

DRAF SKRIPSI

SIMULASI ALIRAN PADA NORMALISASI JARINGAN DRAINASE
(Studi Kasus Simpang Jln. Bukit Kaminting Dan Jln. Yos Sudarso)

oleh
GILANG NOOR HERY PANGESTU
NIM.DAB 115 088



JURUSAN / PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PALANGKA RAYA
PALANGKA RAYA
2021

DRAFT SKRIPSI

**SIMULASI ALIRAN PADA NORMALISASI JARINGAN DRAINASE
(Studi Kasus Simpang Jalan Bukit Kaminting dan Jalan Yos Sudarso)**

Oleh:

GILANG NOOR HERY PANGESTU
NIM. DAB 115 088

Telah dipaparkan di depan Tim Pembahas, pada:

Hari/Tanggal : Selasa, 16 November 2021
Waktu : 09.00 – 10.30 WIB
Tempat : Di Rumah Secara Online

Pembimbing Utama/Pertama



NOMERITAE, S.T., M.Eng, Ph.D.
NIP. 19791109 200312 2 002

Pembimbing Pendamping/Kedua

Dr. Ir. I MADE KAMIANA, M.T.
NIP. 19620818 199002 1 001

Mengetahui: Jurusan/Program Studi Teknik
Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka
Raya Ketua

Dr. RUDI WALUYO, S.T., M.T.
NIP. 197806082005011003

RINGKASAN

SIMULASI ALIRAN PADA NORMALISASI JARINGAN DRAINASE (Studi Kasus Simpang Jln. Bukit Keminting dan Jln. Yos Sudarso), Gilang Noor Hery Pangestu, DAB 115 088, Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya.

Di Kota Palangka Raya, kawasan permukiman merupakan salah satu kawasan yang rentan terhadap masalah banjir dan genangan. Salah satu kawasan permukiman tersebut adalah di sekitar kawasan Jl. Bukit Keminting dan Jl. Yos-Sudarso. Pada saat hujan dengan intensitas tinggi dan durasi yang relatif lama daerah di sekitar kawasan tersebut tergenang. Berdasarkan wawancara terhadap masyarakat sekitar, genangan yang terjadi pada daerah permukiman tersebut adalah akibat dari saluran drainase *existing* yang terisi penuh oleh air dan kemudian meluap ke daerah pemukiman yang elevasinya lebih rendah dibanding badan jalan. Akibatnya kawasan tersebut sering di genangi air hingga memasuki pemukiman warga yang berada di sekitar saluran drainase tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas saluran *existing* dan kapasitas saluran Normalisasi tersebut. Untuk mencapan tujuan tersebut maka dilakukan tahapan penelitian meliputi: (1) Pengumpulan Data, (2) Analisis Data, (3) Kalibrasi Saluran Existing, (4) Simulasi Saluran Normalisasi, (5) Penyusunan Laporan.

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah (1) dari hasil kalibrasi *existing* dengan membandingkan data Q simulasi dan Q lapangan dari 11 kali percobaan didapat absolut error terkecil menggunakan curah hujan dari citra satelit jaxa pada tanggal 28 januari 2020 sebagai berikut 1. Saluran C_07 = 3,35% dan Saluran C_08 = 33,97%. (2) Berdasarkan hasil permodelan dengan software SWMM dengan curah hujan kala ulang 5 tahun, profil eksisting jaringan drainase pada simpang Jln. Bukit kaminting dan Jln. Yos Sudarso ada saluran yang meluap. Titik-titik saluran yang meluap antara lain, jaringan drainase Bukit keminting di titik Counduit 2, Counduit 3, counduit 4 Counduit 6, Conduit 7, counduit 8 dan counduit 9. (3) Saluran yang direncanakan dalam penelitian ini berbentuk trapesium dan terdiri atas 9 variasi dimensi saluran sebagai berikut: (a). $B = 2,3$ m; $H = 2,3$ m; $T = 2,9$ m. (b) $B = 2,7$ m; $H = 2,7$ m; $T = 3,4$ m. (c) $B = 2,8$ m; $H = 2,8$ m; $T = 3,5$ m. (d) $B = 3,5$ m; $H = 3,5$ m; $T = 4,3$ m. (e) $B = 3,1$ m; $H = 3,1$ m; $T = 3,9$ m. (f) $B = 4,0$ m; $H = 4,0$ m; $T = 5,0$ m. (g) $B = 3,4$ m; $H = 3,4$ m; $T = 4,2$ m. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa saluran drainase yang direncanakan mempunyai kapasitas tampung yang cukup untuk menampung debit banjir rencana.

Kata Kunci: Banjir, Drainase, Simulasi, Normalisasi.

SUMMARY

FLOW SIMULATION IN DRAINAGE NETWORK NORMALIZATION (Case Study of the Intersection of Jln. Bukit Keminting and Jln. Yos Sudarso), Gilang Noor Hery Pangestu, DAB 115 088, Department/Study Program of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Palangka Raya.

In Palangka Raya City, residential areas are one of the areas that are vulnerable to flooding and inundation problems. One of the residential areas is around the Bukit Keminting street and Yos Sudarso street. When it rains with high intensity and relatively long duration, the area around the area is inundated. Based on interviews with the surrounding community, the inundation that occurred in the residential area was the result of the existing drainage channel which was filled to the brim with water and then overflowed into residential areas whose elevation was lower than the road. As a result, the area is often inundated with water until it enters residential areas around the drainage canal.

This study aims to determine the capacity of the existing channel and the capacity of the normalized channel. To achieve these objectives, the stages of research are carried out including: (1) Data Collection, (2) Data Analysis, (3) Calibration of Existing Channels, (4) Simulation of Normalized Channels, (5) Compilation of Reports.

The results obtained from this research are (1) from the existing calibration results by comparing the simulation Q data and Q field from 11 experiments, the smallest absolute error is obtained using rainfall from the Jaxa satellite image on January 28, 2020 as follows 1. Channel C_07 = 3.35% and Channel C_08 = 33.97%. (2) Based on the results of modeling with SWMM software with 5-year return period rainfall, the existing profile of the drainage network at the intersection of Bukit Kaminting street and Yos Sudarso street there is an overflowing channel. The overflowing canal points include the Bukit keminting drainage network at Conduit 2, Conduit 3, conduit 4, Conduit 6, Conduit 7, conduit 8 and conduit 9. (3) The channels planned in this study are trapezoidal in shape and consist of 9 channel dimension variations as follows: (a). B = 2.3 m; H = 2.3 m; T = 2.9 m. (b) B = 2.7 m; H = 2.7 m; T = 3.4 m. (c) B = 2.8 m; H = 2.8 m; T = 3.5 m. (d) B = 3.5 m; H = 3.5 m; T = 4.3 m. (e) B = 3.1 m; H = 3.1 m; T = 3.9 m. (f) B = 4.0 m; H = 4.0 m; T = 5.0 m. (g) B = 3.4 m; H = 3.4 m; T = 4.2 m. From the results of the analysis, it can be concluded that the planned drainage channel has sufficient capacity to accommodate the planned flood discharge.

Keywords: Flood, Drainage, Simulation, Normalization.

PRAKATA

Puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan Karunia-Nya, sehingga Skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi berjudul **“SIMULASI ALIRAN PADA NORMALISASI JARINGAN DRAINASE (Studi Kasus Simpang Jln. Bukit Keminting dan Jln. Yos Sudarso)”** disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan studi Program Strata-1 Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya (UPR).

Pada kesempatan ini, diucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Ir. Waluyo Nuswantoro, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
2. Ibu Frieda, S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
3. Bapak Dr. Sutan P. Silitonga, STP., S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Umum dan Keuangan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
4. Bapak Dr. Deddy Nan Setya Putra Tanggara, S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
5. Bapak Dr. Rudi Waluyo, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Palangka Raya.
6. Bapak Dr. Sutan P. Silitonga, STP., S.T., M.T. selaku Pembimbing Akademik.
7. Ibu Nomeritae, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Penguji/Penguji 1.

8. Bapak Dr. Ir. I Made Kamiana, M.T. sekretaris/penguji 2.
9. Bapak Raden Haryo Saputra, M.T. selaku Penguji 3.
10. Bapak Ir. Hendro Suyanto, M.T. selaku Penguji 4.
11. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Sipil, Staf Tata Usaha dan Staf Akademik di Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
12. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Sipil angkatan 2015 dan semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Skripsi ini.

Akhir kata, dengan segala kerendahan hati dan menyadari bahwa penulisan Skripsi ini banyak terdapat kekurangan dan kelemahan, oleh karena itu diharapkan berbagai tanggapan, kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa mendatang. Terima Kasih.

Palangka Raya,

2021

GILANG NOOR HERY PANGESTU

NIM. DAB 115 088

DAFTAR ISI

PRAKATA	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Lokasi Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Uraian Umum	4
2.2 Jenis - Jenis Drainase.....	4
2.2.1 Menurut Sejarah Terbentuknya	4
2.2.2 Menurut Letak Bangunan	6
2.2.3 Menurut Fungsi	6

2.2.4	Menurut Konstruksi	6
2.3	Pola jaringan Drainase.....	7
2.3.1	Siku	7
2.3.2	Paralel.....	7
2.3.3	Grid Iron.....	8
2.3.4	Alamiah	8
2.3.5	Radial	9
2.3.6	Jaringan-Jaringan	9
2.4	Aspek Hidrologi	10
2.4.1	Karakteristik Hujan	10
2.4.2	Pengolaan Data Dengan <i>Geographic Information Systems (GIS)</i>	10
2.5	Analisis Curah Hujan	11
2.5.1	Analisis Curah Hujan Wilayah	12
2.5.2	Curah Hujan Rencana	13
2.5.3	Analisis Frekuensi Curah Hujan.....	20
2.5.4	Analisis Intensitas Hujan.....	26
2.5.5	Perhitungan Debit Rencana	27
2.6	Komponen dan parameter SWMM (<i>Storm Water Management Model</i>).....	29
2.6.1	Kapasitas Permodelan SWMM.....	29

2.6.2	Obyek Pada EPA SWMM	30
2.6.3	Konsep Permodelan SWMM.....	34
BAB III METODE PENELITIAN		41
3.1	Lokasi Penelitian	41
3.2	Alat Dan Bahan	41
3.2.1	Bahan.....	41
3.2.2	Alat	42
3.3	Pelaksanaan Penelitian.....	42
3.3.1	Data Primer	42
3.3.2	Data Sekunder	43
3.4	Metode Simulasi Drainase dan Pengelolaan Data.....	43
3.4.1	Pengelolaan Data Curah Hujan.....	43
3.4.2	Mensimulasikan Jaringan Drainase	44
BAB IV HASIL PENGUMPULAN DAN ANALISIS DATA.....		49
4.1	Analisis Data Curah Hujan.....	49
4.1.1	Uji Konsistensi Data Curah Hujan.....	50
4.1.2	Uji Homogen Data Curah Hujan.....	60
4.1.3	Perhitungan Curah Hujan Wilayah.....	66
4.1.4	Perhitungan Curah Hujan Rencana	71
4.1.5	Pengujian Distribusi Probabilitas Curah Hujan Rencana.....	80

4.2	Perhitungan Beban Drainase (Q_r).....	93
4.2.1	Perhitungan Koefisien Pengaliran Tangkapan Hujan (C).....	93
4.2.2	Perhitungan Intensitas Hujan (I)	94
4.2.3	Perhitungan Beban Drainase (Q_r).....	96
4.3	Sistem Jaringan Drainase	97
4.3.1	Sistem Jaringan Drainase Jalan Bukit Kaminting	97
4.3.2	Sistem Jaringan Drainase Jalan Yos Sudarso.....	100
4.4	Permodelan Software SWMM	104
4.4.1	Penggambaran <i>BackDrop</i>	105
4.4.2	<i>Input Subcatchment</i>	105
4.4.3	<i>Input Junction</i>	107
4.4.4	<i>Input Conduit</i>	108
4.4.5	<i>Input Outfall</i>	111
4.5	Permodelan Awal	111
4.5.1	Kalibrasi Model.....	116
4.6	Evaluasi Kapasitas Hidrolik <i>existing</i> dalam Menampung Debit Akibat Hujan	119
4.7	Perhitungan Dimensi Hidrolis Saluran Drainase.....	124
4.8	Simulasi Saluran Rencana Menggunakan Epa SWMM.....	127

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan..... 131

5.2 Saran..... 132

DAFTAR PUSTAKA 133

LAMPIRAN 134

DAFTAR TABEL

Tabel	2.1 Reduced mean (Y_n).....	14
Tabel	2.2 Reduced Standard Deviation (S_n).....	15
Tabel	2.3 Reduced Variate (Y_T).....	15
Tabel	2.4 <i>Variable standard</i> (K_t).....	16
Tabel	2.5 Harga K untuk Distribusi Log Person III.....	19
Tabel	2.6 Persyaratan parameter statistic suatu distribusi.....	20
Tabel	2.7 Nilai Reduced Variate (Y_t).....	21
Tabel	2.8 Nilai Reduced (S_n) dan Nilai Reduced (Y_n).....	22
Tabel	2.9 Nilai Variabel reduksi Gauss.....	23
Tabel	2.10 Faktor frekuensi K_T untuk distribusi Log Pearson Type III.....	25
Tabel	2.11 Koefisien pengaliran (C) untuk rumus Rasional.....	28
Tabel	2.12 Klarifikasi Besarnya Laju Infiltrasi.....	36
Tabel	2.13 Nilai Kekasaran Manning (n) untuk Aliran Permukaan.....	40
Tabel	4.1 Data Curah Hujan Harian Maksimum (mm).....	49
Tabel	4.2 Uji Konsistensi Data Curah Hujan Stasiun Bukit Tunggal.....	50
Tabel	4.3 Analisis Kurva Massa Ganda Setelah Koreksi Data Stasiun Bukit Tunggal.....	52

Tabel	4.4 Uji Konsistensi Data Curah Hujan Stasiun Bereng Bengkel	53
Tabel	4.5 Analisis Kurva Massa Ganda Setelah Koreksi Data Stasiun Bereng Bengkel	56
Tabel	4.6 Uji Konsistensi Data Curah Hujan Stasiun Palangka Raya	57
Tabel	4.7 Analisis Kurva Massa Ganda Setelah Koreksi Data Stasiun Palangka Raya.....	58
Tabel	4.8 Homogenitas Data Hujan Palangka Raya dan Bukit Tunggal	60
Tabel	4.9 Homegenitas Data Hujan Bukit Tinggal dan Bereng Bengkel	62
Tabel	4.10 Homogenitas Data Hujan Palangka Raya dan Bereng Bengkel	64
Tabel	4.11 Hasil Uji Homogen Pada Stasiun Palangka Raya, Bukit Tunggal dan Bereng Bengkel.....	66
Tabel	4.12 Hasil Perhitungan Bobot Wilayah Menggunakan <i>ARC GIS</i>	67
Tabel	4.13 Data Curah Hujan Wilayah Yang Digunakan.....	68
Tabel	4.14 Data Curah Hujan Wilayah Hasil Analisis Metode Poligon Thiessen	70
Tabel	4.15 Perhitungan Distribusi Probabilitas Gumbel.....	71
Tabel	4.16 Nilai Y_n dan S_n distribusi Gumbel	72
Tabel	4.17 Perhitung Faktor Frekuensi Gumbel (K)	72
Tabel	4.19 Perhitungan Hujan Rencana Preode Ulang X_t	73
Tabel	4.20 Perhitungan Distribusi Probabilitas Normal	74
Tabel	4.21 Nilai K_t Distribusi Probalitas Normal untuk Periode Ulang.....	75
Tabel	4.22 Perhitungan Hujan Rencana Periode X_t	75

Tabel	4.23 Perhitungan Distribusi Probabilitas Log Normal	76
Tabel	4.24 Nilai Kt Distribusi Probabilitas Log Normal Periode Ulang	77
Tabel	4.25 Perhitungan Hujan Rencana Periode Ulang Xt	77
Tabel	4.26 Perhitungan Distribusi Probabilitas Log Pearson Type III.....	78
Tabel	4.27 Nilai Kt Distribusi Probabilitas Log Person III Periode Ulang	79
Tabel	4.28 Perhitungan Hujan Rencana Periode Ulang Xt	79
Tabel	4.29 Rekap Perhitungan Distribusi Probabilitas	79
Tabel	4.30 Pengurutan Data Hujan Dari Besar Ke Kecil.....	80
Tabel	4.31 Nilai Yn dan Sn Distribusi Probabilitas Gumbel	82
Tabel	4.32 Perhitungan Reduced Variate (Yt).....	82
Tabel	4.33 Perhitungan Faktor Frekuensi Gumbel (k).....	82
Tabel	4.34 Interval Kelas Distribusi Probabilitas Gumbel	83
Tabel	4.35 Perhitungan Nilai Variabel Reduksi	83
Tabel	4.36 Interval Kelas Distribusi Probabilitas Normal	84
Tabel	4.37 Perhitungan Nilai Variabel Reduksi	84
Tabel	4.38 Interval Kelas Distribusi Probabilitas Log Normal.....	85
Tabel	4.39 Perhitungan Nilai Variabel Reduksi	85
Tabel	4.40 Interval Kelas Distribusi Probabilitas Log Pearson Type II.....	86
Tabel	4.41 Perhitungan Nilai X^2 Untuk Distribusi Gumbel.....	86
Tabel	4.42 Perhitungan Nilai X^2 Untuk Distribusi Normal	87
Tabel	4.43 Perhitungan Nilai X^2 Untuk Distribusi Log Normal.....	87
Tabel	4.44 Perhitungan Nilai X^2 Untuk distribusi Log Pearson III.....	87

Tabel	4.45 Perhitungan Nilai X^2 dan X^2_{cr}	88
Tabel	4.46 Pengurutan Data Hujan Dari Besar Ke Kecil.....	89
Tabel	4.47 perhitungan Uji Distribusi Gumbel Dengan Motode Smirnov-Kolmogorof.....	90
Tabel	4.48 Perhitungan Uji Distribusi Normal dengan Motode Smirnov-Kolmogorof.....	91
Tabel	4.49 Perhitungan Uji Distribusi Log Normal dengan Motode Smirnov-Kolmogorof.....	92
Tabel	4.50 Rekapitulasi Nilai ΔP maksimum dan ΔP kritis	93
Tabel	4.51 Perhitungan Koefisien Pengaliran Rata – Rata (C).....	94
Tabel	4.52 Kumpulan Data <i>subcatchment</i>	106
Tabel	4.53 Kumpulan Data <i>Junction</i>	108
Tabel	4.54 Kumpulan Data <i>Conduit</i>	109
Tabel	4.55 Data Hujan 24 Jam Tanggal 19 Februari 2020	112
Tabel	4.56 Data Hujan 24 Jam Tanggal 28 Januari 2020	112
Tabel	4.57 Nilai Parameter Input Dalam Permodelan Awal (coba 1)	115
Tabel	4.58 Rekapitulasi Kalibrasi Permodelan SWMM Data 19 Februari 2020.....	115
Tabel	4.59 Rekapitulasi Kalibrasi Permodelan SWMM Data 28 Januari 2020.....	116
Tabel	4.60 Data Parameter Kalibrasi Model SWMM.....	117

Tabel	4.61 Hasil Perhitungan Absoulut Eror Q simulasi dengn Q Terukur.....	118
Tabel	4.62 Data Curah Hujan Dengan Metode ABM Kala Ulang % Tahun	119
Tabel	4.63 Node Banjir Hasil Running SWMM Kala Ulang 5 Tahun	120

DAFTAR LAMPIRAN

1. Tabel Nilai Q_{kritis} dan R_{kritis}	134
2. Tabel Nilai Kritis t_c (t_{kritis}) untuk uji distribusi 2 sisi	135
3. Tabel Nilai <i>Reduced Mean</i> (Y_n) dan Nilai <i>Reduced Standard Deviation</i> (S_n)	136
4. Tabel Nilai <i>Reduced Variate</i> (Y_t).....	136
5. Tabel Nilai Variabel Reduksi Gauss	137
6. Tabel Nilai Faktor frekuensi K_T untuk Distribusi Log Pearson Type III.....	138
7. Tabel Nilai Kritis Untuk Distribusi Chi-Kuadrat (Uji satu sisi).....	139
8. Tabel Nilai ΔP kritis Smirnov-Kolmogorov	140
9. Tabel Luas Wilayah di Bawah Kurve Normal	141
10. Tabel perhitungan Koefisien pengaliran	145
11. Tabel Harga Koefisien Pengaliran (C)	146
12. Tabel Perkiraan Kecepatan Aliran (Untuk Saluran Alami).....	149
13. Tabel Hasil Perhitungan Intensitas Hujan Rencana	150
14. Tabel Hasil Perhitungan Beban Drainase (Q_r).....	151
15. Tabel Nilai Total Q_r Periode Ulang 5 Tahun	152
16. Tabel Koefisien Kekasaran Manning	153
17. Tabel Hasil Perhitungan Kapasitas Drainase	154
18. Tabel Perbandingan Lebar Dasar Saluran dengan Tinggi Saluran.....	155
19. Hasil Perhitungan Dimensi Saluran Rencana	156
20. Gambar Tampang Melintang Saluran existing	157
21. Gambar Tampang Melintang Saluran Normalisasi	161

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Lokasi Persimpangan Jalan Bukit Keminting dengan Jalan Yos Sudarso Kota Palangka Raya	3
Gambar 2.1	Drainase Alami Pada Saluran Air	5
Gambar 2.2	Drainase Buatan	5
Gambar 2.3	Pola Jaringan Drainase Siku	7
Gambar 2.4	Pola Jaringan Drainase Paralel	7
Gambar 2.5	Pola Jaringan Drainase Grid	8
Gambar 2.6	Pola Jaringan Drainase Alamiah	8
Gambar 2.7	Pola Jaringan Drainase Radial	9
Gambar 2.8	Pola Jaringan Drainase Jaring-Jaring	9
Gambar 2.9	Objek fisik yang digunakan untuk memodelkan sistem drainase	34
Gambar 3.1	Peta lokasi persimpangan jalan bukit keminting dengan jalan yos sudarso kota palangka raya	41
Gambar 4.1	Analisa Kurva Massa Gamda sebelum Koreksi Data Stasiun Bukit Tunggal	51
Gambar 4.2	Analisa Kurva Massa Gamda setelah Koreksi Data Stasiun Bukit Tunggal	53

Gambar 4.3 Analisa Kurva Massa Gamda sebelum Koreksi Data Stasiun Bereng Bengkel.....	54
Gambar 4.4 Analisa Kurva Massa Gamda setelah Koreksi Data Stasiun Bereng Bengkel.....	56
Gambar 4.5 Analisa Kurva Massa Gamda sebelum Koreksi Data Stasiun palangka Raya.....	57
Gambar 4.6 Analisa Kurva Massa Gamda setelah Koreksi Data Stasiun Palangka Raya.....	59
Gambar 4.7 Peta Curah Hujan Wilayah Polygon Thiessen	69
Gambar 4.8 Titik Pengamatan dan Arah Aliran Saluran Drainase di Jalan Bukit Kaminting	97
Gambar 4.9 Profil Melintang Jaringan Drainase Jalan Bukit Kaminting	98
Gambar 4.10 Potongan Memanjang Bahu saluran Kiri Jalan Bukit Kaminting ..	99
Gambar 4.11 Potongan Memanjang bahu Saluran Kanan Jalan Bukit Kaminting	100
Gambar 4.12 Potongan Memanjang Lantai Arus Drainase Jalan Bukit Kaminting	100
Gambar 4.13 Titik Pengamatan dan Arah Aliran Saluran Drainase Jalan Yos Sudarso	101
Gambar 4.14 Profil Jaringan Drainase Jalan Yos Sudarso	102
Gambar 4.15 Potongan Memanjang Bahu Saluran Kanan Jalan Yos Sudarso	102
Gambar 4.16 Potongan Memanjang Bahu Saluran Kiri Jalan Yos Sudarso	103
Gambar 4.17 Potongan Memanjang Lantai Arus Drainase Jalan Yos Sudarso ...	103
Gambar 4.18 Sketsa Permodelan SWMM Jaringan Drainase	104

Gambar 4.19	<i>Backdrop</i> Lokasi Penelitian	105
Gambar 4.20	Luasan <i>Subcatchment</i>	106
Gambar 4.21	Hasil Dari <i>Input Conduit</i>	110
Gambar 4.22	<i>Input Outfall</i>	111
Gambar 4.23	Grafik Hujan Rancangan Hasil Putput Epa SWMM Untuk Hujan Pada Tanggal 19 Februari 2020	113
Gambar 4.24	Grafik Hujan Rancangan Hasil Putput Epa SWMM Untuk Hujan Pada Tanggal 28 Januari 2020	114
Gambar 4.25	Grafik Hujan Rancangan Hasil Output Epa SWMM Kala Ulang 5 Tahun	120
Gambar 4.26	Node J1 – Node J3 Running SWMM Kala Ulang 5 Tahun	121
Gambar 4.27	Node J3 – Node J5 Running SWMM Kala Ulang 5 Tahun	122
Gambar 4.28	Node J5 - Node J7 Running SWMM Kala Ulang 5 Tahun	122
Gambar 4.29	Node J7 – Node O1 Running SWMM Kala Ulang 5 Tahun	123
Gambar 4.30	Skema saluran Rencana Lokasi Penelitian	127
Gambar 4.31	Parameter Tampang Melintang Saluran Rencana.....	128
Gambar 4.32	Hasil Running Profil Saluran Rencana Jalan Bukit Kaminitng	128
Gambar 4.33	Hasil Running Profil Saluran Rencana Jalan Yos Sudarso	129
Gambar 4.34	Output Bentuk Tabel Saluran Rencana.....	129

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan suatu gedung atau infrastruktur pada suatu daerah atau kawasan, sebaiknya perlu memperhatikan infrastruktur pendukung seperti saluran drainase agar tidak mengganggu aktivitas dan kenyamanan pengguna dan menyebabkan kerusakan pada gedung atau infrastruktur itu sendiri. Kelebihan air hujan pada suatu daerah atau kawasan dapat menimbulkan suatu masalah yaitu banjir atau genangan air, sehingga diperlukan adanya saluran drainase yang berfungsi menampung air hujan dan kemudian mengalirkannya ke kolam penampungan atau ke sungai.

Di kota Palangka Raya, kawasan permukiman merupakan salah satu kawasan yang rentan terhadap masalah banjir dan genangan. Salah satu kawasan permukiman tersebut adalah di sekitar kawasan Jl. Bukit Kaminting dan Jl. Yos-Sudarso. Pada saat hujan dengan intensitas tinggi dan durasi yang relatif lama daerah di sekitar kawasan tersebut tergenang. Berdasarkan wawancara terhadap masyarakat sekitar, genangan yang terjadi pada daerah permukiman tersebut adalah akibat dari saluran drainase *existing* yang terisi penuh oleh air dan kemudian meluap ke daerah pemukiman yang elevasinya lebih rendah dibanding badan jalan. Akibatnya kawasan tersebut sering digenangi air hingga memasuki pemukiman warga yang berada di sekitar saluran drainase tersebut.

Berdasarkan pengamatan, saluran drainase yang ada dipenuhi oleh sampah, rumput, tumbuh-tumbuhan liar dan endapan lumpur. Hal tersebut terjadi karena tidak ada pemeliharaan drainase secara berkala baik oleh pemerintah maupun kurangnya inisiatif masyarakat setempat untuk memelihara drainase di kawasan permukimannya.

Berdasarkan wawancara dan hasil pengamatan pendahuluan tersebut terindikasi bahwa kapasitas drainase *existing* pada saat pengamatan sudah tidak mampu menampung debit air akibat hujan yang cukup lama. Oleh karena itu perlu

dilakukan evaluasi terhadap jaringan drainase kemudian diikuti dengan langkah normalisasi jaringan drainase. Dalam tahap evaluasi dan normalisasi jaringan, perlu dilakukan analisis untuk mengetahui profil aliran jaringan drainase pada saat pengukuran maupun kondisi rencana

1.2 Rumusan Masalah

Dari uraian latar belakang dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana evaluasi jaringan drainase existing pada simpang Jln. Bukit Kaminting dan Jln. Yos-Sudarso ?
2. Bagaimana desain rencana saluran drainase pada simpang Jln. Bukit Kaminting dan Jln Yos Sudarso yang dapat mengalirkan beban drainase di lokasi penelitian serta bagaimana profil aliran yang terjadi setelah dilakukan normalisasi saluran ?

5. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini meliputi:

1. Mengevaluasi jaringan drainase *existing* pada simpang Jln. Bukit Kaminting dan Jln. Yos-Sudarso.
2. Mendesai dimensi saluran pada simpang Jln Bukit Kaminting dan Jalan Yos Sudarso serta menganalisis Profil aliran yang terjadi setelah normalisasi.

6. Batasan Masalah

Mengingat perencanaan sistem drainase sangat luas untuk itu perencanaan ini hanya dibatasi pada hal – hal berikut:

1. Daerah yang ditinjau adalah kawasan Jln. Bukit Kaminting dan Jln. Yos-Sudarso Kota Palangka Raya
2. Terlebih dahulu meninjau sistem dan kapasitas pengaliran drainase yang ada sekarang. Kemudian dilanjutkan dengan analisa dan simulasi normalisasi jaringan drainase.
3. Tidak menghitung Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk normalisasi.

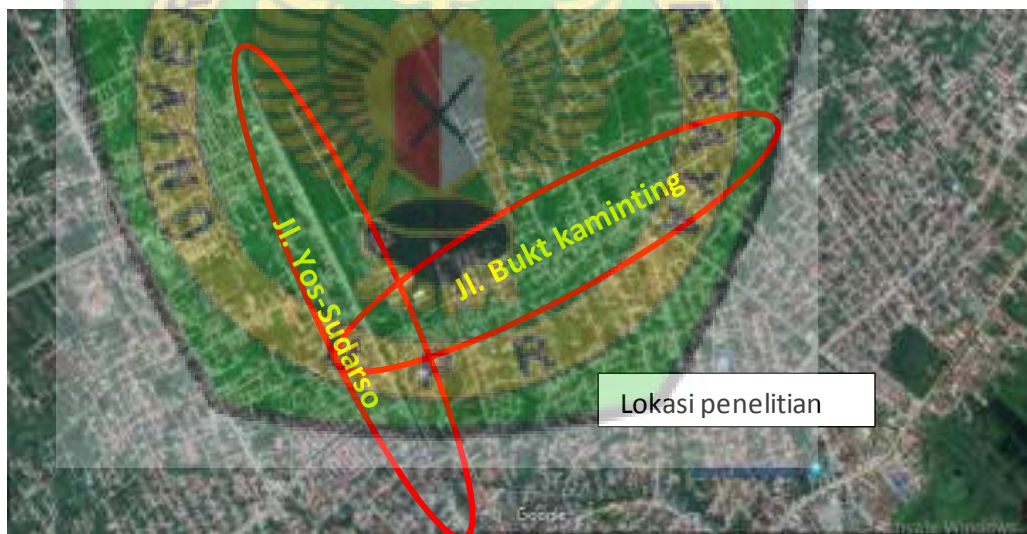
1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini meliputi:

1. Sebagai pedoman dan pertimbangan masyarakat maupun pemerintah dalam penanggulangan banjir di Jln. Bukit Kaminting dan Jln. Yos-Sudarso.
2. Sebagai studi pembelajaran untuk para akademisi mengenai normalisasi jaringan drainase.

1.6 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian hanya mencakup area drainase kawasan Jalan Bukit Kaminting dan Jalan Yos-Sudarso kota Palangka Raya. (Gambar 1.1)



Sumber : <https://maps.google.com>

Gambar 1.1 Peta Lokasi Persimpangan Jalan Bukit Kaminting dengan Jalan Yos Sudarso Kota Palangka Raya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Uraian Umum

Secara umum drainase didefinisikan sebagai ilmu pengetahuan yang mempelajari usaha untuk mengalirkan air yang berlebihan dalam suatu konteks pemanfaatan tertentu.

Sedangkan drainase perkotaan adalah ilmu drainase yang mengkhususkan pengkajian pada kawasan perkotaan yang erat kaitannya dengan kondisi lingkungan fisik dan lingkungan sosial budaya yang ada di kawasan kota tersebut.

Drainase perkotaan merupakan sistem pengeringan dan pengaliran air dari wilayah perkotaan yang meliputi: permukiman, kawasan industri & perdagangan, parkir, instalasi militer, instalasi listrik & telekomunikasi, pelabuhan udara, pelabuhan laut/sungai serta tempat lainnya yang merupakan bagian dari sarana kota.

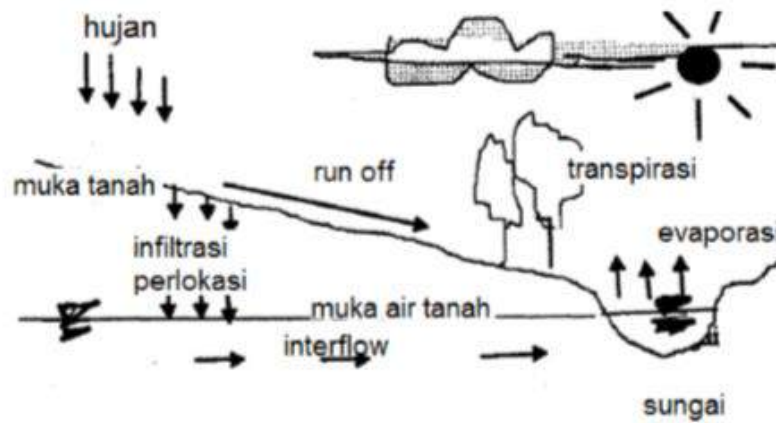
Dengan demikian kriteria desain drainase perkotaan memiliki kekhususan, sebab untuk perkotaan ada tambahan *variable design* seperti: keterkaitan dengan masalah sosial budaya (kurangnya kesadaran masyarakat dalam ikut memelihara fungsi drainase kota) dan lain-lain.

2.2 Jenis - Jenis Drainase

2.2.1 Menurut Sejarah Terbentuknya

a. Drainase Alamiah (*Natural Drainage*)

Drainase yang terbentuk secara alami dan tidak terdapat bangunan-bangunan penunjang seperti bangunan pelimpah, pasangan batu/beton, gorong-gorong dan lain-lain. Saluran ini terbentuk oleh gerusan air yang bergerak karena gravitasi yang lambat laun membentuk jalan air yang permanen seperti sungai.



Sumber: Suripin, 2004

Gambar 2.1 Drainase Alami Pada Saluran Air

b. Drainase Buatan (*Artificial Drainage*)

Drainase yang dibuat dengan maksud dan tujuan tertentu sehingga memerlukan bangunan-bangunan khusus seperti selokan pasangan batu/beton, gorong-gorong, pipa-pipa dan sebagainya.



Sumber: Suripin, 2004.

Gambar 2.2 Drainase Buatan

2.2.2 Menurut Letak Bangunan

a. Drainase Permukaan Tanah (*Surface Drainage*)

Saluran drainase yang berada di atas permukaan tanah yang berfungsi mengalirkan air limpasan permukaan. Analisa alirannya merupakan analisa *open chanel flow*.

b. Drainase Bawah Permukaan Tanah (*Subsurface Drainage*)

Saluran drainase yang bertujuan mengalirkan air limpasan permukaan melalui media dibawah permukaan tanah (pipa-pipa), dikarenakan alasan-alasan tertentu. Alasan itu antara lain: tuntutan srtistik, tuntutan fungsi permukaan tanah yang tidak membolehkan adanya saluran dipermukaan tanah seperti lapangan sepak bola, lapangan terbang, taman dan lain-lain.

2.2.3 Menurut Fungsi

a. *Single purpose*, yaitu saluran yang berfungsi mengalirkan satu jenis air buangan, misalnya air hujan saja atau jenis air buangan yang lain seperti limbah domestic, air limbah industri dan lain lain.

b. *Multi purpose*, yaitu saluran yang berfungsi mengalirkan beberapa jenis air buangan baik secara bercampur maupun bergantian.

2.2.4 Menurut Konstruksi

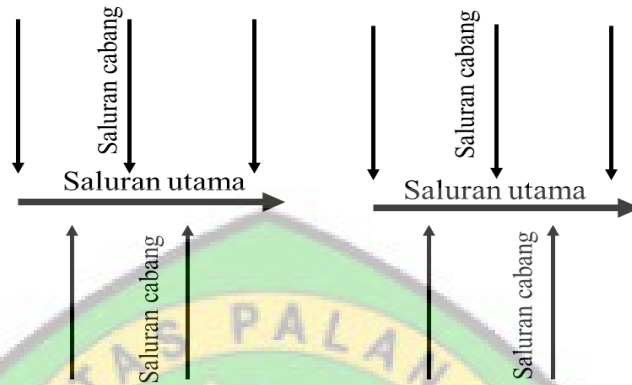
a. Saluran terbuka, yaitu saluran yang lebih cocok untuk drainase air hujan yang letaknya di daerah yang mempunyai luasan yang cukup, ataupun untuk drainase air non hujan yang tidak membahayakan kesehatan/mengganggu lingkungan.

b. Saluran tertutup, yaitu saluran yang pada umumnya sering dipakai untuk aliran kotor (air yang mengganggu kesehatan/lingkungan) ataupun untuk saluran yang terletak di tengah kota.

2.3 Pola Jaringan Drainase

2.3.1 Siku

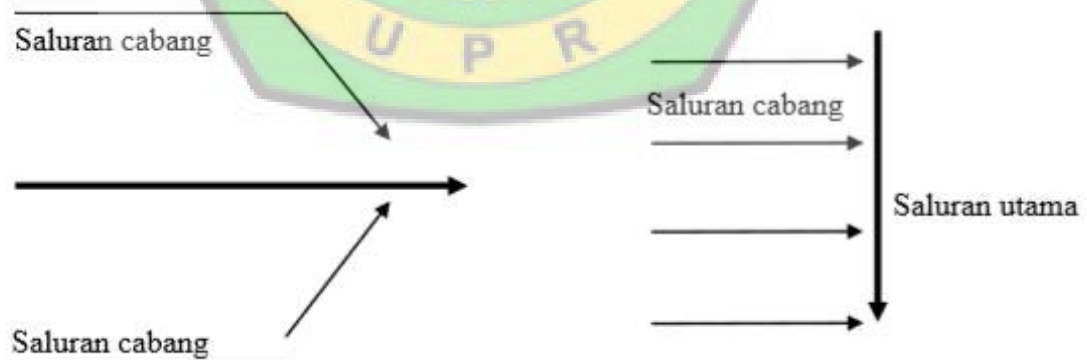
Dibuat pada daerah yang mempunyai topografi sedikit lebih tinggi dari pada sungai. Sungai sebagai saluran pembuang akhir berada di tengah kota.



Sumber: Hasmar, 2002.

Gambar 2.3 Pola Jaringan Drainase Siku Paralel

Saluran utama terletak sejajar dengan saluran cabang. Dengan saluran cabang (sekunder) yang cukup banyak dan pendek-pendek, apabila terjadi perkembangan kota, saluran-saluran akan dapat menyesuaikan diri.



Sumber: Hasmar, 2002.

Gambar 2.4 Pola Jaringan Drainase Paralel

2.3.2 Grid Iron

Untuk daerah dimana sungainya terletak di pinggiran kota, sehingga saluran-saluran cabang dikumpulkan dulu pada saluran pengumpul.

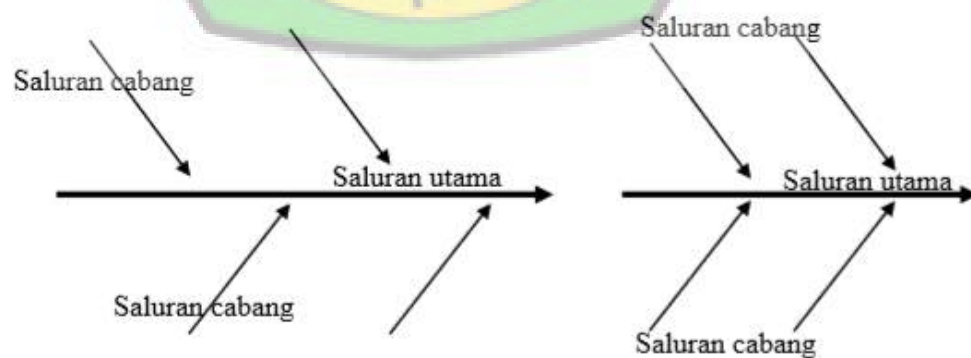


Sumber: Hasmar, 2002.

Gambar 2.5 Pola Jaringan Drainase Grid

2.3.3 Alamiah

Sama seperti siku, hanya beban sungai pada alamiah lebih besar.



Sumber: Hasmar, 2002.

Gambar 2.6 Pola Jaringan Drainase Alamiah

2.3.5 Radial

Pola ini banyak diterapkan pada daerah berbukit, sehingga pola saluran memencar ke segala arah.



Sumber: Hasmar, 2002.

Gambar 2.7 Pola Jaringan Drainase Radial

2.3.6 Jaringan-Jaringan

Mempunyai saluran-saluran pembuang yang mengikuti arah jalan raya dan cocok untuk daerah dengan topografi datar.

Sumber: Hasmar, 2002.

Gambar 2.8 Pola Jaringan Drainase Jaring-Jaring

2.4 Aspek Hidrologi

2.4.1 Karakteristik Hujan

a. Durasi

Durasi hujan adalah lama kejadian hujan (menitan, jam-jaman, harian) diperoleh terutama dari hasil perencanaan alat pengukur hujan otomatis. Dalam perencanaan drainase durasi hujan ini sering dikaitkan dengan waktu konsentrasi, khususnya pada drainase perkotaan diperlukan durasi yang relatif pendek, mengingatkan akan toleransi terhadap genangan.

b. Intensitas

Intensitas adalah jumlah hujan yang dinyatakan dalam tinggi hujan atau volume hujan tiap satuan waktu. Besarnya intensitas hujan berbeda-beda, tergantung dari lamanya curah hujan dan frekuensi kejadiannya. Intensitas hujan diperoleh dengan cara melakukan analisis data hujan baik secara statistik maupun secara empiris.

2.4.2 Pengolahan Data menggunakan ArcGIS

Software ArcGIS adalah salah satu *software* yang dikembangkan oleh *Environment Science & Research Institue* (ESRI) yang merupakan kompilasi fungsi-fungsi dari berbagai macam software SIG yang berbeda seperti GIS desktop, server, dan SIG berbasis web. Software ini dirilis oleh ESRI pada tahun 2000. Produk utama dari ArcGIS adalah ArcGIS desktop, di mana ArcGIS desktop merupakan software GIS professional yang komprehensif dan dikelompokan atas tiga komponen yaitu: *Arcview* (komponen yang fokus ke penggunaan data yang komprehensif, pemetaan dan analisis). *ArcEditor* lebih fokus ke arah data spasial dan *ArcInfo* lebih lengkap dalam menyajikan fungsi-fungsi GIS termasuk untuk keperluan analisis geoprocesing (Bukhori dkk, 2015;55)

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata di

seluruh daerah yang bersangkutan. Salah satu penyajian hujan wilayah adalah dengan polygon Thiessen. Metode Polygon Thiessen merupakan cara penentuan hujan wilayah dengan rata-rata tertimbang. Metode ini memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan di sekitarnya. Pada suatu luasan di dalam DAS di anggap bahwa hujan adalah sama dengan yang terjadi pada stasiun yang terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu stasiun mewakili luasan tersebut. Kelebihan dari metode Polygon Thiessen yaitu dapat digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata, dan hitungan curah hujan rata-rata dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh dari tiap stasiun hujan. ArcGIS 10.3 mempunyai tool yang dapat digunakan sebagai analisis polygon Thiessen yaitu pada fungsi *Analysis Tools* berupa *Create Thiessen Polygon*. Untuk dapat mengetahui luas pada setiap luasan polygon Thiessen ArcGIS dapat membantu mengetahui dengan menggunakan fungsi *calculate area (spatial tools)* sehingga dapat dihitung curah hujan rata-rata menggunakan metode Thiessen setelah diketahui setiap luas polygon.

2.5 Analisis Curah Hujan

Analisis data hujan dilakukan dengan maksud sebagai perhitungan perencanaan dalam rangka memonitor kuantitas air (Kamiana, 2011). Lima unsur yang berkaitan dengan data curah hujan yaitu (Kamiana, 2011):

- a. Ketinggian jumlah hujan atau *rainfall depth*.
- b. Lamanya hujan atau *duration of rainfall*.
- c. Kederasan hujan atau *intensity rainfall*.
- d. Periode ulang atau *return period*.
- e. Luas area hujan.

2.5.1 Analisis Curah Hujan Wilayah

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu (stasiun). Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah/daerah dan dinyatakan dalam (mm) (Kamiana, 2011).

Curah hujan wilayah dapat ditentukan dari beberapa pos pencatat hujan. Cara-cara perhitungan curah hujan wilayah dapat dilakukan dengan metoda : Rata-rata aljabar, Poligon Thiessen, Isohyet.

1. Cara rata-rata aljabar

Cara ini adalah perhitungan rata-rata secara aljabar curah hujan di dalam dan di sekitar daerah yang bersangkutan (Triatmodjo, 2008).

$$R = \frac{1}{n} (R_1 + R_2 + \dots + R_n) \quad (2.1)$$

keterangan :

R : Curah hujan daerah

n : Jumlah titik atau pos pengamatan

R_1, R_2, R_n : Curah hujan di tiap titik pengamatan.

2. Cara Thiessen

Jika titik-titik di daerah pengamatan di dalam daerah itu tak tersebar merata, maka cara perhitungan curah hujan dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh tiap titik pengamatan (Triatmodjo, 2008).

$$R = \frac{A_1 \cdot R_1 + A_2 \cdot R_2 + \dots + A_n \cdot R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.2)$$

keterangan :

R : Curah hujan daerah

R_1, R_2, \dots, R_n : Curah hujan di tiap titik pengamatan dan n adalah jumlah titik-titik pengamatan.

A_1, A_2, \dots, A_n : Bagian daerah yang mewakili tiap titik pengamatan.

3. Cara Isohyet

Peta isohyet digambar pada peta topografi dengan perbedaan 10 mm sampai 20 mm berdasarkan data curah hujan pada titik-titik pengamatan di dalam dan sekitar daerah yang dimaksud.

Luas bagian daerah antara dua garis isohyet yang berdekatan diukur dengan planimeter. Demikian pula harga rata-rata dari garis-garis isohyet yang berdekatan yang termasuk bagian-bagian itu dapat dihitung. Curah hujan daerah itu dapat dihitung menurut persamaan sebagai berikut (Triatmodjo, 2008).

$$R = \frac{A_1 \cdot R_1 + A_2 \cdot R_2 + \dots + A_n \cdot R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.3)$$

keterangan :

R : Curah hujan daerah

R_1, R_2, \dots, R_n : Curah hujan di tiap titik pengamatan dan n adalah jumlah titik-titik pengamatan.

A_1, A_2, \dots, A_n : Bagian daerah yang mewakili tiap titik pengamatan.

2.5.2 Curah Hujan Rencana

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

A. Metode Gumbel

Rumus-rumus yang digunakan untuk menentukan curah hujan rencana menurut Metode Gumbel (Soemarto, 1999) adalah sebagai berikut:

$$X = \bar{X} + S * K \quad (2.4)$$

keterangan :

X : hujan rencana dengan periode ulang T tahun

\bar{X} : nilai tengah sampel

S : standar Deviasi sampel

K : faktor frekuensi

Faktor frekuensi K didapat dengan menggunakan rumus :

$$K = \frac{Y_T - Y_n}{S_n} \quad (2.5)$$

keterangan :

Y_n : Harga rata-rata *reduced mean* (Tabel 2.1)

S_n : *Reduced Standard Deviation* (Tabel 2.2)

Y_T : *Reduced variate* (Tabel 2.3)

Tabel 2.1 *Reduced mean* (Y_n)

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5300	0,5820	0,5882	0,5343	0,5353
30	0,5363	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5400	0,5410	0,5418	0,5424	0,5430
40	0,5463	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5468	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600									

Sumber: (Soemarto, 1999)

Tabel 2.2 Reduced Standard Deviation (Sn)

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0315	1,0961	1,1004	1,1047	1,1080
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1923	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2046	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065									

Sumber: (Soemarto, 1999)

Tabel 2.3 Reduced Variate (Y_T)

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

Sumber: (Soemarto, 1999)

B. Metode Log Normal

Rumus yang digunakan dalam perhitungan dengan metode ini adalah sebagai berikut (Soewarno, 1995) :

$$X_T = \bar{X} + K_T * S \quad (2.6)$$

keterangan :

X_T : besarnya curah hujan yang mungkin terjadi dengan periode ulang X tahun

S : standar Deviasi data hujan maksimum tahunan

\bar{X} : curah hujan rata-rata

K_T : *Variable standard* untuk periode ulang t tahun yang besarnya diberikan pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Variable standard (K_t)

T	K_t	T	K_t	T	K_t
1	-1.86	20	1.89	90	3.34
2	-0.22	25	2.10	100	3.45
3	0.17	30	2.27	110	3.53
4	0.44	35	2.41	120	3.62
5	0.64	40	2.54	130	3.70
6	0.81	45	2.65	140	3.77
7	0.95	50	2.75	150	3.84
8	1.06	55	2.86	160	3.91
9	1.17	60	2.93	170	3.97
10	1.26	65	3.02	180	4.03
11	1.35	70	3.08	190	4.09
12	1.43	75	3.60	200	4.14
13	1.50	80	3.21	221	4.24
14	1.57	85	3.28	240	4.33
15	1.63	90	3.33	260	4.42

Sumber: (Soemarto, 1999)

C. Metode Log Pearson III

Metode Log Pearson III apabila digambarkan pada kertas peluang logaritmik akan merupakan persamaan garis lurus, sehingga dapat dinyatakan sebagai model matematik dengan persamaan sebagai berikut (Soemarto,1999).

$$X = \bar{X} + K.S \quad (2.7)$$

keterangan :

X : nilai logaritmik dari X atau log (X)

\bar{X} : rata-rata hitung (lebih baik rata-rata geometrik) dari nilai Y
{Y=log(x)}

S : standar deviasi nilai Y {Y=log(x)}

K : faktor frekuensi yang ditentukan oleh suatu distribusi peluang Log-Pearson tipe III dapat dilihat pada Tabel (2.5)

Adapun langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Mengubah data curah hujan sebanyak n buah $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ menjadi log (X_1), log (X_2), log (X_3),, log (X_n).
2. Menghitung harga rata-ratanya dengan rumus :

$$\overline{\log X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log(X_i)}{n} \quad (2.8)$$

Keterangan :

$\overline{\log X}$: harga rata-rata logaritmik

n : jumlah data

X_i : nilai curah hujan tiap-tiap tahun (R_{24} maks)

3. Menghitung harga standar deviasinya dengan rumus berikut :

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \{\log(X_i) - \overline{\log(X)}\}^2}{n - 1}} \quad (2.9)$$

Keterangan :

S_1 : standar deviasi

4. Menghitung koefisien Skewness dengan rumus :

$$C_S = \frac{\sum_{i=1}^n \{\log(X_i) - \overline{\log X}\}^3}{(n-1)(n-2)s_1^3} \quad (2.10)$$

Keterangan :

C_S : koefisien Skewness

5. Menghitung logaritma hujan rencana dengan periode ulang T tahun dengan rumus :

$$\log X_T = \overline{\log X} + G * s_1 \quad (2.11)$$

Keterangan :

X_T : curah hujan rencana periode ulang T tahun

G : harga yang diperoleh berdasarkan nilai C_S yang didapat

(Tabel 2.5).

6. Menghitung koefisien Kurtosis (C_k) dengan rumus :

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n \{\log(X_i) - \overline{\log X}\}^4}{(n-1)(n-2)(n-3)s_1^4} \quad (2.12)$$

Keterangan :

C_k : Koefisien Kurtosis

7. Menghitung koefisien Variasi (C_v) dengan rumus :

$$C_v = \frac{s_1}{\overline{\log X}} \quad (2.13)$$

Keterangan :

C_v : Koefisien Variasi

Tabel 2.5 Harga K untuk Distribusi Log Person III

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

Sumber: (Soewarno.)

2.5.3 Analisis Frekuensi Curah Hujan

Menurut Suripin (2003), frekuensi hujan adalah besarnya kemungkinan suatu besaran hujan dilampaui. Sebaliknya kala ulang adalah waktu hipotetik di mana hujan dengan suatu besaran tertentu akan dilampaui. Karakteristik desain hidrologi untuk sistem drainase perkotaan 10-100 Ha dengan periode ulang 2-5 tahun yang artinya bahwa curah hujan terbesar terjadi sekali dalam lima tahun atau kala ulang tertentu baik dilampaui ataupun setara dengan curah hujan rancangan.

Kala ulang rencana bisa dilakukan dengan beberapa metode yaitu:

1. Distribusi Normal
2. Distribusi Log Normal
3. Distribusi Log Person Tipe III
4. Distribusi Gumble

Keempat distribusi tersebut memiliki persyaratan masing-masing yaitu:

Tabel 2.6 Persyaratan parameter statistic suatu distribusi

No.	Distribusi	Persyaratan
1	Gumbel	$C_s = 1,14$ $C_k = 5,4$
2	Normal	$C_s = 0$ $C_k = 3$
3	Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$ $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
4	Log Person type III	Selain dari nilai diatas

Sumber: Bambang T, 2008

Keterangan Tabel 2.6:

a. Koefisien kepengcengan (C_s) =
$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2).S^3}} \quad (2.14)$$

b. Koefisien kurtosis (C_k) =
$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3).S^4}} \quad (2.15)$$

c. \bar{X} = nilai rata-rata dari X =
$$\frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2.16)$$

$$d. \text{ Standar Deviasi (S)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}} \quad (2.17)$$

1. Distribusi Probabilitas Gumbel

Jika data hujan yang digunakan dalam perhitungan adalah berupa sampel (populasi terbatas), maka perhitungan hujan rencana berdasarkan Distribusi Probabilitas Gumbel dilakukan dengan rumus-rumus berikut (Kamiana, 2011):

$$X_T = \bar{X} + S \times K \quad (2.18)$$

Keterangan :

X_T : Hujan rencana atau debit dengan kala ulang T

\bar{X} : Nilai rata-rata dari data hujan (X)

S : Standar deviasi dari data hujan (X)

K : Faktor Frekuensi Gumbel = $K = \frac{Y_t - Y_n}{S_n}$ (2.19)

Y_t : Reduced Variate = $-\ln - \ln \frac{T-1}{T}$ (2.20)

= nilai Y_t bisa ditentukan berdasarkan (Tabel 2.4)

S_n : Reduced standar deviasi (Tabel 2.5)

Y_n : Reduced Mean (Tabel 2.5)

Tabel 2.7 Nilai Reduced Variate (Y_t)

Periode ulang T (Tahun)	Y_t
2	0,3065
5	1,4999
10	2,2504
20	2,9702
25	3,1255
50	3,9019
100	4,6001

Sumber: Soemarto, 1987

Tabel 2.8 Nilai Reduced Standar Deviation (Sn) dan Nilai Reduced Mean (Yn)

n	Sn	Yn	n	Sn	Yn
10	0,9497	0,4952	60	1,1750	0,5521
15	1,0210	0,5128	70	1,1850	0,5548
20	1,0630	0,5236	80	1,1940	0,5567
25	1,0910	0,5390	90	1,2010	0,5586
30	1,1120	0,5362	100	1,2060	0,5600
35	1,1280	0,5403	20	1,2360	0,5672
40	1,1410	0,5436	500	1,2590	0,5724
45	1,1520	0,5463	1000	1,2690	0,5745
50	1,1610	0,5485			

Sumber: Soemarto, 1987

2. Distribusi Probabilitas Normal

Perhitungan hujan rencana berdasarkan Distribusi Probabilitas Normal, jika data yang digunakan adalah sampel, dilakukan dengan rumus-rumus berikut (Kamiana, 2011):

$$X_T = \bar{X} + K_T \times S \quad (2.21)$$

Keterangan :

X_T : Hujan rencana dengan periode ulang T tahun

\bar{X} : Nilai rata-rata dari data hujan (X) mm

S : Standar deviasi dari data hujan (X) mm

K_T : Faktor frekuensi, nilainya tergantung dari nilai T (lihat tabel variabel reduksi gauss pada Tabel 2.9)

Tabel 2.9 Nilai Variabel reduksi Gauss

no.	Periode ulang, T (tahun)	Kt
1	1,001	-3,05
2	1,005	-2,58
3	1,010	-2,33
4	1,050	-1,64
5	1,110	-1,28
6	1,250	-0,84
7	1,330	-0,67
8	1,430	-0,52
9	1,670	-0,25
10	2,000	0
11	2,500	0,25
12	3,330	0,52
13	4,000	0,67
14	5,000	0,84
15	10,000	1,28
16	20,000	1,64
17	50,000	2,05
18	100,000	2,33
19	200,000	2,58
20	500,000	2,88
21	1000,000	3,09

Sumber: Suripin, 2004

3. Distribusi Probabilitas Log Normal

Perhitungan hujan rencana berdasarkan Distribusi Probabilitas Log Normal, jika data yang dipergunakan adalah berupa sampel, dilakukan dengan rumus-rumus berikut (Kamiana, 2011):

$$\text{Log } X_T = \overline{\text{Log } \bar{X}} + K_T \times S \log X \quad (2.22)$$

Keterangan :

$\text{Log } X_T$: Nilai logaritma hujan rencana dengan periode ulang T

$\overline{\text{Log } X}$: Nilai rata-rata dari $\log X = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n}$ (2-25)

$S \log X$: nilai rata-rata populasi X

$$= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\text{Log } X})^2}{n-1}} \quad (2.23)$$

K_T : Faktor frekuensi, nilainya tergantung dari nilai T (lihat tabel variabel reduksi gauss pada Tabel 2.9.

4. Distribusi Probabilitas Log Pearson Type III

Perhitungan hujan rencana berdasarkan Distribusi Probabilitas Log Pearson Type III, jika data yang dipergunakan adalah berupa sampel, dilakukan dengan rumus-rumus berikut (Kamiana, 2011):

$$\text{Log } X_T = \overline{\text{Log } X} + K_T \times S \log X \quad (2.24)$$

Keterangan :

$\text{Log } X_T$: Nilai logaritma hujan rencana dengan periode ulang T

$\overline{\text{Log } X}$: Nilai rata-rata dari $\log X = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n}$ (2.25)

$S \log X$: nilai rata-rata populasi X

$$= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\text{Log } X})^2}{n-1}} \quad (2.26)$$

K_T : Faktor frekuensi, nilainya tergantung dari nilai T (lihat tabel variabel reduksi gauss pada Tabel 2.9

Tabel 2.10 Faktor frekuensi K_T untuk distribusi Log Pearson Type III

G or C_s	<i>Return period in years</i>						
	2	5	10	25	50	100	200
	<i>Exceedence probabilitas</i>						
	0,5	0,2	0,1	0,04	0,02	0,01	0,005
3,0	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051	4,970
2,9	-0,390	0,440	1,195	2,277	3,134	4,013	4,909
2,8	-0,384	0,460	1,210	2,275	3,114	3,973	4,847
2,7	-0,376	0,479	1,224	2,272	3,097	3,932	4,783
2,6	-0,368	0,499	1,238	2,267	3,071	3,889	4,718
2,5	-0,360	0,518	1,250	2,262	3,048	3,845	3,652
2,4	-0,351	0,537	1,262	2,256	3,023	3,800	4,584
2,3	-0,341	0,555	1,274	2,248	2,997	3,753	4,515
2,2	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705	4,454
2,1	-0,319	0,592	1,294	2,230	2,942	3,656	4,372
2,0	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605	4,298
1,9	-0,294	0,627	1,310	2,207	2,881	3,553	4,223
1,8	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499	4,147
1,7	-0,268	0,660	1,324	2,179	2,815	3,444	4,069
1,6	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388	3,990
1,5	-0,240	0,690	1,333	2,146	2,743	3,330	3,910
1,4	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271	3,828
1,3	-0,210	0,719	1,339	2,108	2,666	3,211	3,745
1,2	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149	3,661
1,1	-0,180	0,745	1,341	2,066	2,585	3,087	3,575
1,0	-0,165	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022	3,489
0,9	-0,148	0,769	1,339	2,018	2,498	2,957	3,401
0,8	-0,132	0,780	1,336	1,993	2,453	2,891	3,312
0,7	-0,116	0,790	1,328	1,967	2,407	2,824	3,223
0,6	-0,099	0,800	1,333	1,939	2,359	2,755	3,132
0,5	-0,083	0,808	1,323	1,910	2,311	2,686	3,041
0,4	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615	2,949
0,3	-0,050	0,824	1,309	1,849	2,211	2,544	2,856
0,2	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472	2,763
0,1	-0,017	0,836	1,292	1,785	2,107	2,400	2,670
0,0	0,000	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326	2,576

Sumber: Soemarto, 1987

Lanjutan Tabel 2.10 Faktor frekuensi K_T untuk distribusi Log Pearson Type

III

G or C_s	<i>Return period in years</i>							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
	<i>Exceedence probabilitas</i>							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
-0,1	0,017	0,836	1,270	1,761	2,000	2,252	2,482	3,950
-0,2	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178	2,388	2,810
-0,3	0,050	0,853	1,245	1,643	1,890	2,104	2,294	2,675
-0,4	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029	2,201	2,540
-0,5	0,083	0,856	1,216	1,567	1,777	1,955	2,108	2,400
-0,6	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880	2,016	2,275
-0,7	0,116	0,857	1,183	1,488	1,663	1,806	1,926	2,150
-0,8	0,132	0,856	1,166	1,488	1,606	1,733	1,837	2,035
-0,9	0,148	0,854	1,147	1,407	1,549	1,660	1,749	1,910
-1,0	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588	1,664	1,800
-1,2	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449	1,501	1,625
-1,4	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318	1,351	1,465
-1,6	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,200	1,216	1,280
-1,8	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,089	1,097	1,130
-2,0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990	1,995	1,000
-2,2	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905	0,907	0,910
-2,5	0,360	0,711	0,771	0,793	0,798	0,799	0,800	0,802
-3,0	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667	0,667	0,668

Sumber: Soemarto, 1987

2.5.4 Analisis Intensitas Hujan

Intensitas hujan (I) adalah yang dinyatakan dalam tinggi hujan atau volume hujan tiap satuan waktu. Nilai intensitas hujan tergantung lama curah hujan dan frekuensi hujan dan waktu konsentrasi (Asmar, 2012).

Intensitas hujan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan mononobe sebagai berikut (Kamiana, 2011):

$$I = \frac{X_{24}}{24} \times \frac{24^{\frac{2}{3}}}{t} \quad (2.27)$$

Keterangan:

I : Intensitas hujan rencana (mm)

t : Durasi hujan atau waktu konsentrasi (jam)

X_{24} : Tinggi hujan harian maksimum atau hujan rencana (mm)

2.5.5 Perhitungan Debit Rencana

Dalam perencanaan bendungan, bangunan pengendali banjir, jembatan, irigasi dan drainase, perlu memperkirakan debit terbesar dari aliran saluran atau sungai yang mungkin terjadi dalam suatu periode ulang, debit ini disebut dengan debit rencana (Kamiana, 2011).

Debit rencana dapat dihitung dengan menggunakan metode rasional sebagai berikut : Menurut Goldman (1986) dalam Suripin (2004), Metode Rasional dapat digunakan untuk daerah pengaliran < 300 ha. Dalam Suripin (2004), dijelaskan penggunaan Metode Rasional pada daerah pengaliran dengan beberapa sub daerah pengaliran dapat dilakukan dengan pendekatan nilai C gabungan atau C rata-rata dan intensitas hujan dihitung berdasarkan waktu konsentrasi terpanjang.

Rumus umum dari metode rasional adalah (Kamiana, 2011):

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \quad (2.28)$$

Keterangan rumus:

Q : debit puncak limpasan permukaan (m^3/det)

C : angka pengaliran (tanpa dimensi) (tabel 2.11)

A : luas daerah pengaliran (Km^2)

I : intensitas curah hujan (mm/jam)

Tabel 2.11 Koefisien pengaliran (C) untuk rumus Rasional

Deskripsi lahan/karakter permukaan	koefisien pengaliran (C)
Bisnis :	
Perkotaan	0,70 - 0,95
Pinggiran	0,50 - 0,70
Perumahan:	
Rumah tinggal	0,30 - 0,50
Multiunit, terpisah	0,40 - 0,60
Multiunit, tergabung	0,60 - 0,75
Perkampungan	0,25 - 0,40
Perumahan:	
Apartemen	0,50 - 0,70
Perkerasan:	
Aspal dan Beton	0,70 - 0,95
Batu bata, paving	0,50 - 0,70
Halaman berpasir:	
Datar (2%)	0,05 - 0,10
Curam (7%)	0,15 - 0,20
Halaman tanah:	
Datar (2%)	0,13 - 0,17
Curam (7%)	0,18 - 0,22
Hutan:	
Datar (0-5%)	0,10 - 0,40
Curam (5-10%)	0,25 - 0,50
Berbukit (10-30%)	0,30 - 0,60

(Sumber: Suripin, 2004)

2.6 Komponen dan parameter SWMM (*Storm Water Management Model*)

EPA Storm Water Management Model (SWMM) adalah model simulasi curah hujan yang dinamis digunakan untuk peristiwa tunggal atau simulasi jangka panjang (berkelanjutan) dari kuantitas limpasan dan kualitas, terutama daerah perkotaan. Komponen limpasan SWMM beroperasi pada koleksi subcatchment daerah yang menerima curah hujan dan menghasilkan limpasan dan banyak polutan. Bagian dari SWMM mengangkut limpasan ini melalui sistem pipa, saluran, perangkat penyimpanan/perawatan, pompa, dan regulator. SWMM melacak kuantitas dan kualitas limpasan yang dihasilkan di masing-masing subcatchment, dan laju aliran, kedalaman aliran, dan kualitas air di setiap pipa dan saluran selama periode simulasi terdiri dari beberapa langkah waktu.

Program SWMM bersifat gratis (*public domain*) dan versi terakhir yaitu versi 5.0 yang telah beredar sejak Juli 2009. Program SWMM tersedia di website resmi *United States Environmental Protection Agency* (US EPA). Pemilihan software SWMM dalam penelitian ini karena software ini mampu mensimulasikan antara hidrologi dan hidrolika dalam sekali *running*. Sedangkan *software* yang setara hanya mampu mensimulasikan satu komponen saja yaitu hidrologi atau hidrolika

2.6.1 Kapasitas Permodelan SWMM

SWMM digunakan untuk menghitung berbagai jenis proses hidrologi yang menghasilkan limpasan di daerah yang ditinjau. Hal itu meliputi:

- a. Perbedaan waktu curah hujan
- b. Penguapan pada permukaan air
- c. Timbunan salju dan lelehan salju
- d. Kehilangan hujan dari tampungan-cekungan
- e. Infiltrasi curah hujan ke dalam permukaan tanah tak jenuh
- f. Perkolasi dari air infiltrasi ke dalam permukaan air tanah
- g. Aliran antara air tanah dengan sistem drainase
- h. Penelusuran waduk nonlinear dari aliran permukaan

Variasi ruang hujan dalam semua proses ini diselesaikan dengan membagi studi area ke dalam lingkup yang lebih kecil, luas daerah tangkapan (*Subcatchment*) homogen, masing-masing mengandung fraksi pervious dan impervious sub-area sendiri-sendiri. Aliran permukaan dapat ditelusuri antar sub-area, antar daerah tangkapan (*Subcatchment*), atau antar titik masuk dari sistem drainase.

SWMM juga mengandung aturan yang fleksibel untuk kemampuan pemodelan hidrolika yang digunakan untuk menelusuri limpasan dan aliran eksternal melalui jaringan sistem drainase pipa, saluran terbuka, kolam tampungan dan bangunan pengelak. Hal ini termasuk kemampuan untuk :

- a. Mengendalikan jaringan yang ukurannya tidak terbatas.
- b. Menggunakan lebar yang bermacam-macam dari bentuk saluran tertutup atau saluran terbuka yang standar sebaik saluran alam.
- c. Memodelkan bagian-bagian yang khusus seperti kolam tampungan, aliran pembagi, pompa, bendung dan saluran pembuang.
- d. Meminta memasukkan aliran eksternal dan kualitas air dari limpasan permukaan, aliran antara air tanah, curah hujan yang dipengaruhi .

2.6.2 Obyek Pada EPA SWMM

Adapun *input* data yang diperlukan, agar dapat mensimulasikan limpasan yang terjadi yaitu sebagai berikut:

a. *Rain Gage*

Rain gage dapat menyuplai data presipitasi untuk satu atau lebih *subcatchment area* di satu wilayah penelitian. Parameter yang dibutuhkan adalah data curah hujan dapat berupa intensitas, volume maupun kumulatif volume, dan waktu interval (*Manual EPA SWMM*).

b. *Subcatchment*

Subcatchment adalah luasan yang menerima hujan dan mengalami infiltrasi atau mengubahnya menjadi limpasan (*SWMM User's Manual*). Data yang dimasukkan dalam *subcatchment* adalah sebagai berikut:

1. *Rain gage* (nama *rain gage* yang digunakan)

2. *Outlet* (nama node yang menerima *run off subcatchment*)
3. *Area* (luas *subcatchment*)
4. *Width* (panjang pengaliran)
5. % *Slope* (persentase kemiringan *subcatchment*)
6. % *Imperv* (persentase kedap air/koefisien pengaliran dan tata guna lahan)
7. *N-Imperv* (nilai *n* manning untuk aliran permukaan di daerah *impervious*)
8. *N-Perviousness* (nilai *n* manning untuk aliran permukaan di daerah *perviousness*)
9. % *Zero imperviousness* (persentase dari *impervious* area tanpa *depression storage*)
10. *Infiltration* (pilihan untuk metode perhitungan infiltrasi dan parameternya)

Subcatchment adalah unit hidrologi dari tanah di mana topografi dan element sistem drainase menunjukan permukaan runoff pada satu titik pelepasan (Manual EPA SWMM).

Pada *EPA SWMM* tinggi genangan atau limpasan hujan pada masing-masing *subcatchment* menggunakan konsep yang ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$D_1 = D_t + R_t \quad (2.29)$$

keterangan :

D_1 : kedalaman air setelah terjadi hujan (mm)

D_t : kedalaman air pada subdas pada saat waktu t (mm)

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

Pada *subcatchment* terdapat dua macam jenis area, yaitu *impervious* (kedap air) dan *pervious* (dapat dilalui air). Metode perhitungan infiltrasi pada *pervious area* menggunakan metode Horton sebagai berikut:

$$F_p = F_c + (F_o - F_c) e^{-kt} \quad (2.30)$$

keterangan :

F_p : angka infiltrasi dalam tanah (mm/jam)

F_c : angka infiltrasi minimum (mm/jam)

F_o : angka infiltrasi maksimum (mm/jam)

t : lama hujan (det)

k : koefisien penurunan head (1/sec)

Debit outflow dari limpasan *subcatchment* dihitung dengan persamaan Manning:

$$v = \frac{1}{n} D_2^{2/3} s^{1/2} \quad (2.31)$$

$$Q = vBD^2 \quad (2.32)$$

keterangan :

v : kecepatan (m/s)

n : koefisien Manning/

S : kemiringan lahan

B : lebar lahan/panjang pengaliran (m)

Q : debit (m³/s)

c. *Nodes/Links*

Nodes/Link adalah unit yang dimodelkan sebagai penerima *inflow* dan limpasan dari *subcatchment*. Data yang dimasukkan pada *nodes/link* adalah sebagai berikut:

1. *Nodes Invert*
2. *Node Max Depth*
3. *Node Pounded Area*

4. *Conduit Length*
5. *Conduit Geometry*
6. *Conduit Roughness*
7. *Flow Units*
8. *Link Offset*
9. *Routing Method*

d. *Junction*

Junction mewakili pertemuan saluran permukaan alam, lubang got dari sistem pembuangan, atau pipa pembuangan yang berfungsi menggabungkan saluran satu dengan saluran lain. (*Manual EPA SWMM*)

e. *Outfalls*

Outfalls merupakan titik pemberhentian dari sistem drainase yang digunakan sebagai batas hilir berupa akhir sistem drainase ataupun sungai (*Manual EPA SWMM*).

f. *Conduit*

Conduit adalah pipa atau saluran yang menghubungkan satu node ke node lain. Bentuk saluran dapat dipilih dari berbagai standar geometri terbuka maupun tertutup (*Manual EPA SWMM*).

SWMM menggunakan persamaan manning untuk menghitung debit yang terjadi di semua *junction*.

$$Q = \frac{1 \times A \times R^{2/3} \times S^{1/2}}{n} \quad (2.33)$$

Keterangan:

Q : debit (m^3 / detik)

n : koefisien manning

A : luas (m^2)

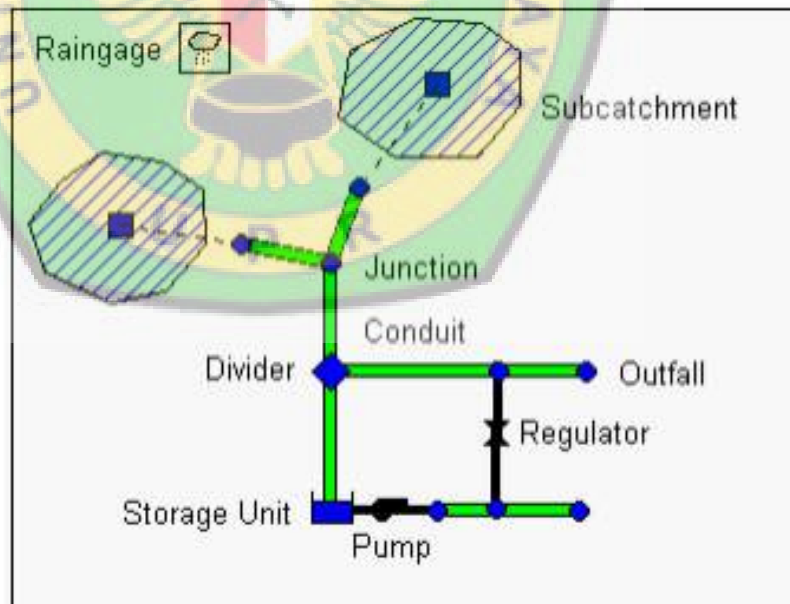
R : jari – jari hidrolis = $\frac{Ax}{W+2d_x} = d_x$ dengan $2d_x$ dapat diabaikan menjadi W

S : kemiringan jalan

2.6.3 Konsep Permodelan SWMM

1. Objek Visual

Gambar 2.9 menggambarkan bagaimana koleksi objek visual SWMM dapat diatur bersama mewakili sistem drainase *storm water*. Objek-objek ini dapat ditampilkan pada peta di SWMM ruang kerja. Bagian berikut menjelaskan masing-masing objek ini.



Gambar 2.9 Objek fisik yang digunakan untuk memodelkan sistem drainase

2. Rain Gage

Rain Gage adalah pemodelan yang mewakili curah hujan yang akan mensuplai area studi. Data hujan yang digunakan adalah data curah hujan yang telah diolah terlebih dahulu sehingga didapatkan format yang diinginkan. Beberapa format curah hujan dapat digunakan dalam simulasi ini.

- a) Intensitas curah hujan yaitu jumlah hujan rata-rata dalam satuan waktu tertentu.
- b) Volume curah hujan yaitu jumlah hujan yang tercatat pada pengukur hujan dalam waktu tertentu
- c) Curah hujan komulatif yaitu jumlah curah hujan yang terjadi dari hujan mulai turun hingga berhenti

Data masukkan untuk curah hujan:

- a) Tipe data hujan (intensitas, volume, kumulatif)
- b) Interval pencatatan curah hujan (60 menit, 15 menit, 5 menit, dan lain-lain)
- c) Sumber dari data hujan
- d) Nama sumber data hujan

3. *Subcatchments*

Subcatchments adalah unit hidrologi lahan yang elemen topografinya dan sistem drainase limpasan permukaan langsung ke titik pembuangan tunggal. Pengguna bertanggung jawab untuk membagi area studi menjadi jumlah *subcatchments* yang sesuai, dan untuk mengidentifikasi titik outlet masing-masing *subcatchment*. Titik pembuangan debit dapat berupa simpul sistem drainase atau *subcatchments* lainnya.

Subcatchments dibagi menjadi subarea yang dapat tembus dan kedap air. Limpasan permukaan dapat menyusup ke zona tanah atas dari

subarea tembus air, tetapi tidak melalui subarea kedap air. Aliran limpasan dari satu subarea dalam subcatchments bias dialihkan ke subarea lain, atau kedua subareas dapat mengalir ke *outlet Subcatchments*.

Infiltrasi curah hujan dari daerah *Subcatchments* sebelumnya ke tanah bagian atas yang tidak jenuh. Zona dapat digambarkan menggunakan lima model berbeda:

- a) Model infiltrasi Horton
- b) Model infiltrasi Horton yang dimodifikasi
- c) Model infiltrasi Green-Ampt
- d) Model infiltrasi Green-Ampt yang dimodifikasi
- e) Model infiltrasi SCS Curve Number

Laju Infiltrasi mempunyai klarifikasi tertentu dalam penentuan besarnya laju infiltrasi. Penentuan kelas infiltrasi dapat dilihat pada tabel 2.4 (*U.S Soil Conwertation*)

Tabel 2.12 Klarifikasi Besarnya Laju Infiltrasi

Kelas	Klasifikasi	Laju Infiltrasi (mm/jam)
0	Sangat Lambat	< 1
1	Lambat	1- 5
2	Agak Lambat	5 - 20
3	Sedang	20 – 63
4	Agak Cepat	63 - 127
5	Cepat	127 - 254
6	Sangat Cepat	➤ 254

Sumber: (U.S Soil Conwertation)

Masukkan parameter lain untuk *Subcatchment* adalah :

- a) Menentukan Rain Gage yang akan digunakan
- b) Menentukan outlet Subcatchment
- c) Menentukan tata guna lahan
- d) Menentukan Pervious dan Impervious Subarea
- e) Menentukan slope atau kemiringan Subcatchment
- f) Menentukan luas Subcatchment
- g) Menentukan bilangan manning untuk aliran permukaan
- h) Menentukan persentase Impervious Subarea

4. *Junction Nodes*

Junction merupakan titik pertemuan aliran. Dalam keadaan sebenarnya *Junction* dapat menggambarkan pertemuan antara saluran, manholes pada *Sewer System*, ataupun pada pipa saluran tertutup. Aliran yang akan masuk kedalam sistem drainase harus melalui *Junction*. Kelebihan air pada *Junction* dapat menyebabkan meluapnya air pada titik tersebut sehingga dapat digambarkan sebagai banjir pada titik tersebut.

Masukkan parameter untuk *Junction* adalah:

- 1) Elevasi dasar
- 2) Tinggi hingga permukaan tanah
- 3) Kolam penampungan pada permukaan ketika terjadi banjir (Optional)
- 4) Data debit dari luar (Optional)

5. *Outfall Nodes*

Outfall adalah terminal node dari sistem drainase yang digunakan untuk menentukan batas hilir akhir di bawah routing aliran Gelombang Dinamis. Untuk tipe lain dari *flow routing* mereka berperilaku sebagai persimpangan. Hanya sebuah tautan tunggal dapat dihubungkan ke *node outfall*, dan ada opsi untuk memiliki *outfall* dibuang ke permukaan *Subcatchments*.

Pada *Outfalls Nodes* dapat digambarkan dengan beberapa kondisi antara lain:

- a. Kedalaman aliran pada penghubung saluran
- b. Kondisi air pasang tertinggi (*Fixed Tide*)
- c. Tabel pasang surut

Parameter masukkan lainnya :

- a. Elevasi dasar
- b. Keadaan pasang surut
- c. Pintu engsel untuk mencegah Backwater melalui Outfalls

6. *Flow Divider Nodes*

Flow Divider Nodes adalah suatu titik yang membagi sebagian aliran ke saluran yang lain. Suatu divider hanya dapat membagi aliran menjadi dua. Ada empat jenis *Flow Dividers* berdasarkan cara membagi aliran:

- a. *Cutoff Divider* : membagi aliran berdasarkan jumlah yang telah ditentukan sebelumnya
- b. *Overflow Divider* : membagi aliran berdasarkan kapasitas maksimum saluran utama, jika saluran utama melewati kapasitas maksimum maka aliran akan langsung terbagi
- c. *Tabular Divider* : membagi aliran berdasarkan tabel fungsi total aliran
- d. *Weir Divider* : membagi aliran berdasarkan persamaan *weir* (Bendung)

7. *Storage Units*

Storage Units merupakan suatu titik di mana dapat menyediakan tampungan air dengan volume tertentu. Dalam hal ini *storage unit* menggambarkan suatu tampungan air dengan volume tertentu di mana air dapat ditahan untuk sementara. Volume tampungan diperoleh dari tabel fungsi luas permukaan kolam dengan kedalaman. Masukkan lainnya untuk *Storage Unit*:

- a. Elevasi dasar
- b. Kedalaman maksimum
- c. Tabel fungsi luas permukaan dan kedalaman
- d. Penguapan
- e. Genangan di permukaan (Optional)

8. *Conduits* (Saluran)

Conduits adalah penghubung yang mengalirkan air dari suatu node ke node lainnya dalam sistem pengaliran, dalam hal ini dapat berupa saluran terbuka ataupun tertutup. Penampang melintang saluran dapat ditentukan melalui tabel yang telah disediakan. Selain itu bentuk saluran alam yang tidak beraturan juga dapat digunakan. Masukkan untuk *Conduit* :

- a. Nama node masuk dan node keluar
- b. Panjang saluran
- c. Nilai kekasaran manning

Tabel 2.13 Nilai Kekasaran Manning (n) untuk Aliran Permukaan

No	type saluran	Baik sekali	Baik	Sedang	Jelek
Saluran buatan					
1	Saluran tanah, lurus teratur	0.017	0.020	0.023	0.025
2	Saluran tanah, yang dibuat dengan excavator	0.023	0.028	0.030	0.040
3	Saluran pada dinding batuan, lurus, teratur	0.023	0.030	0.033	0.035
4	Saluran pada dinding batuan, lurus, tidak teratur	0.035	0.040	0.045	0.045
5	Saluran batuan yang diledakkan, ada tumbuh-tumbuhan	0.025	0.030	0.035	0.040
6	Dasar saluran dari tanah, sisi saluran berbatu	0.028	0.030	0.033	0.035
7	Saluran lengkung, dengan kecepatan aliran rendah	0.020	0.025	0.028	0.030
Saluran Alam					
8	Bersih lurus, tidak berpasir, tidak berlubang	0.025	0.028	0.030	0.033
9	Seperti no. 8, tapi ada tumbuhan atau kerikil Melengkung, bersih, berlubang dan berdinding	0.030	0.033	0.035	0.040
10	pasir	0.033	0.035	0.040	0.045
11	Seperti no. 10 dangkal, tidak teratur	0.040	0.045	0.050	0.055
12	Seperti No. 10, berbatu dan ada tumbuh-tumbuhan	0.035	0.040	0.045	0.050
13	Seperti No. 11, sebagian berbatu	0.045	0.050	0.055	0.060
14	Aliran pelan, banyak tumbuhan dan berlubang	0.050	0.060	0.070	0.080
15	Banyak tumbuh-tumbuhan	0.075	0.100	0.125	0.150
Saluran Buatan, beton atau batu kali					
16	Saluran pasangan batu, tanpa finishing	0.025	0.030	0.033	0.035
17	Seperti no. 16 tapi dengan finishing	0.017	0.020	0.025	0.030
18	Saluran Beton	0.014	0.016	0.019	0.021
19	Saluran beton halus dan rata	0.010	0.011	0.012	0.013
20	Saluran beton pracetak dengan acuan baja	0.013	0.014	0.014	0.015
21	Saluran beton pracetak dengan acuan kayu	0.015	0.016	0.016	0.018

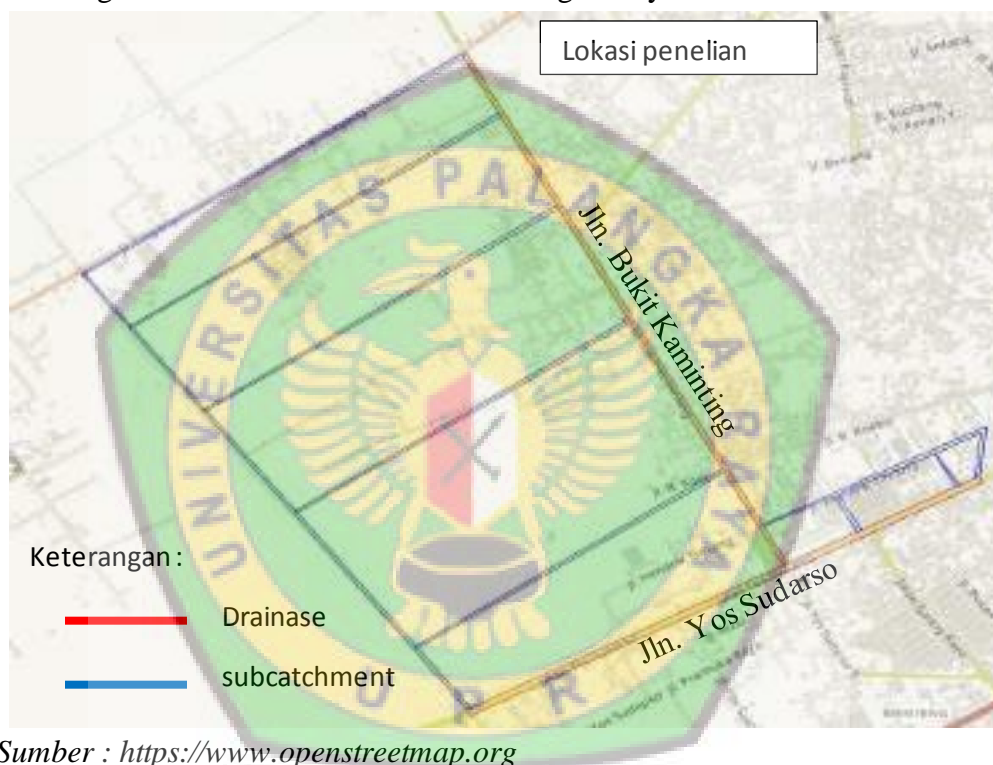
Sumber : Chow, 1985.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian hanya mencakup area drainase kawasan Jalan Bukit Kaminting dan Jalan Yos-Sudarso kota Palangka Raya:



Gambar 3.1 Peta Lokasi Persimpangan Jalan Bukit Kaminting dengan Jalan Yos Sudarso Kota Palangka Raya.

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan:

1. Data Primer

Data primer bersumber dari observasi lapangan dan pengukuran secara langsung di lapangan yang berupa data karakteristik saluran drainase,

peta topografi dan sistem jaringan yang ada di Jln. Bukit Kaminting dan Jln. Yos Sudarso.

2. Data Sekunder.

Data sekunder yang digunakan berupa data intensitas hujan harian maksimum 10 tahun di daerah kota Palangka Raya, perumahan, dan peta wilayah.

3.2.2 Alat

Alat yang digunakan, yaitu:

1. Laptop/komputer,
2. Alat tulis,
3. Kalkulator,
4. *Theodolite/waterpass*,
5. *Software* EPA SWMM 5.1 (*EPA Storm Water Management Model*)
6. *Software* ArcGIS

3.3 Pelaksanaan Penelitian

3.3.1 Data Primer

Pengumpulan data primer melalui proses observasi langsung, pengukuran, dan cek lapangan di lokasi penelitian. Adapun data tersebut meliputi:

- a. Data *existing* saluran drainase: lebar drainase, kedalaman drainase, tinggi saluran sisi tanggul, kekasaran drainase, lebar dasar drainase, kondisi drainase serta batas daerah tangkapan air untuk setiap *subcatchment*.
- b. Survey topografi dilakukan untuk mengetahui kemiringan saluran atau kemiringan pada lokasi penelitian. Survey dilakukan setiap jarak 100 meter menggunakan alat *total station*.
- c. Survey dimensi saluran dilakukan untuk mengetahui perubahan dimensi saluran yang terjadi pada lokasi penelitian.
- d. Survey debit *existing* dilakukan untuk mengetahui besarnya debit pada lokasi penelitian.

- e. Data tata guna lahan diperlukan untuk mengetahui koefisien pengali yang digunakan dalam perhitungan di dalam *software* SWMM.

3.3.2 Data Sekunder

Pengumpulan data sekunder dilakukan dengan cara mengumpulkan data melalui dokumen-dokumen yang tersedia pada dinas/instansi pengelola. Data-data tersebut meliputi:

- a. Peta wilayah, dari *satellite image* (*google map*).
- b. Data curah hujan harian dari Balai Sumber Daya Air (SDA) Kota Palangka Raya.
- c. Data curah hujan jam-jaman dari citra satelit.

3.4 Metode Simulasi Drainase dan Pengolahan Data

Pada tahap ini data yang telah didapat dianalisis dan diolah sesuai dengan kebutuhannya. Masing-masing data berbeda dalam analisis dan pengolahannya. Analisis dan pengolahan data meliputi kegiatan pengakumulasian, kemudian pengelompokan berdasarkan jenis data, dan selanjutnya dilakukan analisis masing-masing data.

Dengan analisis dan pengolahan data yang sesuai maka akan diperoleh variabel-variabel yang akan digunakan dalam simulasi sistem drainase di Jalan Bukit Kaminting dan Jalan Yos Sudarso.

3.4.1 Pengelolaan Data Curah Hujan

Data curah hujan yang dipakai adalah data curah hujan harian maksimum 10 tahun yang didapatkan dari Balai Sumber Daya Air (SDA) Kota Palangka Raya.

3.4.2 Mensimulasikan Jaringan Drainase

Data yang diperlukan untuk mensimulasikan jaringan drainase yaitu data data *existing* berupa:

- a. *Rain Gages*
- b. *Area*
- c. *Width*
- d. *% Slope*
- e. *N-Imperv*
- f. *N-Perviousness*
- g. *% Zero imperviousness*
- h. *Nodes Invert*
- i. *Node Max Depth*
- j. *Node Pounded Area*
- k. *Conduit Length*
- l. *Conduit Geometry*
- m. *Conduit Roughness*
- n. *Flow Units*
- o. *Link Offset*
- p. *Routing Method*

Setiap *subcatchment* dapat dibedakan atas *impervious area* (kedap air) dan *pervious area* (dapat dilalui air). Daerah *impervious* dapat dibedakan atas *depression storage* dan *non depression storage*. Ada 3 metode untuk menghitung infiltrasi yaitu:

- a. Metode *Green Ampt*,
- b. Metode *Horton*,
- c. Metode *Curve-Number*

Pada penelitian ini digunakan metode coba-coba dari ketiga metode tersebut untuk menghitung infiltrasi pada bagian *pervious*.

Debit outflow pada saluran dapat dihitung dengan persamaan (3.1) dan (3.2) :

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (3.1)$$

$$Q = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} A \quad (3.2)$$

Keterangan:

V : kecepatan (m/det)	A : luas penampang saluran (m ²)
n : koefisien Manning	Q : debit (m ³ /det)
S : kemiringan lahan	R : jari-jari hidrolik (m)

Conduit adalah pipa atau saluran yang menyalurkan air dari satu node ke node yang lain. Bentuk melintang dari saluran dapat dipilih dari beberapa macam bentuk standar yang disediakan SWMM. Menurut Rossman (2004), SWMM menggunakan persamaan Manning (persamaan (2) dan (3)) untuk menghitung debit pada *conduit*.

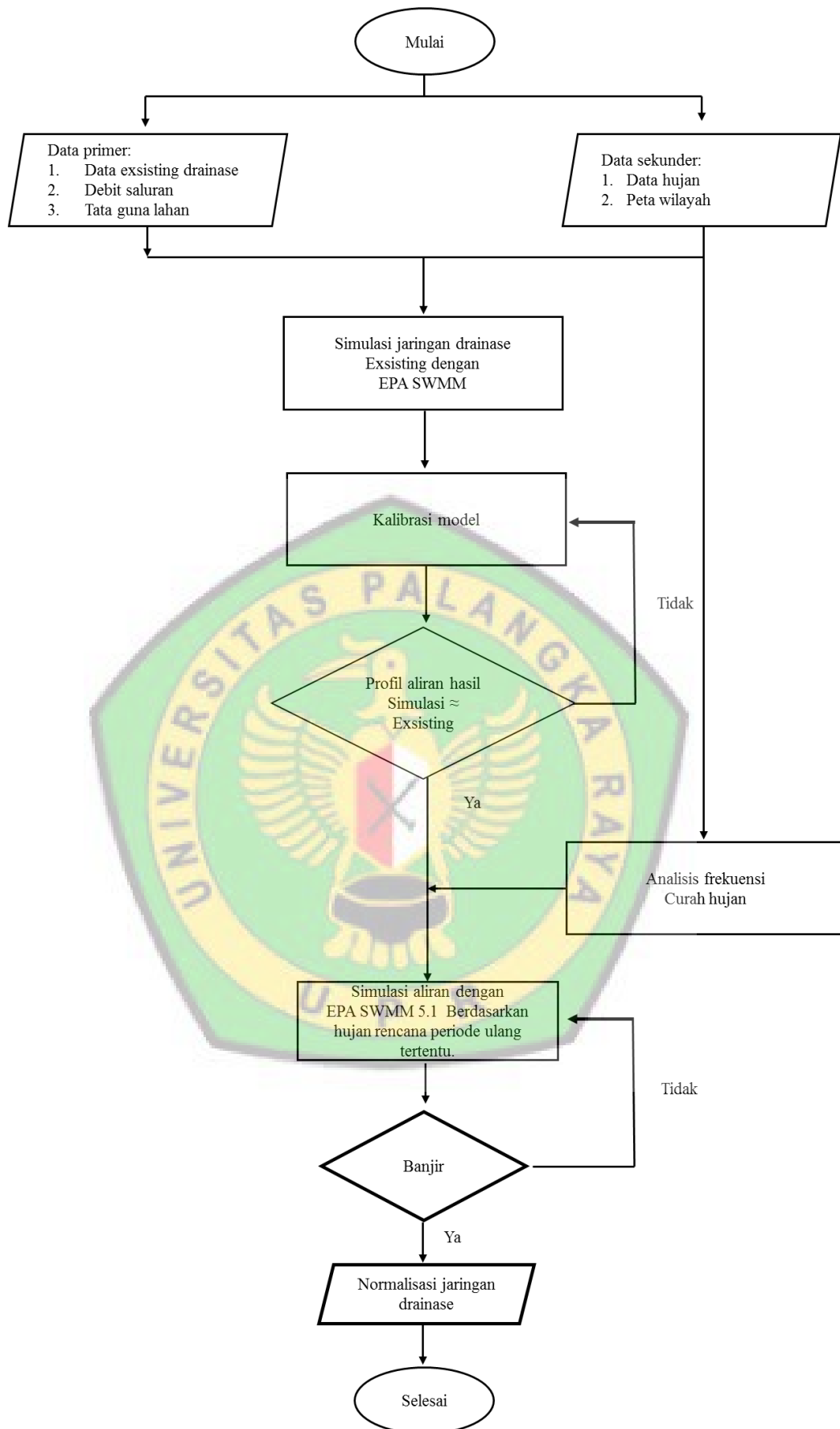
Junction adalah node-node sistem drainase yang berfungsi untuk menggabungkan satu saluran dengan saluran yang lain. *Outfall node* adalah titik pemberhentian dari sistem drainase yang digunakan untuk menentukan batas hilir (*downstream*).

Pengolahan data menggunakan SWMM dilakukan apabila semua data terkumpul. Langkah pengerjaan menggunakan *software* SWMM sebagai berikut:

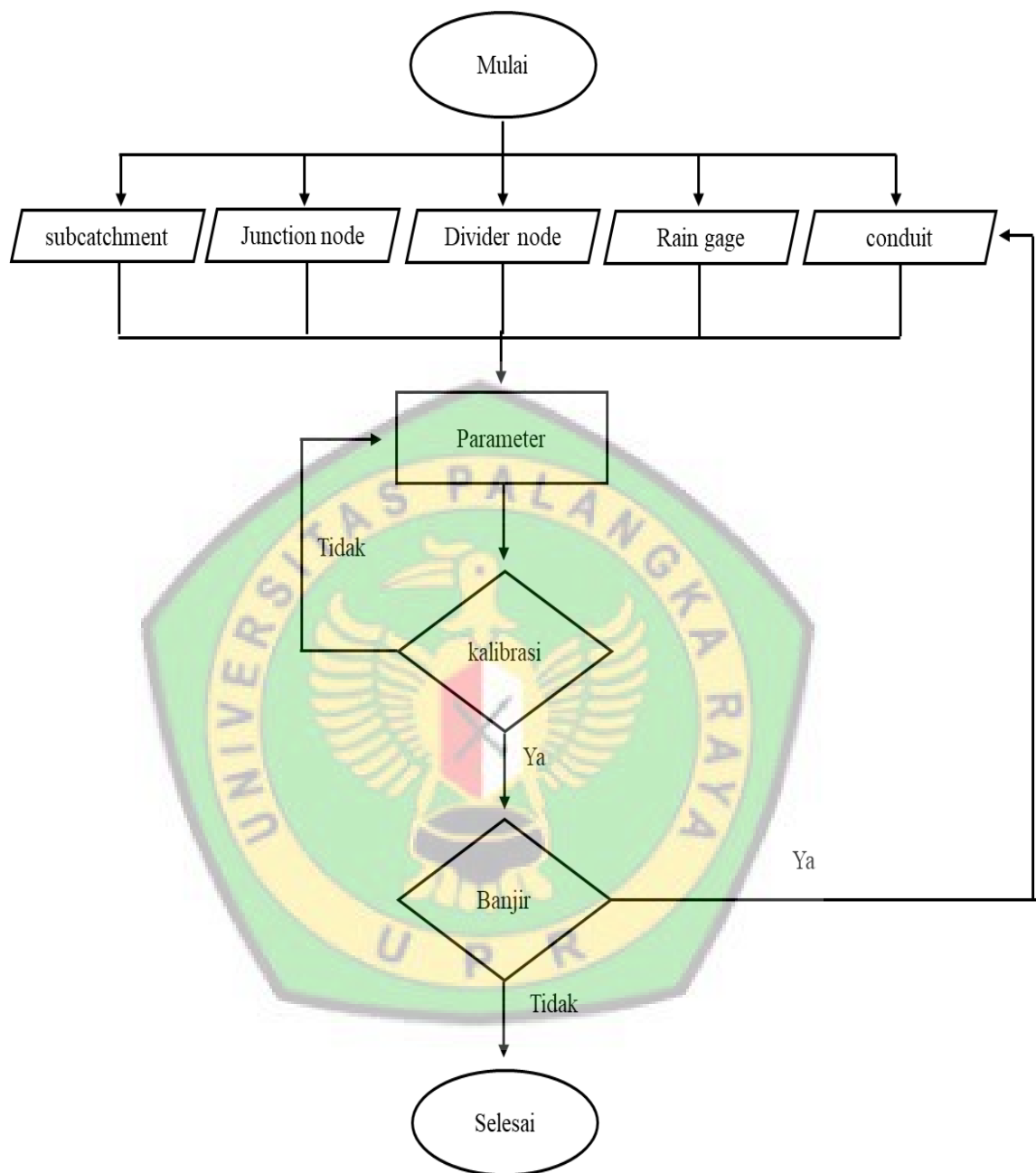
- a) Pengaturan *Project Setup Default*, yang bertujuan untuk mempermudah dalam memasukkan data setiap objek dalam sistem.
- b) Memasukkan gambar objek lokasi penelitian melalui menu *Backdrop*.
- c) Menggambar objek yaitu *subcatchment*, *junction*, *conduit*, *divider*, dan *outfalls*.
- d) Mengganti nilai default sesuai dengan kondisi objek melalui jendela *property editor*.
- e) Setelah semua data dimasukkan maka dilanjutkan dengan menjalankan simulasi pada menu *run simulation*.
- f) Setelah proses *running* berhasil, simulasi dapat dilihat melalui menu *report*

- g) Apabila saluran yang dievaluasi tetap banjir maka dilakukan pemodelan ulang dengan cara mengubah dimensi sampai saluran tidak banjir.
- h) Selesai.





Gambar 3.2 Flowchart Penelitian



Gambar 3.3 Flowchart Permodelan SWMM

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

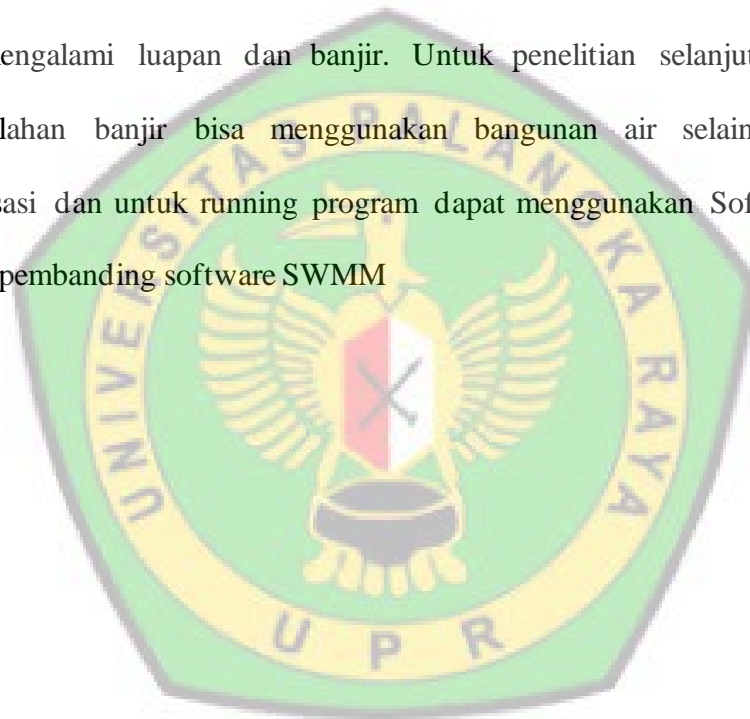
Dari hasil analisis yang dilakukan dalam evaluasi kinerja jaringan drainase di Jalan Bukit Kaminting dan Jalan Yos Sudarso, dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan hasil permodelan dengan software SWMM dengan input curah hujan kala ulang 5 tahun, dan dimensi *existing* jaringan drainase pada simpang Jln. Bukit Kaminting dan Jln. Yos Sudarso terdapat saluran yang meluap. Titik-titik saluran yang meluap antara lain, jaringan drainase Bukit keminting di titik Conduit 2, Conduit 3, conduit 4 Conduit 6, Conduit 7, conduit 8 dan conduit 9. Total panjang saluran drainase yang meluap adalah 1986,437 m atau sekitar 48% dari total panjang saluran drainase yang diamati.
2. Saluran yang direncanakan dalam penelitian ini berbentuk trapesium dan terdiri atas 9 variasi dimensi saluran sebagai berikut:
 - a. $B = 2,3 \text{ m}; H = 2,3 \text{ m}; T = 2,9 \text{ m}.$
 - b. $B = 2,7 \text{ m}; H = 2,7 \text{ m}; T = 3,4 \text{ m}.$
 - c. $B = 2,8 \text{ m}; H = 2,8 \text{ m}; T = 3,5 \text{ m}.$
 - d. $B = 3,5 \text{ m}; H = 3,5 \text{ m}; T = 4,3 \text{ m}.$
 - e. $B = 3,1 \text{ m}; H = 3,1 \text{ m}; T = 3,9 \text{ m}.$
 - f. $B = 4,0 \text{ m}; H = 4,0 \text{ m}; T = 5,0 \text{ m}.$
 - g. $B = 3,4 \text{ m}; H = 3,4 \text{ m}; T = 4,2 \text{ m}.$

Setelah perencanaan dimensi saluran drainase selanjutnya dilakukan analisis menggunakan EPA SWMM. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa saluran drainase yang direncanakan mempunyai kapasitas tampung yang cukup untuk menampung debit banjir rencana.

5.2 Saran

Perlu adanya pembersihan saluran drainase secara berkala pada saluran drainase yang mengalami luapan dan banjir. Untuk penelitian selanjutnya mengatasi permasalahan banjir bisa menggunakan bangunan air selain dengan cara normalisasi dan untuk running program dapat menggunakan Software lain guna sebagai pembanding software SWMM



DAFTAR PUSTAKA

- Chow, V. T. (1985). *HidroLika Saluran Terbuka*. Jakarta: Erlangga.
- Hasmar, 2002 *Drainase Perkotaan*. Edisi Pertama. Yogyakarta: Penerbit UII.
- Kamiana, I. M. (2018). *Teknik Perhitungan Pada Aliran Terbuka Dan Tertutup* . Yogyakarta: youbook (Teknosa).
- Kamiana, I. M. (2011). *Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Kensaku, s. s. (1993). *Hidrologi Untuk Pengariran,*. Jakarta: PT. Pradnya Paramitha.
- Rossmann, L. A. (2010). Storm Water Management Model User's MANUAL. *EPA/600/R-14/413b, National Risk Management Laboratory Office of Research and Development. United States Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.*
- Suripin. 2004. *Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi offset.
- Soemarto, C. (1987). *Hidrologi Teknik*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Soewarno. (1995). *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data Jilid 1*. Bandung: Nova.
- Triatmodjo, B. (2008). *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offse.