	0,015	0,016	0,016	0,018

2.3.2. Kualitas Air Limpasan Permukaan Jalan Raya

Limpasan permukaan atau aliran permukaan merupakan aliran air yang berasal dari curah hujan yang mengalir di atas permukaan tanah yang mengangkut zat-zat dan partikel tanah. Limpasan terjadi akibat intensitas hujan yang turun melebihi kapasitas infiltrasi, saat laju infiltrasi terpenuhi maka air akan mengisi cekungan yang terdapat pada permukaan tanah. Air hujan yang jatuh ke permukaan tanah ada yang langsung masuk ke dalam tanah atau disebut air infiltrasi. Sebagian lagi tidak sempat masuk ke dalam tanah dan mengalir di atas permukaan tanah ke tempat yang lebih rendah. Ada juga bagian air hujan yang telah masuk ke dalam tanah, terutama pada tanah yang hampir atau telah jenuh, lalu air tersebut keluar ke permukaan tanah lagi dan mengalir ke bagian yang lebih rendah.

Aliran permukaan yang ada pada jalan raya harus segera dialirkan ke samping kanan dan atau kiri jalan agar tidak mengganggu lalu lintas. Guna mengatasi dan mengalirkan aliran permukaan pada jalan raya diperlukan sistem drainase yang mampu menampung aliran permukaan sehingga tidak menimbulkan genangan pada jalan raya. Debit limpasan permukaan jalan raya dimungkinkan mengandung polutan yang telah terakumulasi jalur lalu lintas, terutama setelah periode cuaca kering. Polutan ini bisa kemudian diangkut melalui sistem drainase air permukaan untuk dibuang ke tanah atau menerima aliran air (Crabtree et al. 2006).

Curah hujan yang terjadi pada area jalan raya dengan kondisi yang ada lalu lintas berpengaruh pada kualitas air aliran permukaan. Emisi gas dari knalpot kendaraan bermotor dapat jatuh kembali ke tanah dalam jarak yang lebih dekat ke titik emisi, menghasilkan akumulasi polutan di tanah atau di air permukaan. Gas buang, selain uap air, karbon dioksida dan gas nitrogen, mengandung banyak polutan lain seperti karbon monoksida, hidrokarbon tidak terbakar, nitrogen oksida, amonia, hidrogen sulfida, karbonil sulfida, belerang dioksida, sulfat, organik senyawa belerang, aldehida, keton, fenol, amina organik, nitramin, alkohol, aromatik polisiklik hidrokarbon, bahan partikulat, senyawa organik yang terkait dengan bahan partikulat, logam dan senyawa logam.

Bahan pencemar pada jalan raya diendapkan pada permukaan badan jalan dan area median dengan lalu lintas kendaraan yang bergerak. Besarnya dan pola akumulasi merupakan fungsi dari perkerasan dan kelas jalan, volume lalu lintas, kegiatan pemeliharaan, karakteristik musiman dan penggunaan lahan yang berdekatan. Banyak bahan pencemar khas dari bahan permukaan jalan, produk pembakaran bahan bakar, sistem pelumasan, degradasi ban mobil, kehilangan muatan yang diangkut, cat dan korosi. Akumulasi tingkat massa bahan adalah fungsi dari lalu lintas harian rata-rata, kualitas dan intensitas udara, serta frekuensi kejadian curah hujan. Lalu lintas yang padat di daerah industri menghasilkan tingkat massa polutan yang lebih tinggi daripada lalu lintas ringan di daerah pedesaan.

2.4. Sistem Drainase Jalan Raya Berkelanjutan

Sistem drainase perkotaan yang berkelanjutan pada jalan raya berkaitan dengan hirarki jalan dan klasifikasi lokasi, dengan menerapkan kriteria hidrologi dalam peningkatan kualitas air dan konservasi lingkungan. Disamping itu juga memperhatikan siklus

hidrologi pada lokasi sekitar jalan untuk tetap dipertahankan dengan baik dan tidak mengalami hambatan, agar tidak membebani kawasan lain dengan adanya aliran permukaan pada jalan raya tersebut. Sistem drainase jalan raya dirancang dengan pola keberlanjutan dengan memperhatikan kualitas air, daerah tangkapan air, sumber daya air, kemudahan lokasi dan potensi peningkatan habitat pada lingkungan. Sistem drainase jalan raya yang berkelanjutan ini dapat dikembangkan di Indonesia dengan tetap memperhatikan kondisi wilayah dan topografi yang berbeda disetiap wilayahnya dengan konsep kearifan lokal pada masing-masing wilayah.

2.4.1. Sistem Penangkap Air Hujan

Indonesia merupakan wilayah tropis dengan dua musim yaitu musim hujan dan musim kemarau, dan ketika musim penghujan rata-rata curah hujan cukup tinggi berkisar antara 2000 – 4000 mm/tahun. Dengan curah hujan tersebut kadang di beberapa daerah sering terjadi banjir, hal ini yang perlu mendapat perhatian guna memanfaatkan kelebihan air ketika musim hujan untuk menjadikan cadangan air ketika musim kemarau, sehingga tidak terjadi kekeringan pada musim kemarau. Pemanenan air hujan merupakan bentuk bagian dari drainase yang ramah lingkungan. Air hujan dapat ditampung untuk dipakai kebutuhan sehari - hari. Manfaat dari pemanenan air hujan adalah untuk meminimalisir kekeringan, banjir, bahkan masalah lingkungan.

Pemanfaatan air hujan bukanlah sesuatu yang baru dalam peradaban manusia dalam memenuhi kebutuhan air. Pada beberapa dekade belakangan, sebagai buah dari perkembangan ilmu pengetahuan, banyak negara telah mengembangkan teknologi pemanfaatan air hujan. Hal ini dilakukan untuk mengatasi tekanan akan kebutuhan air yang semakin meningkat sebagai akibat dari faktor iklim, lingkungan, dan perubahan sosial masyarakat. Pemanenan atau pemanfaatan air hujan merupakan serangkaian kegiatan mengumpulkan, menggunakan dan/atau meresapkan air hujan kedalam tanah. Air hujan merupakan salah satu sumber air yang dapat diakses secara langsung yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan, termasuk menambah sumber pasokan air lainnya di daerah perkotaan. Pemanenan air hujan (*Rainwater Harvesting*) biasanya mudah diterapkan, memiliki biaya pelaksanaan dan perawatan yang relatif rendah, dan operasinya tidak memerlukan pelatihan khusus.

Sistem pemanfaatan air hujan yang dilakukan di Indonesia sesuai dengan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 12 Tahun 2009 dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Sistem Penangkap (*Collection System*) yang lebih dikenal dengan kolam pengumpul air hujan diatas permukaan tanah. Menentukan tempat untuk menangkap air hujan sangat mempengaruhi kuantitas dan kualitas air, faktor pemasukan pemanenan air hujan, kotoran, dan daun, adalah hal yang harus diperhatikan karena dapat mempengaruhi kualitas air. Tempat yang biasa digunakan untuk menangkap air hujan adalah atap bangunan, lapangan terbuka, jalan dan saluran. Contoh sistem penangkap air hujan atau kolam pengumpul dapat dilihat pada Gambar 2.3.



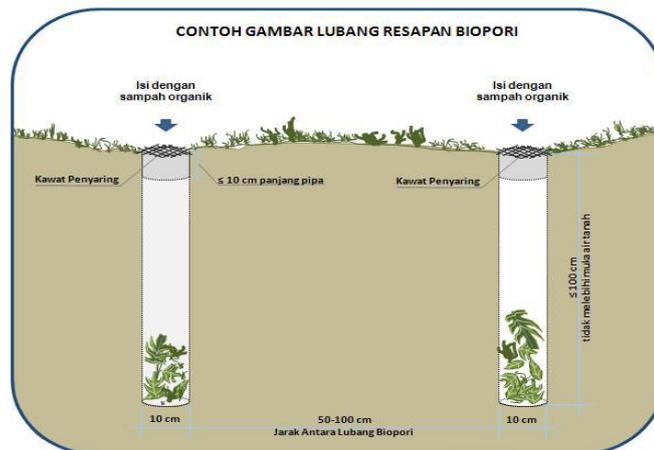
Gambar 2.3. Kolam Pengumpul Air Hujan (PerMenLh 2009)

2. Sumur Resapan, untuk meningkatkan resapan air hujan ke dalam tanah pada areal terbuka, lapangan olahraga, tempat parkir, dan pekarangan. Desain sumur resapan ini dibuat agar sedimen dari areal sekitar tidak terbawa masuk kedalam sumur resapan karena dapat menurunkan efektivitas resapan dan meningkatkan biaya pemeliharannya. Pada sumur resapan dibuat konstruksi bak kontrol sedimen untuk mengendapkan sedimen sebelum air hujan masuk ke dalam sumur. Sumur resapan juga dapat didesain sebagai drainase jalan raya. Air hujan yang jatuh di jalan raya dapat dialirkan ke dalam sumur resapan yang dibuat pada jarak tertentu sepanjang tepi jalan raya, contoh sumur resapan dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Sumur Resapan (PerMenLh 2009)

3. Lubang Resapan Biopori, daerah yang mengandung tumbuh-tumbuhan dalam campuran tanah rekayasa ditempatkan pada kawasan drainase yang menyediakan penyimpanan, infiltrasi, dan evaporasi baik curah hujan langsung maupun limpasan yang ditangkap dari daerah sekitarnya, dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Lubang Resapan Biopori (PerMenLh 2009)

2.4.2. Sistem Penangkap Polutan

Polutan adalah zat atau bahan yang dapat mengakibatkan pencemaran terhadap lingkungan baik (pencemaran udara, tanah, dan air). Polusi atau pencemaran lingkungan adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat energi, dan atau komponen lain ke dalam lingkungan, atau berubahnya tatanan lingkungan oleh kegiatan manusia atau oleh proses alam sehingga kualitas lingkungan turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan lingkungan menjadi kurang atau tidak dapat berguna lagi sesuai dengan fungsinya.

Kebutuhan infrastruktur yang ramah lingkungan menghadirkan peluang besar dan mendesak untuk dilakukan guna memperbaiki kualitas lingkungan dan kualitas hidup masyarakat. Sebagai alternatif dari sistem pengelolaan kualitas udara dan air, infrastruktur hijau menawarkan solusi yang hemat biaya untuk banyak masalah kita, termasuk cara menangani banjir dan polusi air hujan. Berikut beberapa infrastruktur hijau sebagai penangkap polutan baik udara maupun air, yang bermanfaat untuk meningkatkan kualitas lingkungan (Denchak 2019).

1. Kebun hujan (*Rain Gardens*), yang dapat digunakan dalam berbagai pengaturan dari median jalan hingga pekarangan kecil, biasanya menampilkan semak asli, tanaman keras, dan rumput yang ditanam di cekungan dangkal. Kebun hujan dirancang untuk menjebak dan menyerap limpasan atap, trotoar, dan jalan. Selain memungkinkan curah hujan untuk evapotranspirasi atau perlahan-lahan menyaring tanah, kebun hujan membantu mengisi ulang akuifer bawah tanah, menjaga air hujan dari mencapai saluran air, menyediakan habitat bagi satwa, dan dapat memperindah jalan atau halaman, dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Kebun Hujan (Denchak 2019)

2. Bak resapan (*Infiltration Basin*) adalah kolam kering yang dibangun untuk memungkinkan infiltrasi terjadi secara bersamaan dengan proses perawatan. Wadah infiltrasi sering dirancang untuk menangkap volume yang ditentukan dari volume limpasan aliran permukaan dan mengubah air menjadi aliran air tanah melalui infiltrasi. Polutan juga dihilangkan melalui filtrasi dan adsorpsi ketika air meresap melalui tanah. Fitur utama bak infiltrasi adalah vegetasi, yang meningkatkan

kapasitas infiltrasi cekungan. Vegetasi yang lebat juga menghambat erosi dan tanah menjelajahi lantai kolam, dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Bak Infiltrasi (IowaSWMM 2009)

2.4.3. Sistem Resapan (*Infiltration*)

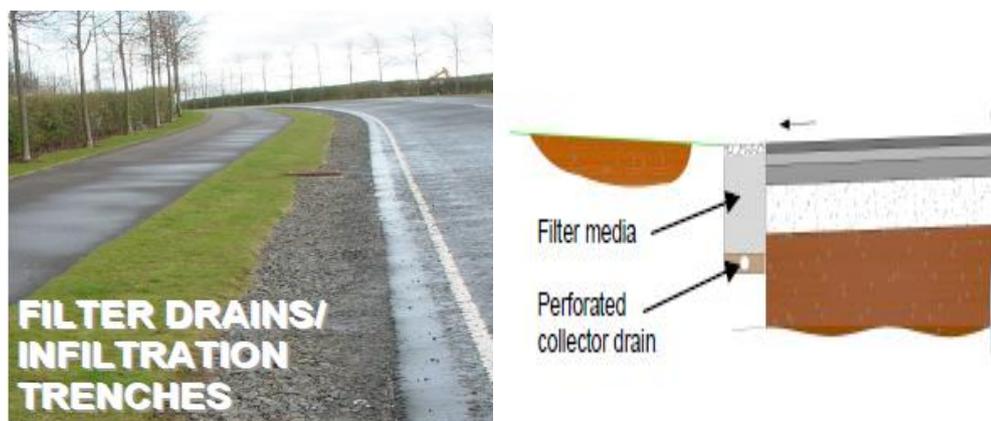
Tujuan dari manajemen aliran permukaan pada perkotaan yaitu mencapai sistem kontrol efektif polutan dalam limpasan air permukaan dan mengurangi volume laju limpasan untuk mengendalikan dampak banjir dihilir dan erosi saluran drainase. Praktek manajemen terbaik yang mencerminkan proses alami yang ditemukan yaitu proses infiltrasi dalam tanah setempat, secara efektif meningkatkan volume air yang dikembalikan ke tanah dan mengurangi volume limpasan langsung ke aliran permukaan dan saluran drainase.

Infiltrasi adalah pergerakan air dari permukaan tanah ke bawah ke profil tanah. Infiltrasi dapat terjadi secara alami mengikuti presipitasi, atau dapat diinduksi secara artifisial melalui modifikasi struktural di permukaan tanah. Air infiltrasi akan tetap berada di lapisan tanah yang dangkal, di mana secara bertahap bergerak secara vertikal dan horizontal melalui bahan tanah dan bawah permukaan. Kapasitas infiltrasi dapat dinyatakan sebagai kedalaman air yang dapat dialirkan per satuan waktu, seperti inci per jam. Jika curah hujan memasok air pada tingkat yang lebih besar dari kapasitas infiltrasi, air akan menyusup pada tingkat kapasitas, dengan kelebihan baik ditampung, dipindahkan sebagai limpasan permukaan, atau diuapkan. Jika curah hujan memasok air dengan laju kurang dari kapasitas infiltrasi, semua volume air yang masuk akan meresap. Infiltrasi curah hujan memiliki sejumlah kelebihan dan kekurangan. Keuntungan dari

infiltrasi sebagai kontrol terhadap kuantitas dan kualitas air pada aliran permukaan (IowaSWMM 2009).

Sistem infiltrasi yang menggunakan konsep berkelanjutan dan pembangunan ramah lingkungan pada jalan raya adalah sebagai berikut:

1. Parit Infiltrasi (*Filter Drains/Infiltration Trenches*), merupakan parit panjang, sempit, dan diisi batu tanpa outlet yang menerima limpasan aliran permukaan. Limpasan disimpan di ruang kosong antara agregat batu dan menyusup melalui bagian bawah dan ke dalam tanah. Parit infiltrasi dapat ditimbun dengan agregat batu, dan dilapisi dengan kain filter. Parit bawah tanah menerima limpasan melalui pipa atau saluran, sedangkan parit permukaan mengumpulkan aliran dari daerah drainase. Parit infiltrasi bekerja dengan baik menggunakan saluran pada sisi kanan dan kiri jalan sebagai media permeabel yang dapat mengalirkan air limpasan pada jalan raya serta menghilangkan sedimen halus dan polutan atau melakukan perawatan air sementara sebelum air dialirkan ke dalam tanah. Model ini dapat mengurangi debit runoff secara langsung, tidak menggunakan lahan permukaan yang luas, dan desain mudah untuk diterapkan. Kekurangan yang ada pada model ini yaitu rawan terjadi penyumbatan akibat sedimen yang berasal dari pengikisan pada permukaan tanah, dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Parit Infiltrasi (SCOTS and SUDS Working Party 2007)

2. *Filter Strips*, merupakan area rumput-rumput atau vegetasi lainnya yang lembut dan landai membentang di sepanjang kanan atau kiri jalan yang bisa mengalirkan air secara merata, limpasan air permukaan dari jalan raya atau area pejalan kaki. Limpasan dirancang untuk mengalir pada kecepatan yang cukup rendah sehingga

proses pengolahan dapat berlangsung secara efektif. Sistem ini digunakan sebagai komponen perawatan air limpasan sebelum meresap sebagai sistem bioretensi dan parit untuk menangkap sedimen. Model ini memiliki kelebihan dalam mengurangi debit *runoff* secara langsung, desain mudah untuk di terapkan dan perawatan yang cukup mudah. Kekurangan model ini mudah terjadi pengikisan terhadap vegetasi dan mengakibatkan sedimentasi dan memerlukan lahan yang cukup luas, dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. *Filter Strips* (SCOTS and SUDS Working Party 2007)

3. *Pervious Pavement – Permeabel Blocks*, merupakan konstruksi perkerasan jalan yang mampu menyerapkan air limpasan kedalam perkerasan jalan, untuk selanjutnya air masuk kedalam tanah. Perkerasan permeabel memiliki permukaan yang terbuat dari bahan yang tahan air. Material diletakkan untuk memberikan ruang kosong melalui permukaan ke *sub-base* misalnya *paving block* beton standar dirancang khusus untuk memungkinkan air hujan jatuh ke permukaan atau limpasan yang dibuang ke permukaan untuk meresap. Kelebihan dari model ini yaitu daya serap air yang tinggi, pemasangan yang mudah, harga lebih murah, perawatan lebih mudah memiliki estetika yang tinggi dan tahan terhadap cuaca. Kekurangan model ini jalan lebih bergelombang sehingga tidak cocok untuk jalan protokol dengan beban kendaraan berat, kontur bergelombang juga diakibatkan oleh celah antar susunan *paving block*. Susunan antar *paving block* mudah renggang jika struktur tanah tidak dan kurang pemadatan, dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. *Pervious Pavement-Permeable Block* (SCOTS and SUDS Working Party 2007)

4. *Swales* pada dasarnya adalah sel bioretensi yang dirancang dengan nilai positif, melewati aliran dari frekuensi kecil banjir pada kecepatan lambat untuk melakukan penyaringan melalui vegetasi dan infiltrasi ke dalam lapisan media struktur tanah. Sebuah sistem *bioswales* terdiri dari saluran pengangkutan terbuka dengan lapisan penyaring tanah permeabel yang diteruskan pada pipa berlubang sistem drainase bawah permukaan. Limpasan infiltrasi dikumpulkan dan dibawa oleh pipa berlubang dan sistem bawah tanah ke *outlet*. *Bioswales* juga dapat dirancang secara efektif mengalirkan aliran dari banjir yang lebih besar pada kecepatan sedang (untuk mencegah erosi dan penanggulangan kembali polutan yang ditangkap). Kekurangan metode ini rentan mengikis vegetasi pada kondisi curah hujan ekstrim sehingga dapat terjadi sedimentasi, dan perlu lahan yang cukup luas, dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11. *Swales* (SCOTS and SUDS Working Party 2007)

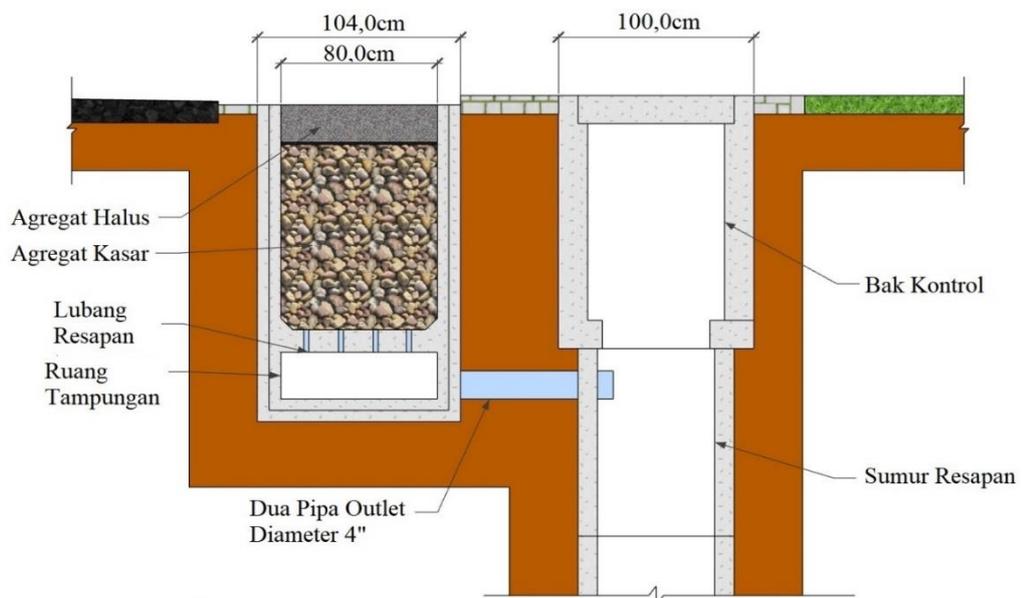
5. Sistem Bioretensi (*Bioretention System*), menggabungkan tingkat lanskap dasar yang disimpan sementara dan siap digunakan meresapkan limpasan. Bioretensi termasuk kebun hujan dan sel bioretensi. Taman hujan hanya mengandalkan tanah dengan baik tingkat perkolasi. Sel-sel Bioretensi biasanya mencakup ruang batu, subdrain, dan campuran tanah yang dimodifikasi. Dalam sel bioretensi, limpasan air hujan yang dikumpulkan di lapisan atas sistem disaring melalui vegetasi permukaan, lapisan mulsa, lapisan tanah tembus pandang, dan kemudian disimpan sementara di lapisan dasar agregat batu. Bioretensi dirancang dengan kombinasi tanaman yang mungkin termasuk rumput, tanaman keras berbunga, semak, atau pohon. Perawatan hulu terintegrasi disediakan oleh strip rumput sebagai filter atau rumput sengkeda untuk menangkap sedimen awal. Keuntungan dalam menggunakan teknologi bioretensi diantaranya yaitu bioretensi dapat menambah estetika pada daerah tangkapan, mengurangi nilai debit runoff, menurunkan kandungan polutan dalam air runoff, desain yang fleksibel. Kekurangan dalam teknologi ini diantaranya yaitu tidak dapat menangani *catchment area* yang luas, dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Sistem Bioretensi (SCOTS and SUDS Working Party 2007)

Dari berbagai desain sistem drainase jalan raya yang berkelanjutan dan diterapkan di beberapa negara tersebut, mendasari kami untuk melakukan penelitian dan pengembangan desain sistem drainase jalan raya yang sesuai dengan kondisi di Indonesia. Desain yang dilakukan adalah dengan pengembangan saluran drainase bentuk beton pra cetak atau sering disebut dengan saluran *U-ditch*, yaitu dengan menambah tampungan di bagian bawah saluran dengan sekat berlubang yang terintegrasi dengan sumur resapan atau tampungan akhir lainnya yang sesuai dengan kondisi masing-masing wilayah di

Indonesia. Pengembangan berikutnya dengan menempatkan filter agregat halus dan agregat kasar pada saluran drainase, dengan susunan agregat halus di atas dan agregat kasar di bawah serta penambahan sekat antar kedua agregat dengan paranet. Kelebihan dari model ini yaitu model dan bentuk saluran sudah umum dipakai di Indonesia dengan bahan beton pra cetak dan sudah pasaran. Air limpasan permukaan langsung masuk kedalam saluran karena dekat dengan sumbernya dan langsung tersaring melalui filter agregat. Tampungan akhir masuk kedalam sumur resapan yang dekat dengan saluran sehingga waktu pengaliran lebih pendek dan meningkatkan volume air tanah. Kekurangan model ini mudah terjadi erosi pada agregat halus dan meningkatkan sedimentasi, penggunaan sumur resapan sebagai tampungan akhir terbatas pada muka air tanah dalam, dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Desain Model Saluran Drainase Jalan Raya (Hasil Dseain)

2.5. Perhitungan Curah Hujan

Data curah hujan dan debit merupakan data yang paling fundamental dalam perencanaan atau penelitian pembuatan drainase. Ketetapan dalam memilih lokasi dan peralatan baik curah hujan maupun debit merupakan faktor yang menentukan kualitas data yang diperoleh. Analisis data hujan dimaksudkan untuk mendapatkan besaran curah hujan dan analisis statistik yang diperhitungkan dalam perhitungan debit banjir rencana. Data curah hujan yang dipakai untuk perhitungan dalam debit banjir adalah hujan yang terjadi pada

daerah aliran sungai pada waktu yang sama. Adapun metode yang digunakan dalam perhitungan curah hujan rata-rata wilayah daerah aliran sungai (DAS) ada tiga macam cara :

1. Cara rata-rata aljabar

Tinggi rata-rata curah hujan yang didapatkan dengan mengambil nilai rata-rata hitung (*arithmetic mean*) pengukuran hujan di pos penakar-penakar hujan didalam areal tersebut. Jadi cara ini akan memberikan hasil yang dapat dipercaya jika pos-pos penakarnya ditempatkan secara merata di areal tersebut, dan hasil penakaran masing-masing pos penakar tidak menyimpang jauh dari nilai rata-rata seluruh pos di seluruh areal, seperti pada Persamaan 2.11 (Soemarto 1999).

$$\bar{d} = \frac{d_1+d_2+\dots+d_n}{n} \dots\dots\dots(2.11)$$

di mana :

\bar{d} = tinggi curah hujan rata-rata

d_1, d_2, d_n = tinggi curah hujan pada pos penakar 1, 2,n

n = banyaknya pos penakar

2. Cara Poligon Thiessen

Menurut Kiyotaka Mori ad all. 1977, dalam Soemarto 1999, metode ini sering digunakan pada analisis hidrologi karena metode ini lebih teliti dan obyektif dibanding metode lainnya. Metode ini dapat digunakan pada daerah yang memiliki titik pengamatan yang tidak merata. Cara ini adalah dengan memasukkan faktor pengaruh daerah yang mewakili oleh stasiun hujan yang disebut faktor pembobotan atau koefisien Thiessen. Untuk pemilihan stasiun hujan yang dipilih harus meliputi daerah aliran sungai yang akan dibangun. Besarnya koefisien Thiessen tergantung dari luas daerah pengaruh stasiun hujan yang dibatasi oleh poligon-poligon yang memotong tegak lurus pada tengah-tengah garis penghubung stasiun. Setelah luas pengaruh tiap-tiap stasiun didapat, maka koefisien Thiessen dapat dihitung dengan rumus pada Persamaan 2.12 dan Persamaan 2.13 (Soemarto 1999).

$$C = \frac{A_1}{A_{Total}} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$\bar{R} = \frac{A_1R_1+A_2R_2+\dots+A_nR_n}{A_1+A_2+\dots+ A_n} \dots\dots\dots(2.13)$$

di mana :

C = Koefisien Thiessen

- A_i = Luas pengaruh dari stasiun pengamatan i
- A = Luas total dari DAS
- \bar{R} = Curah hujan rata-rata
- R_1, R_2, \dots, R_n = Curah hujan pada setiap titik pengukuran (stasiun)

3. Cara Isohyet

Dengan cara ini, kita dapat menggambar dulu kontur tinggi hujan yang sama (isohyet), kemudian luas bagian diantara isohyet-isohyet yang berdekatan diukur, dan nilai rata-rata dihitung sebagai nilai rata-rata timbang nilai kontur sebagai berikut Persamaan 2.14 (Soemarto 1999).

$$\bar{d} = \frac{\frac{d_0+d_1}{2}A_1 + \frac{d_1+d_2}{2}A_2 + \dots + \frac{d_{n-1}+d_n}{2}A_n}{A_1+A_2+\dots+A_n} \dots\dots\dots(2.14)$$

di mana :

- A = $A_1+A_2+\dots+A_n$ (luas total area)
- \bar{d} = tinggi curah hujan rata-rata area
- d_0, d_1, d_n = curah hujan pada isohyet 0, 1, 2, ..., n

Perhitungan curah hujan rencana digunakan untuk meramal besarnya hujan dengan periode ulang tertentu. Berdasarkan curah hujan rencana tersebut kemudian dicari intensitas hujan yang digunakan untuk mencari debit banjir rencana. Untuk meramal curah hujan rencana dilakukan dengan analisis frekuensi data hujan. Ada beberapa metode analisis frekuensi yang dapat digunakan yaitu :

1. Metode Gumbel Tipe I

Untuk menghitung curah hujan rencana dengan metode distribusi Gumble Tipe I digunakan persamaan distribusi frekuensi empiris pada Persamaan 2.15.

$$X_T = \bar{X} + \frac{S}{S_n} (Y_T - Y_n) \dots\dots\dots(2.15)$$

di mana :

- X_T = nilai variat yang diharapkan terjadi.
- \bar{X} = nilai rata-rata hitung variat
- S = Standar deviasi (simpangan baku)
- Y_T = nilai reduksi variat dari variabel yang diharapkan terjadi pada periode ulang tertentu hubungan antara periode ulang T dengan Y_T dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. *Reduced Variate* (Y_t) (Soewarno 2015)

Periode Ulang	Reduced Variate
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2502
20	2,9606
25	3,1985
50	3,9019
100	4,6001
200	5,2960
500	6,2140
1000	6,9190
5000	8,5390
10000	9,9210

Y_n = nilai rata-rata dari reduksi variat (*mean of reduce variate*) nilainya tergantung dari jumlah data (n) dan dapat dilihat pada Tabel 2.5.

S_n = deviasi standar dari reduksi variat (*mean of reduced variate*) nilainya tergantung dari jumlah data (n) dan dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2.5. *Reduced mean* (Y_n) (Soewarno 2015)

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	0,5300	0,5820	0,5882	0,5343	0,5353
30	0,5363	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5400	0,5410	0,5418	0,5424	0,5430
40	0,5463	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5468	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									

2. Metode Distribusi Log Pearson III

Metode Log Pearson III apabila digambarkan pada kertas peluang logaritmik akan merupakan persamaan garis lurus, sehingga dapat dinyatakan sebagai model matematik dengan Persamaan 2.16.

$$Y = \bar{Y} + k.S \dots\dots\dots(2.16)$$

Tabel 2.6. *Reduced Standard Deviation (Sn)* (Soewarno 2015)

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	1,0811	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	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2046	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065									

di mana :

X = curah hujan

Y = nilai logaritmik dari X atau log X

\bar{Y} = rata-rata hitung (lebih baik rata-rata geometrik) nilai Y

S = deviasi standar nilai Y

k = karakteristik distribusi peluang log-pearson tipe III

Langkah-langkah perhitungan kurva distribusi Log Pearson Tipe III adalah :

Menentukan logaritma dari semua nilai variat X, Menghitung nilai rata-ratanya, Persamaan 2.17.

$$\overline{\text{Log}(X)} = \frac{\sum \text{Log}(x)}{n} \dots\dots\dots(2.17)$$

Menghitung nilai deviasi standarnya dari log X, Persamaan 2.18.

$$\overline{\text{Slog}(X)} = \sqrt{\frac{\sum ((\text{log}(X) - \overline{\text{Log}(X)})^2)}{n-1}} \dots\dots\dots(2.18)$$

Menghitung nilai koefisien kemiringan (CS), Persamaan 2.19.

$$\text{CS} = \frac{n \sum (\text{log}(X) - \overline{\text{Log}(X)})^3}{(n-1)(n-2)(\overline{\text{Slog}(X)})^3} \dots\dots\dots(2.19)$$

sehingga persamaannya dapat ditulis, Persamaan 2.20.

$$\text{Log } X = \overline{\text{log}(X)} + k(\overline{\text{Slog}(X)}) \dots\dots\dots(2.20)$$

menentukan anti log dari log X, untuk mendapatkan nilai X, yang diharapkan terjadi pada tingkat peluang atau periode ulang tertentu sesuai dengan nilai CS-nya. Nilai k pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7. Harga k untuk Distribusi Log Pearson III (Soewarno 2015)

Kemencengan (CS)	Periode Ulang (tahun)							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
3,0	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051	4,970	7,250
2,5	-0,360	0,518	1,250	2,262	3,048	3,845	4,652	6,600
2,2	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705	4,444	6,200
2,0	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605	4,298	5,910
1,8	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499	4,147	5,660
1,6	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388	3,990	5,390
1,4	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271	3,828	5,110
1,2	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149	3,661	4,820
1,0	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022	3,489	4,540
0,9	-0,148	0,769	1,339	2,018	2,498	2,957	3,401	4,395
0,8	-0,132	0,780	1,336	1,998	2,453	2,891	3,312	4,250
0,7	-0,116	0,790	1,333	1,967	2,407	2,824	3,223	4,105
0,6	0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755	3,132	3,960
0,5	-0,083	0,808	1,323	1,910	2,311	2,686	3,041	3,815
0,4	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615	2,949	3,670
0,3	-0,050	0,824	1,309	1,849	2,211	2,544	2,856	3,525
0,2	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472	2,763	3,380
0,1	-0,017	0,836	1,292	1,785	2,107	2,400	2,670	3,235
0,0	0,000	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326	2,576	3,090
-0,1	0,017	0,836	1,270	1,761	2,000	2,252	2,482	3,950
-0,2	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178	2,388	2,810
-0,3	0,050	0,853	1,245	1,643	1,890	2,104	2,294	2,675
-0,4	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029	2,201	2,540
-0,5	0,083	0,856	1,216	1,567	1,777	1,955	2,108	2,400
-0,6	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880	2,016	2,275
-0,7	0,116	0,857	1,183	1,488	1,663	1,806	1,926	2,150
-0,8	0,132	0,856	1,166	1,488	1,606	1,733	1,837	2,035
-0,9	0,148	0,854	1,147	1,407	1,549	1,660	1,749	1,910
-1,0	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588	1,664	1,800
-1,2	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449	1,501	1,625
-1,4	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318	1,351	1,465
-1,6	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,200	1,216	1,280
-1,8	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,089	1,097	1,130
-2,0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990	1,995	1,000
-2,2	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905	0,907	0,910
-2,5	0,360	0,711	0,771	0,793	0,798	0,799	0,800	0,802
-3,0	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667	0,667	0,668

3. Metode Log Normal

Metode Log Normal apabila digambarkan pada kertas peluang logaritmik akan merupakan persamaan garis lurus, sehingga dapat dinyatakan sebagai model matematik dengan Persamaan 2.21.

$$X = \bar{X} + k.S \dots\dots\dots(2.21)$$

di mana :

- X = nilai yang diharapkan akan terjadi pada periode ulang tertentu.
- \bar{X} = nilai rata-rata kejadian dari variabel kontinyu X
- S = deviasi standar variabel kontinyu X.
- K = karakteristik distribusi peluang log-normal 3 parameter yang merupakan fungsi dari koefisien kemencengan CS pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8. Faktor Frekuensi k untuk Distribusi Log Normal 3 Parameter (Soewarno 2015)

Koefisien Kemencengan (CS)	Peluang kumulatif (%)					
	50	80	90	95	98	99
	Periode Ulang (tahun)					
	2	5	10	20	50	100
-2,00	0,2366	-0,6144	-1,2437	-1,8916	-2,7943	-3,5196
-1,80	0,2240	-0,6395	-1,2621	-1,8928	-2,7578	-3,4433
-1,60	0,2092	-0,6654	-1,2792	-1,8901	-2,7138	-3,3570
-1,40	0,1920	-0,6920	-1,2943	-1,8827	-2,6615	-3,2601
-1,20	0,1722	-0,7186	-1,3067	-1,8696	-2,6002	-3,1521
-1,00	0,1495	-0,7449	-1,3156	-1,8501	-2,5294	-3,0333
-0,80	0,1241	-0,7700	-1,3201	-1,8235	-2,4492	-2,9043
-0,60	0,0959	-0,7930	-0,3194	-1,7894	-2,3600	-2,7665
-0,40	0,0654	-0,8131	-0,3128	-1,7478	-2,2631	-2,6223
-0,20	0,0332	-0,8296	-0,3002	-1,6993	-2,1602	-2,4745
0,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,20	-0,0332	0,8996	0,3002	1,5993	2,1602	2,4745
0,40	-0,0654	0,8131	0,3128	1,7478	2,2631	2,6223
0,60	-0,0959	0,7930	0,3194	1,7894	2,3600	2,7665
0,80	-0,1241	0,7700	1,3201	1,8235	2,4492	2,9043
1,00	-0,1495	0,7449	1,3156	1,8501	2,5294	3,0333
1,20	-0,1722	0,7186	1,30567	1,8696	2,6002	3,1521
1,40	-0,1920	0,6920	1,2943	1,8827	2,6615	3,2601
1,60	-0,2092	0,6654	1,2792	1,8901	2,7138	3,3570
1,80	-0,2240	0,6395	1,2621	1,8928	2,7578	3,4433
2,00	-0,2366	0,6144	1,2437	1,8916	2,7943	3,5196

Uji keselarasan dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaam distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Ada dua jenis keselarasan (*Goodnes of Fit Test*), yaitu uji keselarasan Chi Square dan Smirnov Kolmogorof. Pada tes ini biasanya yang diamati adalah nilai hasil perhitungan yang diharapkan.

1. Uji keselarasan *Chi Square*

Prinsip pengujian dengan metode ini didasarkan pada jumlah pengamatan yang diharapkan pada pembagian kelas, dan ditentukan terhadap jumlah data pengamatan

yang terbaca di dalam kelas tersebut, atau dengan membandingkan nilai chi square (f^2) dengan nilai chi square kritis (f^2_{cr}), pada Persamaan 2.22.

$$f^2 = \sum \frac{(E_i - O_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots(2.22)$$

di mana :

f^2 = harga chi square

O_i = jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke-1

E_i = jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke-1

Dari hasil pengamatan yang didapat dicari penyimpangannya dengan *chi square* kritis didapat dari Tabel 2.9. paling kecil.

Tabel 2.9. Nilai Kritis untuk Distribusi Chi-Square (Soewarno 2015)

dk	α derajat kepercayaan							
	0.995	0.99	0.975	0.95	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0,0000393	0,000157	0,000982	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,070	12,832	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,690	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,180	2,733	15,507	17,535	20,090	21,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,940	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	19,675	21,920	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	21,026	23,337	26,217	28,300
13	3,565	4,107	5,009	5,892	22,362	24,736	27,688	29,819
14	4,075	4,660	5,629	6,571	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	24,996	27,488	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	26,296	28,845	32,000	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	27,587	30,191	33,409	35,718
18	6,265	7,015	8,231	9,390	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	30,144	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,260	9,591	10,851	31,41	34,170	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,260	10,196	11,689	13,091	36,172	38,076	41,638	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	36,415	39,364	42,980	45,558
25	10,520	11,524	13,120	14,611	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,160	12,198	13,844	15,379	38,885	41,923	45,642	48,290
27	11,808	12,879	14,573	16,151	40,113	43,194	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,256	16,047	17,708	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,953	16,791	18,493	43,773	46,979	50,892	53,672

Untuk suatu nilai nyata tertentu (*level of significant*) yang sering diambil adalah 5%. Derajat kebebasan ini secara umum dihitung dengan Persamaan 2.23.

$$Dk = n - 3 \dots\dots\dots(2.23)$$

di mana :

Dk = Derajat kebebasan

n = banyaknya rata-rata

2. Uji keselarasan *Smirnov Kolmogorof*

Pengujian kecocokan sebaran dengan metode ini dilakuakn dengan membandingkan probabilitas untuk tiap variabel dari distribusi empiris dan teoritis didapat perbedaan (Δ) tertentu. Perbedaan maksimum yang dihitung (Δ_{maks}) dibandingkan dengan perbedaan kritis (Δ_{cr}) untuk suatu derajat nyata dan banyaknya variat tertentu, maka sebaran sesuai jika $(\Delta_{maks}) < (\Delta_{cr})$ pada Persamaan 2.24 dan Tabel 2.10.

$$\alpha = \frac{P_{max}}{P_{(x)}} - \frac{P_{(xi)}}{\Delta_{Cr}} \dots\dots\dots(2.24)$$

Tabel 2.10. Nilai Delta Maksimum untuk Uji Keselarasan Smirnov Kolmogorof (Soewarno 2015)

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/n	1,22/n	1,36/n	1,63/n

3. Analisis Frekeunsi dengan Aprob_4.1

Analisis frekuensi merupakan prakiraan untuk memperoleh probabilitas untuk terjadinya suatu peristiwa hidrologi yang berfungsi sebagai dasar perhitungan perencanaan hidrologi untukantisipasi setiap kemungkinan yang terjadi. Tujuan analisis frekuensi berkaitan dengan besaran peristiwa ekstrim dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan. Analisis curah hujan rancangan menggunakan metode log normal, normal, gumbel dan log pearson, dengan bantuan software Aprob_4.1. Aprob merupakan program aplikasi untuk melakukan analisis frekuensi data hidrologi hasil pengembangan dari Universitas

Gajah Mada. Adapun tahapan analisis adalah input data curah hujan rerata tahunan ke dalam aplikasi dan selanjutnya aplikasi akan melakukan analisis sehingga dapat diperoleh data curah hujan rencana dengan berbagai metode distribusi seperti Gumbel, Normal, Log Normal dan Log Pearson. Estimasi besaran curah hujan yang diambil adalah yang lulus uji kecocokan dan memiliki selisih maksimum terkecil.

Untuk menentukan debit banjir rencana (*Design Flood*), perlu didapatkan harga suatu intensitas curah hujan terutama bila digunakan metoda rational. Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu di mana air tersebut berkonsentrasi. Analisis intensitas curah hujan ini dapat diproses dari data curah hujan yang telah terjadi pada masa lampau. Untuk menghitung intensitas curah hujan, digunakan ketentuan sebagai berikut :

1. Durasi = durasi hujan (2 jam)
2. Curah Hujan(X_i) = curah hujan maksimum selama 2 jam dalam sehari (mm).
3. Curah Hujan = $(X_i/\sum X_i) * 100$ (%)
4. Curah Hujan Kumulatif (X_k) = nilai kumulatif dari X_i (%)
5. Distribusi Hujan = $(X_k * T)/100$ (mm)

2.6. Permeabilitas Tanah

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir lewat rongga pori. Untuk tanah permeabel dilukiskan sebagai sifat tanah yang mengalirkan air melalui rongga pori tanah. Didalam tanah, sifat aliran mungkin laminar atau turbulen. Tahanan terhadap aliran bergantung pada jenis tanah, ukuran butiran, bentuk butiran, rapat massa, serta bentuk geometri rongga pori (Christady 2011).

1. Garis Aliran

Aliran air lewat suatu kolom tanah masing-masing partikel air bergerak dari ketinggian A ke ketinggian B yang lebih rendah, mengikuti lintasan yang berkelok-kelok (ruang pori) diantara butiran padatnya.

2. Aliran Air Dalam Tanah

Aliran air arah horisontal yang melewati tabung berisi tanah dilukiskan dalam gambar dibawah. Kemirangan air dalam pipa piezometer menunjukkan tekanan air pada titik tersebut. Tekanan air pada titik tertentu dapat dinyatakan oleh Persamaan 2.25.

$$p = \gamma_w h \dots\dots\dots(2.25)$$

Dengan demikian tinggi energi tekanan (*pressure head*) pada titik-titik A dan B pada Persamaan 2.26.

$$h_A = \frac{p_A}{\gamma_w} \text{ dan } h_B = \frac{p_B}{\gamma_w} \dots\dots\dots(2.26)$$

dimana:

- p = tekanan (t/m², kN/m²),
- h_A dan h_B = tinggi energi tekanan (m)
- γ_w = berat volume air (t/m³, kN/m³).

Tekanan air pori biasanya diukur terhadap tekanan atmosfer relatif. Ketenggian air dengan tekanan atmosfer nol, didefinisikan sebagai permukaan air tanah atau permukaan freatis. Untuk mengetahui besar tekanan air pori, *Teorema Bernoulli* dapat diterapkan. Menurut Bernoulli, tinggi energi total (*total head*) pada suatu titik A dapat dinyatakan oleh Persamaan 2.27.

$$h = \frac{p}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g} + z \dots\dots\dots(2.27)$$

dimana:

- h = tinggi energi total (*total head*) (m)
- p/γ_w = tinggi energi tekanan (*pressure head*) (m)
- p = tekanan air (kN/m²)
- $v^2/2g$ = tinggi energi kecepatan (*velocity head*) (m)
- v = kecepatan air (m/det)
- γ_w = berat volume air (kN/m³)
- g = percepatan gravitasi (m/det²)
- z = tinggi energi elevasi (m).

Karena kecepatan rembesan didalam tanah sangat kecil, maka tingggi energi kecepatan (*velocity head*) dalam suku pertama persamaan Bernoulli dapat diabaikan, sehingga persamaan tinggi energi total menjadi adalah pada Persamaan 2.28.

$$h = \frac{p}{\gamma_w} + z \dots\dots\dots(2.28)$$

jadi, tinggi energi total (h) sama dengan tinggi energi elevasi ditambah tinggi energi tekanan pada titik tertentu yang ditinjau, yaitu sama dengan jarak vertikal yang diukur dari bidang referensi ke permukaan air dalam pipa. Untuk menghitung debit rembesan lewat tanah pada kondisi tertentu, luas potongan melintang tanah sebesar A, dengan

debit rembesan q . dari persamaan Bernoulli, tinggi energi hilang (*head loss*) antara dua titik A dan B (Δh) dinyatakan pada Persamaan 2.29.

$$\Delta h = \left(\frac{p_A}{\gamma_w} + z_A \right) - \left(\frac{p_B}{\gamma_w} + z_B \right) \dots\dots\dots(2.29)$$

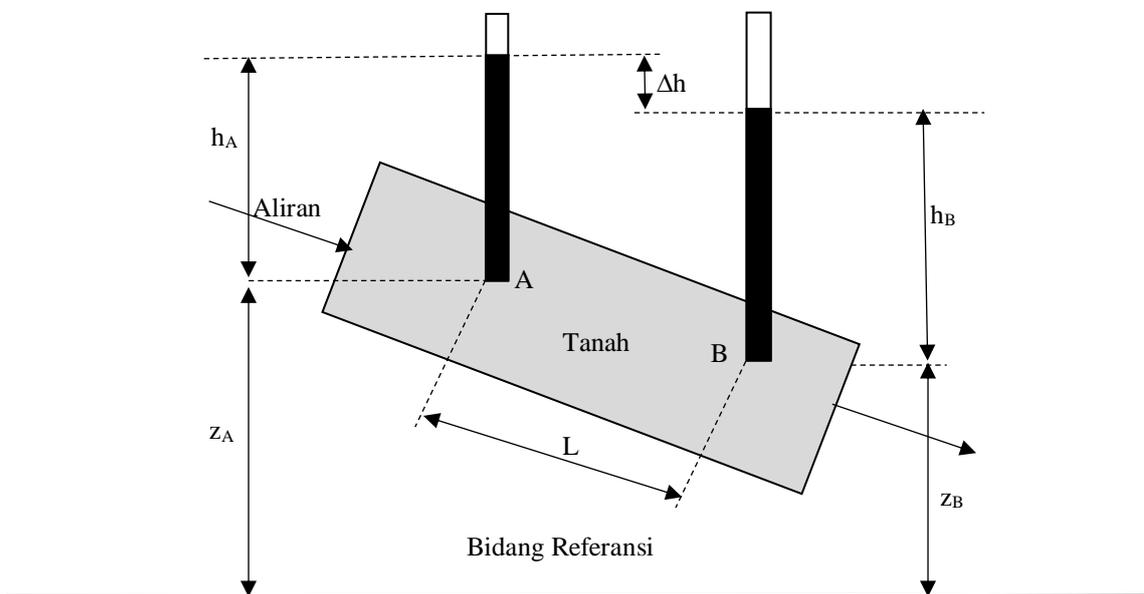
Persamaan 2.29 diatas dapat ditulis menjadi Persamaan 2.30.

$$\Delta h = (h_A + z_A) - (h_B + z_B) \dots\dots\dots(2.30)$$

dengan h_A dan h_B berturut-turut adalah tinggi energi tekanan pada titik A dan B, gradien hidrolik (*hydraulic gradient*) (i), didefinikan sebagai Persamaan 2.31.

$$i = \frac{\Delta h}{L} \dots\dots\dots(2.31)$$

dengan L adalah jarak antara potongan A dan B. nilai tinggi energi elevasi (z) diambil positif bila titik yang ditinjau terletak diatas bidang referensi (*datum*) dan negatif bila dibawahnya, dapat dilihat pada Gambar 2.14. Jarak vertikal antara elevasi piezometer di A dan B, disebut tinggi energi hidrolik (*hydrolic head*), yaitu Δh . Jika kecepatan aliran air dalam tanah nol, semua tinggi air dalam pipa piezometer akan menunjukkan elevasi yang sama dan berimpit dengan permukaan horisontal air tanah.



Gambar 2.14. Aliran Rembesan Dalam Tanah (Christady 2011)

Dalam permeabilitas tanah ini perlu diketahui angka koefisien permeabilitas dari berbagai jenis tanah sebagai gambaran tingkat permeabilitas tanah pada umumnya seperti pada Tabel 2.11. Sedangkan untuk lokasi perencanaan harus dilakukan uji permeabilitas tanah dilaboratorium untuk mengetahui tingkat permeabilitas tanah sesungguhnya.

Tabel 2.11. Kisaran Permeabilitas Tanah pada Temperatur 20°C (Das, 1983, Dalam Christady 2011)

No	Jenis Tanah	k (mm/det)
1	Butiran Kasar	$10 - 10^3$
2	Kerikil Halus, Butiran Kasar Bercampur Pasir Butiran Sedang	$10^{-2} - 10$
3	Pasir Halus, Lanau Longgar	$10^{-4} - 10^{-2}$
4	Lanau Padat, Lanau Berlempung	$10^{-5} - 10^{-4}$
5	Lempung Berlanau, Lempung	$10^{-8} - 10^{-5}$

Bobot jenis partikel (*particle density*) dari suatu tanah menunjukkan kerapatan dari partikel dapat secara keseluruhan. Hal ini ditunjukkan sebagai perbandingan massa total dari partikel padatan dengan total volume tidak termasuk ruang pori antar partikel. Berat jenis partikel ini penting dalam penentuan laju sedimentasi, pergerakan partikel oleh air dan angin dapat dilihat pada Tabel 2.12.

Tabel 2.12. Berat Jenis Tanah (Das, 1983, Dalam Christady 2011)

No	Jenis Tanah	k (mm/det)
1.	Kerikil	2,65 – 2,68
2.	Pasir	2,65 – 2,68
3.	Lanau Anorganik	2,62 – 2,68
4.	Lempung Organik	2,58 – 2,65
5.	Lempung Anorganik	2,68 – 2,75
6.	Humus	1,37
7.	Gambut	1,25 – 1,80

Berat jenis tanah adalah angka perbandingan antara berat butir tanah dan berat isi air suling dengan isi sama pada suhu 40C. Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini antara lain piknometer atau botol ukur, saringan, thermometer, oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu, alat pendingin dll. Prosedur pengujian meliputi tahapan pengeringan benda uji di dalam oven selama 24 jam dan penimbangan, selanjutnya benda uji dimasukkan ke dalam piknometer lalu timbang lagi dan seterusnya.

2.7. Pemilihan Agregat

Penggunaan agregat sebagai filter dalam pengolahan air dibuktikan dari berbagai penelitian sebelumnya yaitu penggunaan instalasi dengan media berbutir sebagai koagulator dan flokulator menunjukkan kinerja yang baik dan berpeluang untuk diaplikasikan pada pengolahan air minum (Notodarmodjo et al., 2004). Penggunaan saringan pasir lambat telah memenuhi standar parameter kekeruhan dan pH pada sampel air sungai Musi (Quddus 2014). Penggunaan filtrasi berupa kerikil, pasir kwarsa, dan karbon aktif mengurangi kadar kekeruhan dan kadar besi (Fe) pada sumur gali

dikelurahan Tambak Rejo (Jenti dan Nurhayati 2014). Pengujian laboratorium terhadap agregat yang akan dipakai sebagai filter pada drainase adalah:

1. Analisis Saringan

Untuk menentukan butiran (gradasi) agregat halus dan kasar dengan menggunakan saringan. Analisis ini menentukan persentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan, kemudian angka-angka prosentase digambarkan pada grafik pembagian butiran. Pemeriksaan analisis saringan menggunakan standar SK SNI M-08-1989-F dan SNI 03-1968-1990. Dalam analisis saringan ini akan diperoleh distribusi butiran-butiran agregat dalam ukuran tertentu, sering disebut dengan gradasi. Gradasi agregat menentukan besarnya rongga atau pori (*void ratio*) yang mungkin terjadi dalam campuran agregat.

2. Kebersihan Agregat

Sering dijumpai agregat yang mengandung kotoran seperti lumpur, tumbuhan, dan partikel lunak lainnya. Kebersihan agregat dapat dilihat secara visual, tetapi lebih pastinya bila kita melakukan analisis saringan basah. Tes *sand-equivalent* (AASHTO T-176) merupakan salah satu cara untuk menentukan bagian dari material berbutir halus yang ada pada agregat.

3. Berat jenis dan penyerapan agregat

Pengujian ini untuk menentukan berat jenis agregat (*bulk Specific gravity*) dan berat kering permukaan jenuh (SSD). Hal ini dilakukan untuk mengetahui berat jenis dari agregat, disamping itu juga untuk mengetahui tingkat penyerapan air oleh agregat kadar tersebut. Standart spesifikasi yang digunakan adalah AASHTO T 85-88 dan ASTM C 127-84 atau SKSNI M-09-1989-F dan SNI 03-1969-1990.

4. Tekstur permukaan

Bentuk tekstur permukaan agregat diharapkan lebih halus untuk meloloskan air melalui celah-celah tumpukan agregat. Agregat yang dipakai berupa batu alam yang asli sehingga teksturnya masih alami dan lebih halus. Tidak dianjurkan menggunakan batu pecah, karena tekstur permukaan batu pecah cenderung kasar dan bentuknya bergerigi.

5. Bentuk partikel agregat

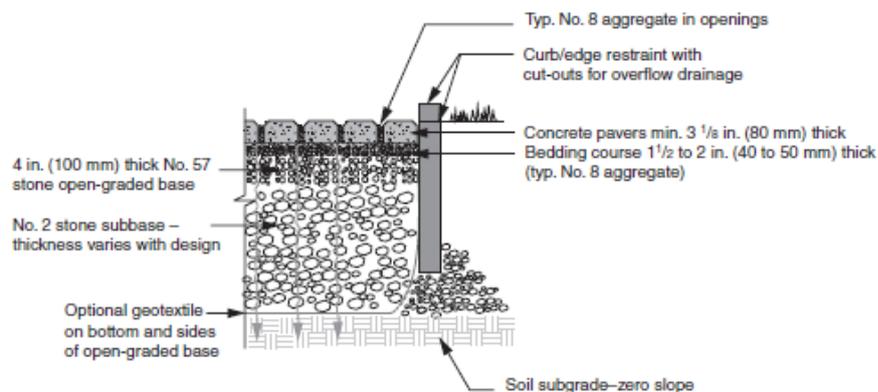
Bentuk partikel agregat akan mempengaruhi sifat meresapnya air kedalam tumpukan agregat, sehingga diharapkan bentuk partikelnya adalah bentuk yang beraturan dan

cenderung bentuk bulat. Dalam hal ini bentuk partikel agregat sangat ditekankan dan hati-hati dalam pemilihannya, sehingga didapatkan tumpukan agregat yang bagus dan tidak saling mengunci untuk memudahkan dalam pemeliharaan.

6. Kekerasan

Agregat harus tahan terhadap gaya-gaya abrasi selama agregat tersebut dalam masa produksi. Kekerasan agregat diukur dengan mesin abrasi *Los-Angeles*. Standart uji kekerasan agregat dengan menggunakan spesifikasi AASHTO T-96 dan ASTM C-131 atau SK SNI M-02-1990-F dan SNI 03-2417-1991. Dari pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi Los-Angeles dapat diambil suatu batasan untuk penggolongan kekerasan agregat yaitu: agregat keras mempunyai nilai abrasi $\leq 20\%$ sedangkan agregat lunak mempunyai nilai abrasi $> 50\%$.

Penempatan posisi agregat sebagai filter pada saluran drainase menggunakan asumsi pada struktur perkerasan porus (*permeable pavement*) dengan eksfiltrasi penuh (*Full Exfiltration*), dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15. Tipikal Struktur Eksfiltrasi Penuh pada *Permeable Pavement* (Smith 2005)

Untuk lapisan filter agregat yang terdiri dari lapisan agregat halus dengan ketebalan minimal 5 cm dengan diameter butiran maksimum 0.5 cm dan lapisan agregat kasar dengan ketebalan minimum 10 cm dengan diameter butiran maksimum 5 cm. Lapisan-lapisan ini biasanya terdiri dari bahan granular yang memberikan tingkat porositas tinggi untuk menerima dan mengalirkan air ke pipa *outlet* untuk selanjutnya dialirkan ke badan air penerima atau tampungan air. Perhitungan kedalaman filter agregat diasumsikan dengan mengikuti prosedur perhitungan *permeable pavement* eksfiltrasi penuh dengan Persamaan 2.32 dan Persamaan 2.33 (Smith 2005).

$$d_p A_p V_r = \Delta Q_c A_c + P A_p - f T A_p \dots\dots\dots(2.32)$$

$$d_p = \frac{\Delta Q_c R + P - f T}{V_r} \dots\dots\dots(2.33)$$

Untuk $Q_o = 0$ maka Persamaan 2.33 menjadi Persamaan 2.34 yaitu:

$$d_p = \frac{P - f T}{V_r} \dots\dots\dots(2.34)$$

dimana:

- d_p = kedalaman agregat (mm)
- ΔQ_c = total *runoff* dari kontribusi cakupan area (m³/dtk)
- R = (A_c/A_p) nilai perbandingan luas cakupan area dengan *permeable* area
- P = desain curah hujan (mm)
- f = desain laju infiltrasi (mm/jam)
- T = waktu efektif infiltrasi (jam)
- V_r = volume rongga (*void ratio*) untuk agregat

Agregat yang digunakan sebagai filter pada saluran adalah agregat halus dan agregat kasar. Penempatan agregat dalam saluran drainase disusun berdasarkan jenis agregatnya yaitu agregat halus di posisi bagian atas dan agregat kasar pada posisi bagian bawah. Untuk memisahkan antara agregat halus dengan agregat kasar menggunakan alat atau bahan pemisah atau penyekat antar agregat. Bahan ini terbuat dari plastik ataupun geotekstil yang tembus air dengan cepat tetapi membuat posisi agregat halus dan agregat kasar tidak dapat tembus atau menyatu. Dalam penelitian ini bahan penyekat yang digunakan adalah paranet, yang mudah didapat dengan harga yang murah.

Bahan penyekat yang paling banyak ragam tipenya yang terbuat dari bahan plastik, bahan palstik sangat banyak ditemukan dipasaran dengan harga yang lebih murah. Dalam penelitian ini bahan plastik yang digunakan adalah paranet. Paranet di Indonesia dikenal sebagai bahan pelindung tanaman dari sinar matahari langsung, yang awet dan mudah didapat. Paranet ataupun jaring peneduh ialah sejenis jaring yang awal mulanya dipergunakan untuk mengurangi intensitas cahaya matahari yang akan mengenai tanaman. Tak semua tanaman menggemari sinar matahari yang berlebih bahkan bakal mengakibatkan layu lalu mati. Dengan kerapatan yang beragam macam, paranet atau jaring peneduh ini bisa dipilih sesuai kebutuhan Anda. Kerapatan paranet sendiri menunjukkan angka persentase cahaya matahari yang bisa dihalau supaya tak sampai ke tanaman. Terlepas dari itu, ternyata paranet atau jaring peneduh memiliki banyak

kegunaan atau fungsi, antara lain dapat membantu menahan air hujan serta angin. Butiran hujan yang akan jatuh langsung dari langit mempunyai tekanan cukup tinggi, paranet ataupun jaring peneduh berguna untuk memecah butiran hujan itu tadi, maka tak akan langsung mengenai tanaman. Kegunaan atau fungsi dari paranet ini ialah seperti contoh sebagai bahan pembuat naungan. Paranet biasanya dibuat dari bahan yang memiliki kandungan polietilen yang bentuknya anyaman dari jaring plastik. Bahan polietilen umumnya berasal dari nylon ataupun senar maupun plastik. Sekarang ini fungsi dari paranet sebagai jaring peneduh untuk tanaman makin banyak serta meluas, sebab fungsinya yang sangatlah berguna serta bermanfaat. Tak cuma untuk peneduh tumbuhan saja, paranet pun juga kerap dipergunakan sebagai jaring peneduh untuk lapangan futsal, rumah, cafe, outbond, serta juga yang lain sebagainya. Kerapatan paranet ditandai dengan presentase persen (%) menunjukkan kemampuan paranet untuk menahan besarnya intensitas cahaya matahari yang mengenai tanaman.

Tipe paranet yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Type R03-215MFH-15 Type Tape Yarn (Flat Yarn)*, bahan dasar terbuat dari plastik *Nylon* warna hitam, paranet ini mempunyai spesifikasi seperti:

1. Intesitas Cahaya Masuk : 15%.
2. Intesitas UV : 28%.
3. Intesitas Angin : 8%.
4. Mesh/Kepadatan : 18/8,6 lubang/cm.

Tipe ini dipilih berdasarkan data dari intensitas cahaya yang masuk sebesar 15%, ini merupakan nilai terkecil dari berbagai jenis paranet yang ada di pasaran, dengan demikian menunjukkan tipe ayaman yang lebih rapat.

2.8. Kualitas Air

Curah hujan yang terjadi pada jalan raya menimbulkan aliran permukaan dan mengalir ke saluran drainase, aktivitas jalan raya dan tingkat kepadatan lalu lintas akan mempengaruhi aliran permukaan yang terjadi. Aliran permukaan pada jalan raya akan membebani badan air penerima baik dari segi kuantitas dan kualitasnya. Kualitas air pada aliran permukaan jalan raya perlu diperhatikan karena unsur – unsur yang ada pada aliran permukaan jalan raya terpengaruh oleh aktivitas masyarakat dan emisi gas buang dari kendaraan bermotor. Kuantitas dan kualitas drainase jalan merupakan masalah dalam karakteristik terkait hidrologi dan perlu dipertimbangkan untuk menentukan seperangkat

pedoman desain. Pilihan dan desain sistem drainase akan tergantung pada kualitas air limpasan, tingkat curah hujan dan rezim lalu lintas, jenis lingkungan penerima dan kriteria yang berlaku untuk kualitas air.

Parameter kandungan air pada limpasan jalan raya diketahui bervariasi dari satu tempat ke tempat tergantung pada karakteristik hujan, sifat dan intensitas lalu lintas dan sistem drainase yang digunakan. Studi spesifik untuk memastikan interpretasi yang dapat dipertahankan secara teknis dari hasil studi dan mengembangkan strategi kontrol yang efektif meminimalkan dampak pada lingkungan perairan penerima. Polutan yang dibawa dengan aliran permukaan bervariasi sepanjang peristiwa banjir. Konsentrasi polutan umumnya lebih tinggi pada limpasan pertama dari banjir daripada yang diamati pada tahap akhir peristiwa sama. Berikut jenis polutan yang larut dalam aliran permukaan yang terjadi pada jalan raya (Bruen et al. 2006).

1. Logam berat (*Heavy Metals*), limpasan jalan raya menghasilkan parameter logam berat paling gigih yang tidak pernah hilang dari lingkungan Hidup. Logam seperti Timbal, Kadmium, Tembaga, Aluminium, Besi, Nikel, Seng, Chromium dan Mangan adalah beberapa yang paling sering dilaporkan dan berasal dari keausan bagian kendaraan. Misalnya, keausan ban adalah sumber Seng dan Kadmium. Keausan rem adalah sumber dari Tembaga, Timbal, Chromium dan Mangan. Keausan mesin dan kebocoran cairan adalah sumber dari Aluminium, Tembaga, Nikel, dan Chromium. Keausan dan pelepasan komponen kendaraan adalah sumber dari Besi, Aluminium, Chromium dan Seng
2. Hidrokarbon Aromatik Polisiklik (PAH = *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*) merupakan produk dari pembakaran minyak dan bahan bakar yang tidak lengkap. Ketika dirilis langsung ke dalam atmosfer melalui pembakaran, PAH dengan berat molekul lebih rendah umumnya tersebar jauh lebih cepat daripada orang-orang dengan berat molekul lebih tinggi sebelum kembali ke jalan atau tanah di sekitarnya secara langsung atau dalam curah hujan. PAH memasuki air langsung dari udara dengan debu dan presipitasi, atau partikel yang dicuci dari permukaan jalan oleh limpasan. Kebanyakan PAH tidak mudah larut dalam air tetapi menurunkan berat molekul PAH lebih larut dalam air daripada PAH dengan berat molekul lebih tinggi. PAH lambat terdegradasi di lingkungan, dan sedimen pada khususnya adalah tempat yang cenderung terkonsentrasi pada bahan kimia ini.

3. Bahan Bakar Oksigen *Metil-Tert-Butil Eter* (MTBE) Sejak penghilangan secara bertahap aditif oktan bertimbal dalam bensin, banyak kilang menggantikannya dengan aromatik, alternatif berbiaya rendah pada saat itu. Pengenalan aksi udara bersih, membatasi kandungan aromatik bensin dan senyawa beroksigen seperti MTBE menjadi pilihan mudah bagi industri pengilangan untuk mencapai standar baru. MTBE adalah digunakan sebagai penambah oktan untuk mencapai tingkat oktan yang dibutuhkan dan dengan demikian pembakaran bensin lebih bersih mengurangi emisi gas buang beracun (karbon monoksida dan ozon) dan meningkatkan kualitas udara. Ada banyak sifat-sifat menarik (seperti kelarutan yang sangat baik dalam bensin) yang menjadikannya alternatif yang baik bagi yang lain komponen bensin dan pengganti untuk peningkat oktan lainnya. Sebagian besar dampak lingkungan dari MTBE berasal dari sifat fisik dan kimianya. Ketika bensin yang mengandung MTBE bersentuhan dengan air, sejumlah besar dapat larut air.
4. Polutan Konvensional (*Conventional Pollutants*), limpasan jalan raya mengandung banyak polutan lain seperti padatan (partikulat dan terlarut), senyawa organik dan nutrisi yang dapat mempengaruhi kualitas lingkungan perairan. Total padatan adalah didefinisikan sebagai residu material yang tertinggal dalam bejana setelah penguapan sampel dan pengeringan berikutnya dalam oven pada suhu yang ditentukan. Total padatan mencakup total padatan tersuspensi (TSS), fraksi total padatan yang dipertahankan pada filter dengan ukuran pori sekitar 1,2 μm dan total terlarut padatan, bagian yang melewati filter. *Volatile suspended solids* (VSS) terdiri dari organik fraksi TSS.

Kualitas air adalah karakteristik mutu yang diperlukan untuk pemanfaatan tertentu dari berbagai sumber air. Kreteria mutu air merupakan suatu dasar baku mengenai syarat kualitas air yang dapat dimanfaatkan. Standar kualitas air bersih dapat diartikan sebagai ketentuan berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan standar kualitas air minum No.492/MENKES/PER/1V/2010 yang biasanya dituangkan dalam bentuk pernyataan atau angka yang menunjukkan persyaratan yang harus dipenuhi agar air tersebut tidak menimbulkan gangguan kesehatan, penyakit, gangguan teknis, serta gangguan dalam segi estetika. Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas air dibagi menjadi 3 yaitu antara lain faktor fisika, faktor kimia, dan faktor biologi. Dibawah ini akan di jelaskan faktor-faktornya yaitu :

1. Faktor Fisik

Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 tahun 2010 tentang persyaratan kualitas air minum menyatakan bahwa air yang layak dikonsumsi dan digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah air yang mempunyai kualitas yang baik sebagai sumber air minum maupun air baku (air bersih), antara lain harus memenuhi persyaratan secara fisik. Adapun sifat-sifat air secara fisik dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya sebagai berikut:

- a. Suhu, temperatur air akan mempengaruhi penerimaan masyarakat akan air tersebut dan dapat pula mempengaruhi reaksi kimia dalam pengolahannya terutama apabila temperatur sangat tinggi. Temperatur yang diinginkan adalah $\pm 3^{\circ}\text{C}$ suhu udara disekitarnya yang dapat memberikan rasa segar, tetapi iklim setempat atau jenis dari sumber-sumber air akan mempengaruhi temperatur air. Disamping itu, temperatur pada air mempengaruhi secara langsung toksisitas.
- b. Bau dan Rasa, biasanya terjadi secara bersamaan dan biasanya disebabkan oleh adanya bahan-bahan organik yang membusuk, tipe-tipe tertentu organisme mikroskopik, serta persenyawaan-persenyawaan kimia seperti phenol. Bahan-bahan yang menyebabkan bau dan rasa ini berasal dari berbagai sumber. Intensitas bau dan rasa dapat meningkat bila terdapat klorinasi.
- c. Kekeruhan, air dikatakan keruh apabila air tersebut mengandung begitu banyak partikel bahan yang tersuspensi sehingga memberikan warna/rupa yang berlumut dan kotor. Bahan-bahan yang menyebabkan kekeruhan ini meliputi tanah liat, lumpur, bahan-bahan organik yang tersebar dari partikel-partikel kecil yang tersuspensi.
- d. Warna, di dalam air warna terbagi dua, yakni warna semu (*apparent color*) adalah warna yang disebabkan oleh partikel-partikel penyebab kekeruhan (tanah, pasir, dll), partikel halus besi, mangan, partikel-partikel mikroorganisme, warna industri, dan lain-lain. Yang kedua adalah warna sejati (*true color*) adalah warna yang berasal dari penguraian zat organik alami, yakni humus, lignin, tanin dan asam organik lainnya.
- e. Zat Padat Terlarut (TDS) dan Residu Tersuspensi (TSS), muatan padatan terlarut adalah seluruh kandungan partikel baik berupa bahan organik maupun anorganik yang terlarut dalam air. Bahan-bahan tersuspensi dan terlarut pada perairan alami tidak bersifat toksik, akan tetapi jika berlebihan dapat meningkatkan kekeruhan

selanjutnya akan menghambat penetrasi cahaya matahari ke kolom air dan akhirnya akan berpengaruh terhadap proses fotosintesis di perairan.

2. Faktor Kimia

Air bersih yang baik adalah air yang tidak tercemar secara berlebihan oleh zat-zat kimia yang berbahaya bagi kesehatan antara lain:

- a. Besi (Fe) dan Mangan (Mn), air pada umumnya mengandung besi (*iron*, Fe) dan mangan (Mn). Kandungan besi dan mangan dalam air berasal dari tanah yang memang mengandung banyak kandungan mineral dan logam yang larut dalam air tanah. Besi larut dalam air dalam bentuk fero-oksida.
- b. Klorida (Cl), kadar klorida umumnya meningkat seiring dengan meningkatnya kadar mineral. Kadar klorida yang tinggi, yang diikuti oleh kadar kalsium dan magnesium yang juga tinggi, dapat meningkatkan sifat korosivitas air.
- c. Kesadahan (CaCO_3), kandungan ion Mg dan Ca dalam air akan menyebabkan air bersifat sadah. Kesadahan air yang tinggi dapat merugikan karena dapat merusak peralatan yang terbuat dari besi melalui proses pengkaratan (korosi), juga dapat menimbulkan endapan atau kerak pada peralatan. Kesadahan yang tinggi disebabkan sebagian besar oleh Calcium, Magnesium, Strontium, dan Ferrum.
- d. Nitrat (NO_3N) dan Nitrit (NO_2N), nitrit merupakan turunan dari amonia. Dari amonia ini, oleh bantuan bakteri *Nitrosomonas* sp, diubah menjadi nitrit. Nitrit biasanya tidak bertahan lama dan biasanya merupakan keadaan sementara proses oksidasi antara amonia dan nitrat.
- e. Derajat Keasaman (pH), pH menyatakan intensitas keasaman atau alkalinitas dari suatu cairan encer, dan mewakili konsentrasi hidrogen ionnya. Air minum sebaiknya netral, tidak asam/basa, untuk mencegah terjadinya pelarutan logam berat dan korosi jaringan distribusi air minum. pH standar untuk air bersih sebesar 6,5 – 8,5. Air adalah bahan pelarut yang baik sekali, jika dibantu dengan pH yang tidak netral, dapat melarutkan berbagai elemen kimia yang dilaluinya.
- f. Kebutuhan Oksigen Biokimia (BOD), pengukuran BOD diperlukan untuk menentukan beban pencemaran akibat air buangan penduduk atau rata-rata industri, dan untuk mendesain sistem-sistem pengolahan biologis bagi air yang tercemar tersebut. Semakin banyak kandungan BOD maka jumlah bakteri semakin besar.

- g. Kebutuhan Oksigen Kimia (COD), merupakan jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan buangan yang ada didalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimiawi.
- h. Oksigen Terlarut (DO), DO (Dissolved oxygen) DO adalah kadar oksigen terlarut dalam air. Penurunan DO dapat diakibatkan oleh pencemaran air yang mengandung bahan organik sehingga menyebabkan organisme air terganggu.
- i. Sulfat (SO_4), sulfat merupakan senyawa yang stabil secara kimia karena merupakan bentuk oksida paling tinggi dari unsur belerang. Sulfat dapat dihasilkan dari oksida senyawa sulfida oleh bakteri. Sulfida tersebut adalah antara lain sulfida metalik dan senyawa organosulfur. Sebaliknya oleh bakteri golongan heterotrofik anaerob, sulfat dapat direduksi menjadi asam sulfida.

3. Faktor Bakteriologis

Dalam parameter bakteriologi digunakan bakteri indikator polusi atau bakteri indikator sanitasi. Bakteri indikator sanitasi adalah bakteri yang dapat digunakan sebagai petunjuk adanya polusi feses dari manusia maupun dari hewan, karena organisme tersebut merupakan organisme yang terdapat di dalam saluran pencernaan manusia maupun hewan. Air yang tercemar oleh kotoran manusia maupun hewan tidak dapat digunakan untuk keperluan minum, mencuci makanan atau memasak karena dianggap mengandung mikroorganisme patogen yang berbahaya bagi kesehatan, terutama patogen penyebab infeksi saluran pencernaan.

2.9. Sumur Resapan

Sumur resapan adalah salah satu rekayasa teknis konservasi air berupa bangunan yang dibuat sedemikian rupa sehingga menyerupai bentuk sumur gali dengan kedalaman tertentu, yang berfungsi sebagai tempat penampungan dan sekaligus peresapan air ke dalam tanah. Pembuatan bangunan sumur resapan merupakan upaya memberikan imbuhan air secara buatan dengan cara menginjeksi air hujan sebagai media infiltrasi ke dalam tanah yang dapat diterapkan di kawasan pemukiman, pertokoan, industri, sarana dan prasarana olah raga serta fasilitas lainnya (Kusnaedi 2007). Drainase yang berwawasan lingkungan dengan cara pembuatan sumur resapan merupakan fasilitas eko-drainase, untuk mengembalikan parameter limpasan air pada kawasan pembangunan jalan tol Semarang-Solo (Mahardika dan Yulianto 2015). Sumur resapan sangat berkontribusi dalam menjaga pasokan air tanah, karena dengan diterapkannya sumur

resapan di masing-masing hunian bisa menampung aliran akibat curah hujan kala ulang 5 tahun lebih dari 98% (Prasojo dan Astuti 2015).

Desain sumur resapan tergantung pada volume curah hujan yang terjadi di setiap wilayah, standar untuk kapasitas sistem dengan mengukur intensitas curah hujan selama periode waktu tertentu. Ukuran fasilitas sumur resapan ini didasarkan pada volume limpasan yang mereka terima dari permukaan yang ke dan tidak ke air. Jumlah limpasan yang dialirkan ke sumur resapan akan tergantung pada pola curah hujan setempat, daerah drainase, dan seberapa banyak air limpasan permukaan. Sumur resapan sebagai konstruksi yang berfungsi sebagai meresapnya air ke dalam tanah, sumur resapan memiliki ketentuan dalam perencanaan, persyaratan yang harus dipenuhi meliputi: (Hadi dan Karnaningroem 2016):

1. Memiliki kedalaman (H) cukup, itu terkait erat dengan tujuan pembuangan infiltrasi.
2. Memiliki bidang yang luas (A) cukup, baik di dinding sumur maupun di bawah sumur.
3. Memiliki kapasitas volume (V) yang cukup untuk menyerap air, sehingga limpasan air tidak terjadi.

Penggunaan sumur resapan sebagai tampungan aliran permukaan pada jalan raya harus memperhatikan beberapa hal sebagai berikut:

1. Dinding sumur resapan harus menggunakan beton pra cetak atau pasangan batu bata, dengan tujuan supaya tidak terjadi longsor pada dinding sumur dan melindungi struktur dari jalan raya.
2. Ketinggian air tanah pada daerah sekitar struktur sumur resapan ataupun jalan raya minimal 1,5 meter dari permukaan tanah, agar tanah dasar dari struktur jalan raya tidak terganggu oleh air tanah maupun air dari sumur resapan.
3. Jarak antara tepi badan jalan dengan dinding sumur resapan minimal 1,0 meter, gunaantisipasi pengaruh struktur jalan terhadap bangunan sumur resapan.

Manfaat yang diperoleh dari pembuatan sumur resapan adalah:

1. Mengurangi aliran permukaan sehingga dapat mencegah atau mengurangi terjadinya banjir dan genangan.
2. Mempertahankan dan meningkatkan tinggi permukaan air tanah dan volumenya.
3. Mencegah penurunan tanah (*land subsidence*) akibatnya pengambilan air tanah yang berlebihan.

4. Mengurangi konsentrasi pencemaran air tanah.

Pemerintah pada dasarnya telah mewajibkan pembuatan sumur resapan di setiap pekarangan rumah. Akan tetapi, banyak dari masyarakat yang belum mengetahui standar sumur resapan air yang baik dan benar. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) No. 03-2453-2002, dapat diketahui bahwa persyaratan umum yang harus dipenuhi sebuah sumur resapan untuk lahan pekarangan rumah adalah sebagai berikut.

1. Sumur resapan harus berada pada lahan yang datar, tidak pada tanah berlereng, curam atau labil.
2. Sumur resapan harus dijauhkan dari tempat penimbunan sampah, jauh dari *septic tank* (minimum 5 m diukur dari tepi), dan berjarak minimum 1 m dari fondasi bangunan.
3. Penggalian sumur resapan bisa sampai tanah berpasir atau maksimal 2 m di bawah permukaan air tanah. Kedalaman muka air (*water table*) tanah minimum 1,5 m pada musim hujan.
4. Struktur tanah harus mempunyai permeabilitas tanah (kemampuan tanah menyerap air) lebih besar atau sama dengan 2,0 cm/jam (artinya, genangan air setinggi 2 cm akan teresap habis dalam 1 jam), dengan tiga klasifikasi, yaitu sebagai berikut.
 - a. Permeabilitas sedang, yaitu 2,0-3,6 cm/jam.
 - b. Permeabilitas tanah agak cepat (pasir halus), yaitu 3,6-36 cm/jam.
 - c. Permeabilitas tanah cepat (pasir kasar), yaitu lebih besar dari 36 cm/jam.
5. Menghitung kapasitas sumur resapan menggunakan SNI No. 03-2453-2002. Seperti pada Persamaan 2.35.

$$V_{rsp} = \frac{t_c}{24} \times A_{tot} \times K \dots\dots\dots(2.35)$$

dimana:

- Tc = durasi hujan efektif (jam)
Atot = luas dinding sumur + luas alas sumur (m²)
K = koefisien permeabilitas (m/hari)

Perhitungan jumlah sumur resapan menggunakan perbandingan antara debit aliran air yang terjadi dengan laju resapan yang terjadi dalam sumur resapan, dapat dilihat pada Persamaan 2.36.

$$n = \frac{Q_{hujan}}{Q_{LajuResapan}} \dots\dots\dots(2.36)$$

Penempatan sumur resapan harus memperhatikan kondisi lingkungan sekitarnya, agar sumur resapan yang dipasang tidak berpengaruh negatif terhadap bangunan sekitarnya, berikut disampaikan tabel 2.13. mengenai jarak minimum sumur resapan dengan bangunan lainnya (Kusnaedi 2000).

Tabel 2.13. Jarak Minimum Sumur Resapan Dengan Bangunan Lainnya (Kusnaedi 2000)

No.	Bangunan/Obyek Yang Ada	Jarak Minimum dengan Sumur Resapan (m)
1.	Bangunan/Rumah	3,0
2.	Batas Pemilikan Lahan/Kapling	1,5
3.	Sumur untuk Air Minum	10,0
4.	Septik Tank	10,0
5.	Aliran Air (Sungai)	30,0
6.	Pipa Air Minum	3,0
7.	Jalan Umum	1,5
8.	Pohon Besar	3,0

2.10. Peluap

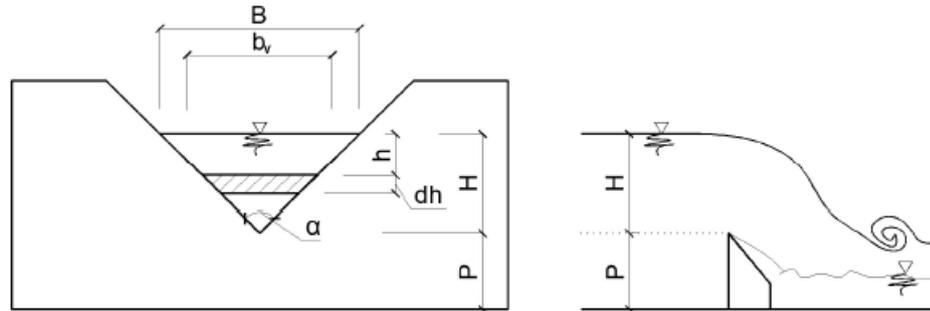
Peluap adalah sebuah bukaan yang terdapat pada salah satu sisi kolam atau tangki sehingga zat cair di dalam kolam tersebut melimpah di atas peluap (Triatmodjo 1993). Adapun peluap ini serupa dengan lubang besar dimana elevasi permukaan zat cair di sebelah hulu terlihat lebih rendah dari sisi atas lubang. Lapis zat cair yang melimpah di atas ambang peluap disebut dengan tinggi peluapan. Fungsi peluap ini adalah untuk mengukur debit aliran yang mengalir pada suatu kolam. Dalam penerapannya, yaitu pada bangunan irigasi, peluap ditempatkan pada saluran irigasi yang memiliki fungsi untuk mengukur debit aliran melalui saluran.

Berdasarkan bentuk puncaknya, peluap dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu ambang tipis dan ambang lebar. Peluap dapat dikatakan sebagai ambang tipis apabila tebal dari peluap adalah $t < 0,5 H$. Peluap dapat dikatakan sebagai ambang lebar apabila tebal peluap adalah $t > 0,66 H$. Dalam realita yang terjadi di lapangan, biasanya terjadi kondisi dimana $0,5 H < t < 0,66 H$. Jika demikian, maka dapat dikatakan keadaan aliran tersebut adalah tidak stabil, sehingga dapat terjadi aliran melalui peluap ambang tipis ataupun peluap ambang lebar.

Menurut elevasi muka air di hilir, peluap dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu peluap terjunan (sempurna) dan peluap terendam (tidak sempurna). Peluap dikatakan

sebagai peluap terjunan apabila muka air hilir berada di bawah puncak peluap, sedangkan dikatakan peluap terendam apabila muka air hilir di atas puncak peluap. Sementara untuk bentuk, peluap dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu peluap segiempat, trapesium, dan segitiga.

Menurut Triatmodjo (1993), pada Gambar 2.16. menunjukkan peluap *V-Notch* yg di atasnya dialiri air. Tinggi peluapan adalah H dan sudut peluap *V-Notch* adalah α .



Gambar 2.16. Peluap *V-Notch* (Triatmodjo 1993)

Berdasarkan gambar di atas, perhitungan lebar muka air memakai Persamaan 2.37.

$$B = 2 H \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \dots \dots \dots (2.37)$$

dimana:

- B = lebar muka air (m)
- H = Tinggi peluapan (m)
- α = sudut peluap ($^{\circ}$)

Panjang pias tersebut dengan Persamaan 2.38.

$$b_v = 2 (H - h) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \dots \dots \dots (2.38)$$

dimana

- b_v = panjang pias (m)
- H = tinggi peluapan (m)
- h = tinggi pias dari muka air (m)
- α = sudut peluap ($^{\circ}$)

Luas pias dihitung dengan Persamaan 2.39.

$$dA = 2(H - h) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} dH \dots \dots \dots (2.39)$$

dimana:

- dA = luas pias (m^2)
- H = tinggi peluapan (m)

α = sudut peluap ($^{\circ}$)

dh = tebal pias (m)

Debit aliran melalui pias dihitung menggunakan Persamaan 2.40:

$$Q_{th} = C_d dA \sqrt{2gh}$$
$$= C_d 2 (H - h) \text{tg} \frac{\alpha}{2} dh \sqrt{2gh} \dots \dots \dots (2.40)$$

dimana:

Q_{th} = debit aliran teoritis (m³/s)

C_d = koefisien debit

H = tinggi peluapan (m)

h = tinggi pias dari muka air (m)

α = sudut peluap ($^{\circ}$)

dh = tebal pias (m)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

Integrasi persamaan debit teori aliran melalui peluap segitiga dengan Persamaan 2.41.

$$Q_{th} = \frac{8}{12} C_d \text{tg} \frac{\alpha}{2} \sqrt{2gH^{\frac{5}{2}}} \dots \dots \dots (2.41)$$

dimana:

Q_{th} = debit aliran teoritis (m³/s)

C_d = koefisien debit

H = tinggi peluapan (m)

α = sudut peluap ($^{\circ}$)

g = percepatan gravitasi (m/s²)

Debit nyata aliran pada saluran terbuka melalui peluap adalah perbandingan antara volume air yang melalui peluap dengan waktu lamanya air melalui peluap, sehingga rumus debit nyata aliran pada Persamaan 2.42.

$$Q = \frac{V}{t} \dots \dots \dots (2.42)$$

dimana:

Q = debit aliran nyata (m³/s)

V = Volume (m³)

t = waktu (s)

Koefisien debit (Cd) adalah perbandingan antara debit nyata dengan debit teoritis. Sehingga rumus koefisien debit pada Persamaan 2.43.

$$C_d = \frac{Q}{Q_{th}} \dots \dots \dots (2.43)$$

dimana:

- C_d = koefisien debit
- Q = debit aliran nyata (m^3/s)
- Q_{th} = debit aliran teoritis (m^3/s)

2.11. Program Simulasi *Storm Water Management Model (SWMM)*

Aplikasi program komputer yang membantu memprediksi kuantitas dan kualitas air limpasan di daerah perkotaan adalah *Storm Water Management Model (SWMM)*. Aplikasi ini pertama kali dikembangkan pada tahun 1971 dan mengalami beberapa kali peningkatan sampai sekarang. Pengembangan yang baru adalah praktik infrastruktur hijau sebagai dampak dari *Low Impact Development (LID)*. SWMM menyediakan integrasi lingkungan untuk input data area studi, hidrologi, simulasi kualitas air, dan hidrolika. Disamping itu juga merupakan pemodelan hidrolik yang fleksibel yang digunakan untuk mengarahkan air limpasan dan aliran masuk melalui jaringan drainase pipa, saluran, unit penyimpanan, dan struktur pengalihan (Rossman 2010). SWMM merupakan bagian dari studi upaya berkelanjutan untuk memodelkan antisipasi kinerja praktik manajemen banjir dan model yang dapat menghitung persentase pengurangan volume limpasan, pengurangan debit limpasan puncak, waktu hidrograf limpasan, dan potensi pengurangan limpasan karena infiltrasi (Abi et al. 2010).

SWMM menyusun konsep sistem drainase sebagai rangkaian aliran air dan material antara beberapa sebagian besar komponen lingkungan. Komponen permukaan tanah yang direpresentasikan melalui satu atau lebih obyek dalam sub kawasan. Komponen permukaan tanah menerima curah hujan menjadi limpasan permukaan dengan beban polutan dan diresapkan kedalam komponen air tanah. Pada komponen air tanah menerima infiltrasi dari permukaan tanah dan mentransfer sebagian melalui berbagai media penghubung yang dimodelkan menggunakan objek akuifer. Studi yang menerapkan model SWMM pada manajemen banjir yang berdekatan dengan jalan raya. Tampung air hujan pada cekungan termasuk juga infiltrasi diinstrumentasi di kedua lokasi inlet dan outlet. Model ini digunakan untuk mensimulasikan kinerja banjir dalam hidrograf dan polutan selama peristiwa banjir yang berbeda (Wang et al. 2018).

SWMM menyediakan lingkungan terpadu untuk mengedit input data pada area studi, perhitungan hidrologi, simulasi kualitas hidrolis dan air, dan menampilkan hasilnya dalam berbagai format. Dalam pemodelan hidrolis, SWMM berisi seperangkat kemampuan pemodelan hidraulik yang fleksibel digunakan untuk mengarahkan limpasan dan aliran masuk eksternal melalui jaringan sistem drainase. Disamping itu juga termasuk kemampuan melakukan hal-hal sebagai berikut.

- a. Menangani jaringan drainase dengan ukuran tidak terbatas.
- b. Menggunakan berbagai macam bentuk standar saluran tertutup dan terbuka serta saluran alami.
- c. Buat model elemen khusus, seperti unit penyimpanan, pembagi arus, pompa, bendung, dan lubang.
- d. Menerapkan aliran eksternal dan input kualitas air dari limpasan permukaan, aliran air tanah, infiltrasi atau aliran masuk yang bergantung pada curah hujan, aliran sanitasi cuaca kering, dan arus masuk yang ditentukan.
- e. Memanfaatkan gelombang kinematik atau metode routing aliran gelombang dinamis penuh.
- f. Memodelkan berbagai rezim aliran, seperti *backwater*, *surcharging*, arus balik, dan *surface ponding*. menerapkan aturan kontrol dinamis yang ditentukan untuk mensimulasikan pengoperasian pompa, *orifice openings*, dan *weir crest levels*.
- g. Percolasi air yang diinfiltrasikan ke lapisan air tanah.
- h. *Interflow* antara air tanah dan sistem drainase.
- i. Routing reservoir nonlinier dari aliran darat. Pengurangan limpasan melalui kontrol LID.

Perhitungan Proses hidrologi, SWMM menyumbangkan berbagai proses hidrologi yang menghasilkan limpasan dari daerah perkotaan, yang meliputi:

- a. Pengurangan limpasan melalui praktik infrastruktur hijau.
- b. Waktu curah hujan bervariasi (presipitasi) dan penguapan air permukaan berdiri.
- c. Celah hujan dari penyimpanan depresi.
- d. Infiltrasi curah hujan ke lapisan tanah tak jenuh.
- e. Percolasi air yang diinfiltrasikan ke dalam lapisan air tanah. *Interflow* antara air tanah dan sistem drainase.
- f. Routing reservoir nonlinier dari aliran darat.

Keragaman spasial dalam semua proses ini dicapai dengan membagi wilayah studi menjadi kumpulan sub-daerah tangkapan air yang lebih kecil dan homogen. Masing-masing wilayah mengandung fraksi sendiri dari sub-bidang permeabel dan tidak permeabel. Aliran darat dapat dialihkan antara sub-bidang, antara sub-DAS, atau antara titik masuk dari sistem drainase.

Estimasi Beban Polutan: SWMM dapat memperkirakan produksi beban polutan yang terkait dengan limpasan stormwater. Proses berikut dapat dimodelkan untuk sejumlah konstituen kualitas air yang ditentukan oleh pengguna:

- a. Pembangkit polutan cuaca kering yang digunakan untuk berbagai penggunaan lahan.
- b. Pencucian polutan dari penggunaan lahan khusus selama peristiwa banjir.
- c. Kontribusi langsung dari deposisi curah hujan. Pengurangan dalam penumpukan cuaca kering karena pembersihan jalan.
- d. Pengurangan beban pencucian dengan *Best Management Practise (BMPs)*.
- e. Masuknya aliran sanitasi cuaca kering dan aliran masuk eksternal yang ditentukan pengguna pada setiap titik dalam sistem drainase.
- f. Menentukan rute konstituen kualitas air melalui sistem drainase.
- g. Pengurangan konsentrasi konstituen melalui perawatan di unit penyimpanan atau oleh proses alami dalam pipa dan saluran.

Penggunaan program SWMM untuk pemodelan hidrolik guna menentukan analisis hidrograf banjir berupa debit dan kualitas air limpasan permukaan yang terjadi ketika curah hujan pada beberapa *outfall* yang ada di kawasan kampus Universitas Diponegoro Tembalang Semarang.

2.12. Validasi dan Sistem Kontrol

Validasi dan sistem kontrol adalah suatu tindakan pembuktian dalam penelitian dengan cara yang sesuai bahwa perhitungan dan analisis yang dilakukan untuk mencapai hasil yang diinginkan. Tujuan dari validasi adalah menghasilkan sebuah model yang representatif terhadap sistem kenyataannya serta meningkatkan kredibilitas model. Dalam melakukan pembuktian kebenaran terhadap hasil hitungan dan analisis menggunakan metode RMSE (*Root Mean Square Error*).

RMSE merupakan parameter yang digunakan untuk mengevaluasi nilai hasil dari perhitungan terhadap nilai sebenarnya atau nilai yang dianggap benar. RMSE bertujuan untuk mempresentasikan rata-rata kuadrat simpangan (selisih) antara nilai keluaran

model terhadap nilai pengukuran atau target. RMSE merupakan nilai rata-rata dari jumlah kuadrat kesalahan juga dapat menyatakan ukuran besarnya kesalahan yang dihasilkan oleh suatu model prakiraan, besarnya tingkat kesalahan hasil prediksi, dimana semakin kecil (mendekati 0) nilai RMSE maka hasil prediksi akan semakin akurat.

Cara menghitung RMSE adalah dengan mengurangi nilai aktual dengan nilai prediksi (nilai dalam rumus hasil perhitungan), kemudian dikuadratkan dan dijumlahkan keseluruhan hasilnya kemudian dibagi dengan banyaknya data. Hasil perhitungan tersebut selanjutnya dihitung kembali untuk mencari nilai dari akar kuadrat pada Persamaan 2.44.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (y-y')^2}{n}} \dots\dots\dots(2.44)$$

dimana:

- RMSE = *Root Mean Square Error*
- y = nilai sesungguhnya
- y' = nilai prediksi ((nilai dalam rumus hasil perhitungan)
- n = jumlah data

Sistem kontrol dan evaluasi terhadap model drainase jalan raya yang berkelanjutan menggunakan perbandingan berbagai parameter hidrologi yang ada dalam drainase konvensional dari hasil perhitungan simulasi SWMM maupun dari hasil perhitungan kondisi lapangan. Sistem kontrol ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas operasional model yang dibuat terhadap kondisi sesungguhnya lapangan, sebelum secara luas digunakan dan diterapkan lapangan

2.13. Kerangka Berpikir

Kuantitas aliran permukaan (*runoff*) yang berlebihan pada musim hujan akan menimbulkan genangan air pada jalan raya, jika drainase jalan raya pada lokasi tersebut tidak berfungsi dengan baik. Genangan air pada jalan raya berpengaruh besar terhadap agregat lapis permukaan dan berperan sebagai anti-adhesi, menyebabkan terlepasnya agregat dari ikatan aspal pada lapis permukaan sehingga terjadinya kerusakan permukaan jalan dan mengganggu arus lalu lintas. Pengumpulan air dalam lapisan tanah dasar yang berada di bawah struktur perkerasan dapat menyebabkan pelemahan tanah dasar dan komponen struktur perkerasan. Untuk itu diperlukan drainase jalan raya yang berwawasan lingkungan guna mengatasi kelebihan kuantitas air permukaan pada jalan

raya, dan disisi lain tetap mempertahankan daya dukung tanah dengan mengurangi air yang terinfiltrasi disekitar struktur perkerasan.

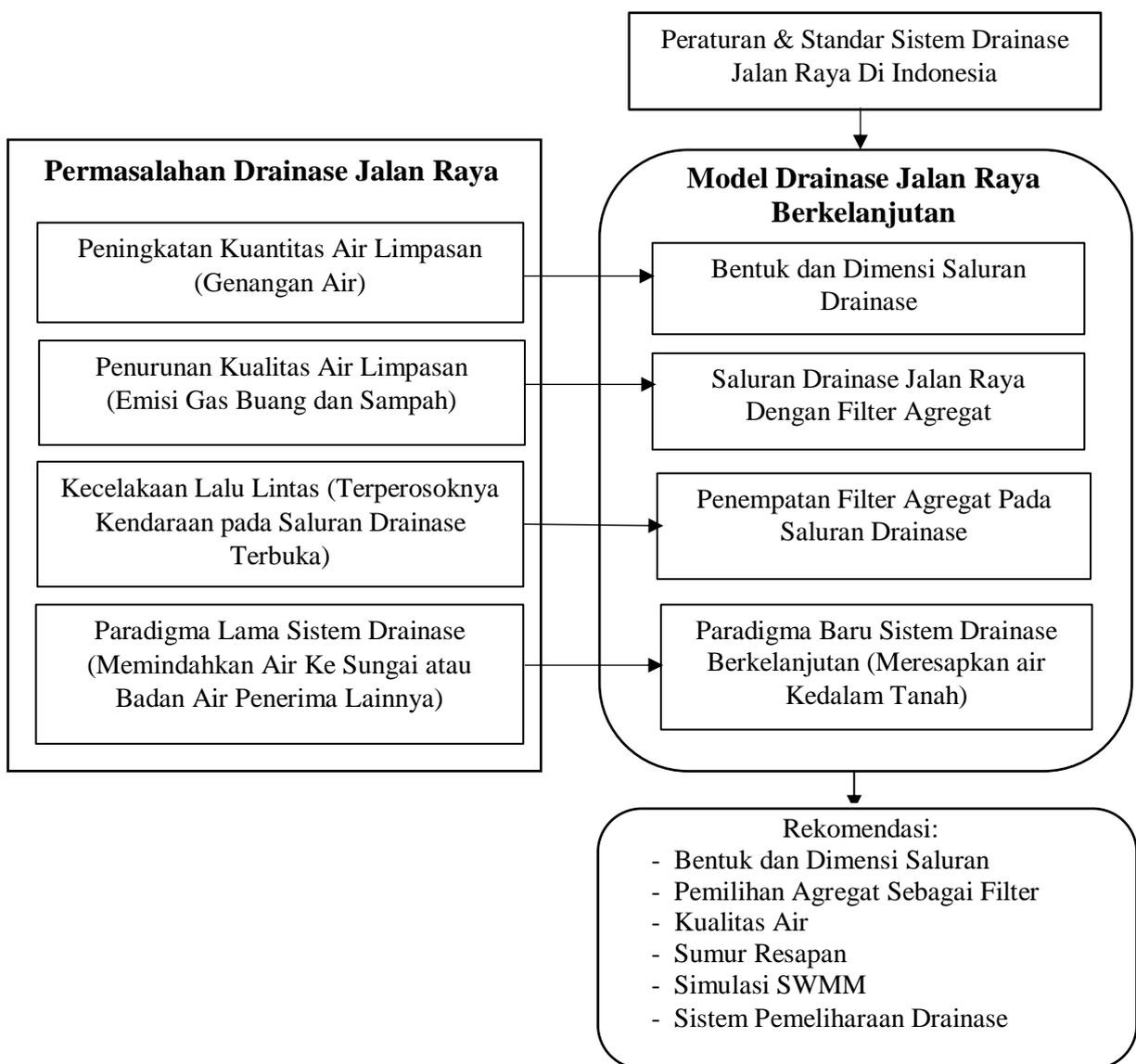
Penurunan kualitas air permukaan pada jalan raya ketika hujan turun diakibatkan oleh emisi gas buang kendaraan dan timbulan sampah pada jalan raya, sehingga air hujan yang ada tidak lagi memenuhi kualitas mutu. Untuk itu diperlukan pengolahan ataupun penanganan air limpasan permukaan pada jalan raya yang masuk pada saluran drainase memenuhi syarat kualitas mutu.

Saluran drainase terbuka pada jalan raya juga dapat mengakibatkan kecelakaan lalu lintas yaitu dengan terperosoknya kendaraan kedalam saluran tersebut. Beberapa wilayah di Indonesia masih menggunakan drainase jalan raya yang terbuka dikanan dan kiri jalan. Penggunaan lalu lintas pada jalan raya diperlukan kehati-hatian dalam berkendara dan meningkatkan disiplin berlalu lintas, guna menghindari terjadinya kecelakaan lalu lintas. Disamping itu juga diperlukan saluran drainase jalan raya yang tertutup dan memenuhi syarat lingkungan, sehingga berperan ganda dalam mengatasi permasalahan lalu lintas dan berwawasan lingkungan.

Paradigma lama sistem drainase jalan raya yang hanya memindahkan air dari satu lokasi ke lokasi lain yang dapat menimbulkan kerugian ataupun masalah pada daerah hilir. Disamping itu juga saluran drainase yang tersumbat oleh sampah yang diakibatkan oleh ketidakpedulian masyarakat dalam menjaga saluran drainase, menjadikan fungsi drainase tidak berjalan dengan sempurna. Dengan demikian perlu adanya perubahan pandangan ataupun paradigma mengenai sistem drainase yaitu menuju paradigma baru mewujudkan sistem drainase jalan raya yang berwawasan lingkungan dengan meningkatkan kualitas air limpasan (*runoff*). Disamping itu juga semaksimal mungkin untuk menahan air limpasan bisa terinfiltrasi ke dalam tanah pada wilayah tersebut, sehingga tidak menimbulkan kerugian pada wilayah lain. Peran serta masyarakat dalam ikut menjaga dan memelihara saluran drainase sangat diperlukan agar sistem drainase berfungsi dengan baik.

Dari permasalahan drainase jalan raya tersebut dan arahan mewujudkan paradigma baru tentang sistem drainase jalan raya yang berwawasan lingkungan, sehingga memunculkan ide untuk membuat model saluran drainase jalan raya yang berkelanjutan. Ide model tetap mengacu pada standart sistem drainase jalan raya sesuai dengan peraturan dan pedoman yang dikeluarkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum maupun peraturan

lain yang relevan. Arahannya rekomendasi yang diharapkan adalah model saluran drainase yang berkelanjutan dengan mempertimbangkan bentuk saluran, permeabilitas tanah, penggunaan agregat setempat sebagai filter, kualitas air, dan sumur resapan sebagai tampungan air. Penggunaan program *Storm Water Management Model (SWMM)* untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas tentang lokasi studi dan hasil analisis mengenai simulasi kuantitas dan kualitas limpasan permukaan di daerah perkotaan. Untuk lebih jelasnya kerangka berpikir dalam mendapatkan model saluran drainase jalan raya yang berkelanjutan, dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17. Bagan Alir Kerangka Berpikir dalam Mendapatkan Model Drainase Jalan Raya Berkelanjutan

2.14. Kebaruan (*Noveltis*)

Terdapat beberapa hal yang menyangkut kebaruan (*noveltis*) dari penelitian untuk disertasi ini, yang merupakan rumusan sistem drainase jalan raya yang berkelanjutan, yang terdiri dari:

1. *U-Ditch Filter Drains Integrated Infiltration Wells* dengan bentuk saluran segi empat (*U-ditch*) dengan struktur beton pracetak dengan penambahan tampungan air pada bagian bawah saluran dan sekat yang berlubang untuk penempatan filter agregat di atasnya. Tampungan air terintegrasi dengan sumur resapan sebagai tampungan akhir yang dihubungkan dengan pipa. Model saluran ini belum ada yang menggunakan sebelumnya.
2. Penempatan filter agregat pada saluran drainase jalan raya yang terdiri dari agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil), serta penggunaan paranet sebagai penyekat antar agregat. Pada penelitian sebelumnya terdapat penempatan agregat kasar saja sebagai bahan filter belum ada yang dikombinasi dengan pasir dan penyekat. Susunan agregat dari atas meliputi agregat halus, penyekat paranet, dan bagian bawah agregat kasar. Dengan adanya filter agregat ini diharapkan air yang masuk ke sumur resapan sudah mengalami penyaringan, sehingga kualitas air menjadi lebih baik.
3. Penggunaan rumus Smith (2005) pada perhitungan *permeable pavement* eksfiltrasi penuh untuk perhitungan kedalaman agregat yang digunakan untuk filter.
4. Sumur resapan sebagai tampungan air, beberapa penelitian telah melakukan penggunaan sumur resapan sebagai tampungan air limpasan (*runoff*) pada jalan raya, tetapi air yang dialirkan ke dalam sumur resapan belum dilakukan penyaringan atau proses filtrasi.