

**EVALUASI SISTEM DRAINASE PERKOTAAN  
TERHADAP TATA RUANG WILAYAH KOTA METRO**

**(TESIS)**

**OLEH :**

**ERWIN FERIYANTO**



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2016**

# **EVALUASI SISTEM DRAINASE PERKOTAAN TERHADAP TATA RUANG WILAYAH KOTA METRO**

**Oleh**

**ERWIN FERIYANTO**

**Tesis**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
MAGISTER TEKNIK SIPIL**

**Pada**

**Program Pascasarjana Magister Teknik  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2016**

## ABSTRAK

### EVALUASI SISTEM DRAINASE PERKOTAAN TERHADAP TATA RUANG WILAYAH KOTA METRO

Oleh

ERWIN FERIYANTO

Dalam dokumen dan Peraturan Daerah Kota Metro Nomor 01 Tahun 2012 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Metro Tahun 2011 – 2013, menjabarkan mengenai kawasan rawan bencana banjir yang salah satunya terjadi di Jalan Imam Bonjol, Gg. Tanjung dan Jalan Poksai Kelurahan Hadimulyo Barat, Kecamatan Metro Pusat. Informasi mengenai genangan/banjir yang terjadi di Kelurahan Hadimulyo Barat akibat hujan dengan durasi  $\pm 1$  jam yang tinggi genangannya mencapai  $\pm 30$  cm. Genangan mulai surut  $\pm 1$  jam kemudian.

Karakteristik daerah rawan banjir/genangan di Kelurahan Hadimulyo Barat meliputi atas 8 RW dari RW 03 sampai dengan RW 10 dan merupakan salah satu Daerah Tangkapan Hujan (DTH) dalam penelitian ini seluas 50,36 Ha. Daerah ini termasuk ke dalam daerah yang landai 0 – 10 % dan terdapat satu – satunya Saluran Drainase dengan geometrik saluran terbesar diantara saluran – saluran drainase lainnya. Saluran drainase ini menjadi bagian yang penting sebagai saluran induk dalam Daerah Tangkapan Hujan (DTH) dengan panjang saluran 1.332 m, kecepatan saluran **1,09 m/dt** dan debit saluran **2,47 m<sup>3</sup>/dt**. Penggunaan lahan sebagian besar merupakan kawasan terbangun yang terdiri atas permukiman dan fasilitas umum (77,01%) serta ruang terbuka berupa tegalan (22,99 %) dengan koefisien aliran permukaan (C) sebesar 0,62.

Karakteristik hujan pada penelitian ini menggunakan data hujan otomatis selama 14 tahun yang di analisis untuk mendapatkan debit banjir rencana. Hasil analisis menghasilkan Lengkung Intensitas – Durasi – Frekuensi (IDF) metode Log Pearson III dengan persamaan intensitas  $I_2 = 715,9 x^{-0,62}$  dan  $I_5 = 1.109,0 x^{-0,67}$ . Waktu konsentrasi ( $t_c$ ) Daerah Tangkapan Hujan (DTH) sebesar 79,91 menit atau 1,33 jam. Debit banjir rencana kala ulang 2 tahun dan kala ulang 5 tahun masing – masing sebesar **4,11 m<sup>3</sup>/dt** dan **6,36 m<sup>3</sup>/dt**. Tinggi muka air saluran dengan menggunakan pemodelan HEC RAS 4.1 untuk  $Q_2$  antara 1,37 – 1,74 m dan  $Q_5$  antara 2,36 – 1,72 m.

Alternatif penanganan bencana banjir/genangan adalah memperbesar geometrik saluran, pembuatan sumur resapan dan memperluas ruang terbuka hijau (RTH) melalui penganeekaragaman vegetasi tanaman tahunan.

Kata kunci : genangan, koefisien aliran permukaan, lengkung IDF, waktu konsentrasi, debit banjir rencana

## ABSTRACT

### EVALUATION OF URBAN DRAINAGE SYSTEM FOR SPATIAL METRO CITY

By

**ERWIN FERIYANTO**

In a document and Regional Regulation Metro City Number 01 Year 2012 on Spatial Planning of Metro City period 2011-2013, describes the flood prone areas, one of which occurred in Imam Bonjol Street, Tanjung and Poksai gangways in Hadimulyo West Village, Central Metro District. Information about inundation / flooding that occurred in the village of West Hadimulyo due to rain with a duration of  $\pm 1$  hour of high and puddle reaches  $\pm 30$  cm. Puddles started to recede  $\pm 1$  hour later.

Characteristics of flooding / inundation in the Village of West Hadimulyo covering on 8 citizens association from citizens association number 03 until number 10 and the Catchment Area in the study is 50.36 Ha. These areas belong to the areas sloping 0-10% and there is one - the only channel Drainage channel geometric largest among channels - other drainage. The drainage channels become an important part as the parent channel Catchment Area with a channel length of **1,332 m**, velocity channel of **1,09 m/dt** and a discharge chute of **2.47 m<sup>3</sup>/sec**. Land use is largely a region awoke consisting of residential and public facilities (77.01%) as well as open spaces such as fields (22.99%) with a surface flow coefficient (C) of 0.62.

Rainfall characteristics in this study using automatic rainfall data for 14 years in the analysis to obtain flood discharge plan. The results of the analysis produces Curves Intensity - Duration - Frequency (IDF) method Log Pearson III with intensity equation  $I_2 = 715.9 x^{-0.62}$  and  $I_5 = 1109.0 x^{-0.67}$ . Time of concentration ( $t_c$ ) Catchment Area is 79.91 minutes or 1.33 hours. Flood discharge plan for return period of 2 years amounting to **4.11 m<sup>3</sup>/sec** and a return period of 5 years amounting to **6.36 m<sup>3</sup>/sec**. Water level channel by using HEC RAS model 4.1 for  $Q_2$  between 1.37 to 1.74 m and  $Q_5$  between 2.36 to 1.72 m.

Alternative handling of flood / inundation is to enlarge the geometric channels, developing infiltration wells and expand green open space through the diversification of vegetation annual plants.

Keywords : inundation, flow coefficient surfaces, IDF curve, time of concentration, flood discharge plan

Judul Tesis : **EVALUASI SISTEM DRAINASE PERKOTAAN  
TERHADAP TATA RUANG WILAYAH KOTA  
METRO**

Nama Mahasiswa : **Erwin Feriyanto**

No. Pokok Mahasiswa : 1225011004

Program Studi : Magister Teknik Sipil

Fakultas : Teknik



*[Handwritten signature]*

**Dr. Dyah Indriana K., S.T., M.Sc.**  
NIP 19691219 199512 2 001

*[Handwritten signature]*

**Dwi Joko Winarno, S.T., M.Eng.**  
NIP 19690321 199951 1 001

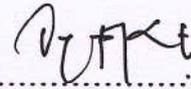
2. Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil

*[Handwritten signature]*

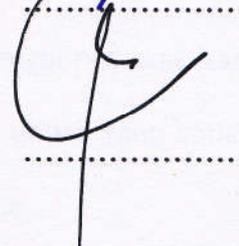
**Dr. Dyah Indriana K., S.T., M.Sc.**  
NIP 19691219 199512 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Dyah Indriana K., S.T., M.Sc. 

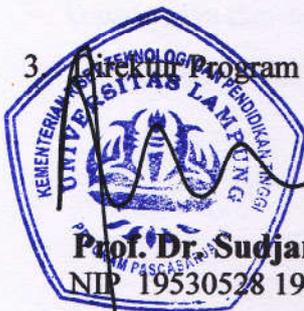
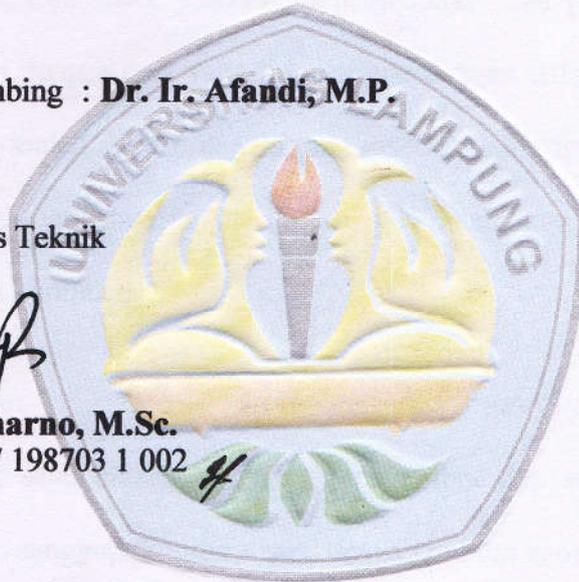
Sekretaris : Dwi Joko Winarno, S.T., M.Eng. 

Penguji  
Bukan Pembimbing : Dr. Ir. Afandi, M.P. 

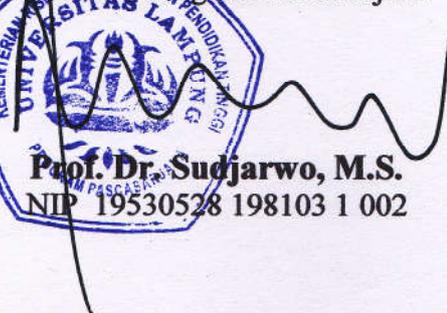


2. Dekan Fakultas Teknik

  
Prof. Dr. Suharno, M.Sc.  
NIP 19620717 198703 1 002



3. Direktur Program Pascasarjana

  
Prof. Dr. Sudjarwo, M.S.  
NIP 19530528 198103 1 002

4. Tanggal Lulus Ujian Tesis : 8 April 2016

## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan dengan sebenarnya bahwa :

1. Tesis dengan judul **“EVALUASI SISTEM DRAINASE PERKOTAAN TERHADAP TATA RUANG WILAYAH KOTA METRO”** adalah karya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain dengan cara yang tidak sesuai dengan etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik atau yang disebut plagiarisme.
2. Hak intelektual atas karya ilmiah ini diserahkan sepenuhnya kepada Universitas Lampung.

Atas pernyataan ini, apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya dan sanggup dituntut sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, April 2016  
Pembuat Pernyataan,



**Erwin Feriyanto**  
NPM. 1225011004

## **RIWAYAT HIDUP**

Penulis dilahirkan di Bengkulu, pada tanggal 5 Februari 1976, sebagai anak pertama dari tiga bersaudara, dari Bapak Kamari Bc.Hk dan Ibu Rosilah.

Pendidikan Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SD Negeri 9 Bengkulu tahun 1988, Sekolah Lanjutan Tingkat Pertama (SLTP) di SMP Negeri 2 Bengkulu pada tahun 1991, Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Negeri 2 Bengkulu pada tahun 1994, Strata I (S1) Teknik Planologi ITENAS Bandung pada tahun 2000.

Tahun 2003, penulis diangkat menjadi CPNS Kabupaten Tanggamus melalui jalur penerimaan pengadaan CPNS, pada tahun 2005 diangkat menjadi PNS Bappeda Kabupaten Tanggamus Bidang Fisik dan Prasarana. Pada tahun 2008 penulis diangkat menjadi Kepala Subbidang Lingkungan di Bappeda Kabupaten Tanggamus sampai dengan tahun 2010. Akhir tahun 2010, penulis pindah tugas ke Pemerintah Provinsi Lampung dan tahun 2011 penulis diangkat menjadi Kepala Subbidang Tata Ruang di Bappeda Provinsi Lampung. Pada Tahun 2012 sampai dengan saat ini, penulis bertugas sebagai staf teknis di Dinas Pengairan dan Pemukiman Provinsi Lampung.

## SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan hidayah-Nya tesis ini dapat diselesaikan.

Tesis dengan judul “ Evaluasi Sistem Drainase Perkotaan Terhadap Tata Ruang Wilayah Kota Metro ” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik di Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Orang tua tercinta Bapak Kamari Bc.Hk dan Ibu Rosilah yang selalu memberikan doa restu kepada penulis untuk menyelesaikan tesis ini;
2. Almarhum Bapak mertua RA. Syarwazi dan Ibu mertua Rosmaladewi;
3. Istri tercinta Susanti Syarwazi SH., MM. yang selalu mendukung dan setia mendampingi penulis dalam menyelesaikan tesis ini;
4. Anak-anakku tersayang Kayla Afra Kamila, Bayanaka Muhammad Admareza dan Kinaraya Shakila Aureli yang selalu menyemangati penulis dalam menyelesaikan tesis ini;
5. Adik – adikku di Bengkulu Dwi Linda Yulianti, SE. dan Aan Trihandono, ST.;
6. Ibu Dr. Dyah Indriana Kusumastuti, ST., M.Sc., selaku Pembimbing Pertama atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan, saran dan dukungan baik secara moril maupun materil dalam proses penyelesaian tesis ini;

7. Bapak Dwi Jokowiarno, ST., M.Eng., selaku Pembimbing Kedua atas kesediaanya untuk memberikan bimbingan, saran, dan masukannya dalam proses penyelesaian tesis ini;
8. Bapak Dr. Afandi, M.P., selaku Penguji ujian tesis, terima kasih atas masukan dan saran – saran dalam seminar proposal, seminar hasil dan ujian komprehensif;
9. Kepala Satker Tata Ruang Dinas Pengairan dan Pemukiman Provinsi Lampung;
10. Seluruh rekan – rekan di Satker Tata Ruang Dinas Pengairan dan Pemukiman Provinsi Lampung;
11. Seluruh teman – teman di Magister Teknik Sipil Universitas Lampung;
12. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat dan dapat memberikan sumbangan ilmu pengetahuan bagi semua pihak.

Bandar Lampung, 15 April 2016

Penulis

Erwin Feriyanto

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Erwin Feriyanto', written over a faint circular stamp. The signature is stylized with a large loop at the top and a horizontal line extending to the right.

**MOTTO**

***“ Hidup Seperti Air ”***

**artinya**

**“ Berubah bentuk tapi tidak berubah sifat “**

## DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL.....	i
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	vii
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Permasalahan .....	2
C. Maksud dan Tujuan.....	4
1. Maksud.....	4
2. Tujuan.....	4
D. Batasan Masalah .....	4
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
A. Umum .....	6
B. Siklus Hidrologi .....	7
C. Perhitungan Curah Hujan.....	9
1. Analisis Frekuensi Curah Hujan .....	17
2. Probabilitas.....	24
3. Uji Keselarasan Distribusi.....	25
4. Perhitungan Intensitas Hujan .....	27
5. Faktor yang Mempengaruhi Limpasan dan Koefisien Limpasan	30

6. Metode Perhitungan Debit Banjir .....	37
D. Analisa Hidrolika .....	39
1. Klasifikasi Aliran Saluran Terbuka.....	40
2. Rumus Empiris Kecepatan Rata - Rata.....	44
3. Penampang Saluran Ekonomis.....	48
<b>III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>51</b>
A. Lokasi Penelitian.....	51
B. Tahap Pengumpulan dan Pengolahan data .....	52
C. Tahap Analisa dan Perumusan.....	55
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>59</b>
A. Uraian Umum.....	59
B. Analisis Data Curah Hujan Maksimum .....	64
C. Analisis Curah Hujan Rencana .....	65
1. Parameter Statistik Curah Hujan .....	66
2. Analisis Distribusi Data Intensitas Curah Hujan.....	67
3. Pemilihan Jenis Distribusi.....	71
4. Plotting Data.....	72
5. Uji Kecocokan.....	72
6. Intensitas Curah Hujan Terpilih .....	74
D. Karakteristik Daerah Tangkapan Hujan.....	76
E. Analisis Debit Banjir Rencana.....	85
F. Analisa Hidrolika Saluran Induk Drainase .....	91
G. Alternatif Penanganan Banjir di DTH Hadimulyo Barat.....	93

<b>V. SIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>95</b>
A. Simpulan .....	95
B. Saran .....	96
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>98</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Metode Perhitungan Hujan Wilayah Berdasarkan Jumlah Pos Hujan.....	15
2. Metode Perhitungan Hujan Wilayah Berdasarkan Luas DAS.....	16
3. Metode Perhitungan Hujan Wilayah Berdasarkan Topografi DAS .....	16
4. Parameter Statistik .....	18
5. Kriteria Pemilihan Distribusi .....	24
6. Koefisien Aliran.....	36
7. Koefisien Kekasaran Bazin.....	46
8. Aturan Standar Kerapatan Stasiun Hujan Menurut WMO .....	62
9. Data Curah Hujan Maksimum Stasiun Radin Inten II Tahun 2001 – 2014 .....	64
10. Hasil Perhitungan Intensitas Hujan Maksimum Tahunan (mm/jam) .....	64
11. Parameter statistik intensitas curah hujan.....	67
12. Parameter statistik intensitas curah hujan (Log).....	67
13. Nilai Variabel (k) Reduksi Gauss .....	68
14. Intensitas Curah Hujan Rencana dengan Periode Ulang Tertentu (Distribusi Normal) .....	68
15. Nilai Variabel (k) Reduksi Gauss .....	69

16.	Intensitas Curah Hujan Rencana dengan Periode Ulang Tertentu Dengan Menggunakan Logaritma (Distribusi Log Normal) .....	69
17.	Intensitas Curah Hujan Rencana dengan Periode Ulang Tertentu Dengan Antilog (Distribusi Log Normal) .....	69
18.	Nilai k Distribusi Log Pearson III .....	69
19.	Intensitas Curah Hujan Rencana dengan Periode Ulang Tertentu Dengan Menggunakan Logaritma (Distribusi Log Pearson III).....	70
20.	Intensitas Curah Hujan Rencana dengan Periode Ulang Tertentu Dengan Antilog (Distribusi Log Pearson III).....	70
21.	Nilai $S_n$ dan $Y_n$ serta Perhitungan Probabilitas a dan b.....	71
22.	Intensitas Curah Hujan Rencana dengan Periode Ulang Tertentu (Distribusi Gumbel) .....	71
23.	Parameter Analisis Distribusi .....	71
24.	Pengujian dengan Chi kuadrat .....	73
25.	Rekapitulasi Hasil Pengujian Smirnov-Kolgomorov Berdasarkan Durasi Intensitas Hujan.....	74
26.	Intensitas Curah Hujan Terpilih (Log Pearson III).....	74
27.	Persamaan Intensitas Curah Hujan Menurut Kala Ulang .....	75
28.	Distribusi Penggunaan Lahan di Kelurahan Hadimulyo Barat.....	77
29.	Perkiraan Kemiringan Lahan di Kelurahan Hadimulyo Barat .....	78
30.	Distribusi Penggunaan Lahan Daerah Tangkapan Hujan (DTH) ..	84
31.	Perhitungan Koefisien Aliran Permukaan (C) Pada Masing – Masing Zona/Sub Daerah Tangkapan Hujan.....	85
32.	Intensitas Hujan menurut Sub DTH .....	89
33.	Perubahan Desain Saluran Induk Terhadap Q5 Tahun.....	94

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Daur Hidrologi.....	9
2. Metode Thiessen.....	14
3. Metode Isohyet. ....	15
4. Kurva Distribusi Frekuensi Normal.....	20
5. Pengaruh Bentuk Daerah Aliran Permukaan Terhadap Aliran Permukaan. ....	34
6. Pengaruh Kerapatan Saluran Terhadap Aliran Permukaan. ....	35
7. Aliran Permukaan Bebas Pada Saluran Terbuka, Saluran Tertutup dan Dalam Pipa.....	40
8. Klasifikasi Aliran Pada Saluran Terbuka. ....	41
9. Bagan Alir Penelitian.....	58
10. Luas Cakupan Areal Stasiun Hujan Radin Inten II Menurut WMO.	63
11. Grafik Intensitas Hujan Maksimum Tahunan Menurut Tahun Data.	65
12. Lengkung Intensitas-Durasi-Frekuensi Curah Hujan (Log Pearson III).....	75
13. Saluran Drainase Kelurahan Hadimulyo Barat.....	79
14. Penampang Melintang Saluran Utama .....	82
15. Diagram Hasil Perhitungan Debit Metode Rasional Kala Ulang 2 tahun untuk DTH yang terdiri atas dua Sub DTH...	90
16. Diagram Hasil Perhitungan Debit Metode Rasional Kala Ulang 5 tahun untuk DTH yang terdiri atas dua Sub DTH...	90

## **I. PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Pertumbuhan dan perkembangan kota sangat dipengaruhi oleh pertumbuhan penduduk. Semakin meningkat jumlah penduduk, maka semakin meningkat pula kebutuhan ruang dan lahan. Kebutuhan ruang dan lahan yang meningkat terutama untuk kegiatan permukiman, kegiatan perekonomian, kegiatan sosial dan lainnya bahkan juga ikut meningkatkan kebutuhan ruang dan lahan untuk infrastruktur, sarana dan prasarana pendukungnya.

Berdasarkan Undang – Undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang penataan ruang, pada pasal 3 menyebutkan bahwa penyelenggaraan penataan ruang bertujuan untuk menciptakan ruang wilayah nasional yang aman, nyaman, produktif dan berkelanjutan berlandaskan wawasan nusantara dan ketahanan nasional. Sesuai dengan amanat Undang – Undang tersebut, Pemerintah Kota Metro telah menyusun dan menetapkan Peraturan Daerah Nomor 01 Tahun 2012 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Metro 2011 – 2031. Penetapan Perda RTRW Kota Metro pada dasarnya memberikan jaminan keamanan, kenyamanan, produktivitas dan keberlanjutan terhadap keberlangsungan hidup masyarakat di Kota Metro melalui pengaturan pola ruang yang berfungsi sebagai kawasan budidaya dan kawasan lindung. Rencana Tata Ruang pada dasarnya mengakomodir kebutuhan – kebutuhan ruang khususnya dalam kawasan budidaya

yang diakibatkan oleh pertumbuhan penduduk untuk masa waktu 20 tahun kedepan. Pembangunan kawasan – kawasan terbangun untuk memenuhi kebutuhan penduduk kota. Dampak perubahan guna lahan mengakibatkan peningkatan banjir karena sistem pengendali banjir dan drainase yang dikembangkan menjadi sangat kurang, *open space* yang berfungsi sebagai tempat untuk bersantai, bermain dan sekaligus sebagai sumber oksigen cenderung berkurang (Kodoatie, 2013). Oleh karena itu pada saat musim hujan, potensi banjir dan genangan air sangat mungkin terjadi.

Dalam laporan penyusunan Rencana Detail Tata Ruang Wilayah Kota Metro tahun 2013 disebutkan adanya lokasi yang sering terjadi banjir yaitu di Kecamatan Metro Pusat, Kec. Metro Barat, Kec. Metro Timur dan Kec. Metro Selatan. Drainase merupakan sebuah sistem yang dibuat untuk menangani persoalan kelebihan air baik kelebihan air yang berada di atas permukaan tanah maupun air yang berada di bawah permukaan tanah (Wesli, 2008).

Atas kondisi tersebut, maka penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi sistem drainase perkotaan terhadap penetapan rencana tata ruang wilayah (RTRW) di Kota Metro. Dengan telah ditetapkannya pola ruang khususnya pada kawasan budidaya dan telah diatur peruntukan ruang maka kejadian atau bencana banjir pada daerah – daerah tersebut tidak boleh terjadi.

## **B. Rumusan Permasalahan**

Banjir atau genangan air akibat peristiwa hujan di Kota Metro tidak dapat dipisahkan dengan unsur tanah atau lahan. Pembangunan fisik yang terjadi di Kota Metro merupakan bentuk meningkatnya jumlah penduduk kota yang

berdampak pada meningkatnya kebutuhan akan permukiman, sarana ekonomi, sarana ibadah dan fasilitas – fasilitas umum lainnya maupun infrastruktur yang mendukung perkembangan dan pembangunan fisik. Sementara faktor hujan merupakan peristiwa alam yang tidak dapat dihindarkan maupun dicegah kejadiannya. Oleh karena hal tersebut, maka perubahan tata guna lahan sangat berpengaruh terhadap naik dan turunnya debit maupun volume aliran permukaan atau limpasan air hujan (*run off*) akibat peristiwa hujan. Untuk itulah perlu dilakukan penelitian terhadap debit limpasan air hujan yang dihubungkan dengan penggunaan lahan atau tanah di lokasi penelitian.

Saluran drainase adalah saluran yang berfungsi untuk menyalurkan dan menerima aliran permukaan yang tidak mampu terinfiltrasi oleh tanah akibat peristiwa hujan. Pembangunan saluran drainase sangat berperan dalam melindungi dan menjaga keberlangsungan fungsi – fungsi peruntukan lahan yang menjadi tempat aktivitas dan kegiatan manusia dari banjir maupun genangan air akibat kejadian hujan. Dengan demikian saluran drainase mempunyai peran sebagai pengendali banjir pada suatu kawasan yang direncanakan sebagai akibat dari peristiwa hujan. Namun, apakah saluran drainase yang telah terbangun telah sesuai dengan kemampuannya sebagai badan penerima dan mengalirkan air hujan terhadap peristiwa hujan itu sendiri. Hal ini perlu untuk dilakukan penelitian agar antara kapasitas saluran dan curah hujan dapat seimbang.

Hal – hal lain yang perlu diperhatikan bahwasanya banjir maupun genangan air hujan bisa diakibatkan selain faktor penggunaan lahan dan kemampuan kapasitas saluran drainase, seperti tersumbatnya saluran drainase oleh sampah dan lumpur yang mengakibatkan menurunnya kapasitas tampung saluran, atau tertutupnya

tanah oleh suatu benda tertentu dalam jangka waktu tertentu pada suatu areal yang luas yang menyebabkan limpasan air hujan menjadi besar di saat peristiwa hujan terjadi, atau dapat disebabkan oleh faktor alam seperti gempa bumi, penurunan tanah dalam skala yang besar maupun curah hujan yang sangat ekstrim. Untuk itu, faktor – faktor penyebab lainnya akan dijabarkan secara deskripsi kualitatif setelah analisa yang berhubungan langsung dengan debit limpasan air hujan terhadap penggunaan lahan dan kapasitas saluran telah disusun terlebih dahulu.

### **C. Maksud dan Tujuan**

#### **1. Maksud**

Adapun maksud dari penelitian ini adalah mengevaluasi sistem drainase, kondisi topografi dan penggunaan lahan pada daerah – daerah terdampak banjir.

#### **2. Tujuan**

Mengacu pada kondisi aktual di lapangan maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui besarnya aliran permukaan terhadap penggunaan lahan eksisting.
2. Mengevaluasi kondisi saluran drainase, topografi dan pola penggunaan lahan.
3. Merumuskan faktor penyebab terjadinya banjir.

### **D. Batasan Masalah**

Adapun penelitian ini dibatasi pada :

- 1 Lokasi penelitian berada di wilayah administrasi Kota Metro dan tidak menyebar atau meluas mengikuti daerah aliran sungai atau daerah tangkapan hujan. Lokasi penelitian lebih dikonsentrasikan pada salah satu lokasi atau

titik yang diduga terjadi banjir atau genangan, sehingga cakupan wilayah hulu dan hilir tidak terlalu luas.

- 2 Dalam penelitian ini tidak melakukan pembahasan dan analisa terhadap faktor – faktor yang berkaitan dengan kemampuan infiltrasi termasuk didalamnya mengenai permeabilitas tanah, evapotranspirasi maupun perhitungan yang berkaitan dengan penyimpanan air dalam tanah (*water storage*) dan aliran air dalam tanah (*base flow*).
- 3 Data Hujan yang digunakan adalah data hujan otomatis berasal dari Alat Pencatatan Hujan Otomatis (*Automatic Rainfall Recorder*) Tipe *Floating (Hellmann)*.
- 4 Air limpasan (*run off*) adalah hubungan antara debit hujan berdasarkan metode rasional dengan intensitas hujan (I), koefisien limpasan (C) dan luas areal limpasan (A) yang nantinya terbagi sesuai dengan zona limpasannya dan saluran yang mengalirkannya. Faktor aliran balik terhadap daerah hilir atau saluran drainase yang lebih luas tidak menjadi pokok pembahasan dalam penelitian ini.
- 5 Data topografi atau kelerengan merupakan data hasil pengolahan dari data DEM (*Digital Elevation Model*) dengan menggunakan software pemetaan dan bukan data yang diambil dengan menggunakan pengukuran topografi secara langsung.
- 6 Model perhitungan hidrolika menggunakan Pemodelan HEC-RAS 4.1 untuk memperhitungkan kapasitas saluran induk DTH.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Umum

Banjir merupakan bagian dari pengelolaan sumber daya air yang lebih spesifik, dan untuk penanggulangan banjir umumnya melalui dam-dam pengendali banjir atau peningkatan sistem pembawa (sungai, drainase) dan pencegahan hal yang berpotensi merusak dengan cara mengelola tata guna lahan dan daerah banjir (*flood plains*).

Banjir adalah meluapnya air dari sungai atau saluran, yang disebabkan oleh tidak mampunya sungai atau saluran yang ada untuk menyalurkan air yang mengalir (DPU, 2004). Dalam Peraturan Pemerintah No. 38 tahun 2011 tentang sungai, banjir adalah peristiwa meluapnya air sungai melebihi palung sungai. Kondisi ini menimbulkan genangan yang pada prosesnya dapat didahului oleh suatu terjangan/bandang.

Beberapa karakteristik yang berkaitan dengan banjir, diantaranya:

- Banjir dapat datang secara tiba-tiba dengan intensitas besar namun dapat langsung mengalir
- Banjir datang secara perlahan namun dapat menjadi genangan yang lama (berhari-hari atau bahkan berminggu-minggu) di daerah depresi
- Banjir datang secara perlahan namun intensitas hujannya sedikit
- Pola banjirnya musiman

- Akibat yang ditimbulkan adalah terjadinya genangan, erosi dan sedimentasi sedangkan akibat lainnya adalah terisolasinya daerah permukiman dan diperlukan evakuasi penduduk.

## **B. Siklus Hidrologi**

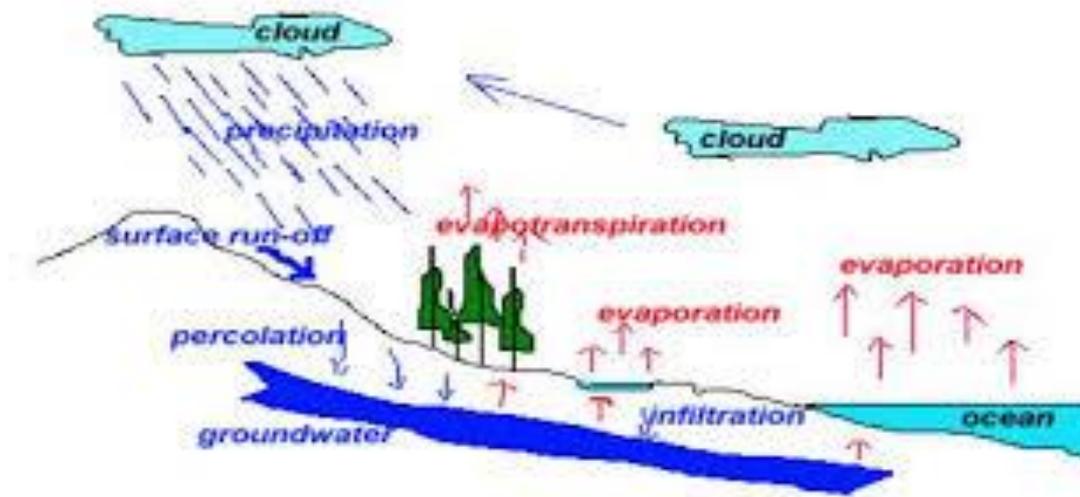
Dalam kajian evaluasi ini diperlukan tinjauan pustaka untuk mengetahui dasar – dasar teori yang digunakan dalam mengidentifikasi dan menelaah kondisi eksisting terhadap air limpasan dan air hujan yang terjadi.

Hidrologi adalah ilmu yang mempelajari air dalam segala bentuknya (cairan, gas, padat) pada, dalam dan di atas permukaan tanah. Termasuk di dalamnya adalah penyebaran, daur dan perilakunya, sifat-sifat fisika dan kimianya, serta hubungannya dengan unsur-unsur hidup dalam air itu sendiri (Asdak, 2004).

Siklus air merupakan fokus utama dari ilmu hidrologi. Laut merupakan tempat penampungan air terbesar di bumi. Sinar matahari yang dipancarkan ke bumi memanaskan suhu air di permukaan laut, danau, atau yang terikat pada permukaan tanah. Kenaikan suhu memacu perubahan wujud air dan cair menjadi gas. Molekul air dilepas menjadi gas. Ini dikenal sebagai proses evaporasi (*evaporation*). Air yang terperangkap di permukaan tanaman juga berubah wujud menjadi gas karena pemanasan oleh sinar matahari. Proses ini dikenal sebagai transpirasi (*transpiration*). Air yang menguap melalui proses evaporasi dan transpirasi selanjutnya naik ke atmosfer membentuk uap air. Uap air di atmosfer selanjutnya menjadi dingin dan terkondensasi membentuk awan (*clouds*). Kondensasi terjadi ketika suhu udara berubah. Air akan berubah bentuk jika suhu berfluktuasi. Sehingga, jika udara cukup dingin, uap air terkondensasi menjadi

partikel – partikel di udara membentuk awan. Awan yang terbentuk selanjutnya dibawa oleh angin mengelilingi bumi, sehingga awan terdistribusi ke seluruh penjuru dunia. Ketika awan sudah tidak mampu lagi menampung air, awan melepas uap air yang ada di dalamnya ke dalam bentuk presipitasi (*precipitation*) yang dapat berubah salju, hujan dan hujan es. Selanjutnya sebagian air hujan yang jatuh ke permukaan bumi diserap (*intercepted*) oleh permukaan tanaman, sisanya akan mengalir ke permukaan tanah sebagai aliran permukaan (*surface run-off*). Aliran permukaan selanjutnya mengalir melalui sungai menjadi debit sungai (*streamflow*) atau tersimpan di permukaan tanah dalam bentuk danau (*freshwater storage*). Sebagian lagi masuk ke dalam tanah melalui proses infiltrasi (*infiltration*) dan sebagian lagi mengalir ke dalam lapisan tanah melalui aliran-air-tanah (*sub surface flow*). Pada lokasi tertentu air yang mengalir di dalam lapisan tanah, ke luar sebagai mata air (*spring*) dan bergabung dengan aliran permukaan (*surface run-off*). Lebih jauh lagi air yang terinfiltrasi mungkin dapat mengalami proses perkolasi ke dalam tanah menjadi aliran bawah tanah (*groundwater flow*). Siklus hidrologi ini berlangsung secara kontinyu untuk menyediakan air bagi makhluk hidup di bumi. Tanpa proses ini tidak mungkin ada kehidupan di bumi (Indarto, 2010)

Daur atau siklus hidrologi yaitu perjalanan air dari permukaan laut ke atmosfer kemudian ke permukaan tanah dan kembali lagi ke laut yang tidak pernah berhenti tersebut, air tersebut akan tertahan sementara di sungai, danau atau waduk, dan dalam tanah sehingga dapat dimanfaatkan oleh manusia atau makhluk hidup lainnya (Asdak, 2004).



Gambar 1. Daur Hidrologi.

### C. Perhitungan Curah Hujan

Hujan adalah suatu peristiwa alam yang merupakan salah satu bagian atau tahapan dalam siklus hidrologi. Peristiwa alam ini sangat mempengaruhi dan sangat berkaitan erat terhadap peristiwa alam lainnya di permukaan bumi. Kejadian hujan dapat mempengaruhi suhu dan kelembaban udara, muka air tanah dan air permukaan, serta hubungannya dengan infiltrasi maupun perkolasi sebagai bagian dari tahapan lanjutan dalam siklus hidrologi. Jenis presipitasi (hujan, salju atau hujan es), waktu turunnya dan distribusi spasialnya merupakan semua aspek yang harus diantisipasi dan diperhitungkan oleh hidrolog ketika mempelajari suatu wilayah (Indarto, 2010)

Menurut Hadisusanto (2011) dalam bukunya aplikasi hidrologi, tipe hujan yang terjadi di suatu wilayah juga dipengaruhi oleh kondisi meteorologi setempat

pada saat ini, keadaan topografi juga berperan penyebab terjadinya hujan. Sehingga secara garis besar tipe hujan dikategorikan menjadi tiga tipe yaitu:

#### 1. Hujan Konservatif

hujan yang dihasilkan oleh adanya konveksi thermal dan udara yang lembab. Kondisi ini terjadi bilamana udara di bawah dipanasi, yang mengakibatkan udara akan mengembang dan dipaksa untuk naik ke atas udara dingin yang lebih berat. Sistem konveksi terdiri dari banyak sel arus udara naik dan udara turun setempat. Jika arus naik mencapai ketinggian kondensasi maka terbentuklah awan cumulus. Jika udara lembab sekali maka terjadi awan cumulonimbus pada ketinggian yang tinggi, kemudian ada kemungkinan terjadi hujan lebat dengan petir dan kilat. Karena hujan ini sering dalam bentuk hujan lebat, maka kurang efektif untuk pertumbuhan tanaman dibanding dengan hujan yang jatuhnya merata, dikarenakan lebih banyak yang hilang di permukaan tanah sebagai aliran permukaan daripada yang masuk meresap ke dalam tanah.

#### 2. Hujan Orografis

Hujan yang terjadi oleh adanya rintangan topografi dan diperhebat oleh adanya dorongan udara melalui dataran tinggi atau gunung. Jumlah curah hujan tahunan di dataran tinggi umumnya lebih tinggi daripada di dataran rendah terutama pada lereng – lereng dimana angin datang. Bagian belakang gunung dimana udara turun dan menjadi panas adalah sangat kering, yang menimbulkan apa yang dinamakan bayangan hujan. Bertambahnya curah hujan tidak hanya disebabkan oleh adanya dorongan angin ke atas yang membawa uap air, tetapi juga disebabkan oleh adanya dorongan angin ke atas

yang membawa uap air, disamping itu juga disebabkan oleh hal – hal antara lain turbulensi yang kuat dari sifat mekanik konvektif, gangguan cuaca karena ada yang memperlambat dan menghalangi, dataran yang tinggi dapat memberikan dorongan awal pada keadaan udara tidak stabil.

### 3. Hujan Frontal

Hujan ini banyak terjadi di daerah pertengahan dan jarang terjadi di daerah tropis dimana masa udara hampir mempunyai suhu yang seragam. Kenaikan udara frontal ditandai oleh lerengnya yang landai, dimana udara panas naik ke atas udara yang dingin. Awan yang terjadi secara demikian meliputi daerah yang sangat luas, sehingga hujan terjadi pada daerah yang luas pula.

Secara umum alat untuk mengukur hujan hanya ada 2 tipe yaitu:

#### 1. Alat ukur manual

Pada dasarnya alat pengukuran hujan ini mengkalkulasi hujan selama satu hari penuh (24 jam) dengan pengambilan data biasanya pada jam 07.00 pagi yang mengindikasikan terjadinya hujan pada hari sebelumnya. Pencatatan data pada hari itu merupakan hasil pencatatan kejadian pada hari sebelumnya. Tinggi rendahnya air yang tertampung dalam gelas ukur adalah merupakan total terjadinya hujan selama satu hari (24 jam), namun berapa lama dan jam berapa terjadinya hujan tidak dapat diketahui.

#### 2. Alat ukur otomatis

Alat pengukuran hujan otomatis mencatat kejadian hujan secara akumulasi dapat memberikan informasi waktu terjadinya hujan dan jumlah kejadian hujan dalam satu hari. Hasil alat ukur otomatis berupa kertas grafik yang

mengambarkan hubungan antara waktu dan jumlah kejadian hujan dalam satu hari.

Pencatatan data hujan adalah bagian yang penting dalam memperkirakan faktor kedalaman hujan pada suatu tempat. Pencatatan data hujan secara otomatis sangat efektif dan efisien untuk memperkirakan kedalaman hujan atau tinggi curah hujan dalam rentang waktu 1 x 24 jam. Rekaman data secara otomatis dapat menghasilkan data curah hujan dalam jam - jaman, sehingga perkiraan waktu terjadinya dalam satu hari dapat ditentukan berdasarkan rekaman tersebut.

Metode pencatatan hujan secara manual cenderung menghasilkan data hujan harian, sehingga kedalaman hujan yang terjadi adalah merupakan akumulasi waktu terjadinya dalam satu hari. Untuk itu perlu metode tambahan untuk memperkirakan terjadinya hujan dalam jam – jaman atau menitan. Pada pencatatan data curah hujan manual dapat dideskripsikan bahwa kejadian hujan pada suatu kawasan atau tempat tidak dapat digambarkan oleh satu alat penakar hujan. Oleh karena satu alat penakar hujan hanya mencatat kejadian hujan pada satu tempat, sementara kejadian hujan yang terjadi pada suatu kawasan sangat bervariasi. Untuk itu, berbagai metode digunakan untuk memperkirakan curah hujan rata – rata dari beberapa stasiun penakar hujan yang ada di dalam dan/atau sekitar kawasan. Sampai saat ini metode perhitungan hujan rata – rata pada suatu kawasan yang model pencatatan hujan dilakukan secara manual terdiri atas :

1. Metode Rata – Rata Arimatika

Metode perhitungan rata-rata aritmatik adalah cara yang paling sederhana.

Metode ini biasanya dipergunakan untuk daerah dengan kondisi topografi yang datar, dengan jumlah pos curah hujan yang cukup banyak yang tersebar

merata atau hampir merata dan dengan anggapan bahwa curah hujan di daerah tersebut bersifat seragam.

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

Dimana  $P_1, P_2, \dots, P_n$  adalah curah hujan yang merata di pos penakar hujan 1, 2, ... n dan n adalah banyaknya pos penakar hujan.

2. Metode Polygon Thiessen

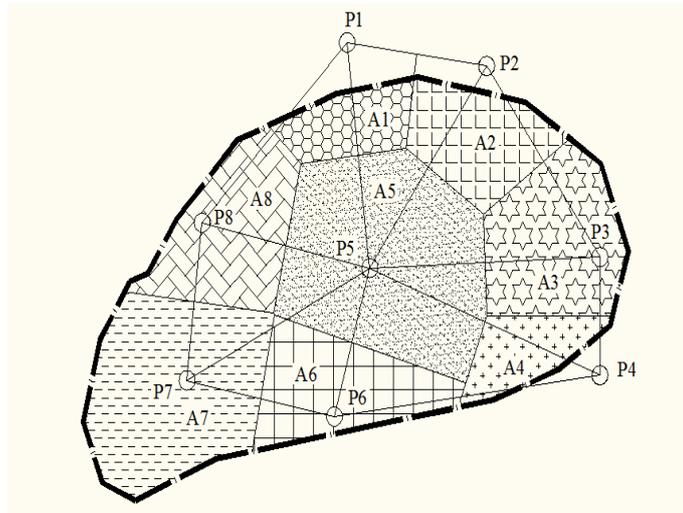
Perhitungan hujan rata – rata metode polygon thiessen dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Menghubungkan masing – masing stasiun hujan dengan garis polygon.
2. Membuat garis berat antara 2 stasiun hingga bertemu dengan garis berat lainnya pada satu titik dalam polygon.
3. Luas area yang mewakili masing – masing stasiun hujan dibatasi oleh garis berat pada polygon.
4. Luas sub-area masing – masing stasiun hujan dipakai sebagai faktor pemberat dalam menghitung hujan rata – rata.

Sehingga perhitungan hujan rata – rata pada suatu daerah aliran sungai dapat dirumuskan

$$P = \frac{P_1 \cdot A_1 + P_2 \cdot A_2 + P_3 \cdot A_3}{A_1 + A_2 + A_3} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana  $P_1, P_2, \dots, P_n$  adalah curah hujan yang tercatat di pos penakar hujan 1, 2, ... n.  $A_1, A_2, \dots, A_n$  adalah luas areal polygon 1, 2, n dan n adalah banyaknya pos penakar hujan.



Gambar 2. Metode Thiessen

### 3. Metode Isohyet

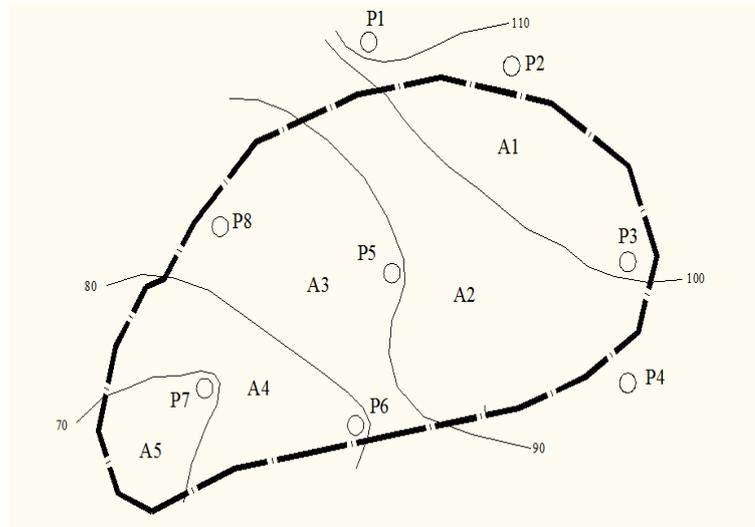
Isohyet adalah garis kontur yang menghubungkan tempat – tempat yang mempunyai pengaruh jumlah hujan yang sama. Perhitungan hujan rata – rata metode isohyet dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Memplotting masing – masing stasiun hujan pada peta dasar.
2. Mencatat jumlah hujan pada setiap stasiun hujan.
3. Membuat interpolasi dengan garis kontur antara stasiun – stasiun hujan menurut interval yang dikehendaki.
4. Luas sub-area antara 2 garis kontur yang dipakai sebagai faktor pemberat dalam menghitung hujan rata – rata.

Perhitungan hujan rata – rata pada suatu areal daerah aliran sungai (DAS) dengan persamaan berikut :

$$P = \frac{A_1 \left( \frac{P_1 + P_2}{2} \right) + A_2 \left( \frac{P_2 + P_3}{2} \right) + \dots + A_{n-1} \left( \frac{P_{n-1} + P_n}{2} \right)}{A_1 + A_2 + \dots + A_{n-1}} = \frac{\sum \left[ A \left( \frac{P_1 + P_2}{2} \right) \right]}{\sum A} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana  $P_1, P_2, \dots, P_n$  adalah curah hujan yang tercatat di pos penakar hujan 1, 2, ... n, berdasarkan garis kontur. Sedangkan  $A_1, A_2, \dots, A_n$  adalah luas sub-areal antara 2 garis kontur.



Gambar 3. Metode Isohyet.

Pemilihan metode yang paling cocok pada suatu kawasan / DAS dapat ditentukan dengan mempertimbangkan tiga faktor berikut (Suripin, 2004) :

1. Berdasarkan Jumlah Pos Hujan (lihat tabel 1)
2. Berdasarkan Luas daerah aliran sungai (lihat tabel 2)
3. Berdasarkan Bentuk Topografi (lihat tabel 3)

Tabel 1. Metode Perhitungan Hujan Wilayah Berdasarkan Jumlah Pos Hujan

Persyaratan	Metode yang digunakan
Jumlah Pos Penakar Hujan Cukup Banyak	Rata-rata Aljabar, Thiesen, Isohyet,
Jumlah Pos Penakar Terbatas	Rata-rata Aljabar dan Metode Thiesen
Pos Penakar Hujan Tunggal	Metode Hujan Titik

Sumber : Suripin, 2004

Tabel 2. Metode Perhitungan Hujan Wilayah Berdasarkan Luas DAS

<b>Luas DAS</b>	<b>Metode</b>
DAS > 500 km <sup>2</sup>	Metode Isohyet
DAS 500 – 5000 km <sup>2</sup>	Rata-rata Aljabar dan Metode Thiessen
DAS < 500 km <sup>2</sup>	Metode Rata-rata Aljabar

Sumber : Suripin , 2004

Tabel 3. Metode Perhitungan Hujan Wilayah Berdasarkan Topografi DAS

<b>Topografi DAS</b>	<b>Metode</b>
Pegunungan	Rata-rata Aljabar
Dataran	Thiessen
Berbukit dan tidak beraturan	Isohyet

Sumber : Suripin, 2004

Karakteristik hujan yang perlu ditinjau dalam analisis dan perancangan hidrobiologi meliputi :

1. Intensitas ( i )

Intensitas adalah laju hujan = tinggi air persatuan waktu, misalnya mm/menit, mm/jam, atau mm/hari.

2. Lama waktu atau durasi ( t )

Durasi adalah panjang waktu hujan turun, dinyatakan dalam menit atau jam.

3. Tinggi hujan ( d )

Tinggi hujan adalah jumlah atau kedalaman hujan yang terjadi selama durasi hujan, dan dinyatakan dalam ketebalan air di atas permukaan datar, dalam mm.

4. Frekuensi

Frekuensi adalah kejadian yang biasanya dinyatakan dengan kala ulang (*return period*) T, misalnya sekali dalam dua tahun.

## 5. Luas

Luas adalah luas geografis daerah sebaran hujan. Analisis hidrologi diperlukan untuk memperoleh besarnya debit banjir rencana suatu wilayah. Debit banjir rencana merupakan debit maksimum dengan periode ulang tertentu yaitu besarnya debit maksimum yang rata-rata terjadi satu kali dalam periode ulang yang ditinjau.

### 1. Analisis Frekuensi Curah Hujan

Tujuan analisis frekuensi data hidrologi khususnya data curah hujan adalah berkaitan dengan besaran peristiwa – peristiwa ekstrim yang berkaitan dengan frekuensi kejadiannya melalui penerapan distribusi kemungkinan. Data hidrologi yang dianalisis diasumsikan tidak bergantung (*independent*) dan terdistribusi secara acak dan bersifat stokastik. Frekuensi hujan adalah besarnya kemungkinan suatu besaran hujan disamai atau dilampaui. Sebaliknya, kala-ulang (*return period*) adalah suatu waktu hipotetik dimana hujan dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui. Dalam hal ini terkandung pengertian bahwa kejadian tersebut akan berulang secara teratur setiap kala ulang tersebut. Misalnya, hujan dengan kala-ulang 10 tahunan, tidak berarti akan terjadi sekali setiap 10 tahun akan tetapi ada kemungkinan dalam jangka 1000 tahun akan terjadi 100 kali kejadian hujan 10 tahunan. Ada kemungkinan selama kurun waktu 10 tahun terjadi hujan 10-tahunan lebih dari satu kali atau sebaliknya tidak terjadi sama sekali (Suripin, 2004).

Analisis frekuensi hujan merupakan analisa statistik penafsiran (*statistical inference*) hujan, biasanya dalam perhitungan hidrologi dipakai untuk menentukan

terjadinya periode ulang hujan pada periode tahun tertentu. Pada perencanaan sumberdaya air, analisis frekuensi hujan ini sangat diperlukan dalam perhitungan kejadian banjir rencana apabila pada lokasi yang direncanakan tidak terdapat pencatatan debit maksimum jangka panjang dan terus menerus (Hadisusanto, 2011). Dalam ilmu statistik dikenal beberapa parameter yang berkaitan dengan analisis data yang meliputi rata-rata, simpangan baku, koefisien variabel dan koefisien skewness (kecondongan atau kemencengan) (Suripin, 2004).

Tabel 4. Parameter Statistik

Parameter	Sampel	Populasi
Rata – rata	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	$\mu = E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx$
Simpangan Baku	$s = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$	$\sigma = \{E [(x - \mu)^2]\}^{\frac{1}{2}}$
Koefisien Variasi	$CV = \frac{s}{\bar{x}}$	$CV = \frac{\sigma}{\mu}$
Koefisien Skewness	$G = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)s^3}$	$\gamma = \frac{E[(x - \mu)^3]}{\sigma^3}$

Sumber : Suripin, 2004

Beberapa sumber lainnya menambahkan parameter statistik koefisien kurtois dengan rumus :

$$CK = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)s^4} \dots\dots\dots (4)$$

Dalam statistik dikenal beberapa macam distribusi frekuensi yang banyak digunakan dalam bidang hidrologi antara lain :

1. Distribusi Normal

Distribusi Normal juga disebut distribusi Gauss, dimana distribusinya mempunyai fungsi kerapatan kemungkinan (*probability density function*):

$$P(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{x-\mu}{\sigma} \right)^2} \dots\dots\dots (5)$$

$P(X)$  = Fungsi kerapatan peluang normal

$\pi$  = 3,14156

$e$  = 2,71828

$\mu$  = nilai  $X$  rata – rata

$\sigma$  = standar deviasi nilai  $X$

Analisis kurva normal cukup menggunakan parameter statistik  $\mu$  dan  $\sigma$ .

Bentuk kurvanya simetris terhadap  $X = \mu$ , dan grafiknya selalu di atas sumbu

datar  $X$ , serta mendekati (berasimtot) sumbu datar  $X$  dan dimulai dari  $X = \mu +$

$3\sigma$  dan  $X = \mu - 3\sigma$ . Nilai mean = median = modus. Nilai  $X$  mempunyai batas -

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

Apabila sebuah populasi dari data hidrologi mempunyai distribusi normal

(Gambar 4.), maka :

1. Kira-kira 68,27% terletak didaerah satu deviasi standar sekitar nilai rata-ratanya, yaitu antara  $(\mu - \sigma)$  dan  $(\mu + \sigma)$ .
2. Kira-kira 95,45% terletak didaerah satu deviasi standar sekitar nilai rata-ratanya, yaitu antara  $(\mu - 2\sigma)$  dan  $(\mu + 2\sigma)$ .
3. Kira-kira 99,73% terletak didaerah satu deviasi standar sekitar nilai rata-ratanya, yaitu antara  $(\mu - 3\sigma)$  dan  $(\mu + 3\sigma)$ .

Sedangkan nilai 50%-nya terletak didaerah antara  $(\mu - 0,6745\sigma)$  dan  $(\mu + 0,6745\sigma)$ .

Dalam pemakaian praktis digunakan rumus umum, sebagai berikut :

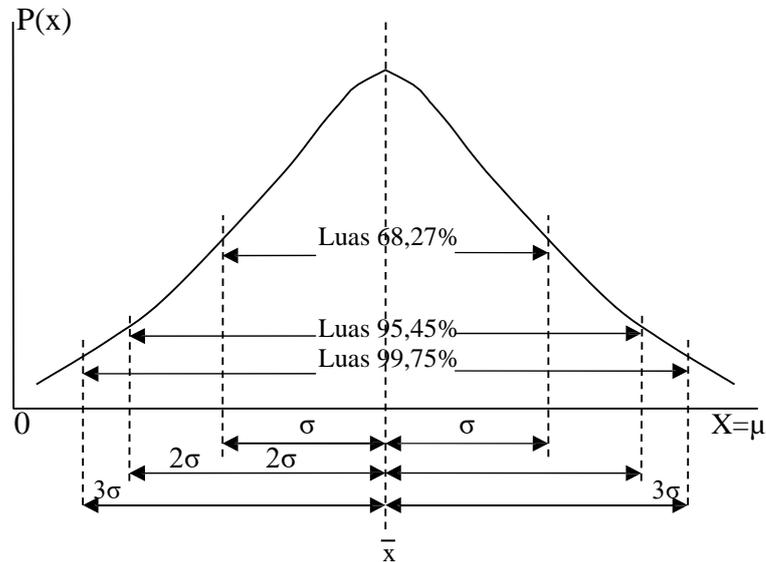
$$X_t = \bar{X} + k.S \dots\dots\dots (6)$$

$X_t$  = Perkiraan nilai  $x$  yang diharapkan terjadi dengan periode ulang  $t$  tahun

$\bar{X}$  = Nilai rata-rata hitung variat  $X$

$S$  = Deviasi standar nilai variat  $X$

k = Faktor frekuensi, merupakan fungsi dari periode ulang dan tipe model matematik distribusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang (lihat Lampiran B Tabel 1)



Gambar 4. Kurva Distribusi Frekuensi Normal.

2. Distribusi Log Normal

Jika variabel acak  $Y = \text{Log } X$  terdistribusi secara normal, maka  $X$  dikatakan mengikuti distribusi Log Normal, PDF (*probability density function*) untuk distribusi Log Normal dapat dituliskan dalam bentuk rata – rata dan simpangan bakunya, sebagai berikut :

$$P(X) = \frac{1}{X\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[ - \frac{(Y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2} \right] \quad x > 0 \dots\dots\dots(7)$$

- P(X) = Peluang log normal
- X = Nilai variat pengamatan
- $\sigma_y$  = Deviasi standar nilai variat Y
- $\mu_y$  = Nilai rata – rata populasi Y

Apabila nilai P(X) digambarkan pada kertas, maka peluang logaritmik akan merupakan persamaan garis lurus, sehingga dapat dinyatakan sebagai model matematik dengan persamaan :

$$Y_T = \mu + K_T \sigma \dots\dots\dots (8)$$

yang dapat didekati dengan

$$Y_T = \bar{Y} + K_T S \dots\dots\dots (9)$$

$$K_T = \frac{Y_T - \bar{Y}}{S} \dots\dots\dots (10)$$

$Y_T$  = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T – tahunan

$\bar{Y}$  = Nilai rata – rata hitung variat

S = Deviasi standar nilai variat

$K_T$  = Faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang atau periode ulang dan tipe model matematik distribusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang

### 3. Distribusi Log-Person III

Keistimewaan metode Log Pearson Type III adalah dapat digunakan untuk semua sebaran data. Adapun langkah-langkah analisis frekuensi dengan metode Log Pearson Type III adalah sebagai berikut :

- a. Urutkan data dari kecil ke besar dan ubah data ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ ) dalam bentuk logaritma ( $\log X_1, \log X_2, \dots, \log X_n$ ).
- b. Hitung nilai rerata

$$\overline{\log X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} \log X_i \dots\dots\dots (11)$$

c. Hitung standart deviasi

$$S_1^2 = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (\log X_i - \log X)^2}{n-1} \dots\dots\dots (12)$$

d. Hitung koefisien kepencengan

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (\log X_i - \log X)^3}{(n-1)(n-2)(S_1)^3} \dots\dots\dots (13)$$

e. Hitung logaritma X

$$\log X = \overline{\log X} + G.S_1 \dots\dots\dots (14)$$

f. Hitung anti log X

$$X = \text{anti log X} \dots\dots\dots (15)$$

$\log X$  = Logaritma debit atau curah hujan.

$\overline{\log X}$  = Logaritma rerata dari debit atau curah hujan

$\log X_1$  = Logaritma debit atau curah hujan tahun ke 1

G = Konstanta Log Pearson Type III, berdasarkan koefisien kemencengan (Lampiran B Tabel 2 untuk Distribusi Log – Pearson III)

$S_1$  = Simpangan baku

$C_s$  = Koefisien kemencengan

n = Jumlah data

4. Distribusi Gumbel

Distribusi Gumbel umumnya digunakan untuk analisis data ekstrem yang mempunyai fungsi distribusi eksponensial ganda.

$$P(X) = e^{-e^{-a(X-b)}} \dots\dots\dots (16)$$

Jika diambil  $Y = a(X-b)$ , dengan Y disebut *reduced varied*, maka persamaan diatas dapat ditulis

$$P(X) = e^{-e^{-Y}} \dots\dots\dots (17)$$

Dimana e = bilangan alam = 2,7182818...

Apabila jumlah populasi yang terbatas (sampel), maka persamaannya

$$X = \bar{X} + sK \dots\dots\dots (18)$$

$\bar{X}$  = Harga rata – rata sampel

S = Standar deviasi (simpangan baku) sampel

Faktor probabilitas K untuk harga – harga ekstrim Gumbel dapat dinyatakan dalam persamaan

$$K = \frac{Y_{T_r} - Y_n}{S_n} \dots\dots\dots (19)$$

$Y_n$  = *Reduced Mean* yang tergantung jumlah sampel/data n (Lampiran B Tabel 3 *Reduced Mean*)

$S_n$  = *Reduced Standard Deviation* yang juga tergantung pada jumlah sampel/data n (Lampiran B Tabel 4 *Reduced Standard Deviation*)

$Y_{T_r}$  = *Reduced Variate* (Lampiran B Tabel 5), yang dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$Y_{T_r} = - \ln \left\{ - \ln \frac{T_r - 1}{T_r} \right\} \dots\dots\dots (20)$$

Dengan demikian didapat persamaan yang merupakan substitusi persamaan (17) ke dalam persamaan (18)

$$\begin{aligned} X_{T_r} &= \bar{X} + \frac{Y_{T_r} - Y_n}{S_n} S \\ &= \bar{X} - \frac{Y_n S}{S_n} + \frac{Y_{T_r} S}{S_n} \end{aligned}$$

atau

$$X_{T_r} = b + \frac{1}{a} Y_{T_r} \dots\dots\dots (21)$$

dimana

$$a = \frac{S_n}{S} \quad \text{dan} \quad b = \bar{X} - \frac{Y_n S}{S_n}$$

Tabel 5. Kriteria Pemilihan Distribusi

No	Jenis Distribusi	Persyaratan
1	Distribusi Normal	Cs = 0, Ck = 3
2	Distribusi Log Normal	Cs = 3 Cv, Cv = 0,6
3	Distribusi Log Pearson III	Cs < 0, Cv = 0,3
4	Distribusi Gumbel	Cs < 1,1396, Ck < 5,4002

Sumber : Nugroho Hadisusanto, 2011

Untuk menentukan distribusi yang tepat dalam menghitung curah hujan rencana dengan periode ulang t tahun, maka perlu diperhatikan syarat-syarat dalam tabel 5.

## 2. Probabilitas

Ada dua cara untuk mengetahui ketepatan distribusi probabilitas data hidrologi, yaitu data yang ada diplot pada kertas probabilitas yang sudah didesain khusus atau menggunakan skala plot yang melinierkan fungsi distribusi. Suatu garis lurus yang merepresentasikan sebaran data – data yang diplot kemudian ditarik sedemikian rupa, sehingga dapat digunakan untuk interpolasi maupun ekstrapolasi. Dalam analisis hidrologi, ekstrapolasi harus dilakukan dengan sangat hati – hati karena dapat menimbulkan penyimpangan.

Posisi pengeplotan data merupakan nilai probabilitas yang dimiliki oleh masing – masing data yang diplot. Banyak metode yang telah dikembangkan untuk menemukan posisi pengeplotan yang sebagian besar dibuat secara empiris. Untuk keperluan penentuan posisi ini, data hidrologi yang telah ditabelkan dirurutkan dari besar ke kecil (berdasarkan peringkat  $m$ ), dimulai dengan  $m = 1$  untuk data dengan nilai tertinggi dan  $m = n$  ( $n$  adalah jumlah data) untuk data dengan nilai terkecil. Periode ulang  $T_r$  dapat dihitung dengan persamaan yang telah dikenal yaitu (Suripin, 2004) :

$$T_r = \frac{n + 1}{m} \dots\dots\dots(22)$$

$m$  = nomor urut (peringkat) data setelah diurutkan dari besar ke kecil

$n$  = banyaknya data atau jumlah kejadian (*event*)

Data yang telah diurutkan dan periode ulangnya telah ditentukan, diplot diatas kertas probabilitas sehingga diperoleh garis lurus (*garis linier*)

### 3. Uji Keselarasan Distribusi

Uji keselarasan dimaksudkan untuk menentukan persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Ada dua jenis uji keselarasan, yaitu Chi Square dan Smirnov - Kolmogorof.

#### 1. Uji Chi Kuadrat

Metode uji kesesuaian Chi Kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang telah dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Uji Chi Kuadrat ini menggunakan parameter  $X^2$ , dimana metode ini diperoleh berdasarkan rumus (Suripin, 2004) :

$$X_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots(23)$$

$X_h^2$  = Parameter chi kuadrat terhitung

G = Jumlah sub kelompok

$O_i$  = Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok i

$E_i$  = Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok i

Parameter  $X_h^2$  merupakan variabel acak. Peluang untuk mencapai nilai  $X_h^2$  sama atau lebih besar dari nilai chi kuadrat sebenarnya ( $X^2$ ) dapat dilihat pada Lampiran B Tabel 6.

Dalam pengujian ini akan menentukan persamaan distribusi dapat diterima apabila peluang lebih dari 5 %, persamaan tidak dapat diterima apabila peluang kurang dari 1 % dan persamaan dinyatakan perlu data tambahan bila peluang berada di antara 1 – 5 %. Derajat kebebasan (dk) = G – R – 1 (nilai R = 2 untuk distribusi normal dan binomial) (Suripin, 2004).

## 2. Uji Smirnov-Kolgomorov

Dikenal dengan uji kecocokan non parametric karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu. Prosedurnya sebagai berikut :

- Urutkan data dari besar ke kecil atau sebaliknya dan tentukan peluangnya dari masing-masing data tersebut.

$$X_1 = P(X_1)$$

$$X_2 = P(X_2)$$

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

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

$$X_1 = P'(X_1)$$

$$X_2 = P'(X_2)$$

$X_3 = P'(X_3)$  dan seterusnya

- Dari kedua nilai peluang tersebut tentukan selisih antara pengamatan dan peluang teoritis.

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

- Berdasarkan tabel nilai kritis (*Smirnov – Kolmogorov test*) tentukan harga  $D_0$  dari tabel pada Lampiran B Tabel 7 (Suripin, 2004).

#### 4. Perhitungan Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Sifat umum hujan adalah semakin singkat hujan berlangsung, intensitasnya cenderung makin tinggi dan makin besar periode ulangnya makin tinggi pula intensitasnya. Hubungan antara intensitas, lama hujan, dan frekuensi hujan dinyatakan dalam lengkung Intensitas-Durasi-Frekuensi (*IDF = Intensity-Duration-Frequency Curve*). Diperlukan data hujan jangka pendek, misalnya 5 menit, 10 menit, 30 menit, 60 menit dan jam – jam-an untuk membentuk lengkung IDF. Data hujan jenis ini hanya dapat diperoleh dari pos penakar hujan otomatis. Analisis Intensitas-Durasi-Frekuensi (*IDF = Intensity-Duration-Frequency Curve*) dilakukan untuk memperkirakan debit aliran puncak berdasar data hujan titik (satu stasiun pencatat hujan). Data yang digunakan adalah data hujan dengan intensitas tinggi yang terjadi dalam waktu singkat, seperti hujan 5, 10, 15, ... 120 menitan atau lebih. Untuk itu diperlukan data hujan dari stasiun pencatat hujan otomatis. Pembuatan kurva IDF dapat dilakukan dengan prosedur sebagai berikut (Triatmodjo, 2008) :

1. Ditetapkan durasi hujan tertentu, misalnya 5, 10, 15,... menit.

2. Dari data pencatatan hujan otomatis, yang menunjukkan jumlah kumulatif hujan terhadap waktu, dicatat kedalaman hujan deras dengan beberapa durasi tersebut. Selanjutnya dipilih kedalaman hujan maksimum untuk masing – masing tahun pencatatan, sehingga terdapat sejumlah data yang mewakili seluruh tahun pencatatan.
3. Kedalaman hujan yang diperoleh dalam butir 2, dapat dikonversi menjadi intensitas hujan dengan menggunakan hubungan  $i = 60 p/t$ , dimana p adalah kedalaman hujan dan t adalah durasi (5, 10, 15,... menit).
4. Dihitung intensitas hujan ekstrim untuk beberapa periode ulang dengan menggunakan analisis frekuensi
5. Dibuat kurva hubungan antara intensitas huan dan durasi hujan untuk beberapa periode ulang, sehingga didapat kurva IDF.

Perhitungan lainnya merupakan metode yang sering digunakan dan biasanya berdasarkan pencatatan data curah hujan secara manual serta dapat dibuat dengan salah satu dari beberapa persamaan berikut (Suripin, 2004) :

1. Rumus Talbot (1881), rumus ini banyak digunakan karena mudah diterapkan dan tetapan – tetapan a dan b ditentukan dengan harga – harga yang terukur

$$I = \frac{a}{t+b} \dots\dots\dots (24)$$

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam)

a dan b = Konstanta yang tergantung pada lamanya hujan yang terjadi di

DAS

2. Rumus Sherman (1905), rumus ini mungkin cocok untuk jangka waktu curah hujan yang lamanya lebih dari 2 jam.

$$I = \frac{a}{t^n} \dots\dots\dots (25)$$

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam)

n = Konstanta

3. Rumus Ishiguro (1953)

$$I = \frac{a}{\sqrt{t+b}} \dots\dots\dots (26)$$

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam)

a dan b = Konstanta

4. Rumus Mononobe, dapat dilakukan apabila data hujan jangka pendek tidak tersedia, yang ada hanya data hujan harian, maka intensitas hujan dapat dihitung.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (27)$$

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam)

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

Dalam menentukan perkiraan pemilihan metode intensitas hujan diantara metode – metode yang digunakan dengan cara melakukan telaah terhadap deviasi antara data terukur dan hasil prediksi, maka metode dengan deviasi rata – rata  $M([s])$  terkecil dianggap sebagai metode paling cocok (Suripin, 2004).

## 5. Faktor yang Mempengaruhi Limpasan dan Koefisien Limpasan

Menurut Indarto dalam hidrologi, dasar teori dan contoh aplikasi model hidrologi, aliran (*run-off*) sering didefinisikan sebagai bagian hujan (*rainfall*), salju dan/atau air irigasi yang mengalir di atas permukaan tanah menuju ke sungai. Kadang – kadang juga disebut aliran permukaan (*surface run-off*). Ada dua jenis aliran permukaan (*surface run-off*) selama hujan yaitu :

1. Aliran permukaan yang berasal dari kelebihan infiltrasi (*infiltration excess overland flow*). Aliran jenis ini terjadi pada kondisi tanah tidak jenuh. Pada kondisi ini, tanah dalam keadaan agak kering, tetapi karakteristik tanah atau penutupan lahan tidak memungkinkan proses infiltrasi lebih lanjut sejalan dengan laju hujan. Aliran ini umumnya teramati pada kejadian hujan deras dengan durasi pendek. Umumnya juga terjadi pada wilayah di mana tanahnya banyak mengandung lempung atau pada kasus permukaan tanah yang telah termodifikasi karena pemadatan tanah (*soil compaction*), urbanisasi, atau kebakaran hutan.
2. Aliran permukaan yang berasal dari kejenuhan tanah (*saturation excess overland flow*). Aliran jenis ini terjadi jika tanah sudah menjadi jenuh dan tidak ada lagi ruang pori kosong di dalam tanah yang memungkinkan air untuk berinfiltrasi. Hal ini dapat terjadi meskipun pada tanah yang umumnya memungkinkan sejumlah besar infiltrasi pada kondisi menjelang jenuh. Aliran ini umumnya terjadi pada hujan kecil hingga sedang dengan durasi panjang atau kejadian hujan atau pelelehan salju yang beruntun. Tanah mungkin sudah jenuh oleh kejadian hujan sebelumnya, sehingga tidak lagi dapat menampung air infiltrasi. Aliran ini dapat terjadi di mana saja selama

tanah dalam keadaan basah. Lebih khusus lagi pada daerah beriklim humid dengan topografi datar atau kemiringan kecil. Tanah pertanian umumnya mampu menyerap banyak air. Adanya air tergenang di antara gulu dan sawah menunjukkan tanah sudah jenuh, sehingga infiltrasi tidak terjadi lagi atau sangat lambat. Hal ini akan menyebabkan aliran permukaan.

Aliran permukaan merupakan bagian dari curah hujan yang mengalir diatas permukaan tanah menuju sungai, danau, dan lautan (Asdak, 1995). Aliran permukaan adalah air yang mengalir diatas permukaan tanah dan mengangkut bagian-bagian tanah. Aliran permukaan terjadi apabila intensitas hujan melebihi kapasitas infiltrasi tanah, dalam hal ini tanah telah jenuh air. Tidak selamanya air hujan mencapai saluran drainase, ada yang menguap, meresap kedalam tanah (infiltrasi) atau tertunda (Arsyad, 2010).

Aliran pada saluran atau sungai tergantung dari berbagai faktor secara bersamaan. Dalam kaitannya dengan limpasan, faktor yang berpengaruh secara umum dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok yaitu (Suripin, 2004) :

1. Faktor meteorologi

Faktor – faktor meteorologi yang berpengaruh pada limpasan terutama karakteristik hujan, meliputi :

- a. Intensitas Hujan

Pengaruh intensitas hujan terhadap limpasan permukaan sangat tergantung pada laju infiltrasi. Jika intensitas hujan melebihi laju infiltrasi, maka akan terjadi limpasan permukaan sejalan dengan peningkatan intensitas curah hujan. Namun demikian, peningkatan limpasan permukaan tidak selalu sebanding dengan peningkatan

intensitas hujan karena adanya penggenangan di permukaan tanah. Intensitas hujan berpengaruh pada debit maupun volume limpasan.

b. Durasi Hujan

Total limpasan dari suatu hujan berkaitan langsung dengan durasi hujan dengan intensitas tertentu. Setiap daerah aliran sungai mempunyai durasi hujan atau lam hujan kritis. Jika hujan yang terjadi lamanya kurang dari lama hujan kritis, maka lamanya limpasan akan sama dan tidak tergantung pada intensitas hujan.

c. Distribusi Curah Hujan

Laju dan volume limpasan dipengaruhi oleh distribusi dan intensitas hujan diseluruh daerah aliran sungai. Secara umum, laju dan volume limpasan maksimum terjadi jika seluruh daerah aliran sungai telah memberi kontribusi aliran. Namun demikian hujan dengan intensitas tinggi pada sebagian daerah aliran sungai dapat menghasilkan limpasan yang lebih besar dibandingkan dengan hujan biasa yang terjadi di seluruh daerah aliran sungai.

2. Karakteristik daerah aliran sungai

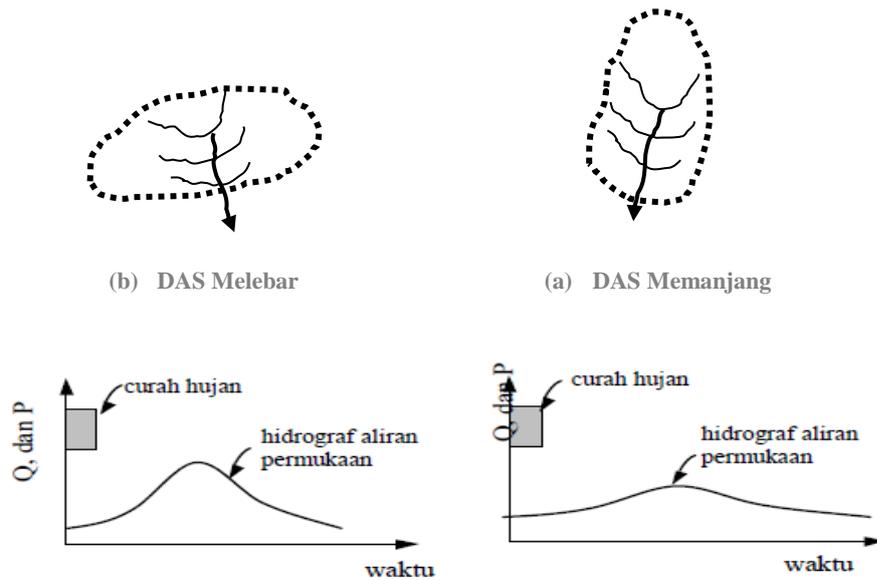
Beberapa hal yang sangat mempengaruhi karakteristik daerah aliran sungai antara lain :

a. Luas dan Bentuk daerah aliran sungai

Laju dan volume aliran permukaan makin bertambah besar dengan bertambahnya luas daerah aliran sungai. Tetapi apabila aliran permukaan tidak dinyatakan sebagai jumlah total dari daerah aliran sungai, melainkan sebagai laju dan volume per satuan luas, maka besarnya laju

dan volume aliran permukaan akan berkurang dengan bertambahnya luas daerah aliran sungai. Hal ini sangat berkaitan dengan waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke titik kontrol (waktu konsentrasi) dan juga penyebaran atau intensitas hujan.

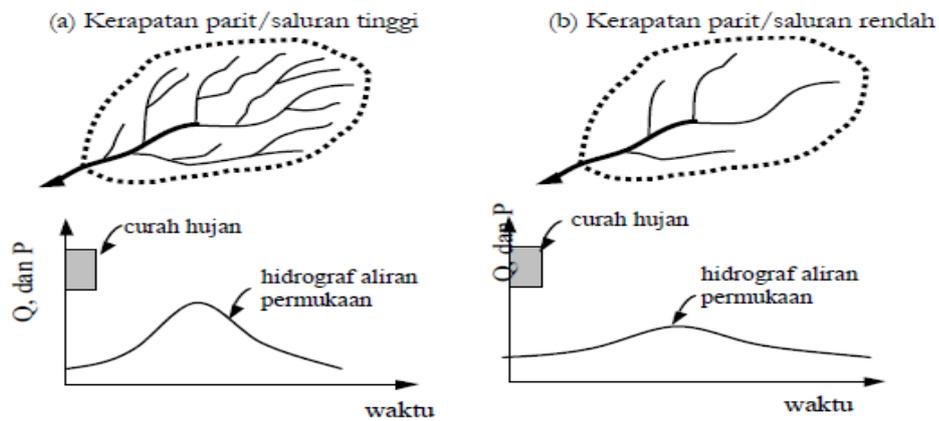
Bentuk daerah aliran sungai yang memanjang dan sempit cenderung menghasilkan aliran permukaan yang lebih kecil dibandingkan dengan daerah aliran sungai yang berbentuk melebar atau melingkar. Waktu konsentrasi daerah aliran sungai yang memanjang lebih lama dibandingkan dengan daerah aliran sungai yang melebar, dimana konsentrasi air di titik kontrol lebih lambat. Demikian juga terhadap hujan yang terjadi tidak merata (hujan terjadi dari hilir ke hulu), pada daerah aliran sungai dengan bentuk yang memanjang, kontribusi air antara bagian hulu dan hilir terjadi pemisahan waktu konsentrasi disepanjang daerah aliran sungai, oleh karena aliran permukaan yang sampai ke titik kontrol berada pada waktu yang berbeda. Sedangkan pada aliran sungai dengan bentuk memanjang mengalami aliran permukaan terjadi pada saat yang hampir bersamaan dan kontribusi air antara bagian hulu dan hilir terjadi di waktu yang hampir bersamaan.



Gambar 5. Pengaruh Bentuk Daerah Aliran Permukaan Terhadap Aliran Permukaan.

b. Topografi

Topografi atau kemiringan lahan, keadaan dan kerapatan saluran dan bentuk cekungan lainnya mempunyai pengaruh pada laju dan volume aliran permukaan. Daerah aliran sungai dengan kemiringan curam disertai saluran yang rapat akan menghasilkan laju dan volume aliran permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah aliran sungai yang landai dengan saluran yang jarang dan adanya cekungan – cekungan. Pengaruh kerapatan saluran yaitu panjang saluran per satuan daerah aliran sungai, pada aliran permukaan adalah memperpendek waktu konsentrasi sehingga memperbesar laju aliran permukaan.



Gambar 6. Pengaruh Kerapatan Saluran Terhadap Aliran Permukaan.

### c. Tata Guna Lahan

Pengaruh tata guna lahan pada aliran permukaan dinyatakan dalam koefisien aliran permukaan ( $C$ ), yaitu bilangan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya aliran permukaan dan besarnya curah hujan. Apabila koefisien aliran permukaan ini merupakan salah satu indikator untuk menentukan kondisi fisik suatu daerah aliran permukaan suatu daerah aliran sungai. Nilai  $C$  berkisar antara 0 sampai dengan 1.

Koefisien aliran permukaan menunjukkan pengaruh penggunaan lahan, tanah, lereng, dan potensial aliran permukaan. Penggunaan lahan di wilayah urban yang menyebabkan pemadatan tanah dan pembuatan lapisan kedap di permukaan tanah akan menghasilkan koefisien aliran permukaan yang lebih besar. Nilai  $C$  sangat tergantung pada intensitas hujan. Jika intensitas hujan rendah, maka koefisien aliran permukaannya rendah. Sebaliknya, jika intensitas hujan tinggi, maka koefisien aliran permukaannya tinggi. Selain itu, nilai  $C$  sangat dipengaruhi laju infiltrasi dan penutupan lahan.

Koefisien aliran permukaan (C) merupakan pengaruh tata guna lahan dalam aliran permukaan, yakni bilangan yang menampilkan perbandingan antara besarnya aliran permukaan dan besarnya curah hujan. Angka koefisien aliran permukaan itu merupakan salah satu indikator untuk menentukan kondisi fisik suatu DAS. Nilai C berkisar antara 0 – 1. Nilai C = 0 menunjukkan bahwa semua air hujan terintersepsi dan terinfiltrasi ke dalam tanah, sebaliknya untuk nilai C = 1 menunjukkan bahwa air hujan mengalir sebagai aliran permukaan. Pada DAS yang baik harga C mendekati nol dan semakin rusak suatu DAS maka harga C semakin mendekati satu (Kodoatie dan Syarief, 2005).

Pendapat lain mengenai cara penentuan faktor C yang mengintegrasikan nilai yang merepresentasikan beberapa faktor yang mempengaruhi hubungan antara hujan dan aliran, yaitu topografi, permeabilitas tanah, penutup lahan, dan tata guna lahan (Hassing dalam Suripin, 2004). Nilai koefisien C merupakan kombinasi dari beberapa faktor yang dapat dihitung berdasarkan tabel dibawah ini.

Tabel 6. Koefisien Aliran

<b>Koefisien Aliran <math>C = C_t + C_s + C_v</math></b>					
<b>Topografi, <math>C_t</math></b>		<b>Tanah, <math>C_s</math></b>		<b>Vegetasi, <math>C_v</math></b>	
Datar (< 1 %)	0,03	Pasir dan gravel	0,04	Hutan	0,04
Bergelombang (1 – 10 %)	0,08	Lempung Berpasir	0,08	Pertanian	0,11
Perbukitan (10 – 20 %)	0,16	Lempung dan Lanau	0,16	Padang Rumput	0,21
Pegunungan (> 20 %)	0,26	Lapisan Batu	0,26	Tanpa Tanaman	0,28

Sumber : Hassing, 1995

Jika daerah aliran sungai terdiri dari berbagai macam penggunaan lahan dengan koefisien aliran permukaan yang berbeda, maka C yang dipakai adalah koefisien daerah aliran sungai dengan persamaan berikut :

$$C_{DAS} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots\dots\dots (28)$$

$A_i$  = Luas lahan dengan jenis penutup tanah  $i$

$C_i$  = Koefisien aliran permukaan jenis penutup lahan  $i$

$n$  = Jumlah jenis penutup lahan

## 6. Metode Perhitungan Debit Banjir

Secara umum, metode perhitungan yang berkaitan dengan memperkirakan laju aliran puncak (debit banjir) yang umum digunakan terdiri atas metode rasional dan metode hidrograf satuan (Suripin, 2004). Penerapan terhadap metode – metode perhitungan debit banjir bergantung pada ketersediaan data, tingkat kedetailan perhitungan dan tingkat bahaya kerusakan akibat banjir. Dalam penulisan ini metode perhitungan yang digunakan adalah Metode Rasional.

Metode ini sangat sederhana dan mudah penggunaannya, namun penggunaannya terbatas untuk daerah aliran sungai dengan ukuran wilayah yang kecil (< 300 Ha). Metode ini tidak dapat menerangkan hubungan curah hujan dan aliran permukaan dalam bentuk hidrograf dengan persamaan

$$Q_p = 0,002778 CIA \dots\dots\dots (29)$$

$Q_p$  adalah laju aliran permukaan (debit) puncak dalam m<sup>3</sup>/detik.  $C$  adalah koefisien aliran permukaan ( $0 \leq C \leq 1$ ).  $I$  adalah intensitas hujan dalam mm/jam, dan  $A$  adalah luas daerah aliran sungai dalam hektar. Metode rasional dikembangkan berdasarkan asumsi bahwa hujan yang terjadi mempunyai intensitas seragam dan merata di seluruh daerah aliran sungai selama paling sedikit sama dengan waktu konsentrasi ( $t_c$ ) daerah aliran sungai. Hujan dengan intensitas seragam dan merata di seluruh daerah aliran sungai berdurasi sama

dengan waktu konsentrasi ( $t_c$ ). Jika hujan yang terjadi lamanya kurang dari  $t_c$  maka debit puncak yang terjadi lebih kecil dari  $Q_p$  karena seluruh daerah aliran sungai tidak dapat memberikan kontribusi aliran secara bersama pada titik kontrol (*outlet*). Sebaliknya, jika hujan yang terjadi lebih lama dari  $t_c$  maka debit aliran permukaan akan tetap sama dengan  $Q_p$ .

Koefisien aliran permukaan (C) didefinisikan sebagai nisbah antara puncak aliran permukaan terhadap intensitas hujan. Faktor utama yang mempengaruhi C adalah laju infiltrasi tanah atau prosentase lahan kedap air, kemiringan lahan, tanaman penutup dan intensitas hujan. Permukaan kedap air seperti perkerasan aspal dan atap bangunan akan menghasilkan aliran hampir 100 % setelah permukaan menjadi basah seberapa pun kemiringannya.

Waktu konsentrasi ( $t_c$ ) suatu daerah aliran sungai adalah waktu yang diperlukan air hujan yang jatuh untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke tempat keluaran daerah aliran sungai (titik kontrol/*outlet*) setelah tanah menjadi jenuh dan depresi – depresi kecil terpenuhi. Dalam hal ini diasumsikan jika durasi hujan sama dengan waktu konsentrasi maka setiap bagian daerah aliran sungai secara serentak telah menyumbangkan aliran terhadap titik kontrol, metode yang digunakan untuk memperkirakan waktu konsentrasi adalah rumus yang dikembangkan oleh Kirpich (1940) dapat dituliskan (Suripin, 2004) :

$$t_c = \left( \frac{0,87 \times L^2}{1000 \times S} \right)^{0,385} \dots\dots\dots (30)$$

dimana  $t_c$  adalah waktu konsentrasi jam, L adalah panjangnya saluran utama dari hulu sampai penguras dalam Km, dan S adalah kemiringan rata – rata saluran dalam m/m. Waktu konsentrasi dapat dihitung dengan membedakannya menjadi dua komponen yaitu waktu yang diperlukan air untuk mengalir di permukaan

lahan sampai saluran terdekat ( $t_o$ ) dan waktu perjalanan dari pertama masuk saluran sampai titik keluaran ( $t_d$ ), sehingga rumusnya dapat ditulis

$$t_c = t_o + t_d \dots\dots\dots(31)$$

dimana

$$t_o = \left[ \frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{n}{\sqrt{S}} \right] \text{ menit} \dots\dots\dots(32)$$

dan

$$t_d = \frac{L_s}{60V} \text{ menit} \dots\dots\dots(33)$$

- n = Angka kekasaran Manning
- S = Kemiringan lahan
- L = Panjang lintasan aliran di atas permukaan lahan (m)
- $L_s$  = Panjang lintasan aliran di dalam saluran/sungai (m)
- V = Kecepatan aliran di dalam saluran (m/detik)

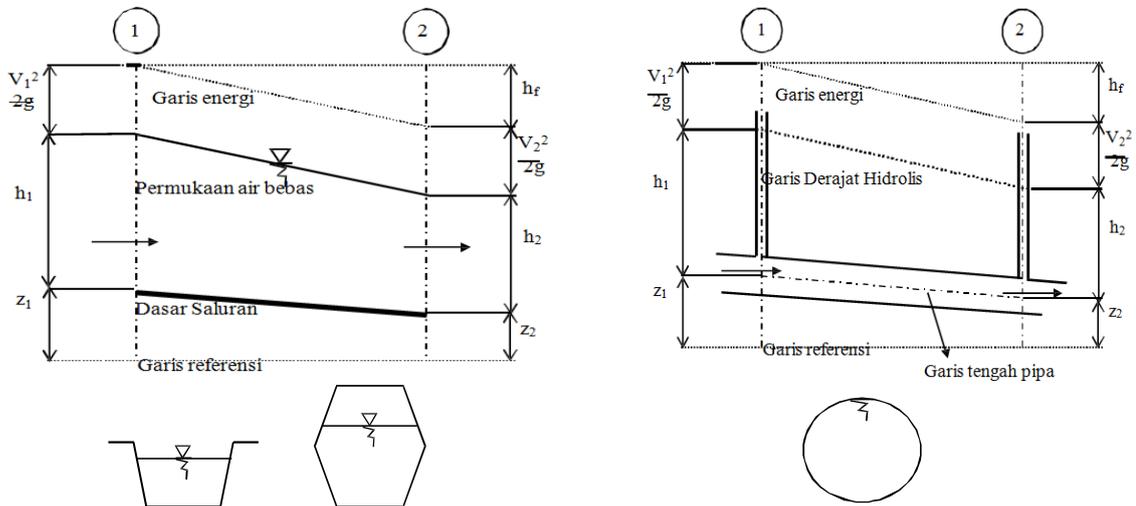
Sedangkan untuk intensitas hujan dapat dihitung dengan menggunakan metode Mononobe.

**D. Analisa Hidrolika**

Hidrolika adalah ilmu yang mempelajari tentang sifat-sifat zat cair. Analisis hidrolika dimaksud untuk mengetahui kapasitas alur sungai dan saluran pada kondisi sekarang terhadap banjir rencana, yang selanjutnya digunakan untuk mendesain alur sungai dan saluran.

Aliran dalam saluran terbuka maupun saluran tertutup yang mempunyai permukaan bebas disebut aliran permukaan bebas (*free surface flow*) atau aliran saluran terbuka (*open chanel flow*). Aliran permukaan bebas mempunyai tekanan sama dengan tekanan atmosfer. Jika pada aliran tidak terdapat permukaan bebas

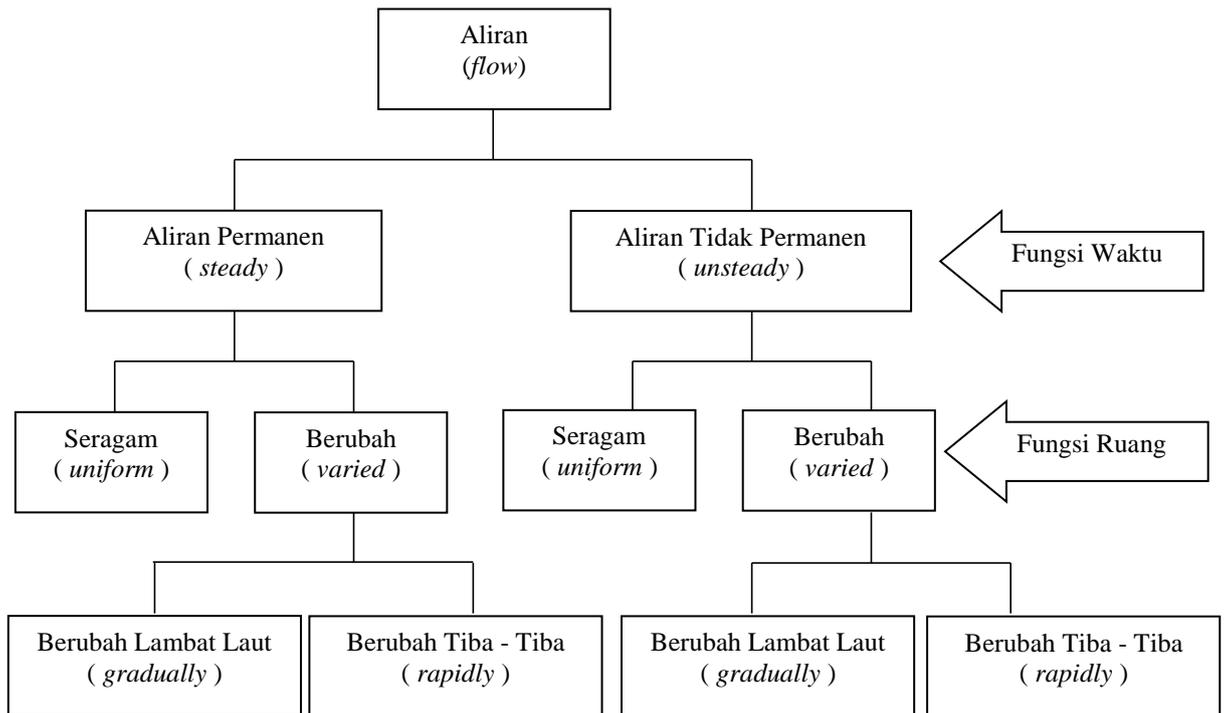
dan aliran dalam saluran penuh, maka aliran yang terjadi disebut aliran dalam pipa (*pipe flow*) atau aliran tertekan (*pressurized flow*). Aliran dalam pipa tidak mempunyai tekanan atmosfer, tetapi tekanan hidraulik (Ven Te Chow, 1992).



Gambar 7. Aliran Permukaan Bebas Pada Saluran Terbuka, Saluran Tertutup dan Dalam Pipa.

## 1. Klasifikasi Aliran Saluran Terbuka

Pada umumnya tipe aliran melalui saluran terbuka adalah turbulen, karena kecepatan aliran dan kekasaran dinding relatif besar. Aliran dapat diklasifikasikan berdasarkan fungsi kedalaman dan/atau kecepatan mengikuti fungsi waktu, maka aliran dibedakan menjadi aliran permanen (*steady*) dan tidak permanen (*unsteady*). Sedangkan jika berdasarkan fungsi ruang, maka aliran dibedakan menjadi aliran seragam (*uniform*) dan tidak seragam (*non-uniform*).



Gambar 8. Klasifikasi Aliran Pada Saluran Terbuka.

Klasifikasi aliran pada saluran terbuka adalah sebagai berikut (Suripin, 2004 dan Triatmodjo, 1993) :

1. Aliran Permanen dan Tidak Permanen

Jika kecepatan aliran/kedalaman aliran pada suatu titik tidak berubah terhadap waktu, maka alirannya disebut aliran permanen atau tunak (*steady flow*). Debit pada suatu penampang saluran untuk sembarang aliran dinyatakan dengan :

$$Q = V \cdot A \dots\dots\dots (34)$$

Q = Debit Aliran (m<sup>3</sup>/dt)

V = Kecepatan Rata – Rata Aliran (m/dt)

A = Luas Penampang Melintang Saluran Tegak Lurus Arah Aliran (m<sup>2</sup>)

Persamaan diatas tidak dapat dipakai apabila aliran permanen/tunak, tak seragam di sepanjang saluran, seperti air yang mengalir keluar atau masuk di sepanjang aliran. Jenis aliran ini dikenal sebagai aliran berubah beraturan (*spatially varied flow*) atau aliran diskontinu yang terdapat pada selokan jalan, pelimpah luapan samping, air pembilas melalui saringan, cabang saluran di sekitar tangki pengolah air buangan, saluran pembuang utama dan saluran pembawa dalam sistem sungai.

Jika kecepatan aliran/kedalaman aliran pada suatu titik pada suatu lokasi tertentu berubah terhadap waktu, maka alirannya disebut aliran tidak permanen atau tidak tunak (*unsteady flow*).

## 2. Aliran Seragam dan Berubah

Jika kecepatan aliran pada suatu waktu tertentu tidak berubah sepanjang saluran yang ditinjau, maka alirannya disebut aliran seragam (*uniform flow*). Namun jika kecepatan aliran pada saat tertentu berubah terhadap jarak, maka alirannya disebut aliran aliran tidak seragam atau aliran berubah (*varied flow*). Berdasarkan laju perubahan terhadap jarak, maka aliran dapat diklasifikasikan menjadi aliran berubah lambat laun (*gradually varied flow*) atau aliran berubah tiba-tiba (*rapidly varied flow*)

## 3. Aliran Laminer dan Turbulen

Jika partikel zat cair yang bergerak mengikuti alur tertentu dan aliran tampak seperti serat-serat tipis yang paralel, maka aliran tersebut disebut laminer. Sebaliknya, jika partikel zat cair bergerak mengikuti alur yang tidak beraturan, baik ditinjau terhadap ruang dan waktu maka aliran tersebut disebut aliran turbulen. Faktor yang menentukan keadaan aliran adalah pengaruh relatif

antara gaya kekentalan (*viskositas*) dan gaya inersia. Jika viskositas yang dominan maka alirannya laminar, sedangkan jika gaya inersia yang dominan, maka alirannya turbulen. Nisbah antara gaya kekentalan dan inersia dinyatakan dalam bilangan Reynold ( $R_e$ ) yang didefinisikan sebagai berikut :

$$R_e = \frac{V.L}{\nu} \dots\dots\dots (35)$$

V = Kecepatan aliran (m/dt)

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

R = Jari – jari Hidrolik saluran (m), dimana  $R = A/P$

A = Luas penampang basah ( $m^2$ )

P = Keliling basah (m)

$\nu$  = Kekentalan kinematik ( $m^2/dt$ )

Syarat bilangan Reynold antara lain :

- Batas peralihan antara laminar dan turbulen pada aliran dihitung berdasarkan jari-jari hidraulik sebagai panjang karakteristik.
- Aliran Laminar terjadi apabila  $R_e < 500$ . Tegangan geser ditentukan dengan mudah untuk bidang batas yang halus, lapisan kekentalan (*viscous sublayer*).
- Aliran Turbulen terjadi apabila  $R_e > 1.000$ .
- Di alam aliran laminar pada saluran terbuka sangat jarang sangat tipis di atas permukaan gelas yang sangat halus

4. Aliran Subkritis, Kritis dan Superkritis

Aliran dikatakan kritis apabila kecepatan aliran sama dengan kecepatan gelombang gravitasi. jika kecepatan aliran lebih kecil daripada kecepatan kritis, maka alirannya disebut subkritis (mengalir), sedangkan jika kecepatan

alirannya lebih besar daripada kecepatan kritis, maka alirannya disebut superkritis (meluncur). Kondisi aliran di hulu akan mempengaruhi aliran di bagian hilir

Parameter yang digunakan adalah nisbah antara gaya gravitasi dan gaya inersia yang dinyatakan dengan bilangan Froude ( $F_r$ ). Bilangan Froude untuk saluran berbentuk persegi didefinisikan sebagai :

$$F_r = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}} \dots\dots\dots(36)$$

$v$  = Kecepatan aliran (m/dt)

$h$  = Kedalaman aliran (m)

$g$  = Percepatan gravitasi (m/dt<sup>2</sup>)

Penentuan tipe aliran dapat didasarkan pada nilai angka Froude ( $F_r$ ), aliran adalah sub kritis (mengalir) apabila  $F_r < 1$ , kritis apabila  $F_r = 1$  dan super kritis (meluncur) apabila  $F_r > 1$ .

## 2. Rumus Empiris Kecepatan Rata - Rata

Distribusi kecepatan pada dasarnya tidak merata di setiap titik pada penampang melintang. Hal ini sangat dipengaruhi oleh adanya permukaan bebas dan gaya gesekan disepanjang dinding saluran. Kecepatan maksimum dalam saluran biasanya terjadi di bawah permukaan bebas sedalam 0,05 sampai 0,25 kali kedalamannya. Makin dekat ke tepi saluran berarti makin dalam dan mencapai maksimum. Distribusi kecepatan pada penampang saluran juga tergantung pada faktor – faktor lain, seperti bentuk penampang yang tidak lazim, kekasaran saluran dan adanya tekukan – tekukan. Pada arus yang lebar, deras dan dangkal atau saluran yang sangat licin, kecepatan maksimum sering terjadi di permukaan

bebas. Pada tikungan, kecepatan meningkat pada bagian cembung, menimbulkan gaya sentrifugal pada aliran (Chow, 1998).

Aliran seragam pada saluran terbuka tidak dapat terjadi pada kecepatan aliran yang besar atau kemiringan saluran sangat besar. Apabila kecepatan aliran melampaui batas tertentu (kecepatan kritis), maka muka air menjadi tidak stabil dan akan menjadi gelombang (Triatmodjo, 1993). Oleh karena aliran permanen/tunak seragam (*steady uniform flow*) pada saluran terbuka, keadaan aliran sangat jarang ditemui dalam bentuk aliran laminar dan sebagian besar dalam keadaan turbulen dimana perhitungan terhadap distribusi kecepatan sangat sulit maka digunakan pendekatan empiris untuk menghitung kecepatan rata – rata sebagai berikut :

1. Rumus Chezy (1769)

Kecepatan untuk aliran seragam, dengan beberapa asumsi :

- aliran adalah permanen
- kemiringan dasar saluran adalah kecil
- saluran adalah prismatic

$$V = C \sqrt{RS_0} \dots\dots\dots(37)$$

- V = Kecepatan rata – rata (m/dt)
- C = Faktor tahanan aliran (koefisien chezy)
- R = Jari – jari Hidrolis
- S<sub>0</sub> = Kemiringan dasar saluran

2. Rumus Bazin

Pada tahun 1878 H. Bazin merumuskan suatu persamaan untuk menghitung Koefisien Chezy (C).

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma B}{\sqrt{R}}} \dots\dots\dots (38)$$

R = Jari – jari Hidrolis

$\gamma B$  = Koefisien kekasaran dinding, dengan nilai koefisien dalam tabel dibawah ini

Tabel 7. Koefisien Kekasaran Bazin

Jenis Dinding	$\gamma B$
Dinding sangat halus (semen)	0,06
Dinding halus (papan, batu, bata)	0,16
Dinding batu pecah	0,46
Dinding tanah sangat teratur	0,85
Saluran tanah dengan kondisi biasa	1,30
Saluran tanah dengan dasar batu pecah dan tebing rumput	1,75

Sumber : Bambang Triatmodjo, 2008

### 3. Ganguilet dan Kuetter

Ganguilet dan Kuetter mengusulkan rumus untuk menghitung koefisien Chezy sebagai berikut :

$$C = \frac{23 + \frac{0,00155}{S} + \frac{1}{n}}{1 + \frac{n}{\sqrt{R}} \left( 23 + \frac{0,00155}{S} \right)} \dots\dots\dots (39)$$

S = Kemiringan saluran

R = Jari – jari hidrolis

n = Koefisien kekasaran yang sama dengan koefisien kekasaran Manning

#### 4. Strickler

Rumus Strickles merupakan hubungan antara nilai koefisien n dari rumus manning dan ganouillet-Kutter sebagai fungsi dari dimensi material yang membentuk dinding saluran.

$$K_s = \frac{1}{n} = 26 \left( \frac{R}{D_{35}} \right)^{1/6} \dots\dots\dots (40)$$

Sedangkan rumus kecepatannya :

$$V = K_s \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \dots\dots\dots (41)$$

R = Jari – jari hidrolis

S = Kemiringan saluran

$D_{35}$  = diameter yang berhubungan dengan 35% berat dari material dengan diameter yang lebih besar

#### 5. Manning

Rumus manning yang paling terkenal dan paling banyak digunakan karena mudah pemakaiannya.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \dots\dots\dots (42)$$

Dengan n adalah koefisien kekasaran Manning (TL-1/3) dan bukan bilangan nondimensional. Korelasi koefisien Chezy dan Manning dapat dijabarkan menjadi rumus sebagai berikut :

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \dots\dots\dots (43)$$

R = Jari – jari hidrolis

S = Kemiringan saluran

n = Koefisien Manning, dengan nilai koefisien pada tabel dibawah ini

### 3. Penampang Saluran Ekonomis

Kemiringan dan kekasaran saluran tertentu, kecepatan akan bertambah dengan jari – jari hidrolis, sehingga untuk luas penampang basah tertentu debit akan maksimum apabila nilai jari – jari hidrolis (R) maksimum atau apabila keliling basah (P) minimum. Dengan kata lain untuk debit aliran tertentu, luas penampang melintang saluran akan minimum apabila saluran mempunyai nilai jari – jari hidrolis (R) maksimum atau keliling basah (P) minimum. Penampang melintang saluran tersebut dapat disebut penampang saluran ekonomis (efisien) untuk luas penampang tertentu. Dalam menentukan penampang yang paling efisien dengan menggunakan rumus debit aliran dan pendekatan rumus Manning (Bambang Triatmodjo, 1993):

$$Q = V A = A \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (44)$$

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots (45)$$

- Q = Debit Aliran
- A = Luas Penampang Saluran
- R = Jari – jari hidrolis
- S = Kemiringan saluran
- P = Keliling Basah

Penampang saluran buatan biasanya dirancang atau didesain berdasarkan bentuk geometris yang umum. Bentuk paling umum untuk saluran berdinding tanah yang tidak dilapisi adalah bentuk trapesium, oleh karena stabilitas kemiringan dindingnya dapat disesuaikan. Bentuk persegi panjang dan segitiga umumnya

mempunyai sisi tegak dengan dinding saluran dibangun dengan menggunakan bahan yang stabil seperti pasangan batu, logam maupun kayu.

Penjabaran singkat terhadap bentuk penampang yang efisien adalah sebagai berikut (Suripin, 2004) :

1. Penampang Persegi

Notasi pada penampang berbentuk persegi dengan lebar dasar (B) dan kedalaman air (h), luas penampang basah (A) dan keliling basah (P) dapat dituliskan :

$$A = Bh \text{ atau } B = \frac{A}{h} \dots\dots\dots (46)$$

$$P = B + 2h \dots\dots\dots (47)$$

Keliling minimum (P) maka

$$B = 2h \text{ atau } h = \frac{B}{2} \dots\dots\dots (48)$$

Jari – jari hidrolis

$$R = \frac{h}{2} \dots\dots\dots (49)$$

Bentuk penampang melintang persegi yang paling efisien adalah jika kedalaman air setengah dari lebar dasar saluran atau jari – jari hidrolis setengah kedalaman air.

2. Penampang Trapesium

Luas penampang melintang (A), keliling basah (P), lebar dasar penampang melintang (B) dan kemiringan dinding 1 : m dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$A = (B + mh)h \dots\dots\dots (50)$$

$$P = B + 2h\sqrt{m^2 + 1} \text{ atau } B = P - 2h\sqrt{m^2 + 1} \dots\dots\dots (51)$$

Penampang basah yang efisien didapat apabila lebar muka air (T) adalah 2 kali panjang sisi miring (tebing) saluran. Kondisi ini didapat apabila sudut kemiringan tebing saluran terhadap horizontal adalah  $60^\circ$  yang dapat dituliskan:

$$B + 2mh = 2h\sqrt{1 + m^2} \dots\dots\dots (52)$$

$$T = 2h\sqrt{1 + m^2} \dots\dots\dots (53)$$

Dengan m :

$$m = \frac{1}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (54)$$

atau  $\alpha = 60^\circ$

Jari – jari hidrolis

$$R = \frac{h}{2} \dots\dots\dots (55)$$

### 3. Penampang Segitiga

Pada potongan melintang saluran yang berbentuk segitiga dengan kemiringan sisi terhadap garis vertikal ( $\theta$ ), dan kedalaman air (h) dapat ditulis :

$$A = h^2 \tan \theta \text{ atau } h = \sqrt{\frac{A}{\tan \theta}} \dots\dots\dots (56)$$

$$P = (2h)\sec \theta \dots\dots\dots (57)$$

Saluran berbentuk segitiga yang paling ekonomis adalah jika kemiringan dindingnya membentuk sudut  $45^\circ$  atau  $m = 1$

### **III. METODOLOGI PENELITIAN**

Metode penelitian menggambarkan tahapan dari penelitian yang akan dilakukan, meliputi cara mengumpulkan data, perhitungan dan analisis untuk menjawab permasalahan yang ditanyakan dalam pertanyaan penelitian. Dalam penelitian ini metode yang dilakukan adalah metode pengumpulan data baik data sekunder maupun primer, metode analisis data hidrologi dan hidrolika. Metode interpretasi citra penginderaan jauh dilakukan. Metode pengumpulan data dilakukan untuk mengetahui informasi jenis penggunaan lahan aktual, identifikasi kondisi hidrologi, morfologi lereng dan dimensi penampang saluran drainase. Metode analisis data hidrologi untuk mengetahui debit aliran limpasan yang telah terkoreksi dan analisis data hidrolika khususnya analisis saluran terbuka untuk mengidentifikasi dimensi penampang saluran, kondisi saluran serta kapasitas saluran.

Penelitian dilakukan dengan langkah – langkah untuk dapat mendiskripsikan tujuan dari penelitian, tahapan penelitian yang akan dilakukan meliputi tahap pengumpulan data, analisa data dan perumusan hasil analisa.

#### **A. Lokasi Penelitian**

Lokasi penelitian di Kota Metro yang secara administrasi terdiri atas 5 kecamatan dan 22 kelurahan dengan luas wilayah 6.874 ha. Dalam sistem satuan sungai, Kota

Metro termasuk Satuan Wilayah Sungai (SWS) Seputih – Sekampung dan Daerah Aliran Sungai (DAS) Seputih. Dalam struktur Sub – DAS, Kota Metro termasuk dalam SP-06 Way Batang Hari Hulu dengan luas 25.040 ha. Dalam Kota Metro mengalir 4 (empat) sungai dengan arah aliran dari barat ke timur yaitu:

1. Sungai Way Raman terletak di administrasi Kecamatan Metro Utara
2. Sungai Way Bunut berada di wilayah administrasi Kecamatan Metro Utara, Metro Barat dan Metro Pusat
3. Sungai Way Batanghari berada di wilayah administrasi Kecamatan Metro Barat, Metro Pusat dan Metro Timur serta Metro Selatan
4. Sungai Way Sekampung berada di wilayah administrasi Kecamatan Metro Selatan.

#### **B. Tahap Pengumpulan dan Pengolahan data**

Dalam tahap ini, data – data yang diperlukan antara lain :

- a. Peta penggunaa lahan yang merupakan hasil interpretasi dari citra satelit atau penginderaan jauh dalam format citra World View-2 3-band Pansharpened dengan spatial resolution 0.5 m Natural Color.
- b. Peta topografi yang merupakan hasil pengolahan DEM (*Digital Elevation Model*) dengan kedalaman antara 30 m – 90 m.
- c. Data curah hujan dari BMKG/Balai Besar Wilayah Sungai Mesuji Sekampung sesuai dengan pos stasiun hujan yang berada di sekitar Kota Metro.
- d. Data dimensi penampang saluran baik dimensi penampang memanjang maupun penampang melintang.

Proses pengumpulan data – data dilakukan dengan metode survey baik survey lapangan maupun survey instansional.

- a. Pada pelaksanaan survey lapangan beberapa peralatan yang dibutuhkan antara lain meteran 30 m, meteran 5 meter, kamera, GPS dan waterpas. Beberapa data – data yang berkaitan dengan hidrolika saluran dilakukan dengan metode survey lapangan.
- b. Untuk keperluan data – data yang berkaitan dengan curah hujan dilakukan survey instansional dengan mengumpulkan data curah hujan dari BMKG dan Balai Besar Wilayah Sungai Mesuji Sekampung yang secara rutin melakukan pengukuran curah hujan melalui pos – pos pengamatan hujan. Data penggunaan lahan eksisting diambil dari Bappeda Kota Metro dengan referensinya adalah Citra Satelit dan hasil digitasinya. Untuk data topografi melalui internet dengan basis datanya berasal dari DEM (*digital elevation model*) dengan ketelitian data 30 m.

Prosedur pengolahan data dilakukan sebagai berikut :

- a. Langkah yang paling penting dalam pengolahan data adalah mengidentifikasi stasiun – stasiun hujan yang berada di sekitar lokasi penelitian. Data tinggi hujan dari masing – masing stasiun hujan tersebut dikumpulkan dengan durasi  $\pm 10$  tahun sebelumnya. Berdasarkan cara pencatatan hujan dan model alat pengamatan hujan terdiri atas :
  - Pencatatan hujan otomatis. Model pencatatan hujan secara otomatis akan didapat data dalam durasi menit – menitan. Dengan metode pencatatan hujan otomatis ini, maka tinggi hujan yang tercatat lebih akurat dibandingkan dengan pencatatan secara manual, oleh karena untuk

membuat tinggi hujan dalam menit – menitan berdasarkan pada satuan tinggi hujan dalam 1 jam.

- Pencatatan hujan manual dengan durasi waktu pencatatan 24 jam. Data tinggi hujan dicatat untuk 1 hari sehingga data hujan yang terdistribusi dalam menit – menitan dibuat dengan satuan tinggi hujan dalam 1 hari.
- b. Berdasarkan jumlah stasiun hujan dan data tinggi hujan dari masing – masing stasiun kemudian dibuatkan perhitungan hujan dengan metode perhitungan hujan kawasan (*Thiessen, Isohyet dan Rata – Rata Aljabar*). Apabila jumlah stasiun hujan yang digunakan hanya (1) satu stasiun hujan, maka metode perhitungan hujan akan menggunakan metode hujan titik.
- c. Data penggunaan lahan dilakukan dengan cara digitasi dan interpretasi data citra satelit world view-2 untuk area Kota Metro dengan menggunakan software GIS. Hasil digitasi ini akan menggambarkan pola penggunaan lahan yang tersebar di lokasi penelitian untuk menjadi unsur masukan (*input*) dalam menentukan debit hujan rancangan terutama pada koefisien aliran permukaan.
- d. Data topografi dilakukan dengan mengubah data DEM (*Digital Elevation Model*) menjadi peta topografi dengan menggunakan software GIS dengan interval kontur 1 : 500. Hasil pengolahan data ini akan digunakan untuk mengidentifikasi pola pengaliran limpasan air hujan berdasarkan bentuk kelerengan dan membentuk zona – zona daerah aliran sungai serta arah pengaliran air dari bagian hulu ke bagian hilir maupun mengidentifikasikan waktu konsentrasi hujan ( $t_c$ ).
- e. Pengolahan data dimensi penampang saluran terbuka baik itu penampang memanjang maupun penampang melintang serta bentuk saluran berupa

saluran persegi panjang, trapesium dan bentuk – bentuk penampang lainnya. Selain dimensi saluran terbuka berdasarkan bentuk - bentuk saluran, panjang saluran, kemiringan saluran, juga dibutuhkan data bahan lapisan saluran untuk memperkirakan kecepatan dan debit aliran.

### **C. Tahap Analisa dan Perumusan**

Setelah semua data – data sekunder dan primer diolah, maka langkah selanjutnya menganalisis, baik itu analisis hidrologi maupun analisis hidrolika, namun sebelumnya perlu dilakukan analisa data untuk memperbandingkan tingkat keakuratan data yang terhimpun khususnya data tinggi curah hujan antara data yang terhimpun secara manual dan otomatis. Dalam penelitian ini dilakukan 2 (dua) jenis analisa yaitu analisa hidrologi yang pada akhirnya akan menghasilkan debit rancangan hujan dan analisa hidrolika yang hasil akhirnya berupa kapasitas dan debit saluran eksisting. Pembahasan akhir dari kedua analisa adalah saling berhubungan apakah debit rancangan hujan dapat tertampung dalam saluran air hujan sesuai dengan kapasitas terpasangnya atau kapasitas eksistingnya.

#### **1. Analisa Data Hujan**

Analisis ini dilakukan untuk memperbandingkan data curah hujan yang tercatat secara manual dengan metode pencatatan hujan dengan durasi 24 jam dengan tercatat secara otomatis dengan metode pencatatan hujan dalam durasi 1 jam. Kedua jenis data akan diperbandingkan untuk mendapatkan data tinggi hujan yang terbaik. Data curah hujan yang otomatis dapat langsung ditabulasi dan dibuat kurva lengkung IDF (intensitas – durasi – frekuensi).

## 2. Analisa Hidrologi

Data – data yang telah diolah selanjutnya di analisa secara berurutan dimulai dari

- a. Analisa frekuensi hujan, untuk menentukan model distribusi perhitungan curah hujan dengan periode ulang yang tepat dengan parameter koefisien variansi, koefisien skewness dan koefisien kurtois.
- b. Dilakukan perhitungan probabilitasnya dengan menggunakan uji smirnov-kolmogorov dan uji chi-square.
- c. Intensitas hujan terpilih adalah intensitas hasil analisis frekuensi dan hasil pengujian probabilitas uji smirnov-kolmogorov dan uji chi-square untuk menghasilkan lengkung Intensitas-Durasi-Frekuensi. Jika data pencatatan hujan merupakan data otomatis, maka analisis intensitas hujan didasarkan pada kurva lengkung Intensitas-Durasi-Frekuensi yang dihasilkan dari tabulasi data hujan otomatis. Jika data pencatatan hujan merupakan data harian, maka metode analisis intensitas hujan dapat dilakukan dengan menggunakan metode Talbot, Sherman, Mononobe dan Ishiguro. Pemilihan lengkung terbaik diantara metode – metode tersebut dilihat dari deviasi kecil antara data terukur dan hasil prediksi.
- d. Data penggunaan lahan dan data topografi menghasilkan analisa perhitungan antara luasan dengan koefisien aliran permukaan (C). Bentuk topografi, jenis penggunaan lahan dan jenis tanah sangat mempengaruhi nilai dari koefisien aliran permukaan (C).
- e. Dengan menggunakan pendekatan rasional, debit rancangan hujan dapat diperkirakan dan selanjutnya dapat diperhitungkan waktu pengaliran air

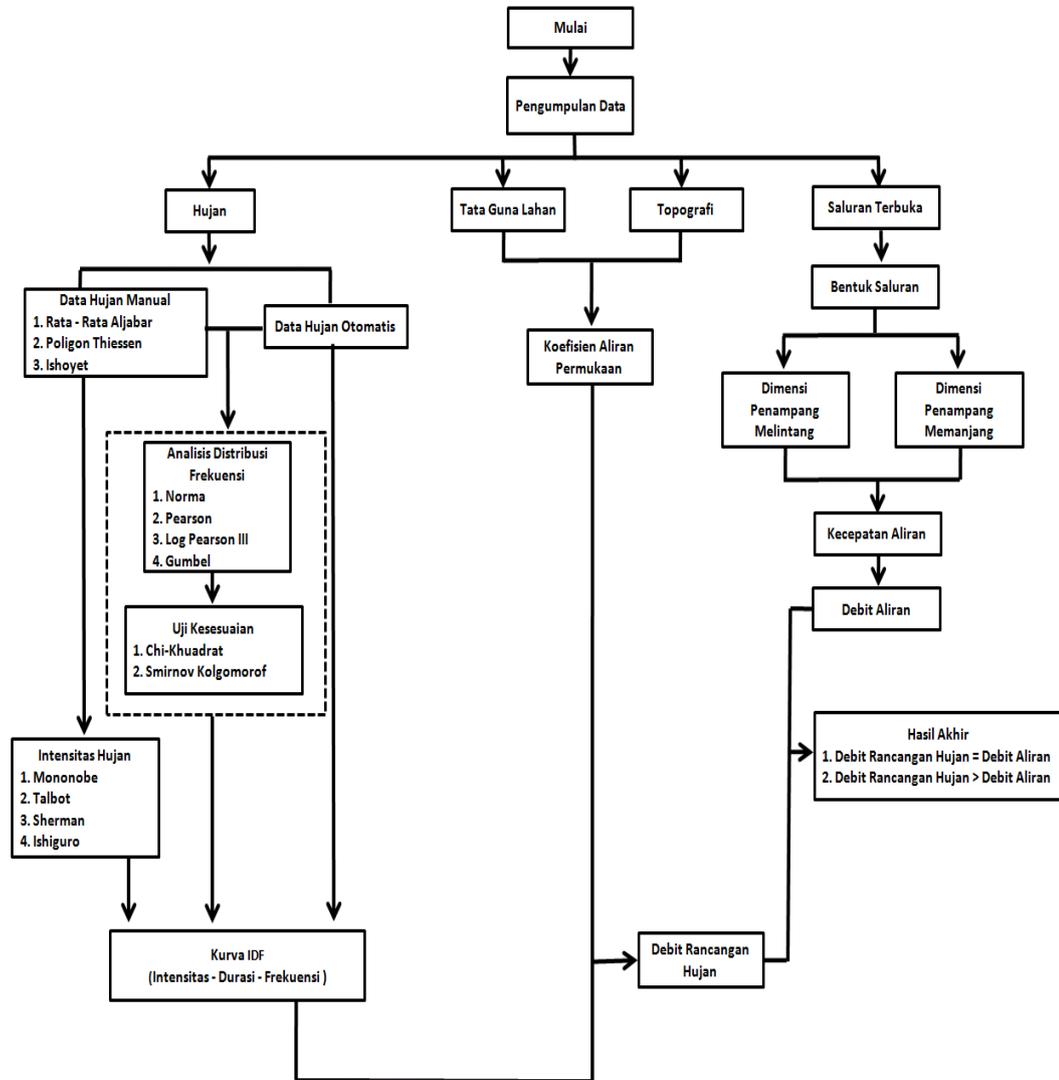
hujan atau limpasan hujan yang jatuh untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke tempat keluaran daerah aliran sungai (titik kontrol/*outlet*). Debit rancangan hujan dan waktu konsentrasi ini menjadi unsur masukan dalam analisa hidrolika saluran terbuka yang secara eksisting telah terbangun di lokasi penelitian.

### 3. Analisa Hidrolika

Dalam penelitian ini, analisa di titik beratkan / dikonsentrasikan pada kapasitas saluran dan sangat berhubungan erat dengan faktor - faktor sifat, bentuk penampang, dan kecepatan pada saluran terbuka. Analisa secara berurutan dimulai dari :

- a. Sifat saluran yang diperkirakan berupa aliran tunak/mantap/permanen oleh karena sebagian besar saluran buatan yang terbuka mempunyai waktu aliran yang konstan dan oleh karena bentuk penampang melintangnya tetap dari hulu sampai ke hilir, maka diperkirakan sifat aliran seragam. Bentuk aliran diperkirakan berupa aliran turbulen oleh karena jarang terjadi bentuk aliran laminar pada saluran terbuka.
- b. Data penampang saluran terbuka pada lokasi penelitian di perhitungkan sesuai dengan bentuk dan dimensi penampang melintang. Perhitungan yang dilakukan adalah memperhitungkan kapasitas debit berdasarkan kecepatan aliran dan luas penampang basah. Dimensi atau ukuran penampang melintang dan kemiringan saluran eksisting pada penampang memanjang menjadi unsur masukan (*input*) terhadap kedalaman hidrolis, jari – jari hidrolis dan pada akhirnya dapat diperkirakan kapasitas debit pada saluran eksisting tersebut.

Hasil analisa hidrologi dan perhitungan hidrolika saluran terbuka eksisting akan memperlihatkan bagaimana genangan dan banjir dapat terjadi pada lokasi penelitian.



Gambar 9. Bagan Alir Penelitian.

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Lengkung IDF yang memenuhi parameter analisis distribusi hujan rencana dan hasil uji kecocokan chi-kuadrat dan smirnov-kolmogorov dari data hujan otomatis adalah Lengkung IDF Log Pearson III dengan persamaan intensitas :
  - $I_2$  Tahun :  $715,9 x^{-0,62}$
  - $I_5$  Tahun :  $1.109,0 x^{-0,67}$
  - $I_{10}$  Tahun :  $1.490,0 x^{-0,70}$
  - $I_{20}$  Tahun :  $1.904,0 x^{-0,73}$
  - $I_{25}$  Tahun :  $2.148,0 x^{-0,75}$
2. Daerah Tangkapan Hujan (DTH) pada lokasi genangan di Kelurahan Hadimulyo Barat seluas 50,36 Ha yang meliputi RW 03, RW 04, RW 05, RW 06, RW 07, RW 08, RW 09 dan RW 10 dengan kemiringan rata – rata 0 – 10 %. Dominasi penggunaan lahan sebagian besar merupakan kawasan terbangun yang terdiri atas permukiman dan fasilitas umum (77,01%) serta ruang terbuka berupa tegalan (22,99 %) dengan koefisien aliran permukaan (C) sebesar 0,62.

3. Waktu konsentrasi ( $t_c$ ) terpanjang yang merupakan gabungan antara waktu konsentrasi aliran diatas permukaan ( $t_0$ ) dan waktu konsentrasi aliran didalam saluran induk ( $t_d$ ) sebesar 79,91 menit atau 1,33 jam.
4. Debit banjir rencana Kala Ulang 2 Tahun ( $Q_2$ ) sebesar **4,11 m<sup>3</sup>/dt** dan Kala Ulang 5 Tahun ( $Q_5$ ) sebesar **6,36 m<sup>3</sup>/dt**.
5. Saluran induk pada daerah tangkapan hujan ini berbentuk trapezium dengan kemiringan talud 1 : 0,33 serta merupakan saluran pasangan batu dengan panjang 1.332 m dan kemiringan saluran 0,0016. Luas penampang basah (A) saluran sebesar 2,26 m<sup>2</sup> dan kecepatan aliran (V) sebesar 1,09 m/dt dengan debit saluran sebesar **2,47 m<sup>3</sup>/dt**.
6. Tinggi muka air saluran dengan menggunakan pemodelan HEC RAS 4.1 untuk Debit banjir rencana Kala Ulang 2 Tahun ( $Q_2$ ) antara 1,37 – 1,74 m dan Kala Ulang 5 Tahun ( $Q_5$ ) antara 2,36 – 1,72 m.
7. Genangan atau banjir yang terjadi di Kelurahan Hadimulyo Barat diakibatkan oleh debit aliran permukaan ( $Q_{limpasan}$ ) yang melebihi kapasitas debit saluran induk ( $Q_{saluran}$ ).

## **B. Saran**

Berdasarkan kesimpulan di atas, maka dapat diberikan saran dalam upaya penanganan banjir/genangan yang terjadi di Kelurahan Hadimulyo Barat sebagai berikut :

1. Penanganan secara struktur berupa normalisasi saluran induk dengan perubahan material saluran menjadi beton, geometrik penampang melintang saluran yang berbentuk trapezium dengan talud 1 : 0,25 (1 : m), luas

penampang basah (A) 2,83 m<sup>2</sup> dan kecepatan aliran (V) 2,26 m/dt serta debit saluran menjadi 6,39 m<sup>3</sup>/dt.

2. Penanganan secara non struktur berupa pembuatan sumur resapan dan ruang terbuka hijau melalui penganekaragaman vegetasi tanaman tahunan untuk memperkecil debit limpasan.
3. Penelitian ini dapat damati lebih lanjut dengan melihat lebih jauh perhitungan saluran induk (*Main Drain*) terhadap debit air buangan (*Black Water and Grey Water*) rumah tangga terhadap debit total saluran, perhitungan sumur resapan terhadap infiltrasi air hujan pada daerah tangkapan hujan Kelurahan Hadimulyo Barat, perhitungan terkait dengan bangunan – bangunan pengendalian banjir/genangan lainnya seperti kolam retensi serta mengevaluasi kemampuan Sungai Way Bunut sebagai badan penerima air khususnya yang berasal dari debit limpasan daerah tangkapan hujan ini.
4. Terkait dengan penataan ruang Kota Metro khususnya mengenai Pola Ruang pada Kelurahan Hadimulyo Barat Kecamatan Metro Pusat dapat dievaluasi kembali. Evaluasi tata ruang ini perlu dilakukan melalui upaya pengaturan yang lebih detail terhadap rencana kawasan permukiman dan rencana RTH yang sesuai dengan Tipologi Perencanaan Kawasan Permukiman dan RTH yang relevan dengan kondisi kawasan yang rawan terhadap banjir/genangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Triatmodjo, B. 1993. *Hidraulika II*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Triatmodjo, B. 2008. *Hidrologi Terapan*, Beta Offset, Yogyakarta
- Asdak, C. 2003. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Subarkah, I. 1978. *Hidrologi Untuk Perencanaan Bangunan Air*, Idea Dharma, Bandung.
- Indarto, 2010. *Hidrologi, Dasar Teori dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi*, Bumi Aksara, Jakarta.
- Hadisusanto, N. 2011. *Aplikasi Hidrologi*, Jaring Pena, Surabaya.
- Robert J. Kodoatie, 2013. *Rekayasa dan Manajemen Banjir Kota*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Arsyad, S. 1989. *Konservasi Tanah Dan Air*, Penerbit IPB Press, Bogor.
- Sri Harto, 1993. *Analisis Hidrologi*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Suripin, 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*, Andi, Yogyakarta.
- Ven Te Chow, 1985. *Hidrolika Saluran Terbuka (Open Channel Hydraulics)*, Airlangga, Jakarta.
- Suyono Sosrodarsono, Kensaku Takeda, 1978, *Hidrologi Untuk Pengairan*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Alva Kurniawan, M. Alief Khodbah, Arif Tri Nugroho, Tri Apriyono, Qodhan Nahara S., Aditya W.K., *Sintetis Data Stasiun Hujan Sub DAS Blongkeng*, Departemen Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi UGM.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 12/PRT/M/2014 Tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan.

<https://redipurnawan.wordpress.com/2013/11/28/alat-ukur-curah-hujan/>

<http://ilmuanggaputra.blogspot.com/2013/03/jenis-hujan-dan-alat-ukur-hujan.html>