

TUGAS AKHIR

PENGARUH PERUBAHAN TATA GUNA LAHAN TERHADAP DEBIT DRAINASE DI KAWASAN STRATEGIS PARIWISATA NASIONAL BOROBUDUR (*THE IMPACT OF LAND USE CHANGES ON DRAINAGE DISCHARGE IN BOROBUDUR NATIONAL TOURISM STRATEGIC*)

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Assyfa Widy Kurnia
17511150**

**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2022**

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH PERUBAHAN TATA GUNA LAHAN
TERHADAP DEBIT DRAINASE KAWASAN STRATEGIS
PARIWISATA NASIONAL BOROBUDUR (*THE IMPACT
OF LAND USE CHANGES ON DRAINAGE DISCHARGE
IN BOROBUDUR NATIONAL TOURISM STRATEGIC*)**

Disusun Oleh:

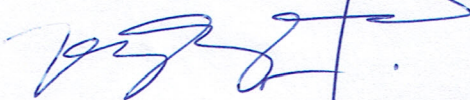
Assyfa Widy Kurnia
17511150

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji Pada Tanggal 22 Juni 2022

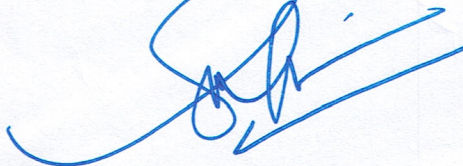
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing



Pradipta N.W., S.T., M.Eng
NIK : 135111102

Penguji



Sri Amini Y.A., Dr.Ir., M.T
NIK: 885110101

Penguji



Dinia A., S.T.M, Eng
NIK: 165110105

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Sri Amini Y.A., Dr.Ir., M.T
NIK: 885110101

HALAMAN PENGESAHAN

**PENGARUH PERUBAHAN TATA GUNA LAHAN
TERHADAP DEBIT DRAINASE KAWASAN STRATEGIS
PARIWISATA NASIONAL BOROBUDUR (*THE IMPACT
OF LAND USE CHANGES ON DRAINAGE DISCHARGE
IN BOROBUDUR NATIONAL TOURISM STRATEGIC*)**

Disusun Oleh:

Assyfa Widy Kurnia
17511150

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji Pada Tanggal 22 Juni 2022

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Pradipta N.W., S.T., M.Eng
NIK : 135111102

Penguji

Sri Amini Y.A., Dr. Ir., M.T
NIK: 885110101

Penguji

Dinia A., S.T.M, Eng
NIK: 165110105

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Sri Amini Y.A., Dr. Ir., M.T
NIK: 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan bahwa dengan ini laporan Tugas Akhir yang telah saya susun sebagai syarat dari penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun beberapa bagian dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas dengan sesuai kaidah, norma, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau terdapat plagiaris dalam beberapa bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang – undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 28 Maret 2022
Yang membuat pernyataan,



Assyfa Widy Kurnia
(17511150)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Allah SWT karena saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit Drainase di Kawasan Strategis Nasional Pariwisata Borobudur”. Tugas Akhir adalah salah satu syarat akademik yang harus dilakukan dalam rangka menyelesaikan studi tingkat strata satu di Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

Dalam proses penyusunan laporan Tugas Akhir, ada banyak kritik, saran serta dorongan motivasi dari berbagai pihak, *Alhamdulillah* Tugas Akhir yang bertajuk “Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit Drainase di Kawasan Strategis Nasional Pariwisata Borobudur” dapat diselesaikan dengan lancar. Berkaitan dengan ini, saya ingin mengucapkan terimakasih sedalam – dalamnya kepada:

1. Bapak Pradipta Nandhi Wardhana, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing,
2. Ibu Wiwik dan Bapak Yudha selaku ayah dan ibu saya dan adik saya Lala dan Zikri yang mendukung mental saya (karena saya sering menangis).
3. Bapak Darwin Thaufiek dan Ibu Lilies selaku om dan tante saya yang menyupport saya baik materi dan do’a
4. teman – teman yang telah berkorban baik dari segi materiil maupun spiritual dari awal hingga selesainya Tugas Akhir dikerjakan.

Yogyakarta, 23 Maret 2022
Penulis,

Assyfa Widy Kurnia
(17511150)

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xii
ABSTRAK	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tinjauan Pustaka	4
2.2 Penelitian Terdahulu	4
2.2.1 Analisis Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit Banjir di Wilayah Hilir Kali Angke	4
2.2.2 Pengaruh Hubungan Tata Guna Lahan Dengan Debit Banjir pada Daerah Aliran Sungai Malalayang	6
2.2.3 Studi Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit di DAS Citepus Kota Bandung	8
2.2.4 <i>Urbanization and Climate Change Impacts on Future Urban Flooding in Can Tho City, Vietnam</i>	9

2.2.5	<i>Assessing Changes in Urban Flood Vulnerability Through Mapping Land Use From Historical Information</i>	11
2.2.6	<i>Hydrological Impacts of Land Use-Land Cover Change and Detention Basins on Urban Flood Hazard: A Case Study of Poisar River Basin, Mumbai, India</i>	13
BAB III LANDASAN TEORI		17
3.1	Permasalahan Drainase Perkotaan	17
3.2	Daerah Tangkapan Air	18
3.3	Analisis Hidrologi	18
3.4	Analisis Curah Hujan Kawasan	19
3.5	Analisis Curah Hujan Harian	20
	3.5.1 Parameter Statistik	20
	3.5.2 Uji Kesesuaian Distribusi	24
	3.5.3 Distribusi Statistik	27
3.6	Intensitas Hujan	32
3.7	Koefisien Limpasan	33
3.8	Debit Rencana	34
3.9	Tata Guna Lahan	35
	3.9.1 Definisi Tata Guna	35
	3.9.2 Citra Satelit <i>Landsat 8</i>	36
3.10	Klasifikasi Citra	37
3.11	Sistem Informasi Geografi	38
3.12	Hidrolika Saluran	39
3.13	Bangunan Terjun	40
BAB IV METODE PENELITIAN		42
4.1	Metodologi Penelitian	42

4.2	Data Penelitian	43
4.3	Lokasi Penelitian	43
4.4	Analisis Data	44
4.5	Bagan Alir Penelitian	45
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		47
5.1	<i>Catchment Area</i> Kawasan Strategis Pariwisata Nasional Borobudur	47
5.2	Analisis Curah Hujan Kawasan Strategis Pariwisata Nasional Borobudur	50
5.3	Periode Kala Ulang	52
5.4	Analisis Frekuensi Data Hidrologi	53
	5.4.1 Uji Distribusi Probabilitas	55
	5.4.2 Perhitungan Periode Ulang Distribusi dengan Log Pearson Tipe III	59
5.5	Intensitas Hujan	61
5.6	Analisis Tata Guna Lahan dan Koefisien Limpasan	62
5.7	Debit Rencana	67
5.7	Rencana Tata Ruang Wilayah Kawasan Strategis Pariwisata Nasional Borobudur 2014 – 2034	68
	5.7.1 Koefisien Limpasan RTRW KSPN Borobudur	68
	5.7.2 Debit Rencana RTRW KSPN Borobudur	70
	5.7.4 Hidraulika Saluran	71
	5.7.6 Bangunan Terjun	77
5.8	Pembahasan	79
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		83
6.1	Kesimpulan	83

6.2	Saran	84
LAMPIRAN		85
	Tabel Persentase Peningkatan Koefisien Limpasan	86
DAFTAR PUSTAKA		89



DAFTAR TABEL

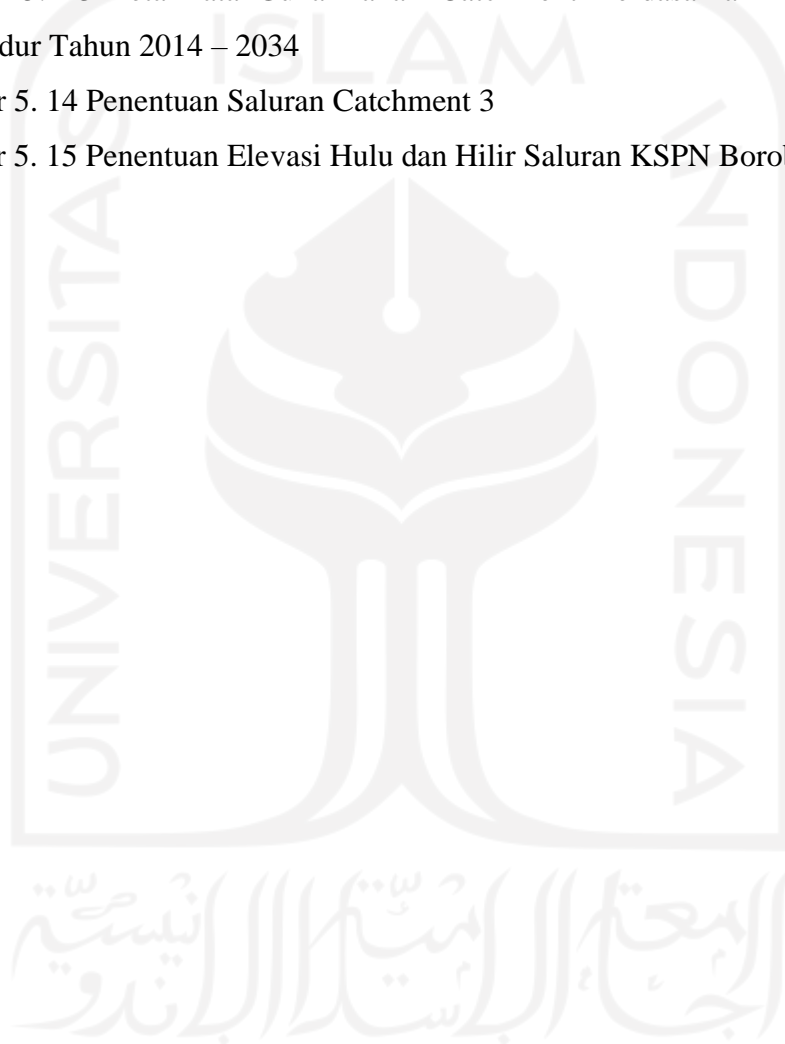
Tabel 2.1 Hasil Perhitungan Debit Banjir Rencana DAS Kali Angke	5
Tabel 2. 2 Perbandingan Penelitian Terdahulu	15
Tabel 3.1 Pesyaratan Parameter - Parameter Distribusi Statistik	23
Tabel 3. 2 Penentuan Kala Ulang dalam Perencanaan Drainase	23
Tabel 3. 3 Nilai Distribusi Chi Kuadrat	25
Tabel 3. 4 Nilai Kritis Uji Smirnov – Kolmogrov	26
Tabel 3. 5 Nilai Variabel Reduksi Gauss	27
Tabel 3. 6 Harga K untuk Metode Log Pearson Tipe III	30
Tabel 3. 7 Reduced Mean, Y_n	31
Tabel 3. 8 Reduced Standard Deviation, S_n	31
Tabel 3. 9 Reduced Variate, YTR	32
Tabel 3. 10 Koefisien Limpasan Daerah Urban	33
Tabel 3. 11 Karakteristik Spektral Kanal 8	36
Tabel 5. 1 Luas Setiap Area di KSPN Borobudur	50
Tabel 5. 2 Persentase Poligon Thiessen	51
Tabel 5. 3 Data Curah Hujan Harian Maksimum Tahunan	52
Tabel 5. 4 Periode Ulang (Return Period) Perencanaan Drainase Kota	53
Tabel 5. 5 Hasil Perhitungan Analisis Frekuensi Curah Hujan Kawasan Strategis Pariwisata Nasional Borobudur	53
Tabel 5. 6 Parameter Statistik Jenis Distribusi	55
Tabel 5. 7 Interval Kelas Distribusi Log Pearson Tipe III	57
Tabel 5. 8 Nilai X^2 Metode Log Pearson	57
Tabel 5. 9 Uji Distribusi Probabilitas Chi-Kuadrat	57
Tabel 5. 10 Perhitungan Uji Smirnov-Kolmogrov Distribusi Log Pearson III	58
Tabel 5. 11 Rekapitulasi Hasil Smirnov-Kolmogrov Uji Log Pearson III	59
Tabel 5. 12 Hasil Perhitungan Analisis Frekuensi Logaritma Curah Hujan KSPN Borobudur	59
Tabel 5. 13 Hasil Interpolasi Nilai K Distribusi Log Pearson Tipe III	61

Tabel 5. 14 Rekapitulasi Perhitungan Intensitas Periode Kala Ulang	62
Tabel 5. 15 Koefisien Limpasan KSPN Borobudur	65
Tabel 5. 16 Rekapitulasi Perhitungan Koefisien Limpasan Pada Setiap Catchment KSPN Borobudur	66
Tabel 5. 17 Rekapitulasi Debit Rencana KSPN Borobudur	67
Tabel 5. 18 Koefisien Limpasan RTRW KSPN Borobudur	69
Tabel 5. 19 Hasil Koefisien Limpasan RTRW KSPN Borobudur	69
Tabel 5. 20 Perbandingan Debit Rencana Tahun 2020 dan Debit Rencana RTRW KSPN Borobudur 2014 – 2034	70
Tabel 5. 21 Elevasi Hulu, Hilir, Panjang Saluran dan Trase Saluran	73
Tabel 5. 22 Dimensi U – Ditch	74
Tabel 5. 23 Tinggi Jagaan	76
Tabel 5. 24 Hasil Perhitungan <i>Qsaluran</i> KSPN Borobudur	77
Tabel 5. 25 Perhitungan Bangunan Terjun KSPN Borobudur	78
Tabel 5. 26 Peningkatan Koefisien Limpasan 2013 – 2020	79
Tabel 5. 27 Peningkatan Debit Tahun 2013 – 2020	81
Tabel 5. 28 Dimensi U – ditch dan Jumlah Bangunan Terjun	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Peta Tata Guna Lahan DAS Angke	5
Gambar 2.2 Wilayah Administrasi DAS Malalayang	6
Gambar 2.3 Grafik Tata Guna Lahan Sekitar DAS Malalayang	7
Gambar 2.4 Perbandingan Debit Banjir Hitungan dan Debit Langsung	7
Gambar 2.5 Lokasi DAS Citepus	8
Gambar 2.6 Grafik Tata Guna Lahan DAS Citepus	9
Gambar 2.7 Peta Tata Guna Lahan DAS Citepus Tahun 1986, 2011, 2031	9
Gambar 2.8 Peta Administrasi Kota Can Tho	10
Gambar 2.9 Tinggi Genangan Maksimum dan Luas Genangan Skenorio	11
Gambar 2.10 Jenis Penggunaan Lahan dan Okupasi Tanah di Wilayah yang Terkena Dampak Banjir Tahun 1911 - 2013 di Besancon	12
Gambar 2.11 Jenis Penggunaan Lahan dan Okupasi Tanah di Wilayah yang Terkena Dampak Banjir Tahun 1930 - 2013 di Kota Moissac	13
Gambar 2.12 Peta Lokasi DAS Poissar	13
Gambar 3. 1 Contoh DAS dengan Poligon Thiessen	19
Gambar 3. 2 Citra Landsat 8	37
Gambar 3. 3 Interpretasi Citra Satelit Landsat 8	38
Gambar 3. 4 Bangunan Terjun	41
Gambar 4. 1 Peta Kawasan Strategis Pariwisata Nasional Borobudur	44
Gambar 4. 2 Bagan Alir Penelitian	46
Gambar 5. 1 Aplikasi Quantum GIS	47
Gambar 5. 2 Peta KSPN Borobudur Dengan Batas Administrasi	48
Gambar 5. 3 Catchment – Catchment Area KSPN Borobudur	49
Gambar 5. 4 Poligon Thiessen KSPN Borobudur	51
Gambar 5. 5 Grafik Uji Smirnov Kolmogrov	56
Gambar 5. 6 Peta Tata Guna Lahan Catchment KSPN Borobudur Tahun 2013	63
Gambar 5. 7 Peta Tata Guna Lahan Catchment KSPN Borobudur Tahun 2016	64
Gambar 5. 8 Peta Tata Guna Lahan Catchment KSPN Borobudur Tahun 2020	64

Gambar 5. 9 Peta Pembagian dan Penentuan Saluran Primer KSPN Borobudur	65
Gambar 5. 10 Grafik Perhitungan Koefisien Limpasan KSPN Borobudur	66
Gambar 5. 11 Grafik Perhitungan Debit Drainase KSPN Borobudur Kala Ulang 5 Tahun	68
Gambar 5. 12 Debit Drainase KSPN Borobudur Kala Ulang 10 Tahun	68
Gambar 5. 13 Peta Tata Guna Lahan Catchment Berdasarkan RTRW KSPN Borobudur Tahun 2014 – 2034	70
Gambar 5. 14 Penentuan Saluran Catchment 3	72
Gambar 5. 15 Penentuan Elevasi Hulu dan Hilir Saluran KSPN Borobudur	73



DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

\bar{x}	= Nilai rata - rata hujan untuk sampel curah hujan
$\sum X_i$	= Total nilai curah hujan ke i
n	= Jumlah data curah hujan
S_d	= Standar deviasi
C_v	= Koefisien kurtosis
C_s	= Koefisien kemencengan curah hujan
σ	= Nilai standar deviasi untuk populasi curah hujan
μ	= Nilai rerata untuk populasi curah hujan
X_i	= Curah hujan ke – i
a	= Parameter kemencegan
C_k	= Koefisien kurtosis
X_T	= Perkiraan besar nilai pada periode ulang T tahun
K_T	= Faktor frekuensi
Y_T	= Perkiraan besar nilai pada periode ulang T tahun
\bar{Y}	= Nilai rata – rata hitung
Y	= Nilai Log (x)
K	= Karakteristik Probabilitas nilai Y
S_n	= <i>reduced standard deviation</i>
Y_n	= <i>reduced mean</i>
Y_{TR}	= <i>reduced variate</i>
O_i	= jumlah nilai pengamatan pada sub-kelompok i
E_i	= jumlah nilai teoritis pada sub-kelompok i
G	= jumlah sub kelompok
R	= 2 untuk distribusi normal dan binomial
I	= Intensitas hujan (mm/jam)
t	= lama hujan (jam)
R_{24}	= curah hujan maksimum harian (mm)
t_c	= Waktu Konsentrasi (jam)

- A = Luas Daerah Drainase (km^2)
- C_i = Koefisien pengaliran yang sesuai dengan kondisi lapangan
- A_i = luas daerah yang diperhitungkan nilainya
- V = Kecepatan aliran dalam saluran drainase (m/s)
- R = Radius hidrolis (m)
- Δh = Beda elevasi (m)
- L_s = Panjang lintasan aliran di dalam saluran/sungai (m)
- S = Kemiringan saluran drainase
- P = Keliling basah saluran drainase (m)
- n = Koefisien kekasaran *manning*



ABSTRAK

Kawasan Strategis Pariwisata Nasional Borobudur (KSPN Borobudur) adalah salah satu kawasan pariwisata yang mengalami peningkatan jumlah penduduk setiap tahun. Kenaikan tersebut mengakibatkan berkurangnya daerah resapan air sehingga KSPN Borobudur sering terjadi banjir, akibat dari saluran drainase yang tidak dapat menampung kelebihan air. Dalam hal ini, perlu dilakukan analisa hubungan tata guna lahan terhadap debit drainase di KSPN Borobudur, kemudian dibandingkan debit drainase tahun terakhir analisis dengan debit Rencana Tata Ruang Wilayah KSPN Borobudur (RTRW KSPN) Borobudur dan dilakukan perhitungan desain dimensi saluran yang dapat menampung kelebihan air akibat meningkatnya koefisien limpasan.

Metode yang digunakan dalam analisis debit drainase adalah metode rasional dengan penentuan koefisien limpasan berdasarkan hasil analisis *Landsat 8* pada QGIS di tahun 2013, 2016 dan 2020. Saluran yang digunakan dalam menampung kelebihan air adalah U – ditch yang bersifat *open channel flow*.

Berdasarkan hasil analisis diperoleh debit terbesar terjadi pada daerah padat penduduk yaitu catchment 3 yang di dalamnya terdapat Candi Borobudur dengan besar debit pada tahun 2013 dengan kala ulang 5 dan 10 tahun berturut – turut 7,534 m³/detik dan 8,018 m³/detik , pada tahun 2016 pada kala ulang 5 dan 10 tahun yaitu 7,266 m³/detik dan 7,878 m³/detik dan pada tahun 2020 periode ulang 5 dan 10 tahun yaitu 7,664 m³/detik dan 8,836 m³/detik. Perbandingan debit analisis tahun 2020 dan debit RTRW KSPN Borobudur diperoleh terdapat 4 catchment yang kurang dari debit analisis tahun 2020 sedangkan sisa *catchment* yang lain memiliki nilai debit analisis tahun 2020 lebih besar daripada RTRW KSPN Borobudur, adapun 4 catchment yang masih aman adalah *catchment 7, catchment 11, catchment 12 dan catchment 15*.

Kata Kunci : Tata Guna Lahan , Debit Drainase, Koefisien Limpasan, Saluran, Citra Landsat, KSPN Borobudur.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jumlah penduduk terus mengalami peningkatan, hal ini karena bertambahnya lahan kawasan permukiman, sehingga kawasan resapan semakin berkurang. Pertambahan penduduk, menyebabkan daerah resapan air berkurang sehingga air yang seharusnya terinfiltrasi ke dalam tanah melimpas ke sungai dan mengakibatkan terjadinya banjir di daratan.

Kawasan Strategis Pariwisata Nasional Borobudur (KSPN Borobudur) adalah salah satu kawasan pariwisata padat penduduk yang juga menjadi sektor penunjang perekonomian di Kabupaten Magelang. Cakupan wilayah Borobudur ditetapkan pada Perpres Nomor 58 Tahun 2014 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Borobudur (RTRW Borobudur) dan sekitarnya dengan mempertimbangkan beberapa aspek sebagai berikut:

1. Perlindungan situs Candi Borobudur, Candi Pawon, dan Candi Mendut,
2. Sebaran situs purbakala yang belum tergali, dan
3. Pengendalian bentang pandang Candi Borobudur.

Kawasan Borobudur terbagi menjadi 2 sub kawasan yaitu:

1. Sub kawasan pelestarian 1 (SP-1) dengan luas 1.344 Ha dari pusat candi hingga radius 5 Km, merupakan kawasan pelestarian utama.
2. Sub kawasan pelestarian 2 (SP-2) dengan luas 6.779 Ha, berada setelah radius 5 Km hingga radius 10 Km, termasuk sebagian wilayah Kulon Progo.

Dalam perkembangannya, terdapat beberapa lokasi daerah genangan yang terjadi pada sistem jaringan jalan utama menuju kawasan strategis pelestarian wilayah Candi Borobudur. Berdasarkan informasi, Desa Ngrajeg Kecamatan Mungkid tanggal 26 Oktober 2020, ruas jalan terendam air sebatas mata kaki sepanjang tiga kilometer akibat meluapnya saluran drainase di sisi kiri dan kanan jalan (Hidayat, 2020). Genangan yang terjadi pada KSPN Borobudur dengan intensitas tinggi mengakibatkan pergerakan lalu lintas masyarakat menjadi terbatas.

Terjadinya gangguan lingkungan dan kerugian ekonomi dari segi pariwisata KSPN Borobudur akibat terhambatnya mobilitas barang dan jasa, sehingga perlu dianalisis hubungan tata guna lahan dan debit drainase pada KSPN Borobudur.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perubahan tata guna lahan yang terjadi pada KSPN Borobudur selama tahun 2013, 2016 dan 2020 dengan menggunakan citra satelit *Landsat 8* untuk menentukan besar nilai koefisien limpasan?
2. Bagaimana pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap besarnya nilai debit drainase pada KSPN Borobudur selama tahun 2013, 2016 dan 2020?
3. Bagaimana perbandingan analisis debit drainase tahun 2020 dan debit drainase berdasarkan RTRW tahun 2014 – 2034 pada KSPN Borobudur?
4. Bagaimana desain saluran drainase yang memadai sehingga mampu menampung debit rencana pada KSPN Borobudur?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang akan dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui perubahan tata guna lahan yang terjadi pada KSPN Borobudur selama tahun 2013, 2016 dan 2020 dengan menggunakan citra satelit *Landsat 8* untuk menentukan besar nilai koefisien limpasan.
2. Mengetahui pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap besarnya nilai debit drainase pada KSPN Borobudur selama tahun 2013, 2016 dan 2020.
3. Mengetahui perbandingan analisis debit drainase tahun 2020 dan debit drainase RTRW tahun 2014 – 2034 pada KSPN Borobudur.
4. Mengetahui desain saluran drainase yang memadai sehingga mampu menampung debit rencana pada KSPN Borobudur.

1.4 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang diharapkan akan didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui hubungan tata guna lahan dan debit drainase pada KSPN Borobudur.
2. Dapat mengetahui solusi saluran drainase yang memadai di KSPN Borobudur.
3. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat membangun pengetahuan dan memfasilitasi pembelajaran masyarakat dan banyak pihak, terkhusus pihak pemangku kebijakan pembangunan sebagai dasar pertimbangan pengembangan wilayah.

1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, terdapat batasan – batasan masalah yang perlu diketahui. Adapun batasan – batasan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tidak membahas segi sosial, ekonomi, dan pariwisata akibat pengaruh tata guna lahan.
2. Digunakan data hujan terkini selama 11 tahun yang tersedia dari awal tahun 2007 hingga akhir tahun 2017 yang diperoleh dari Balai PU SDA Taru Probolo.
3. Wilayah penelitian berada di Kawasan Strategis Pariwisata Nasional Borobudur.
4. Digunakan data peta tata guna lahan Landsat 8 dari tahun 2013, 2016 dan 2020 yang diperoleh dari USGS (*United States Geological Survey*)
5. Analisis tata guna lahan dan perhitungan luas area digunakan dengan menggunakan aplikasi QGIS.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka atau kajian pustaka berisi mengenai perbandingan antara penelitian – penelitian sejenis yang sudah dilakukan dengan penelitian yang nantinya akan dilakukan. Dalam rentetan proses penelitian baik sesaat, sebelum, maupun sesudah penelitian. Peneliti biasanya diminta untuk mengajukan tinjauan pustaka guna dijadikan sebagai dasar gambaran bagi peneliti untuk menentukan topik permasalahan, serta menjawab permasalahan – permasalahan yang ada selama proses penelitian berlangsung.

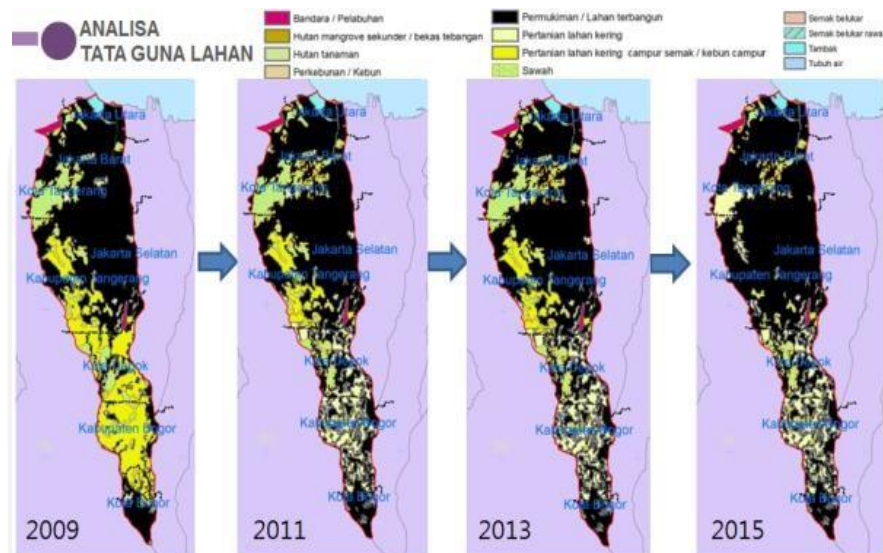
2.2 Penelitian Terdahulu

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa penelitian – penelitian sebelumnya yang dijadikan sebagai kajian dan referensi dalam menyelesaikan penelitian ini, berikut adalah penelitian – penelitian terdahulu yang mengacu pada topik pengaruh debit drainase terhadap tata guna lahan.

2.2.1 Analisis Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit Banjir di Wilayah Hilir Kali Angke

Penelitian ini dilakukan oleh Suherman dan Firmanysah (2017), tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan debit banjir akibat adanya perubahan tata guna lahan pada daerah pengamatan. Penelitian ini berlokasi di wilayah hilir Kali Angke. Dalam analisis hidrologi dilakukan pengelompokan data curah hujan menggunakan 4 stasiun yaitu di Stasiun Ranca Bungur, Stasiun Sawangan, Stasiun Cengkareng Drain dan Stasiun Metereologi Soekarno Hatta. Kemudian dilakukan analisis curah hujan dan analisis frekuensi dengan menggunakan metode aljabar dan metode *Thiessen*. Setelah itu dilakukan analisis distribusi frekuensi menggunakan metode Gumbel, Normal, Log Normal, dan metode Log Pearson Tipe III. Setelah itu dilakukan uji kecocokan menggunakan metode Chi-Kuadrat sehingga didapat bahwa jenis sebaran Log Pearson III dipilih untuk menghitung curah hujan rencana.

Dalam penelitian ini, analisis tata guna lahan dilakukan dengan digitasi *image* dari peta tata guna lahan tahun 2009, 2011, 2013 dan 2015 yang didapat dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan melalui aplikasi ArcGis, berikut adalah hasil digitasi gambar peta penggunaan lahan pada Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2. 1 Peta Tata Guna Lahan DAS Angke

(Sumber: Firmansyah, 2017)

Selanjutnya dilakukan perhitungan debit banjir rencana dengan menggunakan metode rasional. Adapun hasil perhitungan debit banjir rencana DAS Kali Angke terdapat pada tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Hasil Perhitungan Debit Banjir Rencana DAS Kali Angke

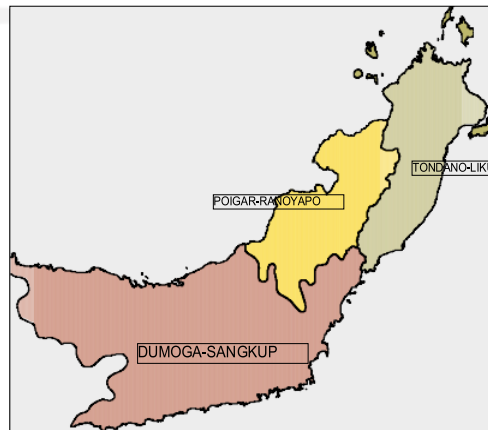
Kala Ulang	Q_{2009}	Q_{2011}	Q_{2013}	Q_{2015}	Prosentase Perubahan
5 Tahun	2753,35	3317,04	3317,04	3932,51	42,83 %
10 Tahun	3218,82	3877,29	3877,29	4597,00	42,82 %

(Sumber : Firmansyah, 2017)

Kemudian dilakukan perhitungan analisis kapasitas tampang saluran di satu titik di hilir Kali Angke. Dari perhitungan tampang saluran didapat debit yang mampu ditampung di satu titik hilir Kali Angke adalah sebesar 122,96 m³. Sehingga dapat disimpulkan dari penelitian yang telah dilakukan, bahwa perlu adanya upaya konservasi air dengan sumur resapan dan kolam retensi pada permukiman di sekitar Kali Angke.

2.2.2 Pengaruh Hubungan Tata Guna Lahan Dengan Debit Banjir pada Daerah Aliran Sungai Malalayang

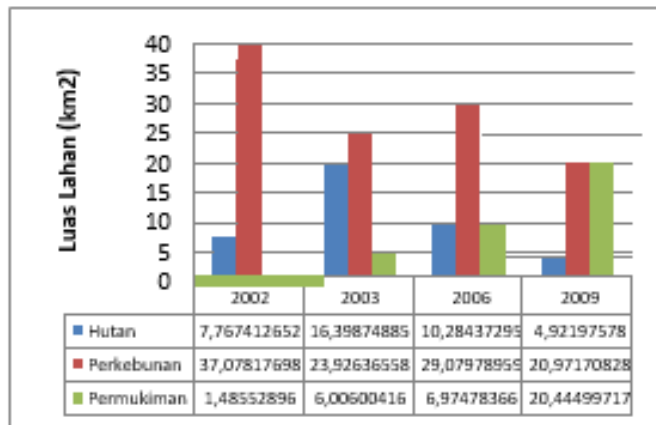
Penelitian ini diteliti oleh Halim (2014), penelitian ini berlokasi di sekitar Daerah Aliran Sungai Malalayang, Adapun gambar peta lokasi DAS Malalayang tertera pada Gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2 Wilayah Administrasi DAS Malalayang

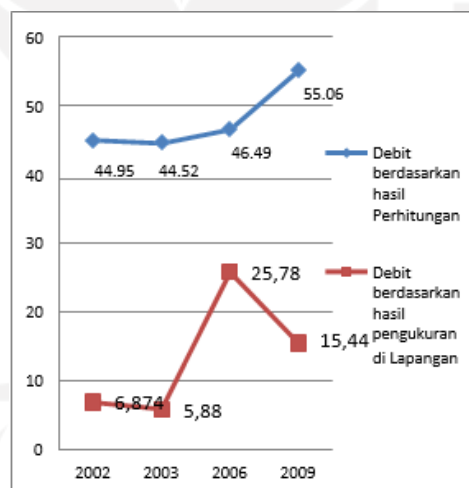
(Sumber : Halim, 2014)

Penelitian ini didasari oleh debit pada Daerah Aliran Sungai Malalayang yang mengalami peningkatan dari tahun 2003 hingga pada tahun 2009, selain itu terjadi perubahan tata guna lahan di sekitar DAS Malalayang diakibatkan oleh penambahan jumlah penduduk serta perkembangan daerah perkotaan dan naiknya tingkat ekonomi di daerah tersebut. Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan intensitas curah hujan berdasarkan data curah hujan harian maksimum yaitu kala ulang 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun yang selanjutnya dilakukan perhitungan debit banjir dengan memperhatikan nilai koefisien pengaliran (C). Dalam menganalisa tata guna lahan, didapat hasil lahan perkebunan dan hutan memiliki perubahan yang sangat variatif, sedangkan untuk wilayah permukiman, mengalami peningkatan sebesar 3% dari tahun 2002 hingga tahun 2003, selanjutnya dari tahun 2003 hingga 2006 mengalami peningkatan sebesar 10%, dan dari tahun 2006 hingga tahun 2009 mengalami peningkatan yang cukup besar sebesar 29% , adapun hasil perhitungan tata guna lahan dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3 Grafik Tata Guna Lahan Sekitar DAS Malalayang
(Sumber : Halim, 2014)

Selanjutnya dilakukan perhitungan debit banjir dengan metode rasional, hasil perhitungan yang didapat nantinya akan dibandingkan dengan debit banjir sebenarnya, adapun perbandingan antara debit banjir hasil hitung dan debit banjir secara langsung dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut.

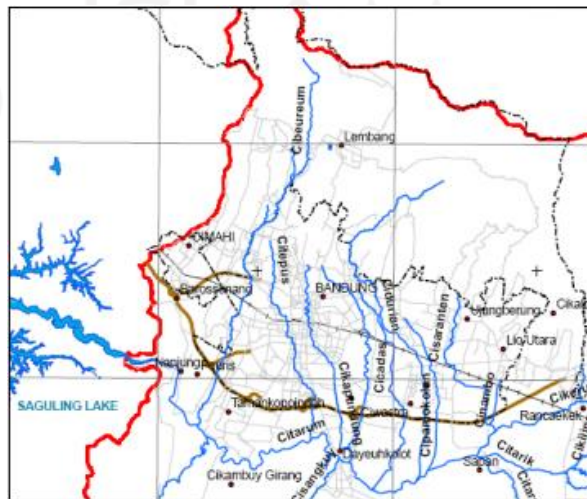


Gambar 2.4 Perbandingan Debit Banjir Hitungan dan Debit Langsung
(Sumber : Halim, 2014)

Dari grafik tersebut antara debit perhitungan dan debit langsung memiliki pola yang sama besar debit di tahun 2002, 2003, dan 2006 sama – sama mengalami peningkatan debit, sehingga dapat disimpulkan pengaruh besarnya koefisien dan nilai intensitas hujan suatu kawasan sangat berpengaruh pada besarnya debit banjir di DAS Malalayang.

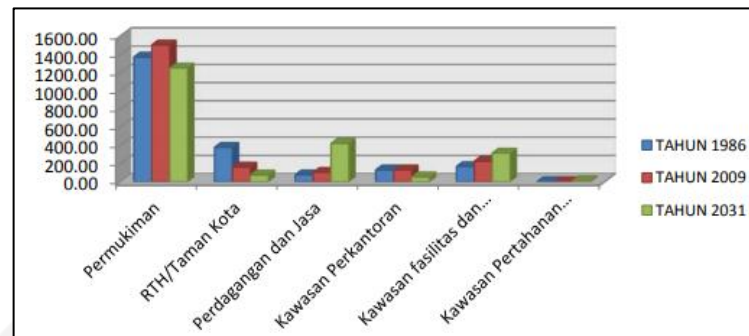
2.2.3 Studi Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit di DAS Citepus Kota Bandung

Penelitian ini diteliti oleh Untari (2009) penelitian ini dilatarbelakangi oleh konversi daerah terbuka menjadi daerah permukiman sehingga berkurangnya kawasan daerah resapan. Penelitian ini berlokasi di DAS Citepus, Kotamadya Bandung, adapun letak lokasi DAS Citepus terdapat pada peta Gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5 Lokasi DAS Citepus
(Sumber: Untari , 2009)

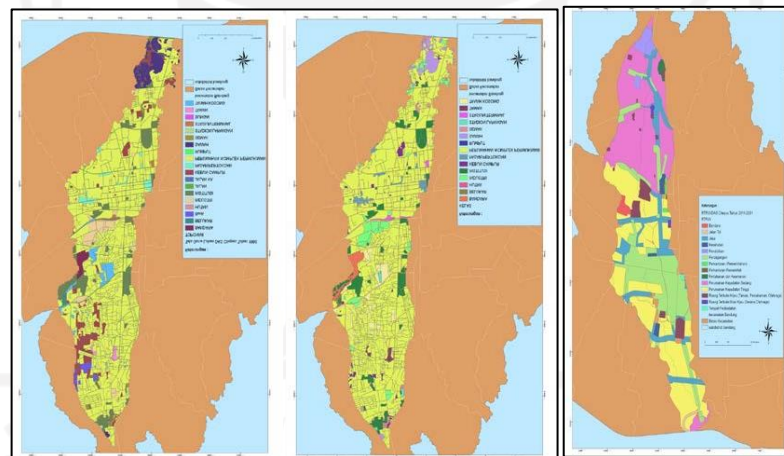
Dalam melakukan perhitungan analisis curah hujan menitan maksimum tahunan digunakan metode distribusi statistik. Kemudian dilakukan analisa intensitas curah hujan dengan menggunakan metode Talbot, metode Ishiguro, dan metode Sherman. Selanjutnya sebelum melakukan perhitungan debit banjir, terlebih dahulu diperhitungkan nilai koefisien (C) di kawasan sekitar DAS Citepus. Setelah dilakukan perhitungan nilai C rata – rata pertahun tiap sub DAS, kemudian dilakukan perhitungan debit banjir, selanjutnya hasil debit yang sudah dihitung dibandingkan dengan debit konservasi. Setelah dilakukan perhitungan debit kemudian dibandingkan nilai besarnya tata guna lahan dari tahun ke tahun, adapun besar luas lahan pada tahun 1986, 2009, dan 2031 dapat dilihat pada grafik Gambar 2.6 berikut.



Gambar 2.6 Grafik Tata Guna Lahan DAS Citepus

(Sumber: Untari , 2009)

Dari grafik dapat diketahui, dari tahun ke tahun luas lahan mengalami perubahan yang variatif, namun ada beberapa sektor yang mengalami peningkatan diantaranya adalah sektor perdagangan dan kawasan fasilitas umum. Koefisien *run off* DAS Citepus dari tahun ke tahun terus mengalami perubahan, adapun gambaran peta tata guna lahan di sekitar DAS Citepus pada tahun 1986, 2009 dan tahun 2031 pada Gambar 2.7 berikut.



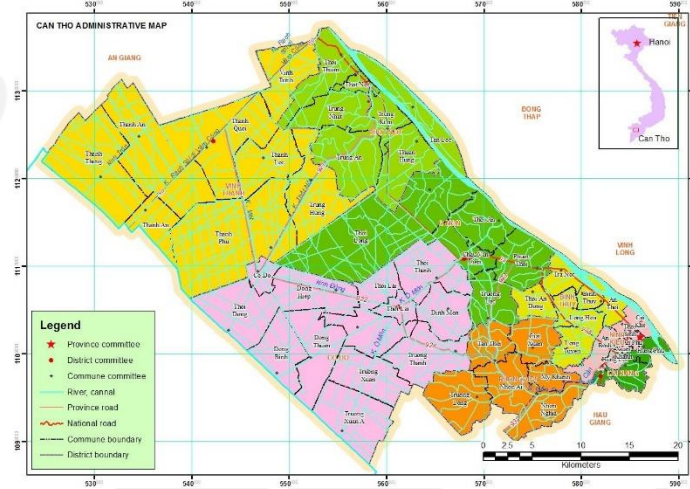
Gambar 2.7 Peta Tata Guna Lahan DAS Citepus Tahun 1986, 2011, 2031

(Sumber: Untari , 2009)

2.2.4 Urbanization and Climate Change Impacts on Future Urban Flooding in Can Tho City, Vietnam

Penelitian ini diteliti oleh Huong dan Pathirana (2013), penelitian ini didasari oleh meningkatnya urbanisasi di suatu perkotaan dapat memberikan dampak pada meningkatnya perubahan kawasan terbuka menjadi kawasan permukiman, sehingga terjadilah limpasan di kawasan perkotaan. Dalam penelitian ini dilakukan studi kasus di Kota Can Tho, Vietnam. Hal ini dikarenakan Kota Can Tho memiliki

beberapa permasalahan utama seperti pengaruh cuaca yang didorong oleh dampak naiknya tinggi muka air laut, peningkatan limpasan sungai yang disebabkan oleh perubahan cuaca, meningkatnya limpasan di perkotaan dikarenakan ketidakberaturan tata ruang kota, peningkatan hujan ekstrem yang disebabkan oleh pertumbuhan penduduk dan perubahan mikrocuaca, adapun gambar peta administrasi Kota Can Tho dapat dilihat pada Gambar 2.8 sebagai berikut.

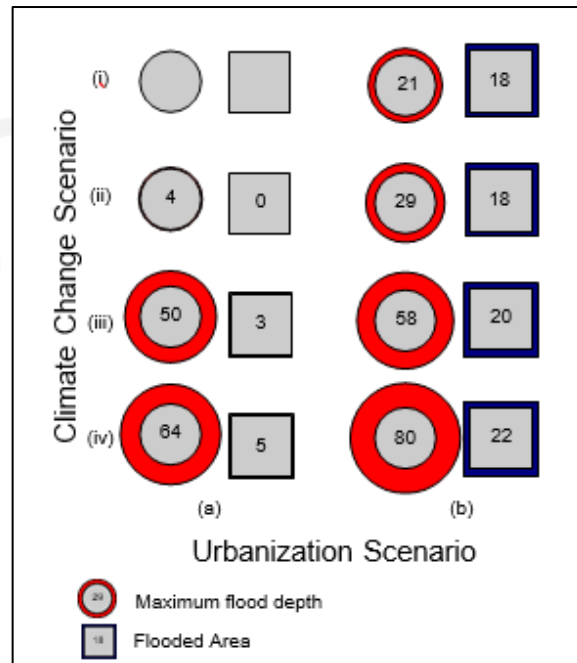


Gambar 2.8 Peta Administrasi Kota Can Tho
(Sumber: Huong dan Pathirana, 2013)

Dalam metode penyelesaiannya, penelitian ini menggunakan beberapa permodelan yaitu pada pertumbuhan di wilayah perkotaan digunakan permodelan *Dinamic-Ego*. Permodelan *Dinamic-Ego* tidak hanya memodelkan perubahan tata guna lahan, namun dapat memodelkan perubahan lingkungan. Untuk permodelan atmosfer, digunakan permodelan *Weather, Research and Forecasting (WRF)* yang dapat melakukan simulasi secara menyeluruh terhadap proses atmosferik yang berupa pengaruh angin, kelembaban, formasi awan hingga presipitasi. Sedangkan untuk banjir di perkotaan digunakan permodelan EPA-SWMM 5 (EPA,2010) dengan alasan banjir di perkotaan yang bersifat dinamis dan alamiah.

Berikut adalah gambaran mengenai tinggi genangan maksimum dan luas genangan pada 8 skenario yang telah dibuat Huong dan Pathirana pada Gambar 2.9 tanda lingkaran menunjukkan besar kedalaman banjir dan tanda kotak menunjukkan jumlah titik area yang tergenang, bagian (a) menunjukkan daerah tanpa urbanisasi, (b) daerah dengan urbanisasi, sedangkan (i) menunjukkan kondisi cuaca saat ini,

(ii) tinggi muka air yang meningkat menjadi 50 cm, (iii) tinggi muka air yang meningkat menjadi 100 cm, dan (iv) tinggi muka air yang meningkat menjadi 100 cm dan disertai peningkatan koefisien sungai akibat naiknya tingkat emisi (A1F1).



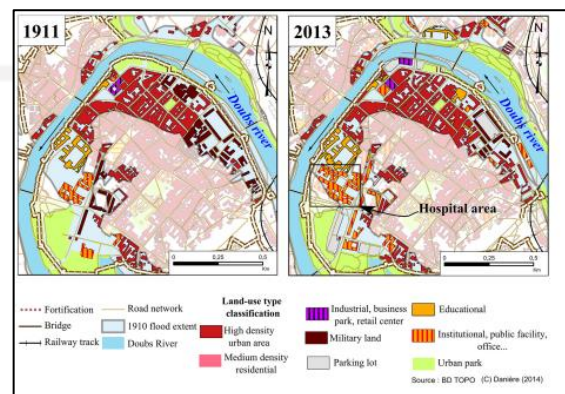
Gambar 2.9 Tinggi Genangan Maksimum dan Luas Genangan Skenario

(Sumber: Huong dan Pathirana, 2013)

2.2.5 Assessing Changes in Urban Flood Vulnerability Through Mapping Land Use From Historical Information

Penelitian ini diteliti oleh Boudou Daniere dan Lang (2016), penelitian ini membahas tentang penilaian secara temporal mengenai evolusi kerentanan banjir di dua kota, yaitu di kota Besancon dan Moissac, Prancis. Pada penelitian ini, digunakan metode pemetaan dinamis menggunakan GIS untuk menentukan informasi historis tata guna lahan terlebih dahulu, selanjutnya dilakukan analisis kerentanan banjir yaitu dengan menganalisis eksposur yang didasarkan pada perubahan populasi dari waktu ke waktu, kemudian dilakukan analisis pengelompokan tata guna lahan menggunakan peta sejarah dan foto udara, terakhir dilakukan analisis peta sejarah dengan berintegrasi pada GIS. Pada Kota Besancon, penggunaan tata guna lahan di tahun 1910 dan di tahun 2013 tidak terjadi perubahan yang signifikan. Terdapat beberapa peningkatan fasilitas publik sebesar 12%, namun terdapat penurunan di beberapa sektor seperti pada sektor militer terjadi

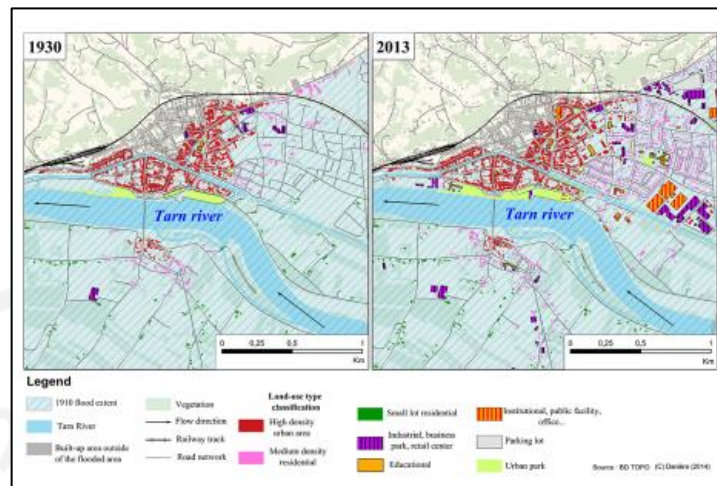
penurunan area sebesar 74% kawasan perumahan yang mengalami penurunan sebesar 24%, adapun jenis penggunaan lahan dan okupasi tanah di wilayah yang terkena dampak banjir tahun 1911 - 2013 di Besançon dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Jenis Penggunaan Lahan dan Okupasi Tanah di Wilayah yang Terkena Dampak Banjir Tahun 1911 - 2013 di Besançon

(Sumber: Boudou, Daniere dan Lang, 2016)

Sedangkan pada Kota Moissac sehubungan dengan banjir bulan Maret tahun 1930 membuktikan bahwa terdapat kawasan terbangun telah berkembang sebesar 12% antara tahun 1930 dan 2013. Perluasan spasial tersebut dijelaskan oleh pembangunan perumahan baru dan bangunan – bangunan perekonomian di sebelah timur pusat kota, adapun gambar Jenis penggunaan lahan dan okupasi tanah di wilayah yang terkena dampak banjir tahun 1930 – 2013 di Kota Moissac ada pada Gambar 2.11 di halaman selanjutnya.

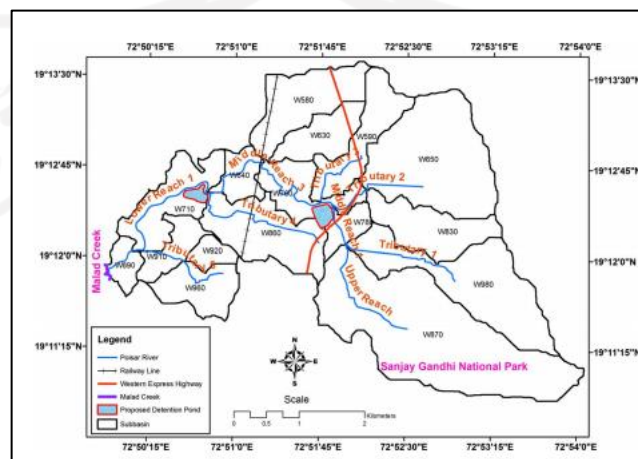


Gambar 2.11 Jenis Penggunaan Lahan dan Okupasi Tanah di Wilayah yang Terkena Dampak Banjir Tahun 1930 - 2013 di Kota Moissac

(Sumber: Boudou, Daniere dan Lang, 2016)

2.2.6 Hydrological Impacts of Land Use-Land Cover Change and Detention Basins on Urban Flood Hazard: A Case Study of Poisar River Basin, Mumbai, India

Penelitian ini diteliti oleh Zope, Eldho dan Jothiphrakash (2017). Dalam penelitian ini perubahan tutupan lahan dari tahun 1996 hingga 2009 diperkirakan dari *toposheet* dan citra satelit untuk DAS Poisar pada Sungai Mumbai, di India. Dilakukan delineasi DAS Sungai Poisar sebesar 20,19 km² adapun peta lokasi DAS Poisar dapat dilihat pada Gambar 2.12 berikut.



Gambar 2.12 Peta Lokasi DAS Poisar

(Sumber: Zope, Eldho dan Jothiphrakash, 2017)

Untuk daerah disekitar DAS Poissar terjadi peningkatan luas terbangun dari 16,64% menjadi 44,08% dan terjadi pengurangan di kawasan terbuka dari 43,09% menjadi 7,38% dengan mengacu pada daerah tangkapan air tahun 1996 hingga tahun 2009. Untuk penilaian banjir dilakukan pendekatan melalui aplikasi HEC-HMS, HEC-GEOHMS, dan HEC-RAS.

Permodelan tersebut kemudian akan terintegrasi di SIG (Sistem Informasi Geografis) dan penginderaan jarak jauh untuk mengestimasi dataran banjir dan untuk menganalisis bahaya banjir, selanjutnya dilakukan analisis dampak perubahan tutupan lahan dan efek kolam detensi pada limpasan permukaan, sehingga didapat hasil adanya peningkatan debit puncak dari 2,6% hingga 20,9% untuk perubahan tata guna lahan pada tahun 1996 hingga 2009, selain itu terjadi penurunan debit puncak pada kolam detensi dari kala ulang 2 tahun sebesar 10,7% menjadi 34,5% kala ulang 200 tahun, selain itu terjadi perluasan daerah banjir 14,22% menjadi 42,5% untuk periode kala ulang 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun dan, 100 tahun terhadap pengaruh tata guna lahan tahun 1996 serta lahan tahun 2009 .

Tabel 2. 2 Perbandingan Penelitian Ter/dahulu

No.	Judul Penelitian Sejenis Sebelumnya	Tujuan Penelitian Sebelumnya	Metode	Lokasi	Penulis
1	Analisis Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit Banjir di Wilayah Hilir Kali Angke	Mengetahui kemampuan kapasitas tampang dalam menampung debit banjir melalui faktor perubahan tata guna lahan.	Metode Rasional	Hilir Kali Angke	Suherman dan Firmanysah
2	Pengaruh Hubungan Tata Guna Lahan Dengan Debit Banjir pada Daerah Aliran Sungai Malalayang	Mengetahui perubahan debit banjir di DAS Malalayang melalui variabel perubahan tata guna lahan.	Metode Rasional	DAS Malalayang	Halim
3	Studi Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit di DAS Citepus Kota Bandung	Mengetahui perubahan debit banjir di DAS Citepus melalui variabel perubahan tata guna lahan	Metode Rasional	DAS Citepus	Untari
4	<i>Urbanization and Climate Change Impacts on Future Urban Flooding in Can Tho City, Vietnam</i>	Mengetahui pengaruh perubahan urbanisasi dan cuaca terhadap banjir di wilayah perkotaan di daerah can tho, Vietnam dengan menggunakan aplikasi WRF, <i>Dinamic Ego</i> dan SWMM .	Metode Rasional	Kota Can Tho, Vietnam	Huong dan Pathirana
5	<i>Assessing Changes in Urban Flood Vulnerability Through Mapping Land Use From Historical Information</i>	Mengetahui kerentanan banjir pada dua kota Besancon dan Moissac melalui perubahan tata guna	Metode Rasional	kota Besancon dan Moissac, Prancis	Boudou Daniere dan Lang

		lahan dengan menggunakan aplikasi GIS			
6	<i>Hydrological Impacts of Land Use-Land Cover Change and Detention Basins on Urban Flood Hazard: A Case Study of Poisar River Basin, Mumbai, India</i>	Mengetahui dampak perubahan tata guna lahan pada DAS Poissar dengan menggunakan variabel tata guna lahan melalui aplikasi HEC-RAS.	Metode Rasional	DAS Poisar pada Sungai Mumbai, di India	Zope, Eldho dan Jothiphakash

Sumber: Suherman dan Firmansyah (2017), Halim (2014), Untari (2009), Huong dan Pathirana (2013), Daniere dan Lang (2016), Zope dkk (2017)

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Permasalahan Drainase Perkotaan

Drainase adalah prasarana yang berfungsi mengalirkan kelebihan air dari suatu kawasan ke badan penerima. Drainase perkotaan adalah drainase di wilayah kota yang memiliki fungsi mengelola atau mengendalikan air permukaan, sehingga tidak mengganggu dan atau merugikan masyarakat setempat. Menurut Undang – Undang Nomor 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air, air adalah semua air yang terdapat di atas maupun di bawah permukaan tanah, termasuk dalam pengertian ini adalah air permukaan, air tanah, air hujan, dan air laut yang berada di darat. Air yang meluap melebihi saluran drainase disebut banjir. Banjir adalah salah satu peristiwa yang sangat mengganggu manusia, sehingga perlu dilakukan penanganan sedini mungkin agar dapat mencegah terjadinya banjir dalam jangka waktu yang cukup lama, oleh sebab itu dibutuhkan penerapan pengelolaan drainase perkotaan yang baik di kawasan tersebut. Menurut Kementerian Pekerjaan Umum dan Rumah Rakyat PUPR Nomor 12/PRT/M/2014 dalam perkembangannya pengelolaan drainase perkotaan bertujuan untuk:

1. Mewujudkan penyelenggaraan sistem drainase perkotaan yang memenuhi persyaratan tertib administrasi, ketentuan teknis, ramah lingkungan dan memenuhi keandalan kelayakan,
2. Menciptakan lingkungan yang sehat dan bebas dari genangan,
3. Meningkatkan konservasi, pedayagunaan dan pengendalian air.

Dari ketiga tujuan tersebut, diharapkan analisa tata guna lahan dapat membantu pengelolaan drainase perkotaan yang lebih baik di masa mendatang. Banjir sering terjadi di kawasan perkotaan dibandingkan di kawasan lainnya, sebab pada kawasan perkotaan banyak lahan terbuka yang beralih fungsi menjadi kawasan perindustrian, kawasan perdagangan dan kawasan permukiman, hal ini mengakibatkan sedikitnya daerah resapan air, sehingga air hujan yang jatuh akan mengumpul di saluran – saluran drainase kemudian saluran tersebut menjadi penuh

dan air akan menggenang di kawasan tersebut. Dalam penanganan banjir di kawasan perkotaan, perlu diketahui terlebih dahulu tata guna lahan di kawasan tersebut serta besarnya debit drainase di kawasan tersebut, sehingga dapat diperkirakan lokasi – lokasi di perkotaan yang rawan banjir dan membutuhkan penanganan prioritas dari pemerintah seperti pembuatan lahan terbuka, pembuatan sumur – sumur resapan, dan pelebaran/penambahan saluran drainase.

3.2 Daerah Tangkapan Air

Daerah tangkapan air (DTA) atau disebut juga *catchment area* adalah luas daratan yang dibatasi oleh daerah aliran sungai yang bermuara ke sungai, cekungan atau waduk. Daerah tangkapan air merupakan luasan kecil dari daerah aliran sungai (DAS). Daerah di tepi luar daerah tangkapan air merupakan titik dengan nilai elevasi tertinggi, oleh sebab itu gravitasi menyebabkan semua hujan dan limpasan air di daerah tangkapan menuruni bukit sehingga air terkumpul di anak sungai, sungai, danau atau lautan atau singkatnya air mengalir dari titik elevasi tertinggi menuju ke titik elevasi terendah (outlet). Hujan yang jatuh diluar tepi suatu DTA, dikategorikan sebagai area DTA yang berbeda, dan mengalir ke sungai atau anak sungai lainnya.

3.3 Analisis Hidrologi

Proses hidrologi adalah gambaran fenomena hidrologi yang mengalami perubahan terus – menerus, terutama perubahan terhadap waktu (Limantara, 2018). Fenomena hidrologi berupa besar curah hujan, debit drainase, tinggi muka air, akan selalu berubah setiap waktu, untuk suatu tujuan tertentu data – data hidrologi dapat dikumpulkan, dianalisis, disajikan hingga ditafsirkan dalam beberapa ketentuan tertentu, dalam analisis hidrologi digunakan data curah hujan. Data curah hujan adalah suatu data yang berupa jumlah besaran hujan yang diukur dalam suatu tinggi (mm) yang jatuh pada permukaan tanah yang terakumulasi pada periode waktu tertentu. Hujan adalah komponen yang paling penting dalam proses hidrologi, karena hujan ini yang akan dialihragamkan menjadi aliran sungai melalui limpasan permukaan (*surface runoff*), aliran antara (*interflow*), dan aliran tanah (*ground water flow*), sehingga pengukuran hujan perlu dilakukan dengan lebih cermat

dengan jumlah hujan yang dimaksud ialah jumlah seluruh hujan yang terjadi di DAS tersebut. (Sri Harto, 2000). Dalam penentuan seri data yang akan digunakan dalam Analisa frekuensi digunakan 2 metode yaitu:

1. Seri maksimum (*maximum annual series*)

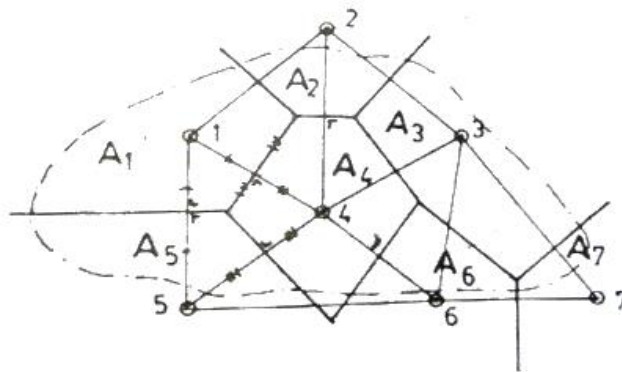
Data ditentukan dengan mengambil satu data maksimum setiap tahunnya.

2. Seri parsial (*partial series*)

Data ditentukan dengan menentukan batas bawah dan pertimbangan spesifikasi tertentu.

3.4 Analisis Curah Hujan Kawasan

Dalam suatu kawasan terdapat stasiun - stasiun hujan guna mengukur hujan di daerah tersebut. Dalam pengukuran curah hujan dibutuhkan kelengkapan alat pengukur yang mumpuni, serta seringnya dilakukan pengukuran curah hujan akan mempengaruhi kualitas data hujan. Data – data hujan antara satu pos stasiun hujan dan pos hujan lainnya pasti berbeda, sehingga apabila terdapat beberapa stasiun hujan dalam suatu kawasan maka dilakukan pengukuran curah hujan rerata, digunakan metode poligon thiessen dalam menentukan curah hujan kawasan, adapun penjelasannya adalah sebagai berikut.



Gambar 3. 1 Contoh DAS dengan Poligon Thiessen

(Sumber: Limantara, 2018)

$$d = \frac{A_1 d_1 + A_2 d_2 + A_3 d_3 + \dots + A_n d_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (3.4)$$

dengan :

$$\begin{aligned}
 A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n &= \text{Luas daerah (km}^2\text{)} \\
 d &= \text{Tinggi hujan rata – rata daerah (mm)} \\
 d_1 + d_2 + \dots + d_n &= \text{Tinggi hujan pada pos penakar 1,2,\dots,n (mm)}
 \end{aligned}$$

3.5 Analisis Curah Hujan Harian

Data curah hujan harian yang didapatkan selanjutnya akan dianalisis menggunakan beberapa metode analisis frekuensi tujuannya adalah untuk mendapatkan probabilitas hujan di masa mendatang dengan menganggap bahwa hujan saat ini akan tetap sama dengan hujan di masa mendatang. Dalam ilmu statistik, terdapat empat jenis metode distribusi sebaran yang biasa digunakan dalam menganalisis hujan harian yaitu distribusi Gumbel, distribusi Normal, distribusi Log Normal dan distribusi Log Pearson III (Suripin, 2003). Perhitungan hujan harian dihitung secara sistematis sebagai berikut.

3.5.1 Parameter Statistik

Terdapat beberapa komponen – komponen dalam perhitungan analisis frekuensi yaitu nilai rerata (\bar{x}), standar deviasi, koefisien variasi (C_v), koefisien kemencengan (C_s) serta koefisien kurtosis (C_k). Dalam penelitian ini, dilakukan perhitungan hujan harian menggunakan data 11 tahun hal ini dikarenakan untuk analisis debit drainase digunakan data minimum 10 tahun sehingga data hujan dapat dikatakan sebagai data yang ideal, adapun komponen – komponen parameter statistik dijelaskan sebagai berikut.

1. Nilai rerata

Nilai rerata adalah angka yang mewakili nilai keseluruhan data. Adapun untuk mencari curah hujan digunakan persamaan berikut.

$$\bar{x} = \frac{\sum X_i}{n} \quad (3.6)$$

dengan :

$$\bar{x} = \text{Nilai rata - rata hujan}$$

$\sum X_i$ = Total nilai curah hujan ke i

n = Jumlah data curah hujan

2. Standar Deviasi

Dalam perhitungan curah hujan, digunakan ukuran sebaran yaitu menggunakan nilai standar deviasi, dengan rumus persamaan sebagai berikut.

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.7)$$

dengan :

S_d = Standar deviasi

\bar{x} = Nilai rata - rata hujan

X_i = Total nilai curah hujan ke i

n = Jumlah data curah hujan

3. Koefisien Variasi (C_v)

Koefisien variasi (*coefficient of variation*) adalah nilai perbandingan antara nilai standar deviasi dan nilai rerata sebaran. Adapun persamaan koefisien variasi adalah sebagai berikut.

$$C_v = \frac{S_d}{\bar{x}} \quad (3.8)$$

dengan:

C_v = Koefisien kurtosis

S_d = Nilai Standar deviasi

\bar{x} = Nilai rata rata hujan

4. Koefisien Kemencengan (C_s)

Koefisien kemencengan (*coefficient of Skewness*) digunakan untuk mengetahui derajat asimetris dari suatu sebaran. Adapun koefisien kemencengan adalah sebagai berikut.

Untuk populasi:

$$C_s = \frac{a}{\sigma^2} \quad (3.9)$$

$$a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^3 \quad (3.10)$$

Untuk Sample:

$$C_s = \frac{a}{S_d^2} \quad (3.11)$$

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^3 \quad (3.12)$$

dengan:

C_s = Koefisien kemencengan curah hujan

σ = Nilai standar deviasi untuk populasi curah hujan

S_d = Standar deviasi untuk sample curah hujan

μ = Nilai rerata untuk populasi curah hujan

\bar{x} = Nilai rerata untuk sampel curah hujan

X_i = Curah hujan ke - i

n = Jumlah data curah hujan

a = Parameter kemencegan

5. Koefisien Kurtosis

Adalah koefisien yang digunakan untuk mengukur atau menghitung variabel puncak distribusi (*peakedness*). Adapun berikut adalah persamaan koefisien kurtosis.

$$C_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^4 n^3}{(\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2)^2} \frac{n^3}{(n-1)(n-2)(n-3)} \quad (3.13)$$

dengan:

C_k = Koefisien kurtosis

X_i = Nilai varian ke i

\bar{x} = Nilai rerata untuk sampel curah hujan

n = Jumlah data curah hujan

S_d = Standar deviasi untuk sample curah hujan

Dalam pengerjaan analisis frekuensi Penentuan sebaran diambil melalui parameter – parameter yang dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Pesyaratan Parameter - Parameter Distribusi Statistik

No	Distribusi	Persyaratan
1	Normal	$C_s \approx 0$ $C_k \approx 3$ $(\bar{x} \pm s) = 68,27\%$ $(\bar{x} \pm 2s) = 95,45\%$
2	Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$ $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
3	Gumbel	$C_s = 1,14$ $C_k = 5,4$
4	Log Pearson III	Selain dari nilai di atas

(Sumber Triatmodjo, 2010)

Sebelum menentukan uji kecocokan sebaran, terlebih dahulu ditentukan periode kala ulang yang akan digunakan. Berdasarkan Permen PU Nomor 12 Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan, penentuan kala ulang dalam perencanaan drainase terdapat pada Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3. 2 Penentuan Kala Ulang dalam Perencanaan Drainase

Tipologi Kota	Daerah Tangkapan Air (Ha)			
	<10	10 – 100	100 – 500	>500
Kota Metropolitan	2 Tahun	2 – 5 Tahun	5 – 10 Tahun	10 – 25 Tahun
Kota Besar	2 Tahun	2 – 5 Tahun	2 – 5 Tahun	5 – 20 Tahun
Kota Sedang	2 Tahun	2 – 5 Tahun	2 – 5 Tahun	5 – 10 Tahun
Kota Kecil	2 Tahun	2 Tahun	2 Tahun	2 – 5 Tahun

(Sumber : Permen PU Nomor 12 Tahun 2014, Lampiran 1)

3.5.2 Uji Kesesuaian Distribusi

1. Uji Chi – Kuadrat

Dalam melakukan uji Chi – Kuadrat, berikut adalah prosedur – prosedur yang harus dilakukan.

- a. Mengurutkan data pengamatan dimulai dari yang terbesar hingga terkecil, atau sebaliknya,
- b. Mengelompokkan data menjadi G sub-grup yang masing – masing beranggotakan minimal 4 data pengamatan,
- c. Menjumlahkan data pengamatan sebesar O_i tiap – tiap sub-grup,
- d. Menjumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebagai nilai E_i ,
- e. Menghitung rumus berikut, pada tiap sub-grup dihitung nilai

$$(O_i - E_i)^2 \text{ dan } \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (3.25)$$

dengan :

O_i = jumlah nilai pengamatan pada sub-kelompok i

E_i = jumlah nilai teoritis pada sub-kelompok i

- f. Menjumlahkan seluruh G sub-grup nilai $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ untuk menentukan nilai Chi-Kuadrat hitung,
 - g. Menentukan derajat kebebasan
- $$dk = G - R - 1 \quad (3.26)$$

dengan :

G = jumlah sub kelompok

R = 2 untuk distribusi normal dan binomial

Adapun nilai kritis untuk distribusi Chi – Kuadrat dapat dilihat pada Tabel

3.3 berikut.

Tabel 3. 3 Nilai Distribusi Chi Kuadrat

	Derajat kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,00003	0,000157	0,0009	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,070	12,832	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,690	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,180	2,733	15,507	17,535	20,090	21,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,940	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	19,675	21,920	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	21,026	23,337	26,212	28,300
13	3,565	4,107	5,009	5,892	22,362	24,736	27,688	29,819
14	4,075	4,660	5,629	6,571	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	24,996	27,488	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	26,296	28,845	32,000	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	27,587	30,191	33,409	35,718
18	6,265	7,015	8,231	9,390	28,896	31,536	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	30,144	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,260	9,401	10,851	31,410	34,170	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,260	10,196	11,689	13,091	36,172	38,076	41,638	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	36,415	39,364	42,980	45,558
25	10,520	11,524	13,120	14,611	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,160	12,198	13,844	15,379	38,885	41,923	45,642	48,290
27	11,808	12,879	14,573	16,151	40,113	43,194	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,256	16,047	17,708	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,953	16,791	18,439	43,773	46,979	50,892	53,672

(Sumber: Suripin, 2003)

2. Uji Kesesuaian Smirnov Kolmogrov

Uji Smirnov-Kolmogrov adalah uji yang didasari dengan perbandingan menggunakan kurva. Jika data memiliki jarak penyimpangan yang besar maka disebut Δ_{maks} dan jika data memiliki jarak penyimpangan yang kecil disebut Δ_{kritik} . Besar nilai $\Delta_{maks} < \Delta_{kritik}$, sehingga data tersebut dapat dilakukan analisis, adapun prosedur perhitungan uji Smirnov – Kolmogrov adalah sebagai berikut.

1. Menghitung peluang empiris dengan rumus berikut.

$$P(X_i) = \frac{m}{n+1} \quad (3.27)$$

Dengan :

m = Nomor urut data

n = Jumlah data

2. Mencari nilai log dari hujan rerata
3. Mencari nilai f(t) dengan rumus sebagai berikut.

$$f(t) = \frac{\text{Log}(X_i) - \text{Log}(\bar{x})}{S_d}$$

$$f(t) = \frac{\text{Log}(X_i) - \text{Log}(\bar{x})}{\sqrt{\frac{\sum (\text{Log}(X_i) - \text{Log}(\bar{x}))^2}{n-1}}} \quad (3.28)$$

4. Mencari nilai kritis uji Smirnov – Kolmogrov $P'(X_i)$ melalui Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3. 4 Nilai Kritis Uji Smirnov – Kolmogrov

n	$\alpha = 0,20$	$\alpha = 0,10$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,02$	$\alpha = 0,01$
1	0,900	0,950	0,975	0,990	0,995
2	0,684	0,776	0,842	0,900	0,924
3	0,565	0,636	0,708	0,785	0,829
4	0,493	0,565	0,624	0,689	0,734
5	0,447	0,509	0,563	0,627	0,669
6	0,410	0,468	0,519	0,577	0,617
7	0,381	0,436	0,483	0,536	0,576
8	0,359	0,410	0,454	0,507	0,542
9	0,339	0,387	0,430	0,480	0,513
10	0,323	0,389	0,409	0,457	0,486
11	0,308	0,352	0,391	0,437	0,468
12	0,296	0,338	0,375	0,419	0,449
13	0,285	0,325	0,361	0,404	0,432
14	0,275	0,314	0,349	0,390	0,418
15	0,266	0,304	0,338	0,377	0,404
16	0,258	0,295	0,327	0,366	0,392
17	0,250	0,286	0,318	0,355	0,381
18	0,244	0,279	0,309	0,346	0,371
19	0,237	0,271	0,301	0,337	0,361
20	0,232	0,265	0,294	0,329	0,352
21	0,226	0,259	0,287	0,321	0,344
22	0,221	0,253	0,281	0,314	0,337

(Sumber: Suripin, 2003)

5. Menghitung selisih $P(X_i)$ dan $P'(X_i)$
6. Mencari nilai maksimum dari hasil selisih $P(X_i)$ dan $P'(X_i)$

3.5.3 Distribusi Statistik

Dalam penelitian ini setelah dilakukan pemilihan distribusi pada parameter statistik dan pengujian distribusi terpilih pada uji kesesuaian distribusi, kemudian dihitung distribusi terpilih dari distribusi normal, distribusi log normal, distribusi Gumbel dan distribusi Log Pearson III. Metode – metode tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan – persamaan berikut.

1. Distribusi Normal

Pada distribusi Normal persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$X_T = \bar{x} + K_T \times S_d \quad (3.14)$$

dengan:

X_T = Perkiraan besar nilai pada periode ulang T tahun

\bar{x} = Nilai rata – rata hitung

K_T = Faktor frekuensi

S_d = Standar deviasi

Dengan nilai K_T dapat dilihat pada tabel nilai variabel reduksi Gauss dapat dilihat pada Tabel 3.5 sebagai berikut.

Tabel 3. 5 Nilai Variabel Reduksi Gauss

No.	Periode Ulang, T (tahun)	Peluang	K_T
1.	1,001	0,999	-3,05
2.	1,005	0,995	-2,58
3.	1,010	0,990	-2,33
4.	1,050	0,950	-1,64
5.	1,110	0,900	-1,28
6.	1,250	0,800	-0,84
7.	1,330	0,750	-0,67
8.	1,430	0,700	-0,52
9.	1,670	0,600	-0,25
10.	2	0,500	0
11.	2,5	0,400	0,25
12.	3,330	0,300	0,52
13.	4	0,250	0,67
14.	5	0,200	0,84

Lanjutan Tabel 3. 5 Nilai Variabel Reduksi Gauss

No.	Periode Ulang, T (tahun)	Peluang	K_T
16.	20	0,050	1,64
17.	50	0,020	2,05
18.	100	0,010	2,33
19.	200	0,005	2,58
20.	500	0,002	2,88
21.	1000	0,001	3,09

(Sumber: Suripin, 2003)

2. Distribusi Log Normal

Pada distribusi log normal persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut, dengan nilai K_T mengacu pada tabel sebelumnya yaitu Tabel 3.3 pada halaman 25.

$$Y_T = \bar{Y} + K_T \times S_d \quad (3.15)$$

$$Y = \text{Log } X \quad (3.16)$$

dengan:

Y_T = Perkiraan besar nilai pada periode ulang T tahun

\bar{Y} = Nilai rata – rata hitung

K_T = Faktor frekuensi

S_d = Standar deviasi

3. Distribusi Log Pearson III

Pada distribusi log pearson III persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$Y = \bar{Y} + K \cdot S_d \quad (3.17)$$

dengan:

Y = Nilai Log (x)

\bar{Y} = Rerata hitung nilai Y

S_d = Deviasi standar nilai Y

K = Karakteristik Probabilitas nilai Y

Adapun urutan langkah perhitungannya adalah sebagai berikut.

- a. Mengubah data – data curah hujan menjadi $\log (X_i)$
- b. Menghitung harga rerata dengan rumus sebagai berikut.

$$\log \bar{x} = \frac{\sum \log X_i}{n} \quad (3.18)$$

- c. Menghitung harga standar deviasi dengan rumus berikut.

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.19)$$

- d. Menghitung koefisien kemencengan (C_s) dengan rumus berikut.

$$C_s = \frac{n}{(n-1)(n-2)S_d^3} \sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{x})^3 \quad (3.20)$$

- e. Menghitung periode kala ulang hujan rencana dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Log}(X_T) = \log \bar{x} + K \cdot S_d \quad (3.21)$$

- f. Menghitung nilai Koefisien Kurtosis dengan rumus sebagai berikut.

$$C_k = \frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{x})^4}{(n-1)(n-2)(n-3) \cdot S_d^4} \quad (3.22)$$

- g. Menghitung koefisien variasi dengan rumus sebagai berikut.

$$C_v = \frac{S_d}{\log(X)} \quad (3.23)$$

- h. Nilai K untuk sebaran Log Pearson III

Harga K adalah harga yang diperoleh dari hasil koefisien kemencengan (C_s).

Harga K dapat dilihat pada Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3. 6 Harga K untuk Metode Log Pearson Tipe III

Koefisien Kemencengan (C _s)	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	3,321	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	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326	2,576	3,090
-0,1	0,017	0,836	1,270	1,716	2,000	2,252	2,482	2,950
-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	1,448	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	1,197	1,216	1,280
-1,8	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087	1,097	1,130
-2,0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990	0,995	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: Suripin, 2003)

4. Distribusi Gumbel

Pada distribusi gumbel persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$X_T = b + \frac{1}{a} Y_{TR} \quad (3.24)$$

$$a = \frac{S_n}{S}$$

$$b = \bar{x} - \frac{Y_n S_d}{S_n}$$

dengan :

X_T = besar nilai dengan kala ulang T tahun

S_d = Standar deviasi

S_n = *reduced standard deviation*

Y_n = *reduced mean*

Y_{TR} = *reduced variate*

Dengan nilai Y_n , S_n , dan Y_{TR} dapat diperoleh secara berturut - turut melalui Tabel 3.7, Tabel 3.8, dan Tabel 3.9 berikut.

Tabel 3. 7 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	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,8396	0,5403	0,5410	0,5418	0,5424	0,5436
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,55044	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	0,5602	0,5603	0,5604	0,5606	0,5607	0,5608	0,5609	0,5610	0,5611

(Sumber: Suripin, 2003)

Tabel 3. 8 Reduced Standard Deviation, S_n

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1080
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930

Lanjutan Tabel 3.8 Reduced Standard Deviation, S_n

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
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	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065	1,2069	1,2073	1,2077	1,2081	1,2084	1,2087	1,2090	1,2093	1,2096

(Sumber: Suripin, 2003)

Tabel 3.9 Reduced Variate, Y_{TR}

Periode Ulang, T_R (tahun)	Reduced Variate, Y_{TR}	Periode Ulang, T_R (tahun)	Reduced Variate, Y_{TR}
2	0,3668	100	4,6012
5	1,5004	200	5,2969
10	2,2510	250	5,5206
20	2,9709	500	6,2149
25	3,1993	1000	6,9087
50	3,9028	5000	8,5188
75	4,3117	10000	9,2121

(Sumber: Suripin, 2003)

3.6 Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah perbandingan kedalaman dan durasi hujan (Triatmodjo, 2008). Berdasarkan definisi tersebut, apabila waktu hujan semakin kecil maka intensitas hujan akan semakin besar, apabila periode ulang hujan tersebut tinggi maka intensitas hujan juga akan semakin tinggi. Dalam menganalisis diperlukan data hujan jangka pendek yaitu 5, 10, dan 60 menit, agar dapat membentuk hubungan grafik antara intensitas, lamanya hujan dan frekuensi dalam suatu lengkung IDF (*Intensity-Duration-Frequency*) namun karena keterbatasan data curah hujan jangka pendek, maka digunakan data curah hujan harian oleh sebab itu, digunakanlah metode Mononobe untuk menghitung besar nilai intensitas curah hujan harian, adapun persamaan metode Mononobe dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (3.29)$$

dengan :

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = lama hujan (jam)

R_{24} = curah hujan maksimum harian (mm)

Adapun besar nilai t dihitung berdasarkan rumus waktu konsentrasi t_c . Menurut Mc. Dermott (1987), waktu konsentrasi mencerminkan kecepatan air pada daerah tangkapan terhadap waktu terjadinya hujan, adapun besar t_c terdapat pada rumus persamaan berikut.

$$t_c = 0,760A^{0,38} \quad (3.30)$$

dengan:

t_c = Waktu Konsentrasi (jam)

A = Luas Daerah Drainase (km²)

Sehingga pada perhitungan rumus waktu konsentrasi t_c menurut Mc. Dermott (1987) hanya dipengaruhi oleh besar luas daerah drainase dalam satuan km² dengan hasil waktu konsentrasi dalam satuan jam-jaman.

3.7 Koefisien Limpasan

Koefisien *runoff* adalah angka koefisien yang menyatakan pengaliran air hujan pada kebun, kawasan perumahan, jalan raya dan lain – lain yang kemudian dialirkan pada saluran drainase. Besar nilai koefisien dapat dinyatakan pada Tabel 3.10 berikut.

Tabel 3. 10 Koefisien Limpasan Daerah Urban

Tipe Daerah Aliran	C
Rerumputan	
Tanah pasir, datar 2%	0,10 – 0,50
Tanah pasir, sedang 2 – 7 %	0,10 – 0,15
Tanah pasir, curam 7%	0,15 – 0,20
Tanah gemuk, datar 2%	0,13 – 0,17
Tanah gemuk, sedang 2 – 7%	0,18 – 0,22
Tanah gemuk, curam 7%	0,25 – 0,35
Perdagangan	
Daerah kota lama	0,75 – 0,95
Daerah pinggiran	0,50 – 0,70

Tabel 3. 10 Koefisien Limpasan Daerah Urban

Tipe Daerah Aliran	C
Rerumputan	
Perumahan	
Daerah single family	0,30 – 0,50
Multi unit terpisah	0,40 – 0,60
Multi unit tertutup	0,60 – 0,75
Suburban	0,25 – 0,40
Daerah Apartemen	0,50 – 0,70
Industri	
Daerah ringan	0,50 -0,80
Daerah berat	0,60 -0,90
Taman, kuburan	0,10 – 0,25
Tempat bermain	0,20 – 0,35
Halaman kereta api	0,20 – 0,40
Daerah tidak dikerjakan	0,10 – 0,30
Jalan	
Beraspal	0,70 – 0,95
Beton	0,80 – 0,95
Batu	0,70 – 0,85
Atap	0,75 – 0,95

Sumber: Triatmodjo (2008)

Dalam perhitungan sudah pasti terdapat perbedaan jenis kawasan, sehingga dalam menganalisanya digunakan rumus koefisien limpasan yaitu sebagai berikut.

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (3.31)$$

dengan:

C_i = Koefisien pengaliran yang sesuai dengan kondisi lapangan

A_i = luas daerah yang diperhitungkan nilainya

3.8 Debit Rencana

Debit rencana adalah debit dengan periode ulang tertentu yang diperkirakan dapat melewati suatu bangunan – bangunan air atau sungai besar (Kamiana, 2011).

Banjir dapat ditentukan berdasarkan intensitas hujan, lama waktu hujan dan luas suatu kawasan terdampak. Dalam penelitian ini digunakan metode rasional dalam penentuan debit banjir maksimum. Adapun persamaannya adalah sebagai berikut.

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \quad (3.32)$$

dengan:

- Q = Debit Rencana (m³/detik)
 C = Koefisien Limpasan
 I = Intensitas hujan harian (mm/jam)
 A = Luas suatu kawasan tangkapan air (km²)

3.9 Tata Guna Lahan

3.9.1 Definisi Tata Guna

Definisi tutupan lahan sesuai SNI 7645:2010 mengenai Klasifikasi Penutup Lahan adalah tutupan biofisik pada permukaan bumi yang bisa diamati dan merupakan suatu hasil dari pengaturan, aktivitas dan perlakuan manusia yang dilakukan pada jenis – jenis tutupan lahan tertentu untuk melakukan aktivitas produksi, perubahan fungsi, ataupun perawatan pada penutup lahan tersebut. Terdapat 2 kelas tutupan lahan yaitu daerah vegetasi dan daerah tak bervegetasi. Daerah bervegetasi merupakan daerah yang memiliki liputan vegetasi sebanyak 4% setidaknya selama 2 bulan, atau daerah yang memiliki *lichens/mosses* (daerah berlumut) sebanyak 25% apabila tidak terdapat vegetasi lainnya. Sedangkan daerah tak bervegetasi adalah daerah yang memiliki liputan vegetasi kurang dari 4% selama 10 bulan, atau daerah dengan jumlah *lichens/mosses* (daerah berlumut) kurang dari 25% jika tidak terdapat tanaman kayu atau herba. Daerah tak bervegetasi adalah daerah yang terdiri dari daerah permukiman, kelas lahan terbuka, kelas lahan bukan pertanian dan perairan, sedangkan menurut Peraturan Pemerintah Nomor 16 Tahun 2004 tentang Penatagunaan Tanah.

Definisi penatagunaan tanah adalah sama dengan pola pengelolaan tata guna tanah yang meliputi penguasaan, penggunaan dan pemanfaatan tanah yang

berbentuk konsolidasi pemanfaatan tanah melalui pengaturan lembaga terkait dengan penggunaan tanah sebagai satu kesatuan sistem untuk kepentingan masyarakat secara adil. Dalam perencanaan tata guna lahan digunakan acuan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) sebab didalamnya tercantum aspek administrasi dan aspek fungsional kawasan setempat yang telah ditetapkan oleh tiap – tiap pemerintah daerah.

Dalam perencanaan tata guna lahan, dibutuhkan pengelompokkan beberapa kawasan dalam satu daerah administrasi terlebih dahulu, sehingga dapat diketahui daerah – daerah mana saja yang termasuk kawasan terbuka dan daerah mana saja yang menjadi daerah permukiman dan perindustrian. Serta untuk melihat perubahan tata guna lahan dari tahun ke tahun baik dari segi kawasan terbuka maupun kawasan – kawasan lainnya.

3.9.2 Citra Satelit *Landsat 8*

Citra *landsat 8* adalah kelanjutan dari citra *landsat 7* dengan beberapa pengembangan seperti jumlah band, memiliki rentang spektrum gelombang elektromagnetik rendah yang mampu ditangkap oleh sensor dari tiap piksel citra, satelit *landsat 8* mempunyai sensor OLI (*Onboard Operational Land Imager*) dan TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) dengan banyak kanal 11 buah. Dari 11 kanal, terdapat 9 (*band 1-9*) kanal yang berada di OLI dan 2 lainnya (*band 10 dan 11*) pada TIRS. Untuk menganalisis peta *landsat 8* digunakan saluran 6, 5 dan 3. Berikut adalah jenis – jenis kanal yang dapat dilihat pada Tabel 3.11 serta Gambar Citra *Landsat 8* pada Gambar 3.3 berikut ini.

Tabel 3. 11 Karakteristik Spektral Kanal 8

No.	Kanal	Kisaran Spektral (nm)	Penggunaan Data	GSD (resolusi spasial)	Radiance (W/m ² sr μ m), typical	SNR (typical)
1	Biru	433 - 453	<i>Aerosol/coastal zone</i>	30 m	40	130
2	Biru	450 – 515	<i>Pigment/ scatter/coastal</i>		40	130
3	Hijau	525 – 600	<i>Pigments/coastal</i>		30	100
4	Merah	630 -680	<i>Pigments/coastal</i>		22	90
5	Inframerah dekat (NIR)	845 – 885	<i>Foliage /coastal</i>		12	90

Lanjutan Tabel 3. 11 Karakteristik Spektral Kanal 8

No.	Kanal	Kisaran Spektral (nm)	Penggunaan Data	GSD (resolusi spasial)	Radiance (W/m ² sr μ m), typical	SNR (typical)
6	SWIR 2	1560 – 1660	<i>Foliage</i>		4,0	100
7	SWIR 3	2100 – 2300	<i>Minerals/litter/no scatter</i>		1,7	100
8	PAN	500 – 680	<i>Image sharpening</i>	15 m	23	80
9	SWIR	1360 - 1390	<i>Cirruscloud detection</i>	30 m	6,0	130

(Sumber: <https://www.usgs.gov/>)



Gambar 3. 2 Citra Landsat 8

(Sumber: www.usgs.gov, 2017)

3.10 Klasifikasi Citra

Klasifikasi citra bertujuan untuk membagi daerah kawasan sesuai dengan objeknya dengan cara menginterpretasikan kenampakan citra dengan symbol tertentu. Dari proses ini, dihasilkan peta tematik yang sangat berguna bagi perencanaan selanjutnya.

Proses pengelompokan atau pengklasifikasian citra terbagi menjadi dua yaitu terawasi (*supervised classification*) dan tak terawasi (*unsupervised classification*). Pada metode terawasi (*supervised classification*) identitas lahan sudah diketahui melalui pemeriksaan lapangan atau foto udara. Pemilihan metode untuk penentuan kelas dari piksel bergantung dari sifat masukan data serta keluaran data yang diharapkan. Metode – metode yang umum digunakan adalah sebagai berikut.

1. Paralel epipendum

Harga rata – rata nilai numerik piksel dari suatu sampel area serta harga titik tengah merupakan data – data yang penting. Harga, didapatkan dari sampel area pada setiap *band* yang diletakan.

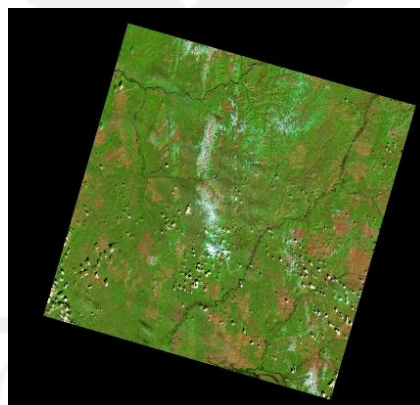
2. Jarak terdekat

Penentuan kelas setiap piksel tergantung pada selisih nilai piksel rata – rata yang diketahui, jarak dapat dihitung dengan menggunakan rumus *pythagoras*.

3. Kemiripan maksimum

Kemiripan maksimum dilakukan dengan cara membandingkan nilai piksel pada sampel area dengan diasumsikan sebaran piksel tersebar dengan normal. Apabila kemiripan nilai maksimum maka akan dimasukkan ke dalam kelas tersebut.

Pada metode tak terawasi (*unsupervised classification*) piksel dengan nilai sejenis atau memiliki kedekatan nilai akan dikelompokkan pada satu kelas tertentu. Sehingga terjadi beberapa kelas dengan macam – macam nilai spektral. Proses metode tak terawasi dilakukan dengan cara mengelompokkan piksel dengan piksel terdekat, apabila jarak spektral kurang dari besar harga yang telah ditentukan, maka nilai tersebut akan dikelompokkan pada satu kelas yang sama. Adapun gambar klasifikasi citra *landsat 8* dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3. 3 Interpretasi Citra Satelit Landsat 8

(Sumber: www.usgs.gov, 2017)

3.11 Sistem Informasi Geografi

Sistem informasi geografi merupakan suatu perangkat lunak yang berintegrasi dengan data geografi yang berfungsi untuk menginput data, melakukan proses penyimpanan data, pemulihan hingga pengeluaran data, berbagai fungsi deskriptif dan analisis data. SIG menangani data – data seperti data spasial dan data atribut untuk menggambarkan fitur geografi suatu wilayah. Salah satu aplikasi dari

SIG adalah aplikasi QGIS (*Quantum Geographic Information System*).

QGIS adalah salah satu perangkat sistem informasi dan geografi (GIS) yang bersifat *Open Source* dan bebas lintas platform yang menyediakan tampilan, penyuntingan dan analisis data. Dengan adanya fitur inti dan *plugins*, QGIS mampu memvisualisasikan pemetaan untuk kemudian diedit dan dicetak sebagai sebuah peta lengkap. QGIS mendukung banyak tipe format salah satunya adalah format *Landsat Imagery*. QGIS juga mendukung penggunaan *GPS Tools*, sehingga pengguna dapat mengunduh data langsung dari unit GPS yang sudah tersedia

3.12 Hidrolika Saluran

Analisis hidrolika bertujuan untuk melakukan evaluasi kapasitas pada saluran drainase berdasarkan debit rencana yang telah dilakukan analisis. Kapasitas saluran drainase dianalisis berdasarkan kondisi saluran drainase. Perhitungan kapasitas saluran drainase dapat dihitung berdasarkan Persamaan 3.31, Persamaan 3.32, Persamaan 3.3, dan Persamaan 3.34 berikut.

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad (3.31)$$

$$Q = V \times A \quad (3.32)$$

$$R = \frac{A}{P} \quad (3.33)$$

$$S = \frac{\Delta h}{L_s} \quad (3.34)$$

dengan :

V = Kecepatan aliran dalam saluran drainase (m/s)

R = Radius hidrolis (m)

Δh = Beda elevasi (m)

L_s = Panjang lintasan aliran di dalam saluran/sungai (m)

S = Kemiringan saluran drainase

A = Luas penampang basah saluran drainase (m²)

P = Keliling basah saluran drainase (m)

Q = Debit drainase (m³/detik)

n = Koefisien kekasaran *manning*

koefisien kekasaran manning ditentukan berdasarkan Tabel Harga Kekasaran Manning pada Tabel 3.12 berikut.

Tabel 3.12 Harga Kekasaran Manning

Tipe Saluran dan Jenis Bahan	Harga n		
	Minimum	Normal	Maksimum
Beton			
• Gorong – gorong lurus bebas dari kotoran	0,010	0,011	0,013
• Gorong – gorong legkung dengan sedikit kotoran	0,011	0,013	0,014
• Beton dipoles	0,011	0,012	0,014
• Saluran pembuang dengan bak kontrol	0,013	0,015	0,017
Tanah lurus dan seragam			
• Bersih baru	0,016	0,018	0,020
• Bersih telah melapuk	0,018	0,022	0,025
• Berkerikil	0,022	0,025	0,030
• Berumput pendek, sedikit tanaman	0,022	0,027	0,033
Saluran alam			
• Bersih lurus	0,025	0,030	0,033
• Bersih berkelok	0,033	0,040	0,045
• Banyak tanaman pengganggu	0,050	0,070	0,08
• Dataran banjir berumput	0,025	0,030	0,035
• Saluran di belukar	0,035	0,050	0,07

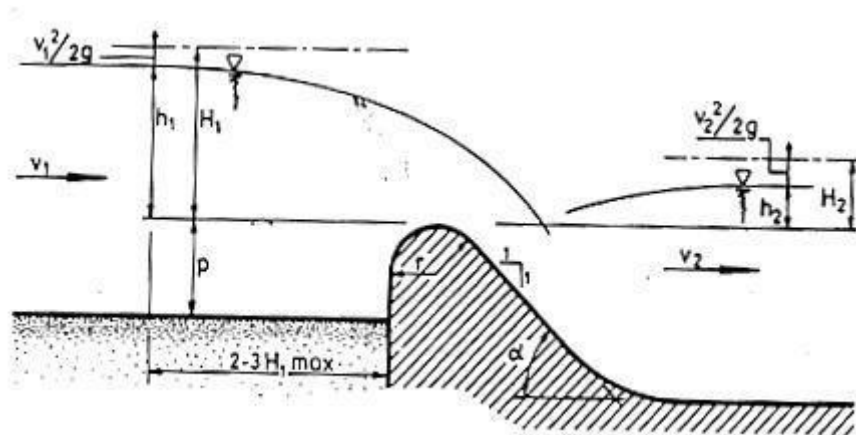
(Sumber: Suripin, 2003)

3.13 Bangunan Terjun

Bangunan terjun atau got miring diperlukan jika kemiringan permukaan tanah lebih curam daripada kemiringan maksimum saluran yang diizinkan. Bangunan terjun memiliki beberapa fungsi diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Bagian hulu pengontrol, yaitu bagian di mana aliran menjadi superkritis
2. Bagian di mana air dialirkan ke elevasi yang lebih rendah
3. Bagian tepat di sebelah hilir potongan U yaitu tempat dimana energi diredam
4. Bagian peralihan saluran memerlukan perlindungan untuk mencegah erosi

Adapun Gambar 3.5 menunjukkan bangunan terjun sebagai berikut.



Gambar 3. 4 Bangunan Terjun

Adapun perhitungan jumlah bangunan terjun adalah sebagai berikut:

$$\Delta h = H_1 - H_2 \quad (3.35)$$

$$n = \frac{\Delta h}{1,5} \quad (3.36)$$

dengan:

Δh = Perubahan tinggi energi pada bangunan (m)

H_1 = Tinggi energi pada muka ambang (m)

H_2 = Tinggi energi pada saluran (m)

n = Jumlah bangunan terjun

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan pada penelitian adalah metode deskriptif kuantitatif, adapun, langkah – langkah yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mencari referensi berupa artikel, jurnal dan tugas akhir yang berkaitan dengan pengaruh debit terhadap tata guna lahan,
2. Mengidentifikasi tata guna lahan dengan Citra Satelit Landsat 8 yang terjadi pada kawasan strategis pariwisata nasional Borobudur terkait perumahan penduduk, sawah/ladang, taman badakan serta Candi Borobudur,
3. Mengidentifikasi koefisien limpasan KSPN Borobudur,
4. Melakukan analisis hidrologi di kawasan strategis pariwisata nasional Borobudur, analisis hidrologi dilakukan terhadap.
 - a. Data curah hujan terhadap stasiun di kawasan strategis pariwisata nasional Borobudur, yang didapat dari Balai Pekerjaan Umum Sumber Daya Air Progo Bogowonto Luk Olo (PU SDA Probolo),
 - b. Data peta tutupan lahan tahun 2013, 2016 dan tahun 2020, sehingga dapat diperoleh nilai koefisien limpasan (C) yang akan digunakan pada perhitungan distribusi sebaran untuk menentukan debit drainase di kawasan strategis pariwisata nasional Borobudur,
5. Melakukan analisis tata guna lahan dan analisis hidrologi terhadap RTRW KSPN Borobudur Tahun 2014 – 2034,
6. Melakukan perbandingan debit drainase tahun 2020 dan debit drainase berdasarkan RTRW KSPN Borobudur Tahun 2014 – 2034,
7. Melakukan analisis perhitungan dimensi saluran primer yang sesuai berdasarkan hasil debit perbandingan antara debit drainase tahun 2020 dan debit drainase RTRW KSPN Borobudur Tahun 2014 – 2034

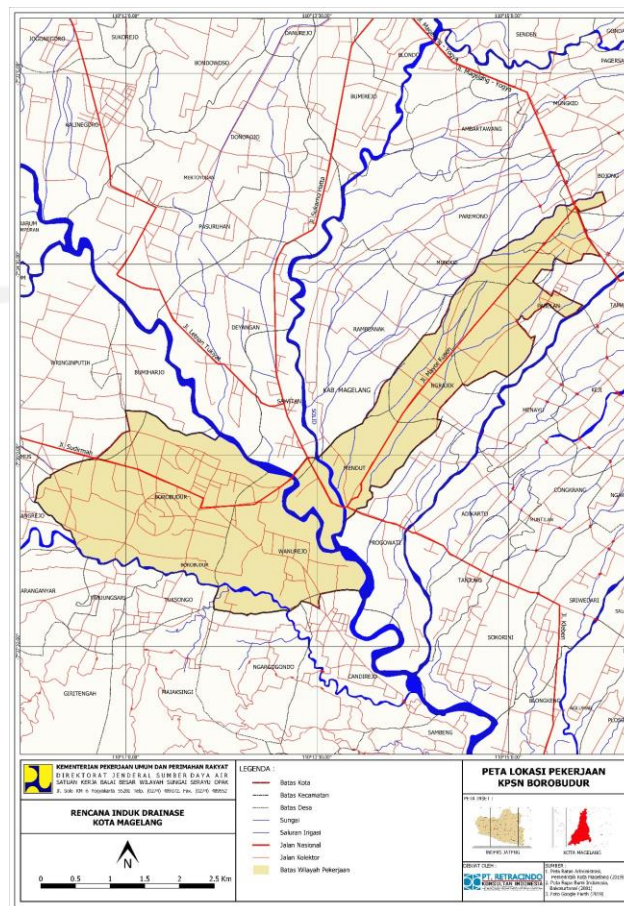
4.2 Data Penelitian

Data – data yang diperoleh adalah data – data sekunder yang diperoleh dari beberapa instansi – instansi terkait. Data sekunder pada penelitian ini terdiri dari peta *Landsat* dan data curah hujan yang berasal dari pos hujan di KSPN Borobudur. Untuk lebih jelas, berikut adalah data – data yang dimaksud pada penelitian ini.

1. Peta tata guna lahan yang diperoleh dari citra satelit *landsat 8*, menggunakan *website* USGS (*United States Geological Survey*) pada tahun 2013, 2017 dan 2020.
2. Data curah hujan pada pos hujan Balai Pekerjaan Umum Sumber Daya Air Progo Bogowonto Luk Olo (PU SDA Probolo), berupa data hujan harian dari tahun 2007 – 2017.

4.3 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di batas hidrogi kawasan strategis pariwisata nasional Borobudur, adapun peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.



Gambar 4. 1 Peta Kawasan Strategis Pariwisata Nasional Borobudur

(Sumber: PT.Retracindo, 2019)

4.4 Analisis Data

Berikut adalah analisis – analisis data yang dilakukan pada penelitian ini.

1. Analisis Curah Hujan

Pada analisis hujan digunakan data curah hujan harian yang didapat dari pos hujan di PU SDA Taru Probolo.

2. Analisis Curah Hujan Rencana

Pada analisis ini dilakukan perhitungan distribusi sebaran terlebih dahulu yaitu distribusi Normal, Log Normal, Log Pearson III, dan Gumbel. Kemudian, dilakukan uji kecocokan yaitu dengan uji Chi – Kuadrat dan uji Smirnov-Kolmogrov sehingga didapat distribusi sebaran yang paling cocok untuk analisis curah hujan rencana pada penelitian ini.

3. Analisis *Catchment*

Dalam melakukan analisis penentuan *catchment*, dilakukan penentuan kawasan *catchment* berdasarkan elevasi, kontur, dan arah aliran saluran pada KSPN Borobudur.

4. Analisis Tata Guna Lahan

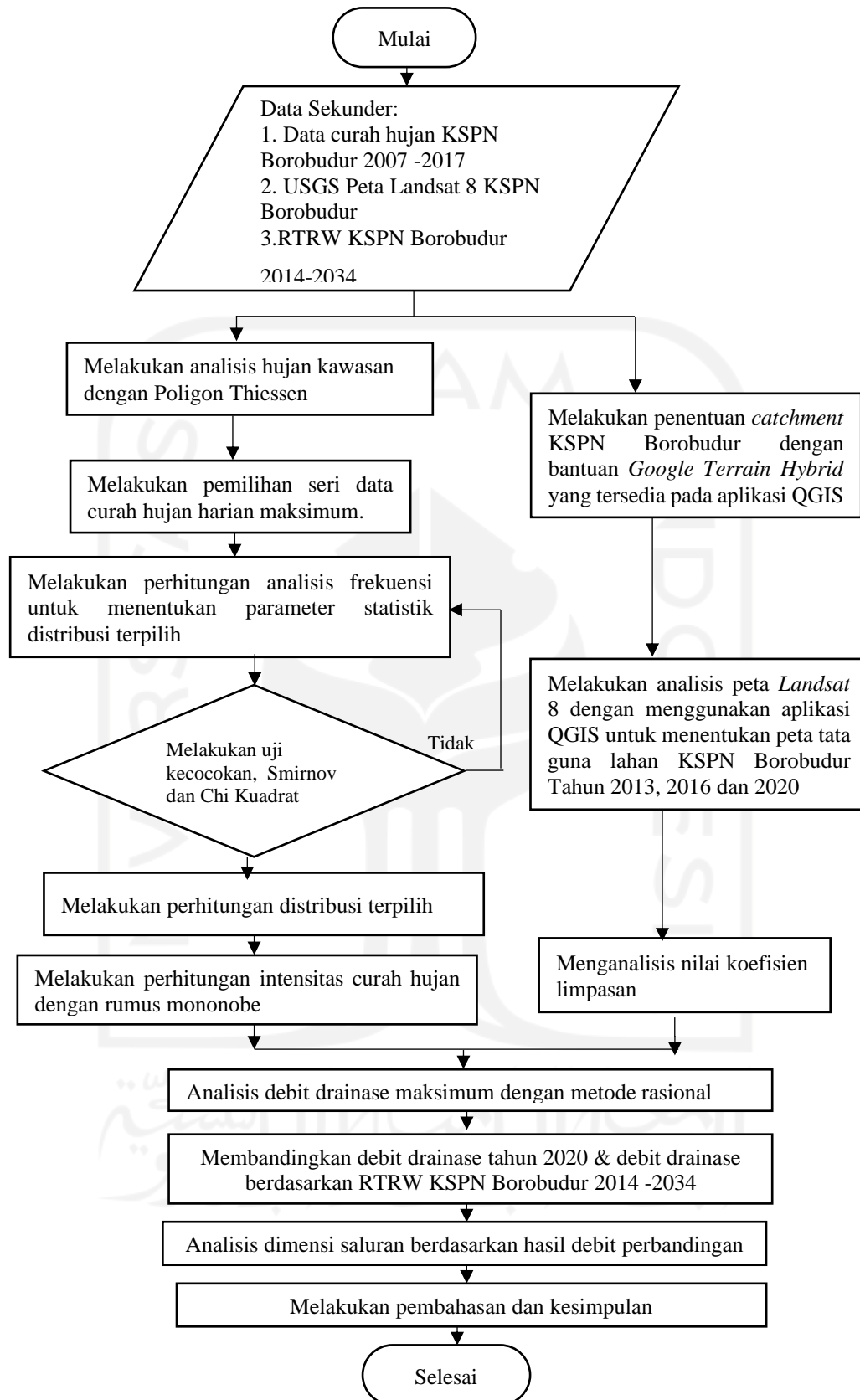
Peta – peta yang telah diperoleh dari USGS, kemudian dianalisis di QGIS untuk menentukan nilai koefisien limpasan (C) masing – masing *catchment* pada KSPN Borobudur.

5. Analisis Debit Drainase

Setelah didapat nilai koefisien limpasan di KSPN Borobudur, kemudian dilakukan analisis debit drainase dengan menggunakan metode rasional, lalu hasil yang didapat dibandingkan dengan hasil analisis debit drainase RTRW KSPN Borobudur.

4.5 Bagan Alir Penelitian

Adapun alur penelitian ini diinterpretasikan melalui *flowchart* melalui gambar 4.2 di halaman selanjutnya.

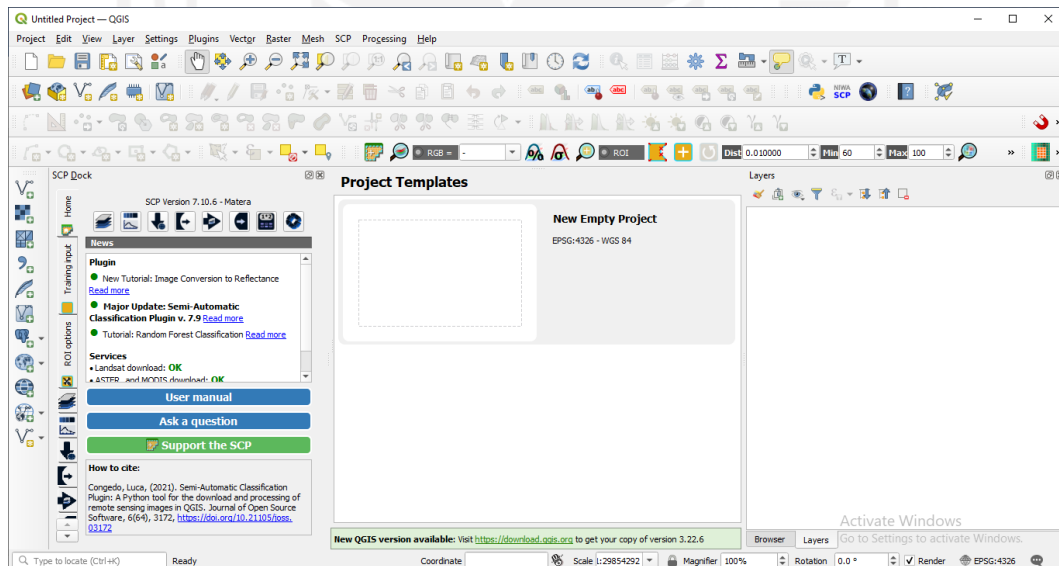


Gambar 4. 2 Bagan Alir Penelitian

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

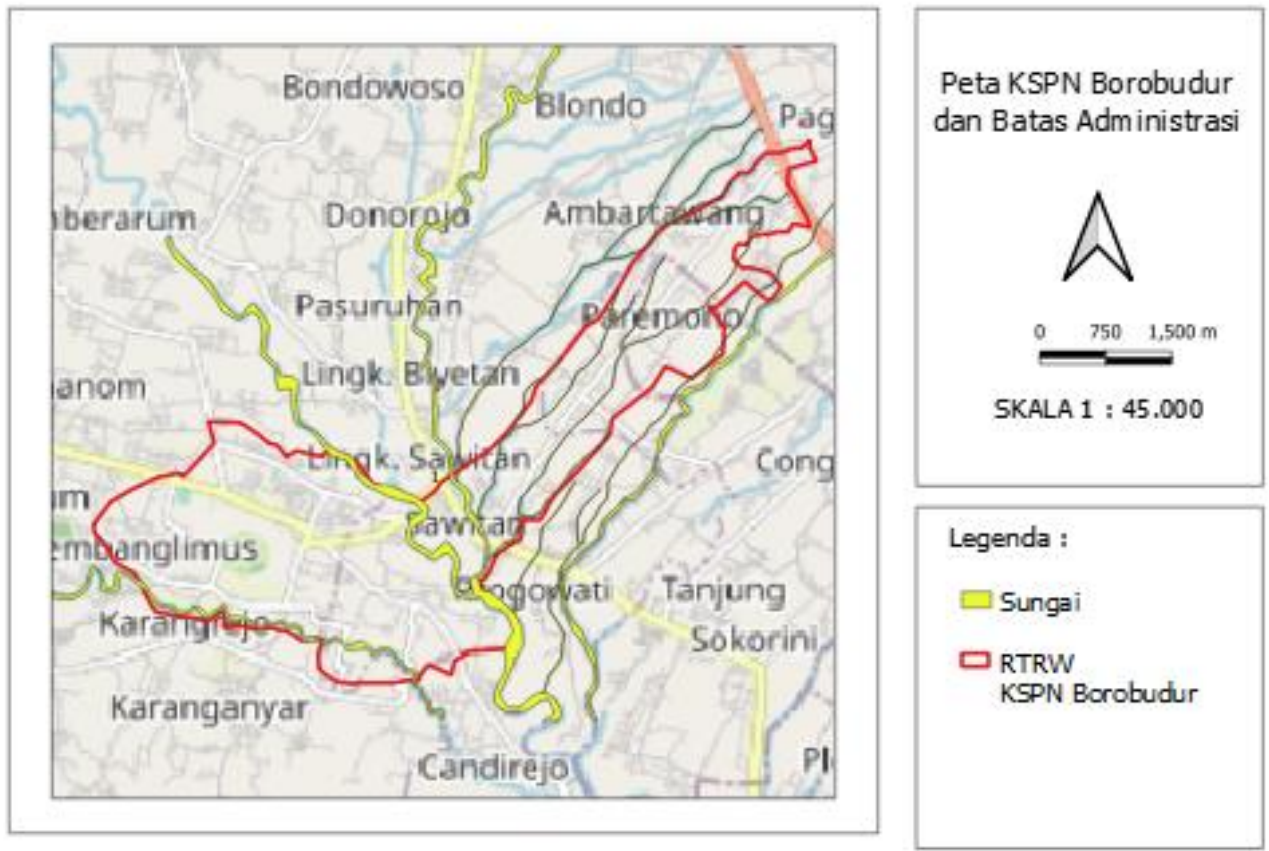
5.1 *Catchment Area* Kawasan Strategis Pariwisata Nasional Borobudur

Dalam penentuan *catchment area* KSPN Borobudur, digunakan aplikasi QGIS. QGIS adalah salah satu aplikasi berbasis sistem informasi geografis (SIG) yang bersifat *open source* sehingga dapat diakses oleh siapapun, selain itu QGIS merupakan aplikasi lintas *platform* sehingga *platform – platform* lain seperti *Landsat 8*, *Microsoft Excel* dan beberapa aplikasi lain dapat di *input* masuk ke dalam QGIS, serta *output* yang dihasilkan dapat disesuaikan dengan format *platform – platform* tersebut, adapun gambar tampilan QGIS dapat dilihat gambar 5.1 berikut.



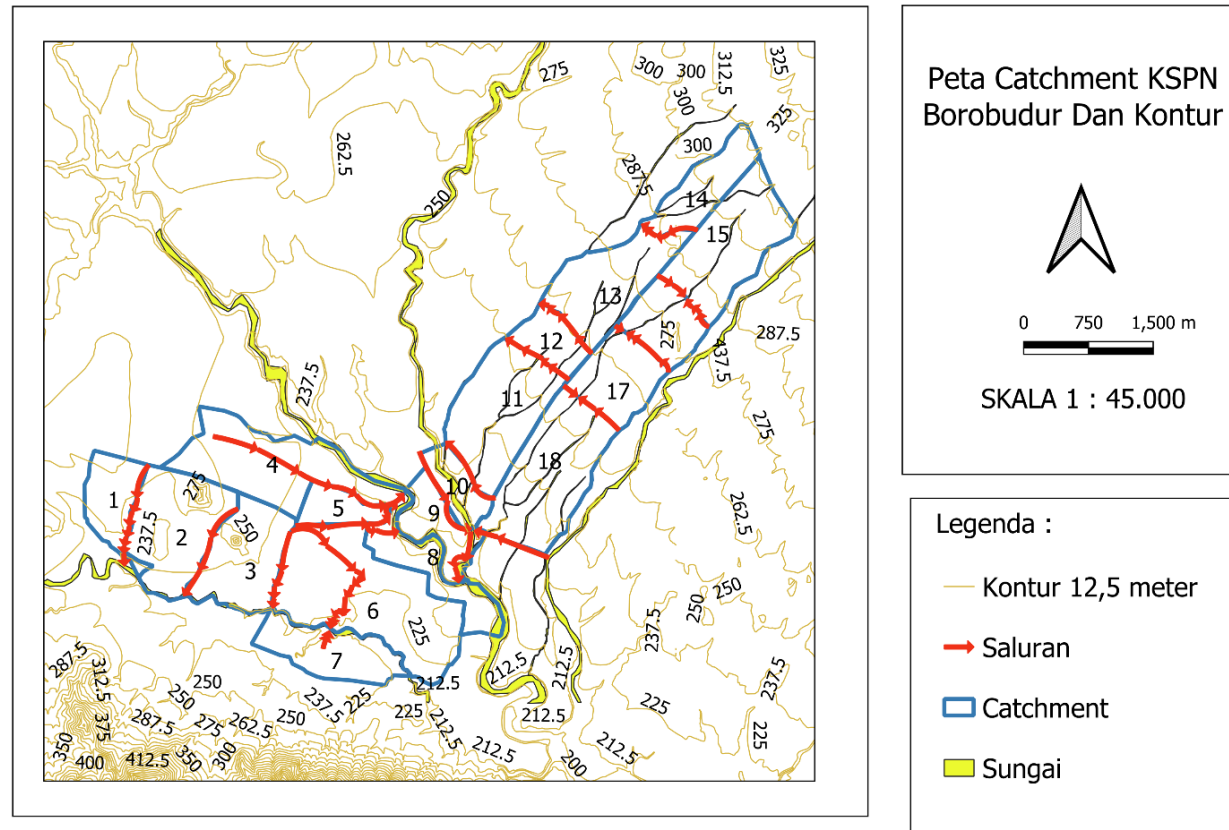
Gambar 5. 1 Aplikasi Quantum GIS

Dalam pembentukan *catchment* pada QGIS, diperlukan data peta rupa bumi, kontur, SHP Administratif KSPN Borobudur, serta arah aliran sungai, adapun tampilan plot *catchment area* KSPN Borobudur dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5. 2 Peta KSPN Borobudur Batas Administrasi

Adapun hasil penentuan *catchment area* KSPN Borobudur dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut.



Gambar 5.3 Catchment – Catchment Area KSPN Borobudur

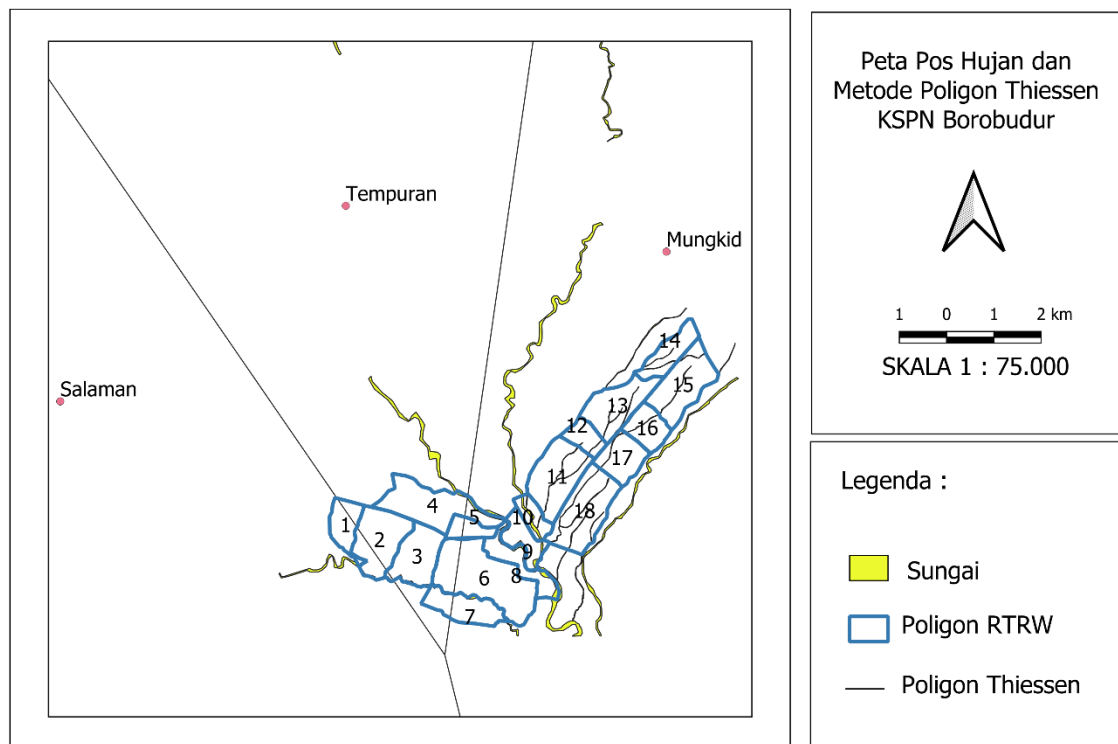
Dari penentuan *catchment – catchment* area berdasarkan arah aliran dan elevasi kontur, didapatkan luas area disetiap *catchment* dengan satuan km², adapun tabel luas setiap *catchment* area KSPN Borobudur dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5. 1 Luas Setiap Area di KSPN Borobudur

Nama	Luas (km ²)
C 1	0,590
C 2	1,276
C 3	1,059
C 4	1,538
C 5	0,363
C 6	2,286
C 7	0,838
C 8	0,717
C 9	0,569
C 10	0,403
C 11	1,417
C 12	0,424
C 13	1,153
C 14	0,678
C 15	1,341
C 16	0,635
C 17	0,782
C 18	1,570
Jumlah	17,639

5.2 Analisis Curah Hujan Kawasan Strategis Pariwisata Nasional Borobudur

Dalam penentuan hujan kawasan pada KSPN Borobudur, dilakukan penentuan dengan menggunakan metode Poligon *Thiessen*, hal ini disebabkan pos hujan tidak tersebar merata di KSPN Borobudur, adapun pos – pos hujan yang digunakan adalah pos hujan milik Dinas PUSDATARU Provinsi Jawa Tengah yaitu Tempuran, Mungkid, dan Salaman, adapun proses pembentukan Poligon *Thiessen* menggunakan aplikasi QGIS, dengan hasil persentase dan bentuk seperti terlihat pada Gambar 5.4 dan Tabel 5.2 berikut.



Gambar 5. 4 Poligon Thiessen KSPN Borobudur

Tabel 5. 2 Persentase Poligon Thiessen

No.	Pos Hujan	X	Y	Luas (m ²)	Persentase (%)
1.	Tempuran	410752,94	9166198	4309892	24%
2.	Mungkid	417538,26	9165237.95	12520360	71%
3.	Salaman	404720,7	9162040.45	842973	5%

Dari perolehan hasil tersebut, kemudian data – data pos hujan Tempuran, Mungkid dan Salaman dari tahun 2007 hingga tahun 2017 dilakukan perhitungan hujan kawasan dari ketiga pos hujan yang tersedia dengan mengalikan persentase yang didapat sesuai pada Tabel 5.2, yang diambil setiap harinya dalam 10 tahun, adapun contoh perhitungan hujan kawasan dapat dilihat pada perhitungan bulan Januari tanggal 1 tahun 2007 berikut.

$$d = (40 \times 24\%) + (78 \times 71\%) + (59 \times 5\%)$$

$$d = 68 \text{ mm}$$

Adapun rekapitulasi perhitungan hujan kawasan dapat dilihat pada lampiran, selanjutnya untuk penentuan seri data, dilakukan pengambilan seri data pada KSPN Borobudur dengan metode data maksimum tahunan (Annual Maximum Series) karena data yang tersedia lebih dari 10 tahun, sehingga setelah dilakukan perhitungan hujan kawasan pada masing – masing pos selama 10 tahun, kemudian dilakukan pemilihan data maksimum dari mulai 1 Januari hingga 30 Desember.

Hujan maksimum harian rata-rata yang sudah didapatkan kemudian dibuat perhitungan analisis frekuensi hujan. Dalam penentuan data hujan di Kawasan Strategis Pariwisata Nasional digunakan data milik Pos Hujan Dinas PUSDATARU Provinsi Jawa Tengah dari tahun 2007 hingga tahun 2017, adapun data – data curah hujan dapat dilihat pada lampiran, sedangkan data curah hujan harian maksimum tahunan dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5. 3 Data Curah Hujan Harian Maksimum Tahunan

No.	Tahun	$R_{Max}(X_i)$ (mm)
1.	2007	90,020
2.	2008	108,360
3.	2009	134,640
4.	2010	75,050
5.	2011	99,720
6.	2012	79,580
7.	2013	92,530
8.	2014	110,550
9.	2015	95,070
10.	2016	112,800
11.	2017	72,690
Jumlah		1071,01

5.3 Periode Kala Ulang

Dalam penentuan periode ulang (*return period*) perencanaan drainase suatu kota ditentukan berdasarkan dua hal yaitu besarnya daerah tangkapan air dan tipologi kota. Kawasan Strategis Pariwisata Nasional Borobudur memiliki besar *catchment* sebesar 17,580 km² atau sebesar 1.758 Ha berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 15 Tahun 2020 tentang Penyelenggaraan Penataan Ruang,

Magelang termasuk ke dalam klasifikasi tipologi kota sedang, adapun tabel penentuan periode ulang perencanaan kota dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5. 4 Periode Ulang (Return Period) Perencanaan Drainase Kota

Tipologi Kota	Daerah Tangkapan Air (Ha)			
	< 10	10 - 100	101 - 500	> 500
Metropolitan	2 Tahun	2 – 5 Tahun	5 – 10 Tahun	10 – 25 Tahun
Besar	2 Tahun	2 – 5 Tahun	2 – 5 Tahun	5 – 20 Tahun
Sedang	2 Tahun	2 – 5 Tahun	2 – 5 Tahun	5 – 10 Tahun
Kecil	2 Tahun	2 Tahun	2 Tahun	2 – 5 Tahun

(Sumber: Permen PU Nomor 12 Tahun 2004, Lampiran 1)

Berdasarkan Tabel 5.4 periode ulang untuk Magelang dengan tipologi kota sedang dan luas daerah tangkapan air lebih besar dari 500 hektar yaitu periode ulang 5 – 10 tahun.

5.4 Analisis Frekuensi Data Hidrologi

Analisis frekuensi data hidrologi bertujuan untuk mencari hubungan antara besar nilai ekstrim terhadap frekuensi kejadian dengan menggunakan distribusi probabilitas, adapun hasil perhitungan analisis frekuensi curah hujan dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5. 5 Hasil Perhitungan Analisis Frekuensi Curah Hujan Kawasan Strategis Pariwisata Nasional Borobudur

No	Tahun	Rmax (X_i) (mm)	$(X_i - X_{rt})$ (mm)	$(X_i - X_{rt})^2$ (mm)	$(X_i - X_{rt})^3$ (mm)	$(X_i - X_{rt})^4$ (mm)
1.	2007	90,020	7,345	53,942	396,182	2.909,777
2.	2008	108,360	-10,995	120,900	-1.329,351	14.616,815
3.	2009	134,640	-37,275	1389,460	-51.792,735	1.930.597,734
4.	2010	75,050	22,315	497,939	11.111,281	247.943,187
5.	2011	99,720	-2,355	5,548	-13,068	30,782
6.	2012	79,580	17,785	316,290	5.625,075	100.039,400
7.	2013	92,530	4,835	23,373	112,997	546,289
8.	2014	110,550	-13,185	173,856	-2.292,373	30.225,982
9.	2015	95,070	2,295	5,265	12,081	27,720
10.	2016	112,800	-15,435	238,253	-3.677,547	56.764,614
11.	2017	72,690	24,675	608,833	15.022,682	370.677,857
Jumlah		1071,01	0,00	3.433,66	-26.824,78	2.754.380,16

Dari Tabel 5.5 dapat dihitung faktor uji distribusi yaitu sebagai berikut.

1. Nilai rata-rata (\bar{x})

Nilai rata-rata dapat dihitung berdasarkan persamaan 3.6 berikut.

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{\sum X_i}{n} & 3.6 \\ \bar{x} &= \frac{1071,01}{11} \\ \bar{x} &= 97,364 \text{ mm}\end{aligned}$$

2. Deviasi Standar (S_d)

Nilai deviasi standar dihitung berdasarkan persamaan 3.7 berikut.

$$\begin{aligned}S_d &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{n-1}} & 3.7 \\ S_d &= \sqrt{\frac{3433,6}{11-1}} \\ S_d &= 18,530\end{aligned}$$

3. Koefisien Variasi (C_v)

Koefisien variasi dihitung berdasarkan persamaan 3.8 berikut.

$$\begin{aligned}C_v &= \frac{S_d}{\bar{x}} & 3.8 \\ C_v &= \frac{18,530}{97,364} \\ C_v &= 0,190\end{aligned}$$

4. Koefisien Asimetri (C_s)

Koefisien asimetri dihitung berdasarkan persamaan 3.9 dan 3.10 berikut.

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^3 \quad 3.10$$

$$a = \frac{11}{(11-1)(11-2)} \times -26824,78$$

$$a = -3278,584$$

$$C_s = \frac{a}{S_d^3} \quad 3.9$$

$$C_s = \frac{-3278,584}{18,530^3}$$

$$C_s = -0,515$$

5. Koefisien Kurtosis (C_k)

Koefisien kurtosis dihitung berdasarkan persamaan 3.11 berikut.

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x}_t)^4}{(n-1) \times (n-2) \times (n-3) \times S_d^4} \quad 3.11$$

$$C_k = \frac{11^2 \times 2754380,16}{(11-1) \times (11-2) \times (11-3) \times (18,530^4)}$$

$$C_k = 3,926$$

Setelah dilakukan perhitungan analisis distribusi kemudian dilakukan perhitungan sebaran yang tepat untuk menghitung curah hujan rencana dengan ketentuan – ketentuan yang sesuai. Adapun syarat penentuan jenis sebaran telah disajikan pada Tabel 5.6 berikut ini.

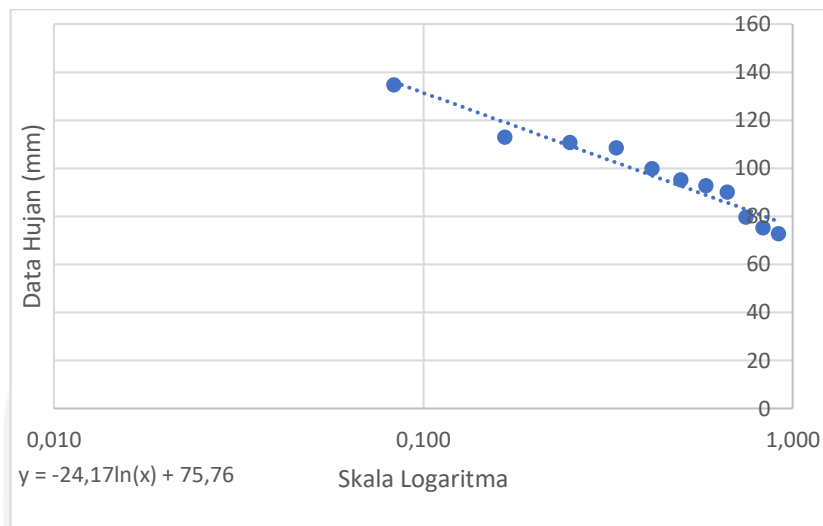
Tabel 5. 6 Parameter Statistik Jenis Distribusi

No	Distribusi	Persyaratan	Hasil Hitungan
1	Normal	$C_s \approx 0$	-0,515
		$C_k \approx 3$	3,926
		$(\bar{x} \pm s) = 68,27\%$	78,834
		$(\bar{x} \pm 2s) = 68,27\%$	60,304
2	Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$	0,578
		$C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$	3,130
3	Gumbel	$C_s = 1,14$	-0,515
		$C_k = 5,4$	3,926
4	Log Pearson Tipe III	Selain nilai di atas	

Dari tabel 5.6 diperoleh bahwa nilai yang sesuai dengan keempat jenis distribusi adalah Log Pearson tipe III, karena pada distribusi Normal, Log Normal dan Gumbel hasil perhitungan tidak sesuai dengan persyaratan jenis distribusi yang tersedia.

5.4.1 Uji Distribusi Probabilitas

Dalam pengujian distribusi probabilitas digunakan 2 macam uji probabilitas yaitu uji Chi-Kuadrat dan uji Smirnov-Kolmogrov, tujuannya adalah untuk mengetahui apakah persamaan distribusi yang terpilih dapat mewakili distribusi statistik data – data sampel yang dianalisis, adapun penjelasan uji Chi-Kuadrat dan uji Smirnov-Kolmogrov dijelaskan sebagai berikut, adapun gambar grafik uji kecocokan terdapat pada gambar 5.5 berikut.



Gambar 5. 5 Grafik Uji Smirnov Kolmogrov

1. Uji Chi-Kuadrat

Dalam pengujian Chi-Kuadrat jumlah data tahun terdapat 11 buah, sehingga nilai G dapat dicari dengan rumus sebagai berikut.

$$G = 1 + 3,3\text{Log}(11)$$

$$G = 4,436$$

$$G \sim 5$$

$$R = 2 \text{ (untuk distribusi normal dan binomial)}$$

Maka nilai dK dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 3.26 berikut.

$$dK = 5 - 2 - 1$$

$$dK = 2$$

$$\text{derajat kepercayaan} = 5\%$$

sehingga besar nilai distribusi Chi-Kuadrat dapat dilihat pada Tabel 3.3 yaitu sebesar 5,991.

Berdasarkan Tabel 3.3 diperoleh nilai distribusi Chi – Kuadrat dengan dK = 2 dan derajat kepercayaan sebesar 5% maka nilai distribusi Chi – Kuadrat kritis adalah sebesar 5,991 selanjutnya ditentukan kelas distribusi dengan persentase 20% , 40%, 60% dan 80% yang berturut – turut 5 tahun, 2,5 tahun, 1,67 tahun dan 1,25 tahun, kemudian dilakukan perhitungan interval setiap kelas pada distribusi terpilih

yaitu Log Pearson tipe III, adapun rekap hasil perhitungan interval kelas untuk setiap distribusi terdapat pada Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5. 7 Interval Kelas Distribusi Log Pearson Tipe III

Interval	T	K_T	S Log X	$\text{Log } X_{rt}$	$\text{Log } X_T$	$X_T(\text{mm})$
20%	5	0,865	0,082	1,981	2,052	112,760
40%	2,5	0,140	0,082	1,981	1,993	98,370
60%	1,667	-0,760	0,082	1,981	1,919	83,019
80%	1,25	-1,701	0,082	1,981	1,842	69,519

Setelah didapat nilai interval kelas setiap distribusi, kemudian dilakukan perhitungan nilai X^2 , adapun rekapitulasi nilai X^2 pada distribusi Log Pearson Tipe III dapat dilihat pada Tabel 5.8 dan 5.9 berikut.

Tabel 5. 8 Nilai X^2 Metode Log Pearson

Kelas	Interval	E_i	O_i	$E_i - O_i$	$(E_i - O_i)^2/E_i$
1	>112,76	2,2	2	0,2	0,018
2	112,76 -98,369	2,2	3	-0,8	0,291
3	98,369 - 83,018	2,2	3	-0,8	0,291
4	83,018 - 69,5189	2,2	3	-0,8	0,291
5	<69,5189	2,2	0	2,2	2,200
Jumlah					3,090

Tabel 5. 9 Uji Distribusi Probabilitas Chi-Kuadrat

Uji Chi-Kuadrat	
Hasil	Log Pearson Tipe III
Chi Kuadrat Hitung (X^2)	3,091
Chi Kuadrat Kritis (X^2_{cr})	5,991
Hipotesa	Diterima

Pada uji Chi-Kuadrat didapatkan hasil bahwa distribusi Log Pearson Tipe III memenuhi syarat $X^2 < X^2_{cr}$ sehingga metode Log Pearson III dapat diterima.

2. Uji Smirnov–Kolmogrov

Adapun contoh perhitungan uji Smirnov – Kolmogrov pada Data 1 dapat dilihat di bawah ini.

$$X_i = 134,64 \text{ mm}$$

$$\text{Log } (X_i) = \text{Log } (134,64)$$

$$\text{Log } (X_i) = 2,129$$

$$P(X_i) = \frac{1}{1+11} \quad (3.27)$$

$$P(X_i) = 0,083$$

Berdasarkan hasil grafik uji kecocokan pada Tabel 5.5 diperoleh rumus $Y = -24,17\ln(x) + 75,76$ sehingga rumus $P'(X_i)$ adalah sebagai berikut.

$$\ln P'(X_i) = \frac{X_i - 75,76}{-24,17}$$

$$\ln P'(X_i) = \frac{134,64 - 75,76}{-24,17}$$

$$P'(X_i) = e^{-2,43}$$

$$P'(X_i) = 0,088$$

$$\Delta P = 0,088 - 0,083$$

$$\Delta P = 0,005$$

Hasil perhitungan pengujian Smirnov-Kolmogorov untuk metode Log Pearson Tipe III dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut,

Tabel 5. 10 Perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorov Distribusi Log Pearson III

No	X_i (mm)	Log (X_i)	$P(X_i)$	$f(t)$	$P'(X_i)$	ΔP
1	134,64	2,129	0,083	1,806	0,088	0,005
2	112,8	2,052	0,167	0,867	0,216	0,049
3	110,55	2,044	0,250	0,760	0,237	0,013
4	108,36	2,035	0,333	0,654	0,260	0,074
5	99,72	1,999	0,417	0,213	0,371	0,046
6	95,07	1,978	0,500	-0,041	0,450	0,050
7	92,53	1,966	0,583	-0,184	0,500	0,084
8	90,02	1,954	0,667	-0,330	0,554	0,112
9	79,58	1,901	0,750	-0,984	0,854	0,104
10	75,05	1,875	0,833	-1,295	1,030	0,196
11	72,69	1,861	0,917	-1,465	1,135	0,219
Log X				1,981		
S Log X				0,081		
C_s				0,117		
Max				0,219		

Setelah dilakukan perhitungan uji Smirnov-Kolmogorov pada distribusi Log Pearson tipe III, selanjutnya dicari nilai kritis uji Smirnov-Kolmogorov melalui Tabel 3.4 berikut dengan, besar $\alpha = 0,05$ dan banyak data 11 buah, maka nilai kritis uji Smirnov – Kolmogorov sebesar 0,391,.

Berdasarkan Tabel 3.4 Nilai Kritis Uji Smirnov-Kolmogrov digunakan derajat kepercayaan sebesar 5% dan jumlah data hujan sebanyak 11 buah sehingga ΔP_{kritis} Berdasarkan Tabel 5.13 sebesar 0,391. Rekapitulasi hasil perhitungan nilai Smirnov hitung dan hasil nilai Smirnov kritis dapat dilihat pada Tabel 5.11 berikut.

Tabel 5. 11 Rekapitulasi Hasil Smirnov-Kolmogrov Uji Log Pearson III

Hasil	Log Pearson Tipe III
Smirnov hitung	0.219
Smirnov kritis	0.391
Hipotesa	Diterima

Dari hasil uji Chi Kuadrat dan hasil uji Smirnov-Kolmogrov yang diterima, maka distribusi Log Pearson Tipe III lolos uji distribusi probabilitas.

5.4.2 Perhitungan Periode Ulang Distribusi dengan Log Pearson Tipe III

Berdasarkan hasil parameter distribusi, diperoleh distribusi terpilih adalah Log Pearson Tipe III. Untuk pengukuran besar distribusi Log Pearson tipe III hasil perhitungan analisis frekuensi curah hujan dapat dilihat pada Tabel 5.12 berikut.

Tabel 5. 12 Hasil Perhitungan Analisis Frekuensi Logaritma Curah Hujan KSPN Borobudur

No	Rmax (Y_i) (mm)	Log Y_i (mm)	$(Y_i - Y_{rt})$ (mm)	$(Y_i - Y_{rt})^2$ (mm)	$(Y_i - Y_{rt})^3$ (mm)	$(Y_i - Y_{rt})^4$ (mm)
1.	134,64	2,1292	0,1478	0,0218	0,0032	0,00047735
2.	112,8	2,0523	0,0709	0,0050	0,0004	0,00002534
3.	110,55	2,0436	0,0622	0,0039	0,0002	0,00001496
4.	108,36	2,0349	0,0535	0,0029	0,0002	0,00000820
5.	99,72	1,9988	0,0174	0,0003	0,000005	0,00000009
6.	95,07	1,9780	-0,0033	0,0000	0,000000	0,00000000
7.	92,53	1,9663	-0,0151	0,0002	-0,000003	0,00000005
8.	90,02	1,9543	-0,0270	0,0007	0,0000	0,00000053
9.	79,58	1,9008	-0,0806	0,0065	-0,0005	0,00004212
10.	75,05	1,8754	-0,1060	0,0112	-0,0012	0,00012630
11.	72,69	1,8615	-0,1199	0,0144	-0,0017	0,00020659
	1071,01	21,795	2,220	0,0669	0,0005	0,0009

Dari Tabel 5.14 dapat dihitung faktor uji distribusi untuk distribusi Log Pearson tipe III yaitu sebagai berikut.

1. Nilai rata-rata (\bar{x})

Nilai rata-rata dapat dihitung dengan persamaan 3.15 berikut.

$$\begin{aligned}
 \log \bar{x} &= \frac{\sum X_{\log rata-rata}}{n} & 3.15 \\
 \log \bar{x} &= \frac{21,794}{11} \\
 \log \bar{x} &= 1,981
 \end{aligned}$$

2. Deviasi Standar (S_d)

Nilai deviasi standar dihitung berdasarkan persamaan 3.16 berikut.

$$\begin{aligned}
 S_d &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \log(X_i - \bar{x})^2}{n-1}} & 3.16 \\
 S_d &= \sqrt{\frac{0,0669}{11-1}} \\
 S_d &= 0,081
 \end{aligned}$$

3. Koefisien Variasi (C_v)

Koefisien variasi dihitung berdasarkan persamaan 3.20 berikut.

$$\begin{aligned}
 C_v &= \frac{S_d}{\log \bar{x}} & 3.20 \\
 C_v &= \frac{0,081}{1,981} \\
 C_v &= 0,041
 \end{aligned}$$

4. Koefisien Asimetri (C_s)

Koefisien asimetri dihitung berdasarkan persamaan 3.17 berikut.

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n \log(X_i - \bar{x})^3 & 3.17 \\
 a &= \frac{11}{(11-1)(11-2)} \times 0,00525 \\
 a &= 0,00006 \\
 C_s &= \frac{a}{S_d^2} \\
 C_s &= \frac{0,00006}{0,081^3} \\
 C_s &= 0,117
 \end{aligned}$$

5. Koefisien Kurtosis (C_k)

Koefisien asimetri dihitung berdasarkan persamaan 3.19 berikut.

$$\begin{aligned}
 C_k &= \frac{n^2 \sum_{i=1}^n \log(X_i - X_{rt})^4}{(n-1) \times (n-2) \times (n-3) \times S_d^4} & 3.19 \\
 C_k &= \frac{11^2 \times 0,0009}{10 \times 9 \times 8 \times 0,081^4} \\
 C_k &= 3,376
 \end{aligned}$$

Analisis data hujan maksimum dengan periode ulang 5 dan 10 tahun digunakan persamaan 3.17 berikut ini.

$$\text{Log } Y = \bar{Y} + K \cdot S_d \quad 3.17$$

Adapun nilai K ditentukan berdasarkan Tabel 3.4 dengan $C_s = 0,117$ dan periode ulang yang dicari adalah 5 dan 10 tahun, maka dilakukan perhitungan interpolasi, adapun tabel hasil perhitungan interpolasi nilai K dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5. 13 Hasil Interpolasi Nilai K Distribusi Log Pearson Tipe III

C_s	Periode Ulang	
	5	10
0,2	0,830	1,301
0,117	0,835	1,293
0,1	0,836	1,292

Dari hasil interpolasi didapatkan nilai K untuk distribusi Log Pearson Tipe III adalah sebesar -0,0197 untuk periode kala ulang 5 tahun dan 0,835 untuk periode kala ulang 10 tahun, sehingga apabila dimasukkan ke dalam persamaan distribusi Log Pearson Tipe III pada persamaan 3.17 adalah sebagai berikut.

1. Periode Kala Ulang 5 Tahun

$$\text{Log } Y = 1,981 + (0,835 \times 0,081)$$

$$\text{Log } Y = 2,049$$

$$Y = 112,124 \text{ mm}$$

2. Periode Kala Ulang 10 Tahun

$$\text{Log } Y = 1,981 + (1,293 \times 0,081)$$

$$\text{Log } Y = 2,087$$

$$Y = 122,245 \text{ mm}$$

5.5 Intensitas Hujan

Dalam menghitung intensitas curah hujan didekati dengan rumus waktu konsentrasi yang menggunakan rumus Mononobe dengan waktu konsentrasi melalui persamaan *Australian Rainfall Runoff* (ARR) milik McDermott (1987). Adapun persamaan intensitas dan waktu konsentrasi dapat dilihat pada persamaan

3.27 dan 3.28, berikut adalah contoh perhitungan intensitas dan waktu konsentrasi pada kala ulang 5 tahun, adapun luas daerah diambil berdasarkan luas *catchment* 1 yaitu sebesar 0,590 km².

$$t_c = 0,760A^{0,38} \quad 3.25$$

$$t_{c1} = 0,760 \times 0,590^{0,38}$$

$$t_{c1} = 0,622 \text{ Jam}$$

$$I_{c1} = \frac{112,124}{24} \left(\frac{24}{0,622} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$I_{c1} = 53,419 \text{ mm/jam}$$

Berdasarkan perhitungan maka diperoleh pada *catchment* 1 t_{c1} sebesar 0,622 jam dan I_{c1} sebesar 53,419 mm/jam, adapun perhitungan kala ulang periode waktu lainnya dapat dilihat pada rekapitulasi tabel perhitungan intensitas Tabel 5.14 berikut ini.

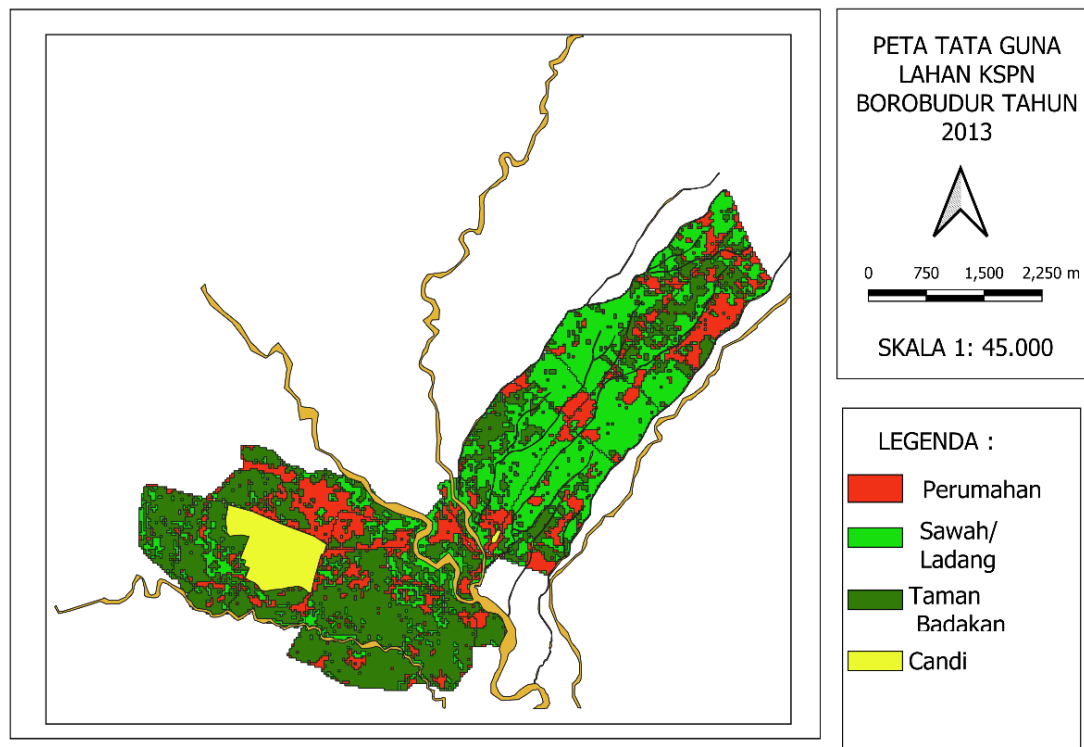
Tabel 5. 14 Rekapitulasi Perhitungan Intensitas Periode Kala Ulang

No	Catchment	t_c (Jam)	X_T (mm) 5 Tahun	X_T (mm) 10 Tahun	Intensitas 5 Tahun (mm/jam)	Intensitas 10 Tahun (mm/jam)
1.	Catchment 1	0,622	112,124	122,245	53,419	58,240
2.	Catchment 2	0,834	112,124	122,245	43,929	47,894
3.	Catchment 3	0,777	112,124	122,245	46,054	50,211
4.	Catchment 4	0,895	112,124	122,245	41,898	45,679
5.	Catchment 5	0,517	112,124	122,245	60,416	65,870
6.	Catchment 6	1,040	112,124	122,245	37,896	41,317
7.	Catchment 7	0,711	112,124	122,245	48,864	53,274
8.	Catchment 8	0,670	112,124	122,245	50,843	55,432
9.	Catchment 9	0,613	112,124	122,245	53,919	58,786
10.	Catchment 10	0,538	112,124	122,245	58,840	64,151
11.	Catchment 11	0,868	112,124	122,245	42,776	46,637
12.	Catchment 12	0,549	112,124	122,245	58,068	63,310
13.	Catchment 13	0,802	112,124	122,245	45,069	49,136
14.	Catchment 14	0,656	112,124	122,245	51,570	56,225
15.	Catchment 15	0,850	112,124	122,245	43,383	47,299
16.	Catchment 16	0,639	112,124	122,245	52,438	57,171
17.	Catchment 17	0,692	112,124	122,245	49,733	54,222
18.	Catchment 18	0,902	112,124	122,245	41,679	45,441

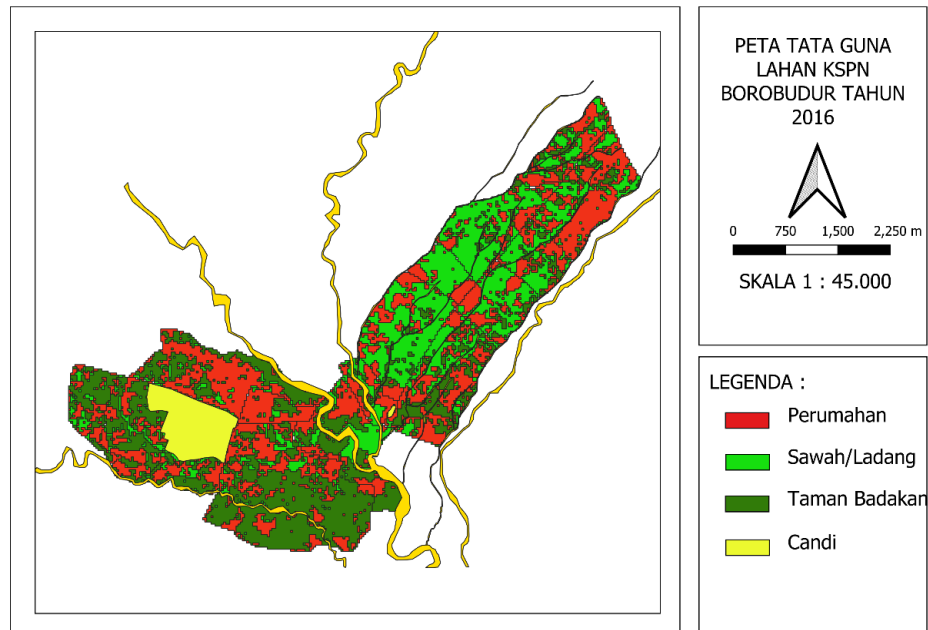
5.6 Analisis Tata Guna Lahan dan Koefisien Limpasan

Hasil pengolahan peta pada aplikasi QGIS di KSPN Borobudur menunjukkan terdapat perubahan – perubahan tata guna lahan pada tahun 2013, 2016 dan 2020.

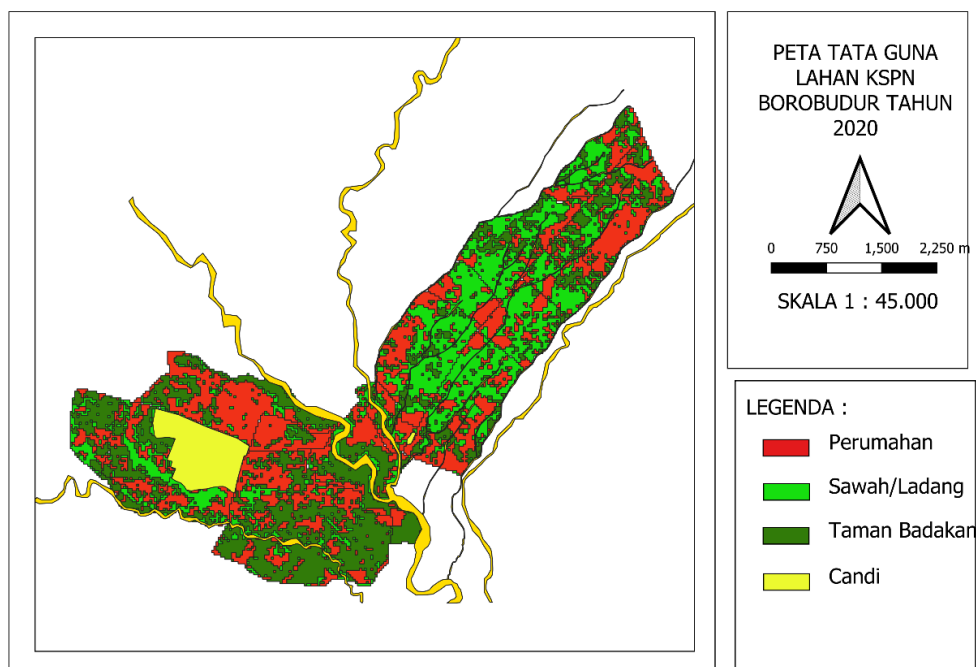
Dengan menggunakan metode *Supervised Minimum Distance Classification*, data citra satelit yang dipakai adalah Landsat 8 dari tahun 2013, 2016 dan 2020 yang telah disediakan oleh USGS. Dalam melakukan klasifikasi tutupan lahan, klasifikasi dibagi menjadi 2 macam yaitu daerah vegetasi yang meliputi sawah/ladang, dan Taman Badakan serta daerah non vegetasi yang meliputi candi dan permukiman, kemudian dilakukan analisis pada 18 *catchment* di KSPN Borobudur sehingga dapat diperoleh besar nilai koefisien limpasan di setiap *catchment* di KSPN Borobudur. Hasil analisis peta tata guna lahan pada tahun 2013, 2016 dan 2020 serta peta *catchment* KSPN Borobudur dapat dilihat berturut – turut pada Gambar 5.6 , Gambar 5.7, Gambar 5.8 dan Gambar 5.9 berikut.



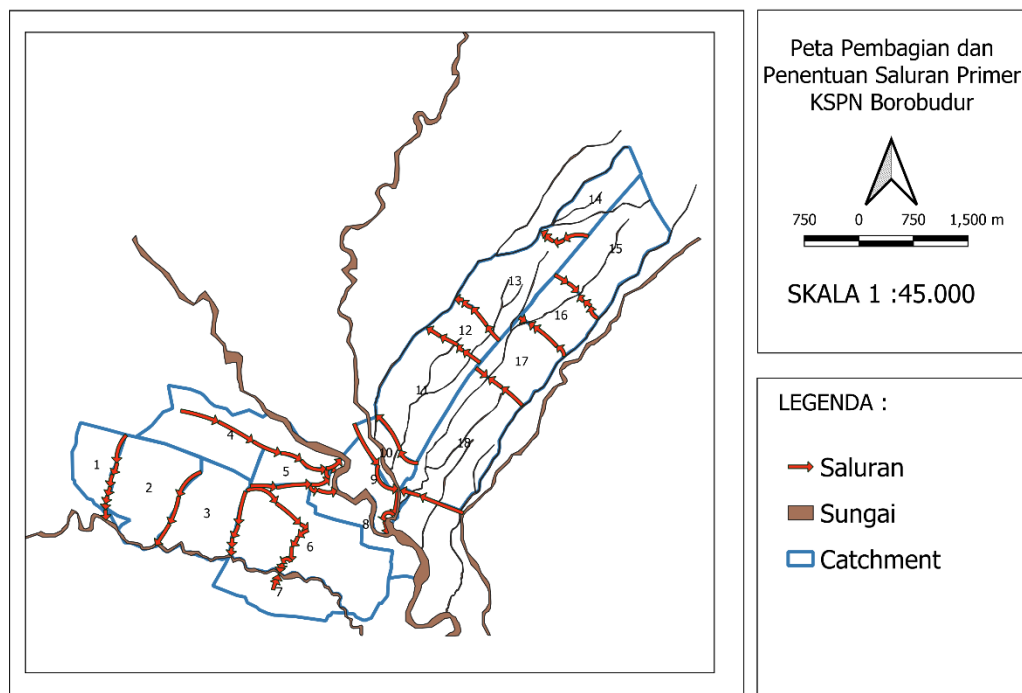
Gambar 5. 6 Peta Tata Guna Lahan Catchment KSPN Borobudur Tahun 2013



Gambar 5. 7 Peta Tata Guna Lahan Catchment KSPN Borobudur Tahun 2016



Gambar 5. 8 Peta Tata Guna Lahan Catchment KSPN Borobudur Tahun 2020



Gambar 5. 9 Peta Pembagian dan Penentuan Saluran Primer KSPN Borobudur

Untuk menentukan nilai koefisien limpasan pada daerah vegetasi seperti sawah/ladang dan Taman Badakan serta daerah non vegetasi seperti permukiman, dan candi ditentukan berdasarkan nilai tabel koefisien limpasan yang tertera pada Tabel 3.10. Berdasarkan Tabel 3.10 ditentukan koefisien limpasan yang digunakan untuk analisis, sebagaimana tertera pada Tabel 5.15 berikut.

Tabel 5. 15 Koefisien Limpasan KSPN Borobudur

Tipe Daerah	C
Candi	0,70
Permukiman	0,50
Sawah/Ladang	0,20
Taman Badakan	0,15

Penentuan nilai persentase setiap *catchment* dan nilai koefisien limpasan setiap *catchment* dipaparkan pada rumus 3.29, dengan contoh perhitungan *catchment* 1 pada tahun 2013 berikut.

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (3.29)$$

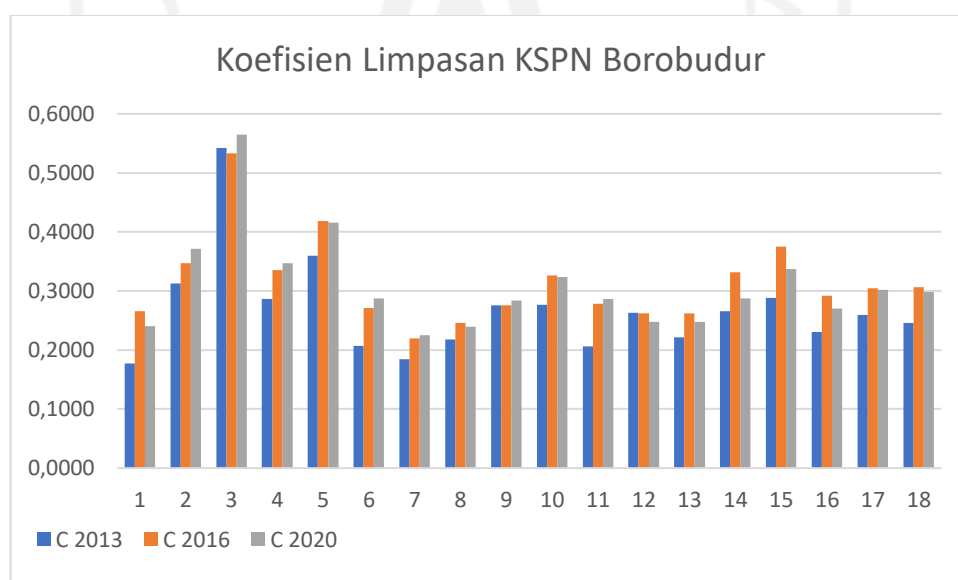
$$C = \frac{\sum_{i=1}^n ((0 \times 0,7) + (0,027 \times 0,5) + (0,130 \times 0,2) + (0,431 \times 0,15))}{0,589}$$

$$C = 0,177$$

Adapun rekapitulasi hasil perhitungan setiap *catchment* pada tahun 2013, 2016 dan 2020 dapat dilihat pada Tabel 5.16 dan Gambar 5.10 berikut.

Tabel 5. 16 Rekapitulasi Perhitungan Koefisien Limpasan Pada Setiap *Catchment* KSPN Borobudur

<i>Catchment</i>	2013	2016	2020
Catchment 1	0,1776	0,2657	0,2405
Catchment 2	0,3129	0,3467	0,3715
Catchment 3	0,5424	0,5329	0,5652
Catchment 4	0,2861	0,3357	0,3466
Catchment 5	0,3596	0,4186	0,4161
Catchment 6	0,2073	0,2715	0,2871
Catchment 7	0,1840	0,2196	0,2250
Catchment 8	0,2180	0,2461	0,2391
Catchment 9	0,2756	0,2755	0,2840
Catchment 10	0,2762	0,3261	0,3233
Catchment 11	0,2061	0,2787	0,2864
Catchment 12	0,2630	0,2624	0,2479
Catchment 13	0,2215	0,2624	0,2479
Catchment 14	0,2656	0,3317	0,2872
Catchment 15	0,2884	0,3750	0,3375
Catchment 16	0,2307	0,2924	0,2703
Catchment 17	0,2597	0,3043	0,3018
Catchment 18	0,2458	0,3065	0,2987



Gambar 5. 10 Grafik Perhitungan Koefisien Limpasan KSPN Borobudur

5.7 Debit Rencana

Pada perhitungan debit drainase digunakan metode rasional, dengan menggunakan tiga variabel yaitu intensitas, koefisien limpasan dan luas *catchment*, adapun contoh perhitungan debit drainase dapat dilihat pada persamaan 3.30 dengan contoh perhitungan *catchment* 1 tahun 2013 pada periode kala ulang 5 tahun berikut.

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A$$

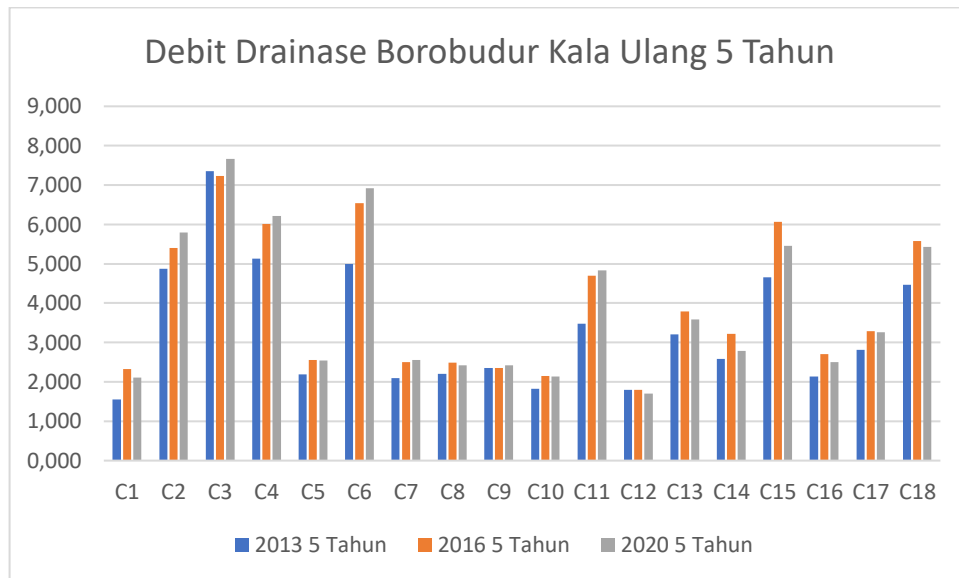
$$Q = 0,278 \times 0,1776 \times 53,419 \text{ mm/jam} \times 0,590 \text{ km}^2$$

$$Q = 1,556 \text{ m}^3/\text{detik}$$

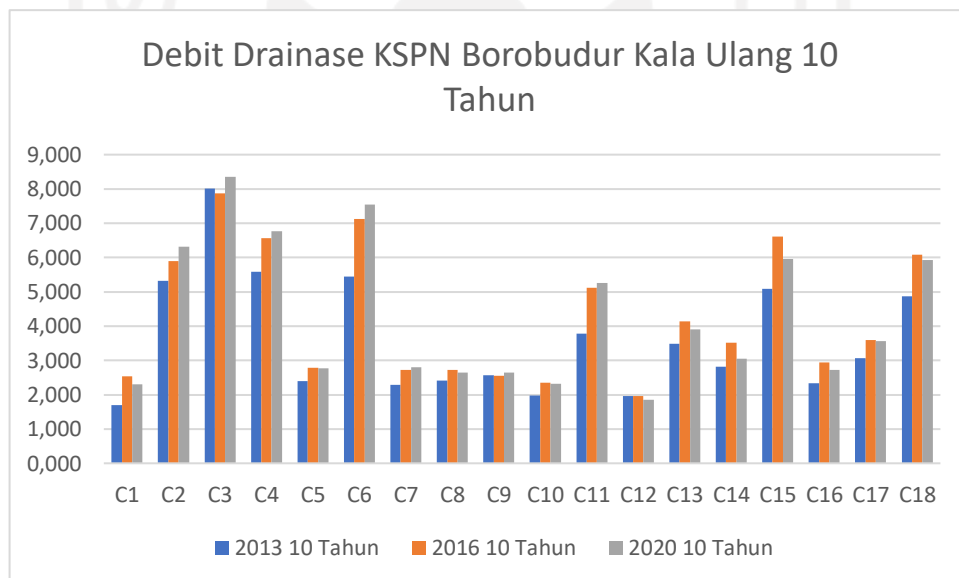
Adapun rekapitulasi debit rencana pada tahun 2013, 2016 dan 2020 pada KSPN Borobudur dapat dilihat pada Tabel 5.17 dan Gambar 5.11 dan Gambar 5.12 berikut.

Tabel 5.17 Rekapitulasi Debit Rencana KSPN Borobudur

Catchment	2013 (m ³ /detik)		2016 (m ³ /detik)		2020 (m ³ /detik)	
	5 Tahun	10 Tahun	5 Tahun	10 Tahun	5 Tahun	10 Tahun
Catchment 1	1,556	1,697	2,328	2,538	2,107	2,297
Catchment 2	4,876	5,316	5,402	5,890	5,790	6,313
Catchment 3	7,354	8,018	7,226	7,878	7,664	8,356
Catchment 4	5,126	5,588	6,015	6,558	6,210	6,771
Catchment 5	2,192	2,390	2,552	2,782	2,537	2,766
Catchment 6	4,992	5,443	6,537	7,127	6,913	7,537
Catchment 7	2,096	2,285	2,501	2,726	2,562	2,794
Catchment 8	2,209	2,408	2,494	2,719	2,423	2,642
Catchment 9	2,349	2,561	2,348	2,560	2,420	2,639
Catchment 10	1,820	1,985	2,149	2,343	2,130	2,323
Catchment 11	3,474	3,788	4,697	5,120	4,827	5,263
Catchment 12	1,802	1,964	1,798	1,960	1,699	1,852
Catchment 13	3,200	3,489	3,793	4,135	3,583	3,906
Catchment 14	2,581	2,814	3,223	3,514	2,791	3,043
Catchment 15	4,663	5,084	6,063	6,610	5,458	5,950
Catchment 16	2,135	2,327	2,705	2,949	2,501	2,727
Catchment 17	2,808	3,062	3,291	3,588	3,263	3,558
Catchment 18	4,471	4,875	5,576	6,080	5,434	5,925



Gambar 5. 11 Grafik Perhitungan Debit Drainase KSPN Borobudur Kala Ulang 5 Tahun



Gambar 5. 12 Debit Drainase KSPN Borobudur Kala Ulang 10 Tahun

5.7 Rencana Tata Ruang Wilayah Kawasan Strategis Pariwisata Nasional Borobudur 2014 – 2034

5.7.1 Koefisien Limpasan RTRW KSPN Borobudur

Pada analisis tata guna lahan RTRW KSPN Borobudur terdapat 4 komponen yang dijadikan acuan dalam menentukan koefisien limpasan tiap *catchment*, yaitu

candi, permukiman, sawah/ladang dan taman badakan, adapun nilai – nilai tipe daerah dapat dilihat pada Tabel 5.18 berikut.

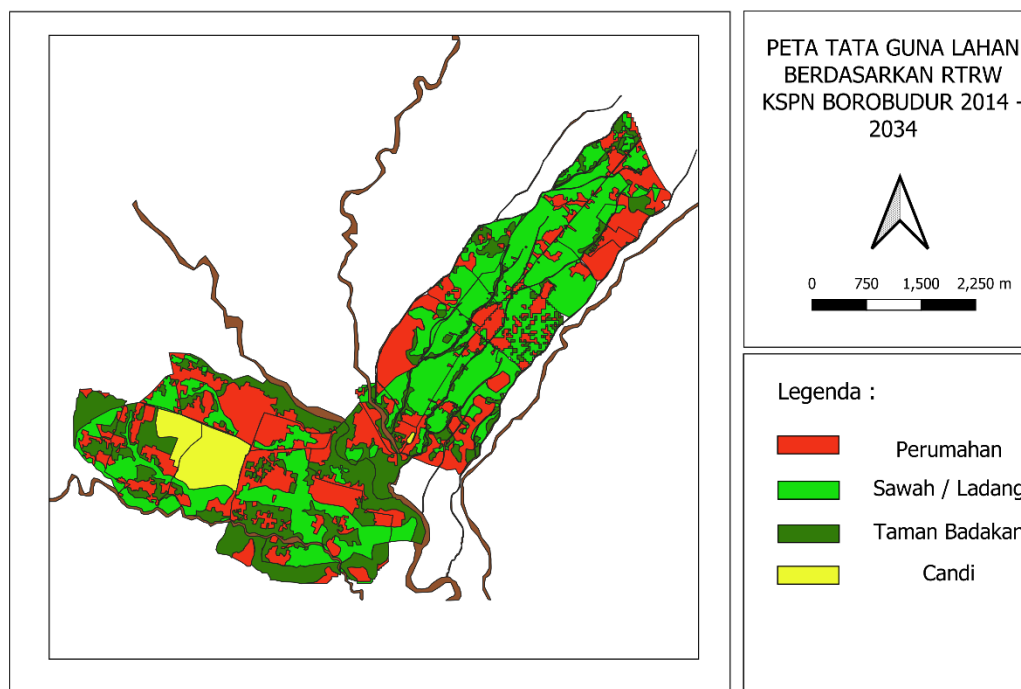
Tabel 5. 18 Koefisien Limpasan RTRW KSPN Borobudur

Tipe Daerah	C
Candi	0,70
Permukiman	0,50
Sawah/Ladang	0,20
Taman Badakan	0,15

Dari Tabel 5.18 di atas, hasil koefisien limpasan RTRW KSPN Borobudur pada tiap *catchment* dapat dilihat pada Tabel 5.19 dan Gambar 5.12 untuk hasil analisis tata guna lahan RTRW KSPN Borobudur Tahun 2014 – 2034 dapat dilihat di bawah ini.

Tabel 5. 19 Hasil Koefisien Limpasan RTRW KSPN Borobudur

Catchment	RTRW 2014 - 2034
Catchment 1	0,2373
Catchment 2	0,3629
Catchment 3	0,5176
Catchment 4	0,3320
Catchment 5	0,4089
Catchment 6	0,2844
Catchment 7	0,2254
Catchment 8	0,2357
Catchment 9	0,2716
Catchment 10	0,3145
Catchment 11	0,2926
Catchment 12	0,3048
Catchment 13	0,2369
Catchment 14	0,2616
Catchment 15	0,3477
Catchment 16	0,2403
Catchment 17	0,2703
Catchment 18	0,2925



Gambar 5. 13 Peta Tata Guna Lahan Catchment Berdasarkan RTRW KSPN Borobudur Tahun 2014 – 2034

5.7.2 Debit Rencana RTRW KSPN Borobudur

Perhitungan debit rencana RTRW KSPN Borobudur sebagaimana perhitungan debit rencana hasil analisis pada sub bab 5.7 Debit Rencana, adapun hasil rekapitulasi perbandingan antara debit rencana RTRW KSPN Borobudur dan debit rencana hasil analisis pada tahun 2020 dapat dilihat pada Tabel 5.20 berikut.

Tabel 5. 20 Perbandingan Debit Rencana Tahun 2020 dan Debit Rencana RTRW KSPN Borobudur 2014 – 2034

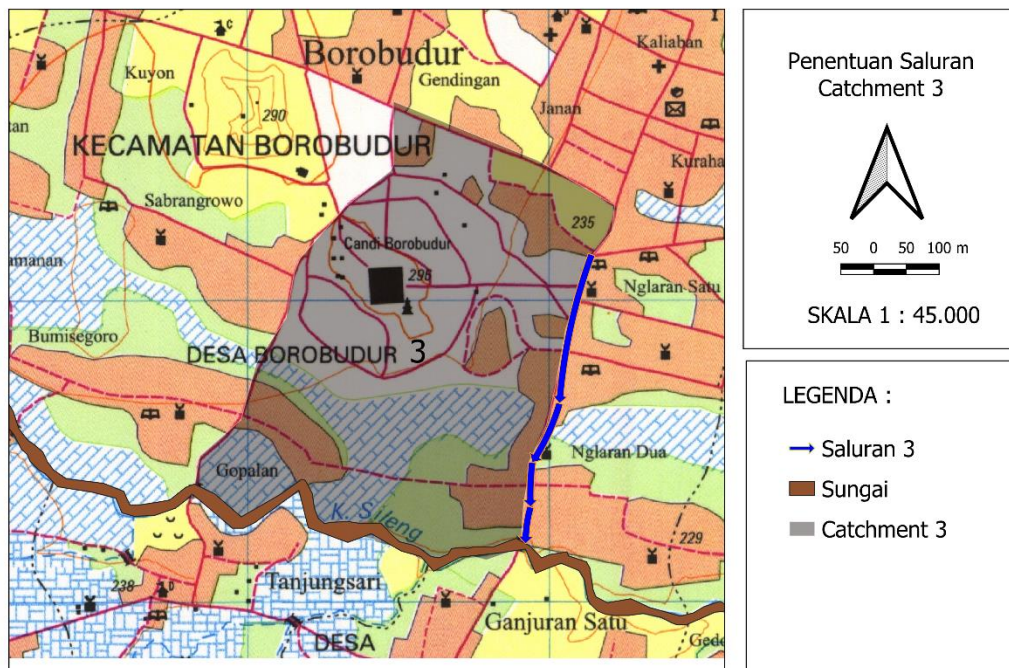
Catchment	2020		RTRW 2014 – 2034		Persentase RTRW Debit 2020(%)
	5 Tahun (m ³ /detik)	10 Tahun (m ³ /detik)	5 Tahun (m ³ /detik)	10 Tahun (m ³ /detik)	
Catchment 1	2,107	2,297	2,079	2,267	101,3%
Catchment 2	5,790	6,313	5,656	6,166	102,4%
Catchment 3	7,664	8,356	7,019	7,652	109,2%
Catchment 4	6,210	6,771	5,948	6,485	104,4%
Catchment 5	2,537	2,766	2,493	2,718	101,8%
Catchment 6	6,913	7,537	6,847	7,465	101,0%
Catchment 7	2,562	2,794	2,567	2,798	99,8%
Catchment 8	2,423	2,642	2,388	2,604	101,5%
Catchment 9	2,420	2,639	2,315	2,524	104,5%

Catchment	2020		RTRW 2014 – 2034		Persentase RTRW Debit 2020(%)
	5 Tahun (m ³ /detik)	10 Tahun (m ³ /detik)	5 Tahun (m ³ /detik)	10 Tahun (m ³ /detik)	
Catchment 10	2,130	2,323	2,072	2,259	102,8%
Catchment 11	4,827	5,263	4,931	5,376	97,9%
Catchment 12	1,699	1,852	2,088	2,276	81,3%
Catchment 13	3,583	3,906	3,424	3,733	104,6%
Catchment 14	2,791	3,043	2,542	2,772	109,8%
Catchment 15	5,458	5,950	5,622	6,129	97,1%
Catchment 16	2,501	2,727	2,223	2,424	112,5%
Catchment 17	3,263	3,558	2,923	3,187	111,6%
Catchment 18	5,434	5,925	5,322	5,803	102,1%

Berdasarkan hasil debit yang diperoleh, pada Tabel 5.29 perlu dilakukan pengkajian ulang terhadap beberapa *catchment area* pada KSPN Borobudur karena hasil debit yang diperoleh hanya *catchment* 7, 10 dan 15 yang tidak melampaui hasil debit RTRW KSPN Borobudur Tahun 2014 – 2034 dan untuk *catchment* lainnya sudah melewati debit Rencana Tata Ruang Wilayah KSPN Borobudur dengan jangka 2014 – 2034.

5.7.4 Hidraulika Saluran

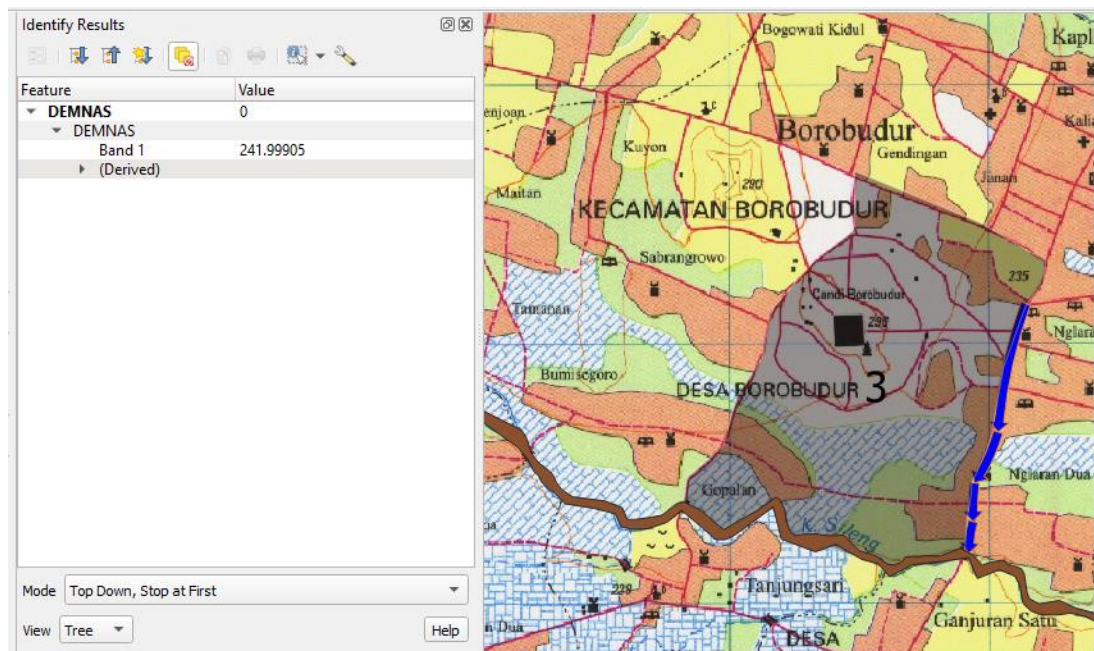
Dari hasil perhitungan debit rencana yang didapat diperoleh nilai debit tahun 2020 lebih besar daripada nilai debit RTRW 2014 – 2034, sehingga perlu dilakukan pembuatan saluran drainase yang mampu menampung besar debit pada tiap – tiap *catchment*. Pada perhitungan hidraulika saluran digunakan Q_{10} untuk mencari dimensi saluran, adapun terlebih dahulu dilakukukan penentuan saluran pada setiap *catchment*. Penentuan saluran dilakukan berdasarkan saluran – saluran pada RTRW KSPN Borobudur, dari beberapa saluran dipilih 1 saluran primer yang memiliki outlet yang langsung mengalir ke sungai atau kali, adapun contoh penentuan saluran dapat dilihat pada Gambar 5.13 berikut.



Gambar 5. 14 Penentuan Saluran Catchment 3

Berdasarkan Gambar 5.13 dipilih 1 saluran primer dengan menggunakan tools *attribute* pada QGIS, kemudian dari saluran – saluran tersebut ditentukan saluran yang memiliki *outlet* langsung ke sungai/kali, dengan asumsi jalan pada KSPN Borobudur memiliki saluran di setiap tepinya.

Setelah dilakukan penentuan saluran kemudian ditentukan elevasi hulu, elevasi hilir, debit maksimal antara debit analisis tahun 2020 dan RTRW dan panjang saluran untuk menentukan kemiringan lahan pada tiap – tiap catchment, berikut adalah gambar saluran pada tiap catchment, gambar penentuan elevasi dan rekapitulasi tabel kemiringan saluran pada Gambar 5.14 dan Tabel 5.21.



Gambar 5. 15 Penentuan Elevasi Hulu dan Hilir Saluran KSPN Borobudur

Tabel 5. 21 Elevasi Hulu, Hilir, Panjang Saluran dan Trase Saluran

Saluran	Elevasi Hulu (m)	Elevasi Hilir (m)	Δh (m)	Panjang Saluran (m)	S_{trase}
Saluran 1	267,037	242,896	24,141	1632	0,01479
Saluran 2	255,047	241,988	13,059	1221	0,01070
Saluran 3	241,999	232,587	11,545	917	0,01259
Saluran 4	253,293	225,29	28,003	2439	0,01148
Saluran 5	243,783	218,682	25,101	1336	0,01879
Saluran 6	241,707	232,302	9,405	1898	0,00496
Saluran 7	234,806	230,684	4,122	223	0,01848
Saluran 8	242,335	218,235	24,1	425	0,05671
Saluran 9	222,4	213,4	9	745	0,01208
Saluran 10	246,16	223,08	23,08	1137	0,02030
Saluran 11	242,93	241,67	1,26	914	0,00138
Saluran 12	258,98	256,66	2,32	886	0,00262
Saluran 13	263,4	262,2	1,2	879	0,00137
Saluran 14	297,87	285,49	12,38	723	0,01712
Saluran 15	285,63	281,7	3,93	873	0,00450
Saluran 16	272,92	270,68	2,24	841	0,00266
Saluran 17	260,76	258,41	2,35	761	0,00309
Saluran 18	232	223,91	8,09	923	0,00876

Adapun perhitungan kemiringan lahan dapat dilihat berdasarkan rumus 3.34 yang dicontohkan pada saluran 1 berikut.

$$S = \frac{\Delta h}{L_s} \quad (3.34)$$

$$S = \frac{(267,037 - 242,896)}{1632}$$

$$S = 0,015$$

Untuk nilai koefisien kekasaran manning ditentukan penggunaan gorong – gorong beton dengan dimensi yang telah disesuaikan dengan dimensi U – ditch yang sering digunakan, sehingga berdasarkan Tabel 3.12 digunakan koefisien manning sebesar 0,013 yang berarti gorong – gorong lurus bebas dari kotoran dengan harga n maksimal. Adapun nilai dimensi U – Ditch yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.22 berikut.

Tabel 5. 22 Dimensi U – Ditch

Tipe U-Ditch	Dimensi (mm)
U – Ditch 1200	1200 × 1000
	1200 × 1100
	1200 × 1200
	1200 × 1300
	1200 × 1500
U – Ditch 1400	1400 × 1200
	1400 × 1400
	1400 × 1600
	1400 × 1800
	1400 × 2000
U – Ditch 1600	1400 × 1600
	1600 × 1200
	1600 × 1400
	1600 × 1600
	1600 × 1800
U – Ditch 1800	1600 × 2000
	1800 × 1400
	1800 × 1600
	1800 × 1800
	1800 × 2000
U – Ditch 2000	2000 × 1500
	2000 × 1600
	2000 × 1800
U – Ditch 2200	2000 × 2000
	2200 × 1800
	2200 × 2000
	2200 × 2200
U – Ditch 2300	2300 × 2300

(Sumber: PT. Precon, 2018)

Dalam menentukan dimensi saluran digunakan penampang saluran berbentuk persegi dengan asumsi lebar dasar saluran 1 kali kedalaman air/ sama besar

kedalaman air ($B = h$), adapun contoh perhitungannya dapat dilihat pada saluran *catchment* 1 berikut ini.

$$Q = V \times A \quad (3.32)$$

$$Q = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \times A$$

$$Q = \frac{1}{n} \times \left(\frac{A}{P}\right)^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \times A$$

$$Q = \frac{1}{n} \times \left(\frac{h^2}{3h}\right)^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \times h^2$$

$$2,30 = \frac{1}{0,013} \times \left(\frac{h^2}{3h}\right)^{\frac{2}{3}} \times 0,015^{\frac{1}{2}} \times h^2$$

$$2,30 = 9,421 \times (0,33h)^{\frac{2}{3}} \times h^2$$

$$0,2441 = 0,477h^{\frac{2}{3}} \times h^2$$

$$0,477h^{\frac{2}{3}} \times h^2 = 0,2441$$

$$0,477h^{\frac{8}{3}} = 0,2441$$

$$h = 0,777 \text{ m}$$

$$b = 0,77 \text{ m}$$

$$V = \frac{1}{0,013} \times \left(\frac{(0,77)^2}{3(0,77)}\right)^{\frac{2}{3}} \times 0,015^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 3,8 \text{ m/detik}$$

Berdasarkan Perhitungan Saluran Drainase Diklat Teknis Perencanaan Irigasi Kementerian PUPR halaman IV-10, koefisien kekasaran dengan bahan konstruksi pasangan beton memiliki V_{max} antara 2 – 3 m/detik dengan pertimbangan kecepatan aliran yang perlu direduksi menjadi sekitar 1,5 m/detik agar jika ada barang yang jatuh ke dalam saluran tidak terbawa aliran terlalu cepat diasumsikan kemiringan lahan sebesar 0,0015 sehingga perhitungan menjadi seperti berikut.

$$V = \frac{1}{0,013} \times \left(\frac{(0,77)^2}{3(0,77)}\right)^{\frac{2}{3}} \times 0,0015^{\frac{1}{2}}$$

$$V = 1,2 \text{ m/detik}$$

Kemudian ditentukan nilai tinggi jagaan berdasarkan pada ketentuan dari PUPR, adapun tabel tinggi jagaan dapat dilihat pada Tabel 5.23 berikut.

Tabel 5. 23 Tinggi Jagaan

Debit ($m^3/detik$)	Tinggi Jagaan (m)
< 0,5	0,20
0,5 – 1,5	0,20
1,5 – 5,0	0,25
5,0 – 10,0	0,30
10,0 – 15, 0	0,40
> 15,0	0,50

(Sumber: Kementerian PUPR, 2016)

Berdasarkan besar debit catchment 1 yaitu sebesar $2,30 m^3/detik$ maka digunakan tinggi jagaan sebesar 0,25 meter, sehingga besar tinggi menjadi berikut.

$$h_{real} = \text{Tinggi Jagaan} + h$$

$$h_{real} = 0,25 + 0,77$$

$$h_{real} = 1,02 \text{ m}$$

Pada *catchment* 1 dicoba dimensi U – Ditch dengan tipe 1200 yaitu 1200×1200 sehingga tinggi saluran lebih tinggi daripada tinggi ditambah tinggi jagaan, selanjutnya dihitung besar debit saluran U – Ditch sebagai berikut.

$$Q = \frac{1}{n} \times \left(\frac{A}{P}\right)^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \times A$$

$$Q = \frac{1}{0,013} \times \left(\frac{1,2 \times 1,2}{1,2 + (2 \times 1,2)}\right)^{\frac{2}{3}} \times 0,0015^{\frac{1}{2}} \times 1,2 \times 1,2$$

$$Q = 2,328 m^3/detik$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang diperoleh, $Q_{saluran}$ lebih besar daripada Q_{10} maka $Q_{saluran}$ aman, adapun rekapitulasi perhitungan saluran pada catchment dapat dilihat pada Tabel 5.24 berikut.

Tabel 5. 24 Hasil Perhitungan $Q_{saturan}$ KSPN Borobudur

No.	Lebar (m)	Tinggi (m)	V (m/s)	A (m^2)	$S_{saturan}$	$Q_{saturan}$ ($m^3/detik$)	Q_{10} ($m^3/detik$)	Ket
C1	1,2	1,2	1,6129	1,44	0,00150	2,328	2,30	aman
C2	2	2	1,8705	4	0,00110	7,787	6,31	aman
C3	2,3	2,3	1,9402	5,29	0,00100	10,778	8,36	aman
C4	2,1	2,1	1,9190	4,84	0,00110	8,869	6,77	aman
C5	1,6	1,6	1,4800	2,56	0,00100	4,095	2,77	aman
C6	2,2	2,2	1,8894	4,84	0,00100	9,573	7,54	aman
C7	1,6	1,6	1,5937	2,56	0,00120	4,485	2,80	aman
C8	1,4	1,4	1,8999	1,96	0,00200	4,056	2,64	aman
C9	1,4	1,4	1,8994	1,96	0,00200	4,056	2,64	aman
C10	1,4	1,4	1,4056	1,96	0,00100	2,868	2,32	aman
C11	2	2	1,7429	4	0,00100	7,424	5,38	aman
C12	1,4	1,4	1,3999	1,96	0,00100	2,868	2,28	aman
C13	1,6	1,6	1,8672	2,56	0,00150	5,015	3,91	aman
C14	1,6	1,6	1,5100	2,56	0,00100	4,095	3,04	aman
C15	2	2	1,8594	4	0,00110	7,787	6,13	aman
C16	1,4	1,4	1,7513	1,96	0,00160	3,627	2,73	aman
C17	1,8	1,8	1,5796	3,24	0,00100	5,606	3,56	aman
C18	2	2	1,7778	4	0,00100	7,424	5,92	aman

5.7.6 Bangunan Terjun

Berdasarkan hasil perhitungan untuk mencapai target kecepatan aliran dibawah 3 m/detik pada suatu *catchment* maka dilakukan pengurangan kemiringan saluran, dalam hal ini dilakukan perhitungan bangunan terjun, adapun contoh perhitungannya terdapat pada *catchment* 1 adalah sebagai berikut.

$$S_{saluran} = 0,0015$$

$$S_{trase} = 0,01479$$

$$H_1 = S_{trase} \times \text{Panjang Saluran}$$

$$H_1 = 0,01479 \times 1632$$

$$H_1 = 24,141 \text{ m}$$

$$H_2 = S_{saluran} \times \text{Panjang Saluran}$$

$$H_2 = 0,0015 \times 1632$$

$$H_2 = 2,448 \text{ m}$$

Pada *Catchment* 1 debit drainase adalah sebesar $2,30 \text{ m}^3/\text{detik}$, berdasarkan tinggi terjun maksimum 1,50 meter untuk $Q < 2,50 \text{ m}^3/\text{detik}$, namun jika $Q > 2,50 \text{ m}^3/\text{detik}$ maka tinggi terjun maksimum sebesar 0,75 meter.

$$\Delta h = H_1 - H_2$$

$$\Delta h = 24,141 - 2,448$$

$$\text{Jumlah bangunan terjun} = \frac{21,693}{1,5}$$

$$\text{Jumlah bangunan terjun} = 14 \text{ buah}$$

Adapun hasil perhitungan bangunan terjun pada tiap – tiap *catchment* dapat dilihat pada Tabel 5.25 berikut.

Tabel 5. 25 Perhitungan Bangunan Terjun KSPN Borobudur

<i>Catchment</i>	$S_{trase \text{ lahan}}$	S_{debit}	H_1 (m)	H_2 (m)	Δh (m)	n
C1	0,00150	0,01479	24,141	2,448	21,693	14
C2	0,00110	0,01070	13,059	1,3431	11,7159	16
C3	0,00100	0,01259	11,545	0,917	10,628	14
C4	0,00110	0,01148	28,003	2,6829	25,3201	34
C5	0,00100	0,01879	25,101	1,336	23,765	32
C6	0,00100	0,00496	9,405	1,898	7,507	10
C7	0,00120	0,01848	4,122	0,2676	3,8544	5
C8	0,00200	0,05671	24,1	0,85	23,25	31
C9	0,00200	0,01208	9	1,49	7,51	10
C10	0,00100	0,02030	23,08	1,137	21,943	15
C11	0,00100	0,00138	1,26	0,914	0,346	1
C12	0,00100	0,00262	2,32	0,886	1,434	2
C13	0,00150	0,00137	1,2	1,3185	0,1185	0
C14	0,00100	0,01712	12,38	0,723	11,657	16
C15	0,00110	0,00450	3,93	0,9603	2,9697	4
C16	0,00160	0,00266	2,24	1,3456	0,8944	1
C17	0,00100	0,00309	2,35	0,761	1,589	2
C18	0,00100	0,00876	8,09	0,923	7,167	10

5.8 Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis, terjadi perubahan tata guna lahan dari tahun 2013, 2016 hingga 2020. Perubahan tata guna lahan terjadi akibat pertambahan penduduk dari tahun ke tahun, sehingga kebutuhan rumah tinggal dan beberapa sektor pendukung seperti industri juga meningkat. Berdasarkan hasil analisis diperoleh hasil analisis yaitu sebagai berikut:

1. Terjadi peningkatan koefisien limpasan dari tahun 2013 menuju tahun 2020 adapun jumlah besar peningkatannya dapat dilihat pada Tabel 5.26 berikut.

Tabel 5. 26 Peningkatan Koefisien Limpasan 2013 – 2020

Koefisien Limpasan	Peningkatan Koefisien Limpasan 2013 - 2020	Persentase
Catchment 1	0,0629	6%
Catchment 2	0,0587	6%
Catchment 3	0,0228	2%
Catchment 4	0,0605	6%
Catchment 5	0,0566	6%
Catchment 6	0,0797	8%
Catchment 7	0,0410	4%
Catchment 8	0,0212	2%
Catchment 9	0,0083	1%
Catchment 10	0,0471	5%
Catchment 11	0,0803	8%
Catchment 12	-0,0151	-2%
Catchment 13	0,0265	3%
Catchment 14	0,0216	2%
Catchment 15	0,0492	5%
Catchment 16	0,0396	4%
Catchment 17	0,0421	4%
Catchment 18	0,0529	5%

Pada koefisien limpasan tahun 2016 dapat dilihat pada Tabel 5.16 rekapitulasi koefisien limpasan, terdapat beberapa nilai koefisien limpasan tahun 2016 yang nilainya lebih besar daripada koefisien limpasan tahun 2020 hal ini disebabkan pada pengambilan citra menggunakan landsat 8, diperoleh hasil potret citra yang tertutupi oleh awan, sehingga menghalangi analisis tata guna lahan tahun 2016, adapun tampilannya terdapat pada Gambar 5.16 berikut.



Gambar 5. 16 Hasil Landsat 8 Tahun 2016

Kotak merah merupakan daerah Kabupaten magelang yang areanya didominasi tertutup awan. Berdasarkan perbandingan debit tata guna lahan pada hasil Tabel 5.29 antara tahun 2013 dan 2020, peningkatan koefisien limpasan dari tahun 2013 ke tahun 2020 tersebut berdampak pada semakin berkurangnya daya suatu kawasan untuk diresapi air.

2. Debit drainase pada tahun 2013, 2016, dan 2020 berdasarkan periode ulang 5 tahun dan 10 tahun mengalami peningkatan akibat meningkatnya nilai koefisien limpasan, hal ini dapat dilihat pada Tabel 5.27.

Tabel 5. 27 Peningkatan Debit Tahun 2013 – 2020

Catchment	Selisih Kala Ulang 5 Tahun 2013 – 2020 (m ³ /detik)	Selisih Kala Ulang 10 Tahun 2013 – 2020 (m ³ /detik)	Persentase
Catchment 1	0,551	0,601	26%
Catchment 2	0,914	0,997	16%
Catchment 3	0,310	0,338	4%
Catchment 4	1,085	1,182	17%
Catchment 5	0,345	0,376	14%
Catchment 6	1,920	2,094	28%
Catchment 7	0,467	0,509	18%
Catchment 8	0,214	0,234	9%
Catchment 9	0,071	0,077	3%
Catchment 10	0,310	0,338	15%
Catchment 11	1,353	1,475	28%
Catchment 12	-0,103	-0,113	-6%
Catchment 13	0,383	0,417	11%
Catchment 14	0,210	0,229	8%
Catchment 15	0,795	0,867	15%
Catchment 16	0,366	0,399	15%
Catchment 17	0,455	0,496	14%
Catchment 18	0,963	1,050	18%

3. Perbandingan antara RTRW KSPN Borobudur yang direncanakan dalam jangka waktu 2014 – 2034 dengan hasil analisis debit drainase pada tahun terakhir yaitu tahun 2020 menunjukkan terdapat 14 catchment yang memiliki debit analisis lebih tinggi daripada debit RTRW KSPN Borobudur dan 4 catchment yang aman, diantaranya adalah catchment 7, catchment 11, catchment 12, dan catchment 15, hal ini dapat dilihat pada Tabel 5.24.
4. Berdasarkan perbandingan maksimum debit, untuk menampung kelebihan debit – debit tersebut diperlukan adanya redesain dimensi saluran primer, digunakan U – ditch pada 18 catchment di KSPN Borobudur. Berdasarkan hasil analisis, berikut adalah rekapitulasi dimensi U – ditch dan jumlah bangunan terjun pada Tabel 5.28.

Tabel 5. 28 Dimensi U – ditch dan Jumlah Bangunan Terjun

Catchment	Dimensi	Bangunan Terjun
Catchment 1	1200 × 1200	14
Catchment 2	2000 × 2000	16
Catchment 3	2300 × 2300	14
Catchment 4	2100 × 2100	34
Catchment 5	1600 × 1600	32
Catchment 6	2200 × 2200	10
Catchment 7	1600 × 1600	5
Catchment 8	1400 × 1400	31
Catchment 9	1400 × 1400	10
Catchment 10	1400 × 1400	15
Catchment 11	2000 × 2000	1
Catchment 12	1400 × 1400	2
Catchment 13	1600 × 1600	0
Catchment 14	1600 × 1600	16
Catchment 15	2000 × 2000	4
Catchment 16	1400 × 1400	1
Catchment 17	1800 × 1800	2
Catchment 18	2000 × 2000	10

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Pada analisis tata guna lahan yang sudah dilakukan pada *catchment* KSPN Borobudur dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Terjadi peningkatan koefisien limpasan pada setiap *catchment* dari tahun 2013 hingga tahun 2020 dengan peningkatan koefisien limpasan terbesar terdapat pada *catchment* 6 dengan besar 8%, dengan kenaikan sebesar 0,079.
2. Terjadi peningkatan debit drainase pada setiap *catchment* dengan kenaikan terbesar pada *catchment* yaitu meningkat menjadi 28% dengan kenaikan debit sebesar 1,920 m³/detik pada kala ulang 5 tahun dan 2,094 m³/detik pada kala ulang 10 tahun.
3. Perbandingan RTRW KSPN Borobudur dengan jangka tahun 2014 – 2034 dengan debit analisis tahun 2020 diperoleh terdapat 4 *catchment* yang aman diantaranya *catchment* 7, 11, 12 dan 15, sedangkan sisanya memiliki nilai debit yang melampaui debit RTRW KSPN Borobudur, terlampauinya debit rencana tata ruang wilayah KSPN Borobudur mengakibatkan perlu dilakukannya pengkajian ulang terkait RTRW KSPN Borobudur terhadap debit drainase di lapangan.
4. Diperoleh saluran – saluran dimensi dengan menggunakan saluran *open flow U – ditch* dengan dimensi terbesar pada *catchment* 3 yang di dalamnya terdapat Candi Borobudur yaitu sebesar 2300 × 2300 mm karena memiliki besar Q_{10} sebesar 8,36 m³/detik sehingga $Q_{saluran}$ dengan dimensi U – ditch 2300 × 2300 mm adalah sebesar 10,778 m³/detik.

6.2 Saran

Dari hasil analisis yang didapat maka beberapa saran terkait adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya tindakan seperti pembuatan saluran penampung debit, sumur – sumur resapan di sekitar area KSPN Borobudur atau cara lain sehingga perlindungan situs bersejarah yaitu Candi Borobudur dan kawasan strategis pariwisata nasional dapat terlindung dari ancaman banjir.
2. Perlu diadakan penelitian mendalam mengenai tata guna lahan di KSPN Borobudur dengan variasi metode yang berbeda dan dikembangkan lagi sehingga nilai koefisien limpasan pada KSPN Borobudur dapat dikaji lebih dalam lagi.





LAMPIRAN

Tabel Persentase Peningkatan Koefisien Limpasan

Catchment 1	2013	2016	2020
Candi	0%	0%	0%
Permukiman	5%	31%	22%
Sawah/Ladang	22%	16%	24%
Taman Badakan	73%	54%	54%
Catchment 2	2013	2016	2020
Candi	22%	22%	22%
Permukiman	9%	10%	25%
Sawah/Ladang	24%	17%	32%
Taman Badakan	45%	51%	22%
Catchment 3	2013	2016	2020
Candi	58%	58%	58%
Permukiman	19%	15%	26%
Sawah/Ladang	12%	22%	10%
Taman Badakan	11%	4%	6%
Catchment 4	2013	2016	2020
Candi	0%	0%	0%
Permukiman	36%	52%	54%
Sawah/Ladang	19%	10%	13%
Taman Badakan	45%	38%	33%
Catchment 5	2013	2016	2020
Candi	0%	0%	0%
Permukiman	58%	76%	75%
Sawah/Ladang	13%	6%	8%
Taman Badakan	29%	18%	17%
Catchment 6	2013	2016	2020
Candi	0%	0%	0%
Permukiman	14%	33%	37%
Sawah/Ladang	16%	9%	14%
Taman Badakan	70%	57%	49%
Catchment 7	2013	2016	2020
Candi	0%	0%	0%
Permukiman	9%	20%	20%
Sawah/Ladang	8%	2%	10%
Taman Badakan	84%	78%	70%
Catchment 8	2013	2016	2020
Candi	0%	0%	0%
Permukiman	14%	23%	22%
Sawah/Ladang	39%	28%	21%
Taman Badakan	47%	49%	57%

Tabel Peningkatan Koefisien Limpasan

Catchment 9	2013	2016	2020
Candi	0%	0%	0%
Permukiman	30%	30%	34%
Sawah/Ladang	38%	42%	27%
Taman Badakan	31%	28%	39%
Catchment 10	2013	2016	2020
Candi	0%	0%	0%
Permukiman	29%	45%	45%
Sawah/Ladang	52%	39%	34%
Taman Badakan	19%	17%	21%
Catchment 11	2013	2016	2020
Candi	0%	0%	0%
Permukiman	7%	28%	31%
Sawah/Ladang	60%	64%	52%
Taman Badakan	32%	8%	16%
Catchment 12	2013	2016	2020
Candi	0%	0%	0%
Permukiman	22%	32%	40%
Sawah/Ladang	69%	68%	56%
Taman Badakan	8%	0%	4%
Catchment 13	2013	2016	2020
Candi	0%	0%	0%
Permukiman	10%	23%	20%
Sawah/Ladang	72%	67%	55%
Taman Badakan	17%	10%	25%
Catchment 14	2013	2016	2020
Candi	0%	0%	0%
Permukiman	25%	47%	32%
Sawah/Ladang	58%	35%	47%
Taman Badakan	17%	18%	20%
Catchment 15	2013	2016	2020
Candi	0%	0%	0%
Permukiman	14%	60%	50%
Sawah/Ladang	39%	28%	24%
Taman Badakan	47%	12%	26%
Catchment 16	2013	2016	2020
Candi	0%	0%	0%
Permukiman	14%	34%	27%
Sawah/Ladang	60%	50%	50%
Taman Badakan	25%	17%	23%

Tabel Peningkatan Koefisien Limpasan

Catchment 17	2013	2016	2020
Candi	0%	0%	0%
Permukiman	20%	36%	36%
Sawah/Ladang	76%	55%	53%
Taman Badakan	3%	9%	11%
Catchment 18	2013	2016	2020
Candi	0%	0%	0%
Permukiman	19%	41%	36%
Sawah/Ladang	61%	26%	47%
Taman Badakan	20%	33%	18%

DAFTAR PUSTAKA

- Halim, F. 2014. Pengaruh Hubungan Tata Guna Lahan dengan Debit Banjir pada Daerah Resapan Aliran Sungai Malalayang. *Jurnal Ilmiah Media Engineering* 4(1): 45-54.
- Harto, Sri. 2000. Hidrologi: Teori, Masalah, Penyelesaian Nafiri Offset. Yogyakarta.
- Hidayat, W. 2020. Hujan Deras Sebabkan Banjir di Wilayah Ngrajeg Mungkid. (<http://beritamagelang.id/hujan-deras-sebabkan-banjir-di-wilayah-ngrajeg-mungkid>). 1 Mei 2022)
- Huong, H.T.L., dan Pathirana, A. 2013. Urbanizations and Climate Change Impacts on Future Urban Flooding in Can Tho City, Vietnam. *Hydrology and Earth System Sciences* 17(1): 379-394.
- Limantara, L.M. 2018. *Rekayasa Hidrologi*. ANDI. Yogyakarta.
- Kamiana, I.M. 2011. *Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia. 2016. *Perhitungan Saluran dan Drainase Diklat Teknis Perencanaan Irigasi Tingkat Dasar*. Bandung
- Mimikou, M., dan Kaemaki, S. 1985. *Regionalization of Flow Duration Characteristics*. *Journal of Hydrology* 82(1):77-91.
- Peraturan Menteri dan Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 12 Tahun 2014 *Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan*. 26 September 2014. Lembaran Negara Tahun 2014 Nomor 1451. Jakarta.
- Peraturan Pemerintah Nomor 16 Tahun 2004 *Penatagunaan Tanah*. 10 Mei 2004. Jakarta.
- Peraturan Pemerintah Nomor 15 Tahun 2010 *Penyelenggaraan Penataan Ruang*. 28 Januari 2010. Jakarta
- Peraturan Presiden Nomor 58 Tahun 2014 *Rencana Tata Ruang Kawasan Borobudur dan Sekitarnya*. 20 Junis 2014. Yogyakarta

- Peraturan Walikota Pontianak Nomor 25 Tahun 2019 *Masterplan Pontianak Smart City Tahun 2019 - 2028*. 27 Agustus 2019. Pontianak.
- Perdikaris, J. Et al. 2018. Reference Time Of Concentration Estimation For Ungauged Catchments. *Earth Science Research*. 7(1):58-73.
- PT.Precon. 2018. *Dantosan Preecon Perkasa U – Ditch (Saluran Terbuka)*. 9 April 2018.
- PT.Retracindo. 2019. *Laporan Pendahuluan : Rencana Induk Drainase Kota Magelang*. Nomor Kontrak: HK 0203/SBBWS.SO.02-2019/05.
- Qin, H. Et al. 2013. The Effects of Low Impact Development on Urban Flooding Under Different Rainfall Characteristics. *Journal of Environmental Management*. 129(1): 577-585.
- Standar Nasional Indonesia Nomor 7645 Tahun 2014 *Klasifikasi Penutup Lahan*. 2 Desember 2014. Jakarta.
- Suharyadi. 2000. *Transformasi Spektral Data Digital Landsat Untuk Pemetaan Kepadatan Bangunan di Daerah Perkotaan Yogyakarta*. Lembaga Penelitian UGM. Yogyakarta.
- Suherman, H. dan Firmanysah, A. 2017. Analisis Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan terhadap Debit Banjir di Wilayah Hilir Aliran Kali Angke. *Jurnal Konstruksia* 8(2): 79-95.
- Soemarto, C.D. 1987. *Hidrologi Teknik*. Usaha Nasional. Surabaya.
- Suripin. 2003. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Andi. Yogyakarta.
- Triatmodjo, B. 2010. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Undang – Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2019 *Sumber Daya Air*. 16 Oktober 2019. Jakarta.
- United States Geological Survey. 2017. *Landsat 8 Collects 1 Millionth Scene*. (<https://www.usgs.gov./media/videos/landsat-8-collects-1-millionth-scene>. Diakses 1 Juni 2021).
- United States Geological Survey. 2017. *Landsat 8*. (<https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-8>. Diakses 6 Oktober 2021)
- United States Geological Survey. 2018. *Landsat 7*. (<https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-7>. Diakses 6 Oktober 2021)

Untari, A. 2012. Studi Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan terhadap Debit di DAS Citepus, Kota Bandung. *Disertasi*. Program Pascasarjana Fakultas Teknik dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung. Bandung.

