

**TESIS**

**MANAJEMEN RUNOFF KOTA SENGKANG DENGAN  
PENERAPAN DRAINASE VERTIKAL DAN HORIZONTAL**

**Sengkang City Runoff Management with Vertical and Horizontal  
Drainage Applied**

**MUHAMMAD IDRIS**

**D012211017**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL**

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2023**

**TESIS**

**MANAJEMEN RUNOFF KOTA SENGKANG DENGAN  
PENERAPAN DRAINASE VERTIKAL DAN HORIZONTAL**

**Sengkang City Runoff Management with Vertical and Horizontal  
Drainage Applied**

**MUHAMMAD IDRIS**

**D012211017**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL**

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2023**

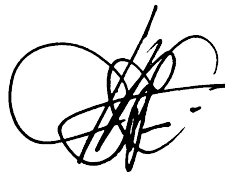
**MANAJEMEN RUNOFF KOTA SENGKANG DENGAN  
PENERAPAN DRAINASE VERTIKAL DAN HORIZONTAL**

**Sengkang City Runoff Management with Vertical and Horizontal  
Drainage Applied**

**Tesis**

**sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar megister  
Program Studi Magister Teknik Sipil**

**Disusun dan diajukan oleh**



**MUHAMMAD IDRIS**

**D012211017**

**Kepada**

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

# TESIS

## MANAJEMEN RUNOFF KOTA SENGKANG DENGAN PENERAPAN DRAINASE VERTIKAL DAN HORIZONTAL

**MUHAMMAD IDRIS**  
**D012211017**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 01 Februari 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Tahir Lopa., MT  
NIP. 19670319199203 2010

Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. H. Riswal K., ST., MT  
NIP. 19710505 200604 1002

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST. MT. IPM  
NIP. 197309262000121002

Ketua Program Studi  
S2 Teknik Sipil



Dr. M. Asad Abdurrahman, ST. MEng.PM  
NIP. 197303061998021001

## **PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA**

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Muhammad Idris

Nomor mahasiswa : D012211017

Program studi : Magister Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul “**Manajemen runoff Kota Sengkang dengan penerapan drainase vertikal dan horizontal**” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing **Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Tahir Lopa., MT** dan **Dr. Ir. H. Riswal K., ST., MT**. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Jurnal/Prosiding (Nama, Volume, Halaman, dan DOI) sebagai artikel dengan judul “**Sengkang City Runoff Management in Primary Drainage Channels with One-Dimensional SWMM model**”.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 15 Januari 2023

Yang menyatakan



Muhammad Idris

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur senantiasa dipanjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat dan Hidayah-Nya kepada penulis, sehingga dapat menyelesaikan tesis ini yang berjudul “**Manajemen runoff Kota Sengkang dengan penerapan drainase vertikal dan horizontal**”.

Gagasan utama penulis adalah mengkaji kejadian banjir perkotaan yang terjadi di Kota Sengkang dengan menganalisis kondisi penyebab banjir dan kemudian membuat perencanaan mitigasi bencana struktural dengan melakukan manajemen *runoff* terintegrasi dengan penerapan drainase vertikal dan horizontal.

Bukan hal yang mudah untuk merealisasikan ide-ide tersebut dalam sebuah tesis, berkat arahan, bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak maka tesis ini bisa disusun sebagaimana syarat-syarat yang diprasyarkan dan untuk itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Tahir Lopa., MT sebagai pembimbing utama.
2. Dr. Ir. H. Riswal K., ST., MT sebagai pembimbing pendamping
3. Prof. Dr. Ir. Muh. Saleh Pallu., M.Eng sebagai penguji
4. Dr. Eng. Ir. Mukhsan Putra Hatta., ST., MT sebagai penguji
5. Dr. Eng. Ir. Bambang Bakri., ST., MT sebagai penguji
6. Rektor Universitas Hasanuddin dan Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memfasilitasi saya menempuh program magister serta para dosen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin.
7. Rekan-rekan yang membantu dalam penelitian ini, Kanda Feri Fadlin, Muh. Ryan Pratama, Muhammad Rifaldi Mustamin, dan Arfan Aminuddin serta teman-teman yang belum bisa disebutkan satu-satu.
8. Kerabat dan keluarga besar tercinta, Ibunda **Hj. Salma**, ayahanda **H. Abidin**, saudara penulis **ST. Aminah** dan **ST. Jumriati**, istri penulis **Nur Marifah Asri**, anak penulis **Adelia Muthmainnah idris** dan **Dude Ashraf Idris**.

Penulis



Muhammad Idris

## ABSTRAK

**Muhammad Idris.** *Manajemen Runoff Kota Sengkang dengan Penerapan Drainase Vertikal dan Horizontal.* (Di bimbing oleh **Rita Tahir Lopa** dan **Riswal Karamma**)

Kejadian banjir dengan ketinggian 0,5 sampai 1 m menjadi masalah Kota Sengkang yang merupakan pusat bisnis masyarakat Kota Wajo. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik eksisting sebagai penyebab genangan dan cara penanggulangan. Pengambilan data topografi, dimensi saluran, elevasi saluran, data curah hujan dan tata guna lahan sebagai data masukan pada simulasi SWMM. Simulasi dilakukan pada intensitas curah hujan periode ulang 5 dan 10 tahun. Rekayasa drainase vertikal dan horizontal digunakan sebagai rencana penanggulangan. Hasil penelitian menunjukkan minimnya kapasitas saluran eksisting menyebabkan volume banjir 131.209 m<sup>3</sup>(45 titik genangan) periode ulang 5 tahun (R5) dan volume banjir 204.586 m<sup>3</sup>(58 titik genangan) periode ulang 10 tahun (R10). Perencanaan penanggulangan tahap pertama, perbaikan saluran dan penambahan saluran dapat menurunkan volume banjir R5 sebesar 56.853 m<sup>3</sup> (32 titik genangan) dengan efektivitas 43,33% dan R10 sebesar 83.547 m<sup>3</sup> (35 titik genangan) dengan efektivitas 40,84%. Tahap kedua, sumur resapan dapat menurunkan R5 volume banjir 5.823 m<sup>3</sup> (1 titik genangan) dengan efektivitas 4,44% dan R10 sebesar 9.027 m<sup>3</sup> (0 titik genangan) dengan efektivitas 4,41%. Tahap ketiga, penambahan kolam retensi 10.000 m<sup>3</sup> di saluran primer A, kolam retensi 10.000 m<sup>3</sup> di saluran Primer B, kolam detensi 3.700 m<sup>3</sup> di hilir saluran C dan kolam detensi 6.400 m<sup>3</sup> di hilir saluran A dapat menurunkan volume banjir R5 sebesar 68.533 m<sup>3</sup> (12 titik genangan) dengan efektivitas 52,23%, dan R10 sebesar 112.012 m<sup>3</sup> (23 titik genangan) dengan efektivitas 54,75%.

Kata kunci: Kota Sengkang, manajemen runoff.

## ABSTRACT

**Muhammad Idris.** *Sengkang City Runoff Management with Vertical and Horizontal Drainage Approach.* (Supervised by **Rita Tahir Lopa** dan **Riswal Karamma**)

Flood events with a height of 0.5 to 1 m are a problem for Sengkang City, which is the business centre of Wajo City. This study aims to analyze the characteristics of flood the causes of existing inundation and how to counter measure. Taking topography data, channel dimension, channel elevation, rainfall data and land use as input data in SWMM simulation. The simulation runs on rainfall intensities in 5 and 10 years return periods. Vertical and horizontal drainage techniques are used as a counter measure plan. The results showed that the lack of capacity of the existing channel led to a flood volume of 131.209 m<sup>3</sup> (45 inundation points) 5 years return periods (R5) and a flood volume of 204.586 m<sup>3</sup> (58 inundation points) 10 years return periods (R10). The first phase of mitigation planning is improved channel dimensions and adding new channels can reduce the flood volume of R5 amount 56.853 m<sup>3</sup> (32 inundation points) with an effectiveness of 43,33% and R10 amount 83.547 m<sup>3</sup> (35 inundation points) with an effectiveness of 40,84%. In the second phase, the infiltration wells can reduce the flood volume of R5 by 5.823 m<sup>3</sup> (1 inundation point) with an effectiveness of 4,44% and R10 amount 9.027 m<sup>3</sup> (0 inundation point) with an effectiveness of 4,41%. In the third phase, the addition of amount 10.000 m<sup>3</sup> retention pond in primary channel A, and amount 10.000 m<sup>3</sup> retention pond in primary channel B, amount 3.700 m<sup>3</sup> detention pond downstream of channel C and amount 6.400 m<sup>3</sup> detention pond downstream of channel A, can reduce the flood volume of R5 amount 68.533 m<sup>3</sup> (12 inundation points) with an effectiveness of 52,23%, and R10 amount 112.012 m<sup>3</sup> (23 inundation points) with an effectiveness of 54,75%.

Key Word: Sengkang City, runoff management.



## DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA .....	i
KATA PENGANTAR .....	ii
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	ix
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Ruang Lingkup Penelitian .....	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Penelitian Terdahulu .....	4
2.2 Banjir .....	5
2.3 Mitigasi Bencana Banjir .....	8
2.4 Hidrologi .....	9
2.5 Sistem Informasi Geografis (GIS).....	18
2.6 Sistem Tata Air.....	19
2.7 Drainase Horizontal.....	19
2.8 Drainase Vertikal.....	22
2.9 SWMM.....	23

2.10 Koefisien Limpasan / <i>Runoff</i> .....	25
BAB III METODE PENELITIAN.....	27
3.1 Rancangan Penelitian .....	27
3.2 Lokasi Penelitian .....	27
3.3 Alat dan Bahan Penelitian .....	28
3.3 Jenis dan Sumber Data .....	30
3.4 Metode Penelitian.....	30
3.5 Analisa Data .....	31
3.6 Bagan Alir Penelitian .....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	34
4.1 Karakteristik Daerah Kota Sengkang.....	34
4.1.1 Karakteristik Biofisik Kota Sengkang .....	34
4.1.2 Karakteristik Hidrologi Banjir Kota Sengkang.....	36
4.1.3 Karakteristik fisik saluran drainase Kota Sengkang .....	41
4.2 Pemodelan Jaringan Drainase Kota Sengkang Existing .....	77
4.2.1 Model dengan Intensitas Hujan Kala Ulang 5 Tahun .....	78
4.2.2 Model dengan Intensitas Hujan Kala Ulang 10 Tahun .....	79
4.3 Validasi dan Verifikasi Model .....	83
4.3.1 Validasi hasil running dengan nilai <i>surface runoff</i> .....	83
4.3.2 Verifikasi hasil running dengan titik genangan dilapangan dengan running model kala ulang 5 Tahun, .....	83
4.4 Analisis Hasil Simulasi .....	86
4.5 Usulan Penanganan Genangan .....	91
4.6 Detail perubahan dengan rekayasa perbaikan terintegrasi drainase vertikal dan horizontal .....	106
4.7 Nilai Koefisien <i>Runoff</i> Setelah Penanganan.....	110

4.8	Peta simulasi pengaliran sebelum dan sesudah penanganan .....	111
4.9	Detail perencanaan perubahan dimensi saluran .....	112
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		115
5.1	Kesimpulan.....	115
5.2	Saran.....	116
BAB VI DAFTAR PUSTAKA.....		117

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1</b> Uji kesesuaian data curah hujan terhadap jenis sebaran.....	15
<b>Tabel 2</b> Nilai Variabel Reduksi Gauss .....	16
<b>Tabel 3</b> Hubungan kondisi permukaan tanah dan koefisien pengaliran (C) .....	25
<b>Tabel 4</b> Titik/pos hujan TRMM .....	36
<b>Tabel 5</b> Curah hujan harian maksimum tahunan Kota Sengkang .....	37
<b>Tabel 6</b> Perhitungan distribusi sebaran normal .....	38
<b>Tabel 7</b> Penentuan distribusi curah hujan.....	39
<b>Tabel 8</b> Nilai distribusi intensitas curah hujan jam – jam-an .....	39
<b>Tabel 9</b> Curah hujan neto jam-jam an Kota Sengkang.....	40
<b>Tabel 10</b> Tabel elevasi <i>junction</i> (elevasi dasar saluran).....	43
<b>Tabel 11</b> Tabel dimensi penampang saluran .....	51
<b>Tabel 12</b> Tabel <i>sub catchment</i> area .....	67
<b>Tabel 13</b> Tabel hasil <i>node of flooding</i> kala ulang 5 Tahun dan 10 Tahun .....	80
<b>Tabel 14</b> Tabel nilai C per-saluran primer .....	82
<b>Tabel 15</b> Tabel validasi <i>node of flooding</i> kala ulang 5 Tahun .....	84
<b>Tabel 16</b> Tabel hasil analisis penyebab genangan.....	86
<b>Tabel 17</b> Rencana perbaikan dimensi saluran .....	93
<b>Tabel 18</b> Rencana lokasi penambahan saluran.....	98
<b>Tabel 19</b> Tabel perhitungan hasil simulasi <i>total flooding</i> dengan perbaikan penampang saluran.....	99
<b>Tabel 20</b> Tabel <i>Sub Catchment</i> area.....	100
<b>Tabel 21</b> Tabel perhitungan debit terserap per-sumur resapan .....	101
<b>Tabel 22</b> Tabel perhitungan debit terserap per <i>sub catchment</i> area .....	101
<b>Tabel 23</b> Tabel perhitungan hasil simulasi <i>total flooding</i> dengan penambahan sumur resapan.....	102
<b>Tabel 24</b> Tabel rencana kolam retensi dan detensi.....	103
<b>Tabel 25</b> Tabel perhitungan hasil simulasi <i>total flooding</i> dengan penambahan kolam retensi dan detensi .....	105
<b>Tabel 26</b> Tabel nilai C per-saluran primer .....	110

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1</b> Metode pengendalian banjir struktur dan non struktur.....	9
<b>Gambar 2</b> Analisis Kurva Massa Ganda .....	13
<b>Gambar 3</b> Peta administrasi Kecamatan Tempe.....	27
<b>Gambar 4</b> Detail lokasi penelitian .....	28
<b>Gambar 5</b> Peralatan penelitian.....	29
<b>Gambar 6</b> Bagan Alir Penelitian.....	33
<b>Gambar 7</b> Peta Kota Sengkang.....	34
<b>Gambar 8</b> Peta kontur Kecamatan Tempe.....	35
<b>Gambar 9</b> Peta jenis tanah .....	35
<b>Gambar 10</b> Peta tata guna lahan Kecamatan Tempe .....	36
<b>Gambar 11</b> Grafik Intensitas curah hujan kala ulang 5 dan 10 tahun.....	40
<b>Gambar 12</b> Peta Curve Number.....	41
<b>Gambar 13</b> Peta jaringan suluran primer.....	42
<b>Gambar 14</b> Peta identifikasi junction .....	42
<b>Gambar 15</b> Foto dokumentasi pengukuran elevasi Saluran .....	50
<b>Gambar 16</b> Peta identifikasi Conduit .....	50
<b>Gambar 17</b> Foto dokumentasi dimensi saluran .....	64
<b>Gambar 18</b> Peta identifikasi Subcatchment area .....	65
<b>Gambar 19</b> Peta 1 sub catchment (detail).....	65
<b>Gambar 20</b> Peta 2 (detail) <i>sub catchment</i> .....	66
<b>Gambar 21</b> Peta 3 (detail) <i>sub catchment</i> .....	66
<b>Gambar 22</b> Peta 4 (detail) <i>sub catchment</i> .....	67
<b>Gambar 23</b> Peta final sub catchment, dan junction Kota Sengkang.....	77
<b>Gambar 24</b> Grafik intensitas curah hujan kala ulang 5 tahun.....	78
<b>Gambar 25</b> Peta simulasi SWMM 5.2 dengan kala ulang 5 tahun.....	78
<b>Gambar 26</b> Grafik intensitas curah hujan kala ulang 10 tahun.....	79
<b>Gambar 27</b> Peta simulasi SWMM 5.2 dengan kala ulang 10 tahun.....	79
<b>Gambar 28</b> Grafik Runoff Coefisien .....	83
<b>Gambar 29</b> Verifikasi sistem dengan titik genangan.....	84
<b>Gambar 30</b> Peta rencana mitigasi bencana banjir perkotaan .....	92
<b>Gambar 31</b> Potongan melintang perbaikan saluran Jl, Sulawesi.....	96

<b>Gambar 32</b>	Gambar tipikal U-Ditch .....	96
<b>Gambar 33</b>	Potongan melintang perbaikan gorong-gorong dengan Box Culvert	97
<b>Gambar 34</b>	Gambar tipikal <i>Box Culvert</i> .....	97
<b>Gambar 35</b>	Gambar lokasi penambahan saluran .....	98
<b>Gambar 36</b>	Gambar rencana tipikal saluran tambahan (As Jalan) .....	98
<b>Gambar 37</b>	Potongan rencana tipikal saluran tambahan (As Jalan) .....	99
<b>Gambar 38</b>	Sub catchment rencana sumur resapan .....	100
<b>Gambar 39</b>	Rencana Tipikal desain sumur resapan.....	102
<b>Gambar 40</b>	Subcatchment rencana lokasi Kolam retensi (merah) dan detensi (kuning) .....	103
<b>Gambar 41</b>	Rencana tipikal desain kolam retensi .....	104
<b>Gambar 42</b>	Rencana detail tipikal desain kolam retensi.....	104
<b>Gambar 43</b>	Rencana tipikal desain kolam detensi.....	105
<b>Gambar 44</b>	Simulasi saluran A sebelum penanganan .....	106
<b>Gambar 45</b>	Simulasi saluran A sesudah penanganan .....	106
<b>Gambar 46</b>	Simulasi saluran B sebelum penanganan.....	107
<b>Gambar 47</b>	Simulasi saluran B sesudah penanganan .....	107
<b>Gambar 48</b>	Simulasi saluran C sebelum penanganan.....	108
<b>Gambar 49</b>	Simulasi saluran C sesudah penanganan .....	108
<b>Gambar 50</b>	Simulasi saluran D sebelum penanganan .....	109
<b>Gambar 51</b>	Simulasi saluran D sesudah penanganan .....	109
<b>Gambar 52</b>	Koefisien <i>runoff</i> sesudah penanganan .....	110
<b>Gambar 53</b>	Simulasi jam 2 Kala ulang 5 Tahun sebelum penanganan .....	111
<b>Gambar 54</b>	Simulasi jam 2 Kala ulang 5 Tahun setelah penanganan .....	111
<b>Gambar 55</b>	Sampel perubahan dimensi saluran 1 .....	112
<b>Gambar 56</b>	Sampel perubahan dimensi saluran 2 .....	113
<b>Gambar 57</b>	Sampel perubahan dimensi saluran 3 .....	113
<b>Gambar 58</b>	Sampel perubahan dimensi saluran 4 .....	114
<b>Gambar 59</b>	Sampel perubahan dimensi saluran 5 .....	114

# **BAB I PENDAHULUAN**

## **1.1 Latar Belakang**

Kurung waktu 15 tahun berdasarkan data BNPB 2022 untuk daerah Provinsi Sulawesi Selatan, kejadian bencana alam tersebut didominasi oleh kejadian banjir dan puting beliung dengan angka kejadian masing-masing 463 dan 469 kejadian. Secara spesifik kejadian banjir meningkat pada kurung waktu 10 tahun terakhir.

Kejadian banjir pada daerah perkotaan merupakan masalah yang sering terjadi di semua wilayah Indonesia. Kejadian banjir tersebut bisa disebabkan oleh wilayah kota yang dibangun pada daerah dengan kondisi topografi yang cenderung datar, daerah perkotaan masuk kriteria dataran rendah atau daerah resapan, daerah perkotaan dibangun pada area hulu sungai atau perlintasan sungai besar, pengaturan wilayah kota yang tidak ditata dengan baik termasuk jaringan drainase, kurangnya ruang terbuka hijau area resapan kota, perencanaan jaringan drainase kota yang tidak sesuai dengan master plan kota dan disertai dengan kurangnya pemeliharaan jaringan drainase, sistem persampahan yang belum terkelola dengan baik, lemahnya penegakan peraturan daerah, dan kurangnya kesadaran masyarakat dalam pengelolaan air dan tata air.

Perkembangan wilayah perkotaan yang semakin pesat sering berdampak pada perubahan alih fungsi lahan yang cukup drastis yang tidak diiringi dengan penataan wilayah, sehingga pada akhirnya memperparah kejadian banjir.

Studi kasus penelitian ini adalah Kota Sengkang Kecamatan Tempe Kabupaten Wajo yang menjadi objek penelitian. Laju pertumbuhan penduduk Kecamatan Tempe mencapai rata-rata 0,91% per tahun melampaui rata-rata kabupaten sebesar 0,33% (data: BPS Wajo 2020) hal ini berdampak pada tingkat kepadatan penduduk Kecamatan Tempe Kota Sengkang. dan secara langsung mempengaruhi perubahan tata guna lahan areal Kota Sengkang Kecamatan Tempe Kabupaten Wajo. Efek yang dialami oleh penduduk yaitu dengan meningkatnya kejadian banjir 5-6 kali dalam setahun di area pasar sentral dan jalan Andi Paggaru, dengan tinggi genangan antara 50-100 cm.

Untuk itu, perlu dilakukan analisis lebih lanjut terkait penyebab kejadian banjir dan bagaimana manajemen pengelolaan *runoff* untuk menanggulangnya.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang di atas maka dapat dirumuskan pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi sistem tata air eksisting Kota Sengkang?
2. Bagaimana sistem tata air yang direkomendasikan di Kota Sengkang?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis karakteristik eksisting wilayah dan sistem drainase Kota Sengkang yang menyebabkan banjir.
2. Mengelola *runoff* dalam sistem mitigasi banjir secara struktur yang terintegrasi melalui penerapan drainase vertikal dan horizontal.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Adapun Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini antara lain:

1. Sebagai masukan pemerintah Kota Sengkang dalam pembangunan infrastruktur tata air secara terintegrasi.
2. Menjadi bahan pembelajaran rencana mitigasi bencana banjir sejenis.
3. Hasil penelitian ini dapat memperkaya wawasan bagi pembaca dalam proses pengaplikasian perencanaan mitigasi banjir perkotaan.

## **1.5 Ruang Lingkup Penelitian**

Ruang lingkup penelitian ini terdiri atas

1. Wilayah penelitian ini mencakup jalur drainase primer dan sekunder Kota Sengkang Kabupaten Wajo, area penelitian dibatasi di Desa Lopongkoda, Teddaopu, Tempe, Mattiro Tappareng, Bulu Pabbulu dan Sebagian Desa Watallipue, Campalagi, serta Pattirosompe.
2. Perhitungan intensitas hujan rencana dengan kala ulang 5 dan 10 tahun



3. Pemodelan menggunakan hasil perhitungan *surface runoff*/air permukaan yang berasal dari hujan dalam sistem drainase air hujan.
4. Pemodelan daerah genangan menggunakan simulasi numerik,
5. Mitigasi bencana banjir berdasarkan tinjauan model struktur berupa drainase vertikal dan Horizontal.
6. Pengukuran permeabilitas lahan tidak dilakukan, menggunakan referensi jurnal dan referensi jenis tanah di lokasi penelitian.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan dibuat disesuaikan dengan tahapan proses pengumpulan, pengolahan, dan analisis data yang diperlukan dalam menyelesaikan masalah dalam penelitian. Sistematika penulisan disusun dengan tahapan sebagai berikut:

1. BAB I PENDAHULUAN berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat dan ruang lingkup penelitian. Bab ini menggambarkan secara jelas rencana dan tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini.
2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA berisi tinjauan penulisan-penulisan sebelumnya dan teori-teori yang bisa menjadi dasar pengembangan analisis penelitian dan melengkapi metodologi pelaksanaan penelitian.
3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN berisi pembahasan detail objek penelitian, lokasi penelitian, data yang dibutuhkan, metode penelitian yang akan digunakan, dan cara analisis yang digunakan.
4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN berisi pembahasan pengolahan data primer dan sekunder, melakukan validasi dan pembahasan hasil pengolahan data terhadap tujuan penelitian.
5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN berisi kesimpulan hasil penelitian terhadap tujuan penelitian dan saran-saran dalam melengkapi hasil penelitian serta penelitian selanjutnya.

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Penelitian terdahulu adalah media untuk memperoleh referensi-referensi dalam memperkaya pengetahuan penulis dan menjadi bahan pembanding, sehingga penulis dapat melengkapi setiap tahap penelitian hingga dapat lebih fokus terhadap cara penyelesaian masalah dan tujuan penelitian.

Penelitian terdahulu dapat memberikan referensi-referensi berupa: data-data, metode-metode perencanaan mitigasi yang sudah dilakukan, cara perhitungan, kemiripan masalah yang dihadapi, dan karakteristik lokasi, sehingga dapat melengkapi proses penelitian. Meskipun demikian, orisinalitas penulisan tetap menjadi hal yang utama sehingga referensi yang digunakan tidak disadur secara utuh. Penelitian ini menggunakan referensi sebagai berikut:

1. Riswal Karamma, Rita Tahir Lopa, dan Mukhsan Putra Hatta (2021) “The revitalization of Makassar urban drainage system based on eco drainage retention pond”. Penelitian ini melakukan pemodelan distribusi banjir dengan aplikasi HEC-RAS dengan modifikasi aliran DAS Tallo dengan rencana penanggulangan menggunakan kolam retensi yang ramah lingkungan.
2. Dani Eko Guntoro, Donny Harisuseno, dan Evi Nur Cahya (2017) “Pengelolaan drainase secara terpadu untuk pengendalian genangan di Kawasan Sidokare Kabupaten Sidoarjo”. Penelitian ini melakukan pengukuran debit eksisting, penampang saluran eksisting dan menyusun rencana penanggulangan berupa pola operasi pintu air DTA, kolam detensi, perencanaan saluran drainase tersier baru, mengevaluasi pompa banjir existing dan menganalisis kemampuan Afvoer Sidokare menerima tambahan banjir serta perkiraan biaya penanganan.
3. Rahma Rismasari, Donny Harisuseno, dan Andre Primantyo Hendrawan (2018) ”Kajian penanggulangan genangan yang terintegrasi di Kawasan Pilang, Probolinggo”, penelitian ini melakukan pengukuran debit eksisting, penampang saluran eksisting dan menyusun rencana penanggulangan berupa sumur resapan dan kolam detensi.

4. Elroy Koyari, Dwi Priyantoro, dan Dian Sisinggih, (2012) "Pola pengendalian banjir kawasan Bambu Kuning Kota Jayapura" penelitian ini melakukan pengukuran debit eksisting, penampang saluran eksisting dan menyusun rencana penanggulangan berupa perencanaan saluran, retarding basin, pompa, pintu air dan lain-lain.
5. Yola Fransiska, Junaidi, dan Bambang Istijono, (2020) "Simulasi Dengan Program EPA SWMM Versi 5.1 Untuk Mengendalikan Banjir pada Jaringan Drainase Kawasan Jati" penelitian ini melakukan simulasi jaringan drainase Kawasan Jati dengan 3 skenario meliputi skenario perubahan dimensi, skenario perencanaan sumur resapan, dan perubahan arah aliran.
6. Riswal Karamma, Mukhsan Putra Hatta, Rita Tahir Lopa, Farouk Maricar dan IM Abbas (2020) "Kajian penerapan sumur resapan dalam sistem drainase kota yang berkelanjutan (Studi Kasus Kota Sengkang). Penelitian ini menghitung tingkat resapan air dalam aplikasi sumur resapan pada aplikasi pada perumahan.

## 2.2 Banjir

Banjir menurut Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2002) didefinisikan sebagai aliran yang relatif tinggi dan tidak dapat tertampung lagi oleh alur sungai atau saluran pembuang. Banjir Menurut Suripin (2004) adalah suatu kondisi tidak tertampungnya air limpasan dalam saluran pembuang atau terhalangnya aliran air limpasan yang mengalir di dalam saluran pembuang, sehingga meluap menggenangi dataran/cekung daerah sekitarnya.

"Banjir merupakan peristiwa ketika daerah daratan yang biasanya kering menjadi tergenang oleh air yang disebabkan oleh curah hujan yang tinggi dan kondisi topografi wilayah berupa dataran rendah hingga cekung. Selain itu kejadian banjir dapat disebabkan oleh limpasan air permukaan yang besar hingga meluap dan volumenya melebihi kapasitas pengaliran terpasang sistem pada drainase atau sistem aliran sungai. Terjadinya kejadian banjir juga disebabkan oleh rendahnya kemampuan infiltrasi/*fermeabilitas* tanah, sehingga menyebabkan tanah tidak mampu lagi menyerap air yang melimpas di permukaan. Banjir dapat terjadi akibat naiknya level permukaan air lantaran curah hujan yang di atas normal,

tanggul/bendungan yang bobol, perubahan suhu, terhambatnya aliran air di tempat lain dan pencairan salju yang cepat” (Ligak, 2008).

Menurut Kodoatie dan Sugiyanto (2002), “faktor penyebab terjadinya banjir dapat diklasifikasikan dalam dua kategori, yaitu banjir oleh tindakan manusia dan banjir alami. banjir akibat aktivitas manusia disebabkan karena ulah manusia yang melakukan perubahan lingkungan seperti: kawasan pemukiman di sekitar bantaran, perubahan kondisi Daerah Aliran Sungai (DAS), rusaknya drainase lahan, rusaknya hutan, kerusakan bangunan pengendali banjir, dan perencanaan sistim pengendali banjir yang tidak tepat”. Sedang Banjir akibat alami disebabkan oleh, fisiografi, curah hujan, erosi dan sedimentasi, kapasitas sungai, kapasitas saluran drainase dan banjir rob.

Berdasarkan faktor penyebab banjir dapat disimpulkan bahwa banjir disebabkan oleh:

1. Faktor aktivitas manusia

- a. **Kawasan pemukiman di sekitar bantaran**, pemukiman yang dibangun di daerah sempadan sungai atau drainase (daerah milik sungai), bahkan ada yang di atas sungai sehingga mempengaruhi total pengaliran sungai
- b. **Perubahan kondisi Daerah Aliran Sungai (DAS)**, perubahan dimaksud di antaranya yaitu perubahan penampang sungai karena pemukiman baru, dan perubahan tata guna lahan sehingga meningkatkan *surface runoff*.
- c. **Rusaknya drainase lahan**, kerusakan ini diakibatkan oleh pembangunan yang dilakukan di sekitar saluran atau sungai yang tidak mempertimbangkan tata letak dan fungsi drainase.
- d. **Rusaknya hutan**, perusakan hutan untuk pengambilan kayu olahan, perambahan hutan untuk lahan perkebunan dan pemukiman. Sehingga menurunkan daerah resapan air.
- e. **Kerusakan bangunan pengendali banjir**, kerusakan ini disebabkan oleh adanya kesalahan penggunaan seperti kesalahan pemantauan level air sehingga melewati level yang disyaratkan untuk keamanan bendungan (Dam), ataupun oleh bencana alam
- f. **Perencanaan sistem pengendali banjir yang tidak tepat**. Tidak tepatnya desain pengendali banjir disebabkan kurangnya pengambilan informasi dan

tidak memperhitungkan faktor-faktor yang mempengaruhi banjir di lokasi tersebut.

## 2. Faktor alami

- a. **Fisiografi**, Fisiografi adalah karakteristik bentuk lahan yang mencakup aspek abiotik (fisik) lahan (van Zuidam, 1979).
- b. **Curah Hujan**, Curah hujan adalah jumlah air yang jatuh selama periode tertentu di permukaan tanah yang diukur dengan satuan tinggi milimeter di atas permukaan datar. Indonesia memiliki angka curah hujan bervariasi dikarenakan daerahnya memiliki ketinggian yang berbeda-beda. Curah hujan satu milimeter artinya dalam luasan satu meter persegi daerah datar tertampung air setinggi satu milimeter tempat atau tertampung air setinggi satu liter (Triatmodjo, 2008).
- c. **Erosi dan sedimentasi**, Erosi dan sedimentasi merupakan serangkaian proses yang berkaitan dengan proses pelapukan, pelepasan, pengangkutan dan pengendapan material tanah/kerak bumi
- d. **Kapasitas sungai**, Kapasitas sungai adalah kemampuan penampang basah sungai dalam mengalirkan aliran air.
- e. **Kapasitas drainase yang tidak memadai**, kapasitas drainase adalah kemampuan penampang basah saluran drainase dalam mengalirkan debit air.
- f. **Air pasang**, banjir rob atau banjir akibat air pasang dapat mempengaruhi terjadinya banjir hal ini disebabkan tertahannya laju air buangan yang mengarah ke laut karena naiknya elevasi muka air laut di muara sungai/saluran.

Menurut Riswal Karamma (2022), penyebab terjadinya banjir disebabkan oleh Masalah teknis dan non teknis. Yaitu

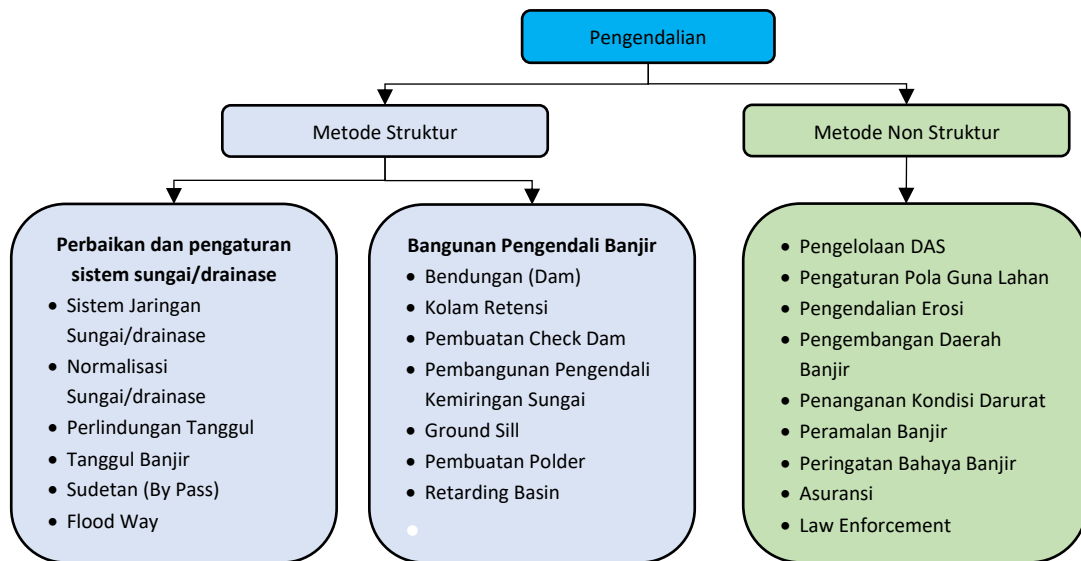
1. Masalah teknis, antara lain:
  - a. Sistem pengendalian banjir dan sistem drainase di kawasan pemukiman/perkotaan yang tidak terkoneksi.
  - b. Terbatasnya data dan Informasi yang benar serta berlanjut dalam hal perencanaan dan pengoperasian sistem pengendali banjir serta prakiraan dan peringatan dini yang kurang akurat.

- c. Pembangunan prasarana dan sarana pengendali banjir permanen sering kali menggunakan mekanisme penanganan darurat/mendesak, sehingga kualitas pekerjaan rendah
2. Masalah non teknis, antara lain:
- a. Belum ada kesamaan persepsi dan pengertian di kalangan pemangku kepentingan (pemerintah, masyarakat, lembaga kemasyarakatan, swasta) tentang banjir, masalah banjir dan upaya mengatasinya sehingga terjadi kontra produktif terhadap pencapaian tujuan penanganan masalah.
  - b. Belum memahami tentang fenomena alam yang dinamis menimbulkan kesalahpahaman, dan ke simpangsiuran tentang istilah dan pengertian yang ada dalam masyarakat, periode ulang banjir, batas banjir, bebas banjir, banjir kiriman, dan sebagainya.
  - c. Masyarakat di dataran banjir belum memahami dan menyadari adanya resiko tergenang banjir yang dapat terjadi kapan saja sehingga tidak siap bila sewaktu-waktu terjadi banjir.
  - d. Masyarakat belum memahami kinerja sistem pengendali banjir dan drainase yang terbatas, sehingga terjadi *over confidence* dan *over investment* pembangunan di dataran banjir, serta tidak siap menghadapi bencana yang masih bisa terjadi.
  - e. Sop/manual penanggulangan banjir termasuk tanggap darurat (*emergency actions*) masih perlu perbaikan, demikian pula mekanisme koordinasi dan peran setiap pemangku kepentingan belum jelas.

### **2.3 Mitigasi Bencana Banjir**

Menurut Undang-undang Nomor 24 Tahun 2007, mitigasi adalah serangkaian upaya untuk menurunkan risiko bencana melalui perencanaan konstruksi fisik pengendali maupun peningkatan kemampuan dan kesadaran sosial dalam menghadapi ancaman bencana. Mitigasi dilakukan bencana dilakukan pada masyarakat yang berada pada kawasan rawan bencana atau terdampak bencana

Mitigasi bencana dapat dilakukan dengan pengendalian metode struktur dan metode non struktur. Dan secara detail dapat dilihat pada gambar 1 berikut:



**Gambar 1** Metode pengendalian banjir struktur dan non struktur

(Sumber: Kodoatie dan Sugiyanto, 2002)

## 2.4 Hidrologi

### 2.4.1 Pengertian

Air merupakan unsur terpenting dalam kehidupan manusia. Dalam perkembangannya ilmu tentang air kemudian dikenal dengan nama Hidrologi. Hidrologi menurut definisi Singh (1992), hidrologi adalah ilmu yang membahas karakteristik menurut waktu dan ruang terkait tentang kuantitas dan kualitas air di bumi termasuk proses hidrologi, pergerakan, penyebaran, sirkulasi tampungan, eksplorasi, pengembangan serta manajemen. Menurut definisi Linsley (1986) hidrologi adalah ilmu yang membicarakan tentang air baik kejadiannya, jenis-jenis, sirkulasi, sifat kimia dan fisika serta reaksinya terhadap lingkungan dan kehidupan maupun di bahwa permukaan bumi, tentang sifat fisika dan kimia air serta reaksinya terhadap lingkungan dan hubungannya dengan kehidupan.

Siklus hidrologi adalah proses siklus air tanpa henti dari bumi ke atmosfer melalui proses evaporasi, dan transpirasi serta dari atmosfer ke bumi melalui proses kondensasi, dan presipitasi. Siklus hidrologi dapat juga berarti lebih sederhana yaitu perubahan wujud air dari laut yang menguap menuju ke atmosfer, kemudian di bawah dalam bentuk konsentrasi air dalam awan yang kemudian jatuh pada permukaan bumi berupa hujan ataupun salju, hujan yang sampai ke daratan akan

mengalir di permukaan tanah atau di dalam tanah yang menuju ke laut begitu pula salju akan mencair dan mengalir kembali ke laut. Air di laut kemudian akan menguap kembali disebabkan oleh panas matahari. Secara terus menerus proses tersebut berjalan sehingga disebut sebagai siklus hidrologi.

Tahap siklus hidrologi air yang tiba di permukaan tanah dibedakan dalam 3 cara yang berbeda yaitu sebagai berikut

- a. Air Permukaan (*surface runoff*) – air permukaan yang mengalir dan tidak terserap ke dalam tanah sehingga masuk ke jaringan drainase/sungai yang membawa air tersebut ke laut.
- b. Evaporasi (*Transpirasi*) – Air yang sampai di permukaan darat dapat langsung menguap kembali melalui peristiwa pemanasan baik di permukaan tanah ataupun di laut dan proses metabolisme tanaman, hewan dan manusia.
- c. *Infiltrasi* (Perkolasi ke dalam Tanah) – air yang tiba di permukaan tanah bergerak turun ke lapisan tanah melalui pori-pori tanah dan mengisi level air tanah dan bergerak horizontal di bawah permukaan tanah hingga ke sistem air permukaan.

Hubungan hidrologi yang berpengaruh langsung terhadap kejadian banjir yaitu tingkat curah hujan. Tingginya curah hujan pada wilayah tertentu dapat meningkatkan potensi terjadinya banjir. Tingkat curah hujan diukur dengan menggunakan alat penakar hujan. Alat ukur tersebut akan mengukur jumlah curah hujan yang turun dalam skala per satuan luas. Dalam studi ini akan dilakukan pengukuran 5 unsur berdasarkan data pengukuran hujan yaitu:

- 1) Intensitas Laju Hujan (I), yaitu pengukuran konsentrasi curah hujan pada area tertentu. Hasil pengukuran berupa seberapa banyak milimeter air yang turun dalam kurun waktu menit, jam, dan hari di wilayah tersebut.
- 2) Lama Waktu Hujan (t), yaitu berapa lama waktu curah hujan turun satuan pengukuran dalam menit dan jam.
- 3) Ketinggian Curah Hujan (d), yaitu pengukuran kedalaman air dalam milimeter pada bidang datar dengan satuan ukur meter persegi.
- 4) Frekuensi Periode Curah Hujan (T), yaitu perhitungan yang dilakukan melalui pengamatan curah hujan selama beberapa tahun untuk menentukan periode curah hujan yang konsisten setiap tahunnya.



- 5) Luas Wilayah Curah Hujan, yaitu Mengamati wilayah yang kena hujan berdasarkan titik pengamatan terhadap kondisi geografis wilayah. (Rita Lopa, 2013)

#### 2.4.2 Metode pengukuran curah hujan

Menganalisis jumlah curah hujan suatu wilayah, dapat dihitung dengan menggunakan metode aritmetika

Metode aritmetika yaitu metode yang dilakukan dengan menghitung curah hujan rata-rata dalam setiap stasiun pengamatan yang mempengaruhi wilayah pengamatan. Metode aritmetika memiliki kelemahan, yaitu metode ini memiliki syarat kondisi yang perlu dilengkapi agar mendapatkan hasil perhitungan, antara lain jumlah tempat yang mempengaruhi secara konsistensi dan konsentrasi curah hujan lokasi pengamatan.

Selain itu, kurang akuratnya perhitungan karena tergantung pada besarnya distribusi hujan terhadap ruang dan ukuran daerah aliran sungai sesuai hasil distribusi hujan yang diamati.

Metode ini menentukan curah hujan rata-rata pada daerah aliran sungai/lokasi pengamatan dengan membagi beberapa wilayah dalam bentuk stasiun. Kemudian, pada stasiun-stasiun penakar tersebut dilakukan penghitungan curah hujan

Selanjutnya, jumlah curah hujan pada stasiun penakar tersebut ditotal, kemudian dibagi dengan jumlah wilayah area terdampak hujan. Sehingga diperoleh hasil rata-rata curah hujan pada wilayah / daerah pengamatan. (Rimbakita.com:2019)

$$d = \frac{d_1+d_2+d_3+\dots+d_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{n} \quad (1)$$

Dengan :

- d = tinggi curah hujan rata-rata  
d1, d2, d3,..dn = tinggi curah hujan pada stasiun penakar 1, 2,.. n  
n = banyak stasiun penakaran.

Cara ini akan memberikan hasil yang dapat dipercaya jika stasiun penakar ditempatkan secara merata di areal tersebut, dan hasil penakaran stasiun-stasiun

tersebut tidak menyimpang jauh dari nilai rata-rata seluruh stasiun di seluruh areal (Sosrodarsono dan Takeda, 1987).

### 2.4.3 Perbaikan data

Data curah hujan yang tercatat pada stasiun pengukuran terkadang terdapat masalah antara lain tidak tercatat pada waktu tertentu dan pemindahan stasiun pengamatan ataupun terkadang ada perubahan standar pengukuran. Untuk itu, perlu ada koreksi data untuk memperbaiki kembali data tersebut, tata cara perbaikan/koreksi data yaitu:

#### a. Penyempurnaan data

Penyempurnaan data yang hilang dilakukan dengan metode berikut:

- *Normal ratio Method* (Metode perbandingan normal)

Data hilang diperkirakan dengan menggunakan rumus berikut :

$$\frac{p_x}{N_x} = \frac{1}{n} \left( \frac{p_1}{N_1} + \frac{p_2}{N_2} + \frac{p_3}{N_3} + \dots + \frac{p_n}{N_n} \right) \quad (2)$$

Dengan :

$p_x$  = hujan yang hilang di stasiun x.

$p_1, p_2, \dots, p_n$  = data hujan di stasiun sekitarnya pada periode yang sama.

$N_x$  = hujan tahunan di stasiun x.

$N_1, N_2, \dots, N_n$  = hujan tahunan di stasiun sekitar x.

$n$  = jumlah stasiun hujan di sekitar x.

- *Reciprocal method* (Metode timbal balik)

Metode Timbal balik menggunakan data curah hujan terdekat sebagai referensi dan juga pertimbangan jarak stasiun referensi secara matematis untuk melengkapi data hilang dengan rumus sebagai berikut:

$$p_x = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{p_i}{L_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{L_i^2}} \quad (3)$$

Dengan :

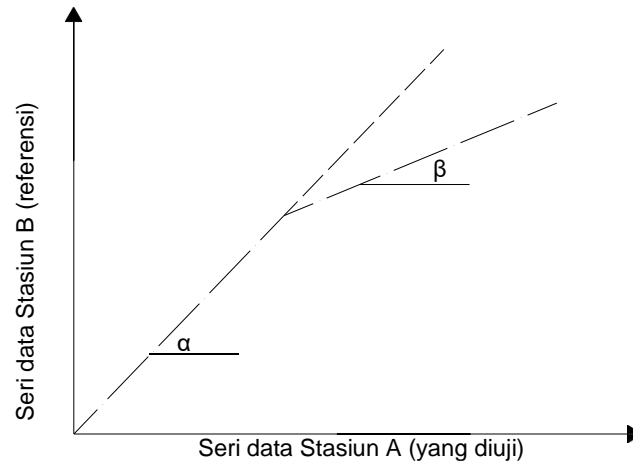
$p_x$  = hujan di stasiun x yang akan dilengkapi.

$p_i$  = hujan di stasiun referensi yang akan dilengkapi.

$L_i$  = jarak stasiun referensi dengan data stasiun x.

b. Pemeriksaan Konsistensi Data curah hujan

Metode Lengkung Massa Ganda (*Double Mass Curve*) digunakan untuk menguji *validitas* data sehingga dapat diketahui penyimpangan data tahunan yang terjadi. Metode tersebut membandingkan data hujan tahunan kumulatif dengan stasiun referensi terdekat dengan kondisi topografi yang sejenis, ataupun nilai rata-rata stasiun terdekat.



**Gambar 2** Analisis Kurva Massa Ganda

Metode ini menganggap hubungan curah hujan dan waktu linier, sehingga data yang tidak valid ditunjukkan dengan penyimpangan garis proyeksi dari garis lurus. Data yang mempunyai penyimpangan kemudian dikoreksi sesuai dengan rumus sebagai berikut :

$$Fk = \frac{Mc}{Ma} \quad (4)$$

$$Pcx = Px \left( \frac{Mc}{Ma} \right) \quad (5)$$

Dengan :

$Pcx$  = Curah hujan stasiun x pada waktu t setelah dikoreksi.

$Px$  = Data asli curah hujan stasiun x pada waktu t.

$Fk$  = Faktor koreksi.

$Mc$  = Koreksi kemiringan kurva massa ganda.

$Ma$  = Kemiringan asli kurva massa ganda.

### 2.4.4 Curah hujan rencana

Frekuensi curah hujan ditentukan dengan berdasar pada parameter statistik data curah hujan wilayah secara normal maupun secara logaritmik. Analisis parameter normal dan logaritmik sebagai berikut:

a. Statistik sebaran normal

Perhitungan statistik dengan sebaran normal antara lain:

$$\text{Curah hujan rata-rata} : \bar{x} = \frac{\sum x_n}{n} \quad (6)$$

$$\text{Simpangan baku} : Sx = \sqrt{\frac{N}{(N-1)} \sum (\bar{X}_2 - \bar{X}_1)^2} \quad (7)$$

$$\text{Koefisien variasi} : Cv = \frac{Sx}{\bar{x}} \quad (8)$$

$$\text{Koefisien skewness} : Cs = \frac{n \sum (R - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)(Sx)^3} \quad (9)$$

$$\text{Koefisien kurtosis} : Ck = \frac{n \sum (R - \bar{x})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)(Sx)^4} \quad (10)$$

b. Statistik sebaran logaritmik

Perhitungan statistik dengan sebaran logaritmik antara lain:

$$\text{Logaritma rata-rata} : \log \bar{x} = \frac{\sum \log x}{n} \quad (11)$$

$$\text{Simpangan baku} : Sx \log Xr = \sqrt{\frac{N}{(N-1)} \sum (\log \bar{X}_2 - \log \bar{X}_1)^2} \quad (12)$$

$$\text{Koefisien Variansi} : Cv = \frac{Sx \log X}{\log \bar{x}} \quad (13)$$

$$\text{Koefisien skewness} : Cs = \frac{n \sum (\log X - \log \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)(Sx \log X)^3} \quad (14)$$

$$\text{Koefisien kurtosis} : Ck = \frac{n^2 \sum (\log X - \log \bar{x})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)(Sx \log X)^4} \quad (15)$$

Uji kesesuaian data curah hujan terhadap sebaran diuji dengan menyesuaikan hasil analisis terhadap syarat-syarat sebagai berikut:

**Tabel 1** Uji kesesuaian data curah hujan terhadap jenis sebaran

No	Jenis Sebaran	Syarat
1	Normal	Cs = 0 Ck = 3
2	Log Normal 2 Parameter	Cs(lnX) = 0 Cs(lnX) = 3
3	Pearson III	Cs > 0 Ck = 1.5Cs <sup>2</sup> + 3
4	Log Pearson III	Cs(lnX) > 0 Cs(lnX) = 1.5 (Cs(lnX)) <sup>2</sup> + 3
5	Gumbel I	Cs = 1.14 Ck = 5.4

Sumber : I Made Kaimana, 2011

#### 2.4.5 Analisis Frekuensi Curah Hujan

Analisis frekuensi curah hujan adalah perulangan curah hujan baik dalam satuan frekuensi waktu atau periode ulang. Metode-metode yang digunakan untuk menghitung kala ulang sebagai berikut:

a. Distribusi Normal

Analisa frekuensi curah hujan dengan metode Distribusi Normal, dengan formulasi sebagai berikut (Soewarno, 1995):

$$XT = \bar{X} + k.Sx \quad (16)$$

Dengan :

$XT$  = Variabel yang diekstrapolasikan, yaitu besarnya curah hujan rencana untuk periode ulang T tahun.

$$\bar{X} = \text{Harga rata-rata dari data} = \frac{\sum_1^n xi}{n} \quad (17)$$

$k$  = Variable Reduksi

$$Sx = \text{Standar Deviasi} = \sqrt{\frac{\sum_1^n x_i^2 - \frac{(\sum_1^n x_i)^2}{n}}{n}} \quad (18)$$

**Tabel 2** Nilai Variabel Reduksi Gauss

No.	Periode Ulang, T (tahun)	Peluang	KT
1.	1,001	0,999	-3,05
2.	1,005	0,995	-2,58
3.	1,01	0,99	-2,33
4.	1,05	0,95	-1,64
5.	1,11	0,9	-1,28
6.	1,25	0,8	-0,84
7.	1,33	0,75	-0,67
8.	1,43	0,7	-0,52
9.	1,67	0,6	-0,25
10.	2	0,5	0
11.	2,5	0,4	0,25
12.	3,33	0,3	0,52
13.	4	0,25	0,67
14.	5	0,2	0,84
15.	10	0,1	1,28
16.	20	0,05	1,64
17.	50	0,02	2,05
18.	100	0,01	2,33
19.	200	0,005	2,58
20.	500	0,002	2,88
21.	1000	0,001	3,09

Sumber : Bonnier 1980

b. Distribusi Log Normal

Analisis frekuensi curah hujan dengan metode distribusi Log Normal, dengan formulasi sebagai berikut:

$$\text{Log } X_T = \text{Log } X + k \cdot Sx \cdot \text{Log } X \quad (19)$$

Dengan:

$Log X_T$  : Variate yang diekstrapolasikan, yaitu besarnya curah hujan rancangan untuk periode ulang T tahun.

$Log X$  : Harga rata – rata dari data =  $\frac{\sum_1^n \log(X_i)}{n}$  (20)

$Sx LogX$  : Standar Deviasi =  $\sqrt{\frac{\sum_1^n \log(X_i)^2 - \sum_1^n \log X_i}{n-1}}$  (21)

$k$  : Variabel reduksi

#### c. Distribusi Gumbel

Analisis frekuensi curah hujan dengan metode E.J. Gumbel, dengan formulasi sebagai berikut:

$$X_T = \bar{X} + k Sx \quad (22)$$

Dengan:

$X_T$  : Variate yang diekstrapolasikan, yaitu besarnya curah hujan rencana untuk periode ulang T tahun.

$\bar{X}$  : Harga rata–rata dari data =  $\frac{\sum_1^n X_i}{n}$  (23)

$Sx$  : Standard Deviasi =  $\sqrt{\frac{\sum_1^n X_i^2 - \sum_1^n X_i}{n-1}}$  (24)

$k$  : Variabel Reduksi

Untuk menghitung variabel reduksi E.J. Gumbel mengambil harga:

$$k = \frac{Y_T + Y_n}{S_n} \quad (25)$$

Dengan:

$Y_T$  : *Reduced variate* sebagai fungsi dari periode ulang T

$Y_n$  : *Reduced mean* sebagai fungsi dari banyak data (N)

$S_n$  : *Reduced standard deviation* sebagai fungsi dari banyak data N

#### d. Distribusi Log Pearson III

Analisis frekuensi curah hujan dengan metode Log Person Type III, dengan formulasi sebagai berikut:

$$Log X_T = \overline{Log X} + k_{tr} \cdot Si \quad (26)$$

Dengan:

$\text{Log } X_T$  : Variate diekstrapolasikan, yaitu besarnya curah hujan rancangan untuk periode ulang T tahun.

$$\overline{\text{Log } X} : \text{Harga rata - rata dari data, } \overline{\text{Log } X} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n}} \quad (27)$$

$$S_i : \text{Standard Deviasi, } S_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\text{Log } X})^2}{n-1}} \quad (28)$$

$k_{tr}$  : Koefisien frekuensi, didapat berdasarkan hubungan nilai Cs dengan periode ulang T

$$Cs = \frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\text{Log } X})^3}{(n-1)(n-2)S_i^3} \quad (29)$$

## 2.5 Sistem Informasi Geografis (GIS)

Sistem informasi geografis (GIS) merupakan sebuah aplikasi sistem informasi yang digunakan memasukkan, menyimpan, mengelola, memeriksa, mengintegrasikan, membuat manipulasi, menganalisis dan menampilkan hasil data masukan dalam bentuk citra sehingga memudahkan dalam menyimpulkan objek pengamatan.

Implementasi GIS dijalankan dengan analisis komputasi imputan basis data SIG baik berupa data spasial ataupun non spasial. Basis data spasial merupakan data hasil pengamatan dan identifikasi lapangan, terkait data di bentuk permukaan maupun dalam bumi. Data ini berupa sistem koordinat, titik, garis dan poligon peta pengukuran, foto udara, ataupun citra satelit yang disusun berdasarkan layer-layer peta. Sedangkan basis data non spasial merupakan data pelengkap data spasial, keterangan-keterangan peta berupa statistik, numerik, maupun deskriptif dengan tampilan tabel atau diagram maupun tekstual.

Sistem informasi geografis ini didapat digunakan dalam pengolahan data pemanfaatan lahan dalam suatu daerah sehingga dapat digunakan sebagai bahan analisis permasalahan, bahan penelitian dan pembuatan peta wilayah dengan berbagai fasilitas pemetaan.



## 2.6 Sistem Tata Air

Tata Air adalah susunan dan letak air seperti dimaksud dalam angka 3 pasal ini.” (Pasal 1 Angka 8 UU Nomor 11 Tahun 1974 Tentang Pengairan).

Sistem tata air dibagi menjadi 2 sistem drainase air hujan (*storm water system*) dan sistem sanitasi (*wastewater*). Sistem tata air ini harus dikelola secara terintegrasi dan seksama agar sumber daya air dapat dimanfaatkan secara optimal dan berkelanjutan. Kesalahan dalam pengelolaannya dapat mengakibatkan banjir, dan pencemaran, yang membahayakan keselamatan dan keamanan manusia.

Salah satu aplikasi sistem tata air yaitu manajemen *runoff*/limpasan permukaan. Manajemen *runoff*/limpasan permukaan merupakan upaya pengelolaan/pengaturan aliran permukaan dengan cara memperlambat waktu pengaliran hingga hilir saluran sehingga menurunkan konsentrasi air dihilir sehingga dapat menurunkan potensi terjadinya banjir. Manajemen *runoff*/limpasan permukaan tersebut dapat dilakukan dengan beberapa skenario mitigasi bencana struktur dan non struktur.

## 2.7 Drainase Horizontal

### 2.7.1 Pengertian

“Drainase” berasal dari kata *drainage* yang artinya mengeringkan, membuang, menguras, atau mengalihkan air (Suripin, 2004). Sedangkan menurut Rita Lopa, 2013, drainase adalah prasarana yang berfungsi mengalirkan kelebihan air dari suatu kawasan ke badan penerima air menuju ke laut. Kelebihan air dapat disebabkan oleh volume hujan yang tinggi atau durasi hujan yang lama.

### 2.7.2 Jenis-jenis drainase

Drainase permukaan atau bawah permukaan biasa juga disebut drainase horizontal. Jenis-jenis saluran drainase horizontal dapat dibedakan berdasarkan bentuk, sejarah, letak, fungsi, dan konstruksinya sebagai berikut:

- a. Jenis drainase berdasarkan fisiknya, terdiri atas:
  - 1) Sistem saluran primer adalah saluran utama terbuka atau tertutup yang menerima buangan aliran dari saluran-saluran sekunder atau limpasan

area sekitarnya. Secara ukuran dimensi penampang saluran lebih besar dan berada di hilir jaringan saluran.

- 2) Sistem saluran sekunder adalah saluran terbuka atau tertutup yang berfungsi menerima buangan air dari saluran tersier dan limpasan air dari daerah sekitarnya yang kemudian diteruskan ke saluran utama. Secara dimensi penampang saluran lebih sedang atau tergantung debit yang akan melaluinya.
  - 3) Sistem saluran tersier saluran terbuka atau tertutup yang berfungsi menerima buangan air dari saluran lokal (rumah) dan limpasan air dari daerah sekitarnya yang kemudian diteruskan ke saluran sekunder. Secara dimensi penampang saluran lebih kecil atau tergantung debit yang akan melaluinya.
- b. Jenis drainase menurut sejarah terbentuknya, terdiri atas:
- 1) Drainase alamiah (*natural drainage*) yaitu drainase yang proses terbentuknya tidak ada campur tangan manusia dan secara ala.
  - 2) Drainase buatan (*artificial drainage*) yaitu drainase yang dibuat oleh manusia berdasarkan perhitungan hidrologi dan hidrolika untuk mengalirkan limpasan permukaan dan buangan rumah tangga.
- c. Jenis drainase menurut letaknya, terdiri atas:
- 1) Drainase permukaan tanah (*surface drainage*) adalah drainase yang dibuat di atas permukaan tanah yang berfungsi mengalirkan air dari limpasan permukaan.
  - 2) Drainase bawah permukaan tanah (*sub-surface drainage*) adalah drainase yang digunakan untuk mengalirkan air hujan yang terinfiltrasi ke dalam tanah melalui media pengaliran di bawah permukaan tanah berupa pipa-pipa ataupun struktur lainnya
- d. Jenis drainase menurut fungsi, terdiri atas:
- 1) Sistem drainase terpisah/*single purpose*/fungsi tunggal yaitu sistem drainase yang berfungsi mengalirkan satu jenis tipe air buangan saja, misalnya air hujan saja atau limbah rumah tangga saja.

- 2) Sistem drainase campur/*multipurpose*/multi fungsi yaitu sistem drainase yang berfungsi mengalirkan bersamaan beberapa jenis air buangan secara bersama-sama, baik bersamaan maupun bergantian.
- e. Jenis drainase menurut konstruksi
- 1) Saluran terbuka, saluran yang difungsikan sebagai pengaliran kelebihan air tanpa penutup, saluran tersebut dapat berbentuk persegi, trapesium, dan setengah lingkaran.
  - 2) Saluran tidak terbuka, saluran yang difungsikan sebagai pengaliran kelebihan air yang berpenutup, saluran tersebut dapat berbentuk persegi, trapesium, dan setengah lingkaran. Saluran ini biasa disebut gorong-gorong/*culvert*.

### 2.7.3 Prinsip-prinsip dasar sistem drainase perkotaan

Pertumbuhan wilayah perkotaan harus diiringi dengan pengelolaan drainase perkotaan secara menyeluruh, pelaksanaan mengacu pada tahap SIDLACOM yaitu: *Survey* (tofografi dan fisik), *Investigation* (Investigasi), *Design* (perencanaan), *Land Acquisition* (pembebasan lahan), *Construction* (konstruksi), *Operation* (operasi), dan *Maintenance* (pemeliharaan), serta peran serta masyarakat dan kelembagaan sehingga tercipta *sinergitas* dalam pengelolaan, pengawasan dan pemeliharaan.

Drainase perkotaan atau biasa disebut *urban drainage* adalah merupakan sistem terintegrasi jaringan drainase yang dibangun untuk mengendalikan kelebihan air/limpasan permukaan air hujan atau air buangan ke badan air sehingga menjaga areal perkotaan tetap kering dan memberi manfaat bagi kegiatan manusia.

Sistem *urban drainage* dapat ditinjau berdasarkan:

- a. Administratif perkotaan atau kumpulan jaringan anak-anak sungai dan saluran-saluran (primer, sekunder dan tersier) yang berada pada daerah aliran masing-masing menjadi kewenangan pemerintah kota/kabupaten atau bahkan kewenangan pemerintah provinsi.
- b. Satuan wilayah sungai atau kumpulan anak-anak sungai yang berada dalam wilayah sungai yang tergolong mikro dengan orde sungai tingkat dua ataupun tiga yang berada dalam wilayah administratif perkotaan.

## 2.8 Drainase Vertikal

Drainase vertikal merupakan istilah pembangunan bangunan pengendalian banjir dengan membangun sumur resapan, kolam retensi atau rangkaian modular drainase berbentuk memanjang ke bawah.(wiryono:2021)

Fungsi drainase vertikal dapat berfungsi ganda menjadi tempat penyerapan air hujan yang melimpas, dapat juga menjadi tempat parkir sementara di bagian atasnya, tempat bisnis, daerah wisata dan alat kontrol banjir.

Drainase vertikal khususnya sumur resapan berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) No. 03-2453-2002, tentang tata cara perencanaan Teknik sumur resapan air hujan untuk lahan pekarangan dan mengacu pada SNI No. 03-2459-1991 untuk bentuk dan ukuran konstruksi sumur resapan air yaitu berbentuk segi empat (kotak) atau silinder (bulat) dengan ukuran minimal diameter 0,8 m dan maksimum 1,5 m dengan kedalamannya yang disesuaikan tipe konstruksi sumur resapan air (SRA).

Faktor – faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pembuatan sumur resapan

1. Kondisi tanah dengan permeabilitas tanah  $\geq 2.0$  cm/jam
2. Tata guna lahan
3. Ketersediaan bahan
4. Aliran permukaan (*runoff*) tinggi

Besaran kontribusi resapan optimum pada konstruksi sumur resapan dapat dihitung dengan formulasi berikut (Sunjoto, 1992):

$$H = \frac{Q[1 - e^{-(FKT/\pi R^2)}]}{FK} \quad (30)$$

Dengan :

H	=	Kedalaman air	= m
R	=	Jari-jari	= m
T	=	Durasi Resapan	= detik
F	=	Faktor geometric	= 5,5 R = m
K	=	Permeabilitas Tanah	= m/detik

## 2.9 SWMM

*Storm water management model* (SWMM) merupakan sistem pemodelan yang mampu memodelkan sistem drainase perkotaan untuk membantu membuat analisa permasalahan terkait kuantitas dan kualitas air yang pada studi limpasan daerah perkotaan. *Storm water management model* (SWMM) dikembangkan oleh EPA (Environmental Protection Agency – US), sejak 1971 (Huber and Dickinson, 1988).

SWMM tergolong pemodelan limpasan hujan dengan aliran dinamis yang digunakan pada rentang waktu tertentu atau pada kejadian banjir seterusnya. Pemodelan ini banyak dikembangkan untuk simulasi hidrologi dan hidrolika pada wilayah perkotaan. SWMM telah digunakan secara luas seperti pada pemodelan kuantitas dan kualitas air wilayah perkotaan di Kanada, Eropa, Amerika Serikat, dan Australia. Pemodelan ini telah digunakan pada analisa hidrolika yang kompleks pada saluran pembuangan, khususnya manajemen jaringan drainase serta studi permasalahan polusi (Huber, 1992-2001). Warwick dan Tadepalli (1991) juga telah melakukan pengujian kalibrasi dan validasi SWMM dalam pemodelan daerah aliran perkotaan di sungai Dallas Negara bagian Texas seluas  $\pm 10000$ .

Prinsip pemodelan satu dimensi SWMM dilakukan dengan konsep model dan logis dilakukan dengan tahapan berikut :

1. Limpasan hujan atau tinggi genangan pada setiap sub das(*sub catchment*) dihitung sebagai berikut :

$$D_1 = D_t + R_t \quad (31)$$

Dengan :  $D_1$  : kedalaman air setelah terjadi hujan hujan (mm)

$D_t$  : kedalaman air pada sub das pada saat waktu  $t$  (mm)

$R_t$  : intensitas hujan pada interval waktu  $t$  (mm/jam)

2. Laju Infiltrasi ( $l_t$ ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan *Horton* atau menggunakan *Curve Number*. Untuk persamaan *Horton* digunakan persamaan berikut:

$$l_t = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad (32)$$

$$D_2 = D_1 - l_t \quad (33)$$

Dengan :  $D_2$  : kedalaman air setelah terjadi infiltrasi (mm)  $f_0$ ,  $f_c$ ,

$k$  : koefisien dari persamaan Horton

3. Debit *outflow* dari limpasan permukaan sub das (*sub catchment*) dihitung dengan persamaan *Manning* berikut:

$$v = \frac{1}{n} D_2^{2/3} S^{1/2} \quad (34)$$

$$Q = vBD_2 \quad (35)$$

Dengan :  
 v : kecepatan (m/s)  
 n : koefisien *Manning*  
 S : kemiringan lahan  
 B : lebar lahan/panjang pengaliran (m)  
 Q : debit (m<sup>3</sup> /s)

4. Ketinggian air pada area sub das (*sub catchment*) dari pengaruh hujan, infiltrasi serta *outflow* dihitung dengan persamaan berikut :

$$D_{t+\Delta t} = D_2 - \left(\frac{Q}{A}\right)\Delta_t \quad (36)$$

5. Tahapan pertama hingga tahap keempat dihitung juga pada semua sub das (*sub catchment*) yang telah didefinisikan.
6. Debit air yang masuk ke dalam saluran (conduit) dihitung dengan menambahkan debit dari lahan /sub das ( $Q_{oi}$ ) dengan debit dari hulu saluran ( $Q_{gi}$ ) dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_{in} = \sum Q_{oi} + \sum Q_{gi} \quad (37)$$

7. Perhitungan perubahan tinggi muka air akibat dari bertambahnya debit pada saluran dihitung dengan persamaan berikut:

$$Y_1 = Y_t + (Q_{in}/A_g) \Delta_t \quad (38)$$

Dengan :  $Y_1$  dan  $Y_t$  : kedalaman air pada saluran (m)  
 $A_g$  : luas rata-rata permukaan air antara  $Y_1$  dan  $Y_t$  (m<sup>2</sup>)

8. Perhitungan debit *outflow* saluran digunakan persamaan *Manning* dengan persamaan berikut:

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (39)$$

$$Q_g = vA_c \quad (40)$$

Dengan : R : jari-jari hidrolis saluran (m)  
 S : kemiringan saluran  
 $A_c$  : luas penampang saluran pada  $Y_1$

9. Perhitungan kedalaman air di saluran akibat total *inflow* dan *outflow* yang terjadi pada saluran dihitung menggunakan persamaan kontinuitas berikut :

$$Y_t + \Delta_t = Y_1 + (Q_{in} - Q_g)\Delta_t / A_g \quad (41)$$

10. Tahapan keenam hingga tahapan kesembilan diakan untuk menghitung semua saluran yang telah didefinisikan. (Anwar, N :2010)
11. Validasi dan verifikasi, untuk memeriksa ketepatan besaran parameter pemodelan, maka dilakukan validasi dengan hasil *continuity error* untuk limpasan permukaan. Menurut Rossman (2015), tingkat kualitas simulasi kurang baik jika nilai *continuity error* > 10%. Serta dilakukan verifikasi dengan membandingkan titik luapan simulasi dengan kondisi eksisting melalui wawancara masyarakat sekitar lokasi penelitian.

## 2.10 Koefisien Limpasan / *Runoff*

Koefisien limpasan adalah persentase pengaliran air hujan yang mengalir dari berbagai macam permukaan pada suatu wilayah. Adapun koefisien limpasan (C) menurut Suripin (2004), dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

**Tabel 3** Hubungan kondisi permukaan tanah dan koefisien pengaliran (C)

Kondisi Permukaan Tanah	Koefisien Pengaliran (C)
1. Jalan beton dan jalan aspal	0,70 – 0,95
2. Jalan kerikil dan jalan tanah	0,40 – 0,70
3. Bahu jalan:	
- Tanah berbutir halus	0,40 – 0,65
- Tanah berbutir kasar	0,10 – 0,20
- Batuan masif keras	0,70 – 0,85
- Batuan masif lunak	0,60 – 0,75
4. Daerah perkotaan	0,70 – 0,95
5. Daerah pinggir kota	0,60 – 0,70
6. Daerah industri	0,60 – 0,90
7. Permukiman padat	0,40 – 0,60
8. Permukiman tidak padat	0,20 – 0,40
9. Taman dan kebun	0,45 – 0,60
10. Persawahan	0,70 – 0,80
11. Perbukitan	0,75 – 0,90

Sumber: Sistem drainase perkotaan yang berkelanjutan, Dr. Ir. Suripin., M.Eng.

Untuk daerah pengaliran yang mempunyai nilai C yang berbeda, maka harga nilai C rata-rata ditentukan dengan persamaan berikut:

$$C_{1,2} = \frac{C_1.A_1 + C_2.A_2 + \dots + C_n.A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (42)$$

Dengan :  $C_{1,2}$  : koefisien pengaliran

$A_1$  : luas daerah pengaliran (km<sup>2</sup>)