

**PEMODELAN HIDROLOGI DAN HIDROLIKA DALAM
MEMPREDIKSI BANJIR DAS BAUBAU**

Disusun dan diajukan oleh

**MUHAMMAD NUZUL
P022181031**



**PROGRAM STUDI PERENCANAAN DAN
PENGEMBANGAN WILAYAH
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

**PEMODELAN HIDROLOGI DAN HIDROLIKA DALAM
MEMPREDIKSI BANJIR DAS BAUBAU**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Perencanaan Dan Pengembangan Wilayah

Disusun dan diajukan oleh

MUHAMMAD NUZUL

Kepada

**SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2021

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

PEMODELAN HIDROLOGI DAN HIDROLIKA DALAM MEMPREDIKSI BANJIR DAS BAUBAU

Disusun dan diajukan oleh :

MUHAMMAD NUZUL

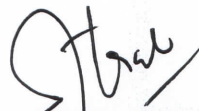
Nomor Pokok : P022181031

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Perencanaan dan Pengembangan Wilayah Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin pada tanggal 13 Agustus 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

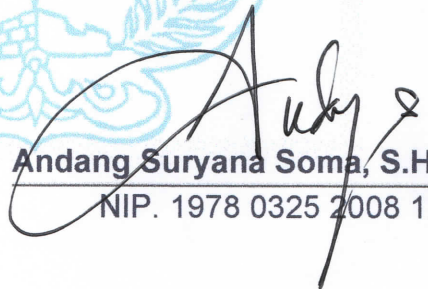
Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. Mahmud Achmad, MP
NIP. 1970 0603 1994 03 1003



Andang Suryana Soma, S.Hut. MP.Ph.D
NIP. 1978 0325 2008 12 1002

Ketua Program Studi
Perencanaan Pengembangan Wilayah



Prof. Dr. Ir. Ahmad Munir, M.Eng
NIP. 1962 0727 1989 03 1003

Dekan Sekolah Pascasarjana
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc
NIP. 1967 0308 1990 03 1001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Nuzul
Nomor Mahasiswa : P022 18 1031
Program Studi : Perencanaan Pengembangan Wilayah
Jenjang : S2

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul "*Pemodelan Hidrologi Dan Hidrolika Dalam Memprediksi Banjir DAS Baubau*" Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa Tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Tesis ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 13 Agustus 2021

Yang menyatakan,



Muhammad Nuzul

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

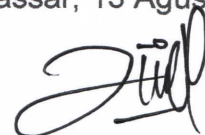
Puji syukur dipanjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, hidayah, dan rizki-Nya, atas kehendak-Nyalah segala hambatan dalam penelitian tesis ini dapat diselesaikan. Doa dan dorongan moril kedua orang tua Bapak Zaharuddin Anda dan Ibu Uzunia yang saya hormati, juga kepada Keluarga selalu memberi dukungan sampai tahap tugas akhir ini dapat diselesaikan.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih setinggi-tingginya kepada yang terhormat Bapak Dr. Ir. H. Mahmud Achmad, MP Bapak Andang Suryana Soma, S.Hut. MP. Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan ilmu pengetahuan yang sangat bermanfaat kepada Penulis dan pengarahan yang baik mulai awal penelitian hingga akhir penelitian tesis ini, Tak lupa Penulis juga sampaikan terima kasih kepada Prof.Dr.Ir. Ahmad Munir, M.Eng, Prof.Dr.Ir. Hazairin Zubair, M.S dan Dr.Ir. Roland A.Barkey selaku penguji yang telah memberikan masukan bagi peyempurnaan tesis ini, serta Saudara dan Saudari program magister angkatan 2018 Teknik perencanaan dan pengembangan wilayah terima kasih atas dukungan dan doanya.

Penulis menyadari dalam tugas akhir ini masih banyak kekurangan, olehnya itu saran dan kritik sangat penulis harapkan sebagai bahan untuk menutupi kekurangan dari penulisan tesis ini, namun tidak mengurangi harapan Penulis agar karya ilmiah ini tetap bermanfaat bagi berbagai pihak.

Akhir kata penulis mengucapkan Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Makassar, 13 Agustus 2021



Muhammad Nuzul

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL DEPAN	
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGAJUAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xix
ABSTRAK	xxi
ABSTRACT	xxii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Tujuan Penelitian	5
D. Manfaat Penelitian	6
E. Ruang Lingkup Dan Batasan Masalah Penelitian.....	7

1. Ruang Lingkup.....	7
2. Batasan Penelitian	8
F. Sistematika Penulisan	8

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Bencana Banjir.....	10
1. Bahaya Banjir	10
B. Daerah Aliran Sungai (DAS)	11
1. Pengertian DAS	11
2. Risiko	12
3. Kerentanan	14
C. Penggunaan Lahan	15
D. Siklus Dan Proses Hidrologi	15
1. Iklim	16
E. Curah Hujan.....	18
1. Analisa Frekuensi	18
1.1. Intensitas Curah Hujan	29
1.2. Waktu Konsentrasi	30
1.3. Koefisien Limpasan	31
F. Debit Banjir	32
1. Debit Kala Ulang Banjir	32
2. Perhitungan Debit Banjir	33
2.1. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu	35

G. Model Hidraulika	38
1. Analisis Hidrolika	39
1.1. Aplikasi <i>Hec-Ras</i>	39
1.1.1. Persamaan Dasar	40
1.1.2. Perhitungan Debit pada <i>Cross-Section</i> di tiap Bagian Aliran Sungai	41
H. Penginderaan Jauh Dan SIG.....	44
1. Penginderaan Jauh.....	44
2. Sistem Informasi Geografis (SIG) Dalam Prediksi Daerah Genangan Banjir	44
1.2. Penentuan Zonasi Daerah Rawan dan Bahaya Banjir ..	45
I. Mitigasi Bencana Alam Banjir	45
1. Kapasitas Pemerintah dalam Penanggulangan Bencana Banjir	46
2. Persepsi Dan Partisipasi Masyarakat.....	47
3. Peringatan Dini Bencana Banjir	48
4. Rekomendasi Mitigasi Struktural dan Non-Struktural untuk Pengurangan Risiko Bencana Banjir	49

BAB III METODE PENELITIAN

A. Rancangan Penelitian	50
B. Lokasi Dan Waktu Penelitian	51
C. Bahan Dan Alat Penelitian	53
D. Populasi Dan Sampel	56
E. Teknik Pengumpulan Data	56
F. Teknik Analisis Data	59

1. Analisis Hidrologi	59
2. Analisis Hidrolika	62
3. Analisis Genangan Banjir dengan SIG	63
4. Solusi Penanggulangan Banjir	65
5. Bagan Alir Penelitian	69

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum Daerah Penelitian.....	70
1. Topografi DAS	70
2. Morfometri DAS	72
3. Penggunaan Lahan dan Koefisien Pengaliran DAS Baubau	73
B. Analisis Hidrologi	76
1. Perhitungan Curah Hujan Maksimum Harian Rata-rata.....	76
2. Kondisi iklim	77
3. Analisis Frekuensi Curah Hujan	78
4. Perhitungan Koefisien Limpasan	79
5. Metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu	81
C. Analisis Hidraulika	83
1. Pemodelan Banjir Menggunakan <i>Hec-Ras</i>	83
2. Pemodelan Daerah Genangan Banjir dengan SIG	84
3. Validasi Model	92
D. Ancaman Bencana Banjir Kota Baubau	93
1. Risiko.....	93
2. Kerentanan	94

2.1. Faktor Alamiah Dominan Yang Memicu Timbulnya Banjir di Sungai Baubau	95
2.2. Faktor Non Alamiah Dominan Yang Memicu Timbulnya Banjir di Sungai Baubau	96
3. Kapasitas Dan Adaptasi	99
3.1. Ditinjau Dari Hasil Prediksi Risiko Daerah Genangan Banjir	100
E. Strategi Mitigasi Penanggulangan Bencana Banjir	102
1. Daerah Hulu	103
1.1. Arahkan Pengendalian Banjir di Hulu DAS	103
2. Bagian Tengah	106
2.1. Tata letak bangunan Check Dam	106
3. Bagian Hilir	108
3.1. Upaya pengendalian banjir dengan Bangunan Embung/ Situ	108
F. Pembahasan Hasil Mitigasi maupun Adaptasi DAS Baubau ...	111
BAB V PENUTUP	
A. Kesimpulan	113
B. Saran	114

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
Tabel 1.	Tingkat bahaya banjir menurut periode kala ulang	11
Tabel 2.	Skoring dan pembobotan tinggi genangan banjir	13
Tabel 3.	Kerentanan lingkungan	14
Tabel 4.	Klasifikasi tipe iklim	17
Tabel 5.	<i>Reduced variate</i> , Y_{TR} sebagai fungsi periode ulang	20
Tabel 6.	Reduksi standar deviasi (Y_n) untuk distribusi gumbel	20
Tabel 7.	Reduksi standar deviasi (S_n) untuk distribusi gumbel	20
Tabel 8.	Nilai variabel <i>reduksi gauss</i>	21
Tabel 9.	Nilai K_T untuk distribusi log pearson III	23
Tabel 10.	Parameter statistik untuk menentukan persyaratan masing-masing distribusi	24
Tabel 11.	Nilai kritis untuk distribusi <i>Chi – Kuadrat</i>	26
Tabel 12.	Nilai kritis D_0 <i>Smirnov Kolmogorov</i>	29
Tabel 13.	Nilai koefisien limpasan.....	32
Tabel 14.	Matriks hubungan antara Tujuan, Variabel, Kebutuhan data, Teknik analisis dan Keluaran	68
Tabel 15.	Luas DAS Baubau berdasarkan klasifikasi kelerengan	70
Tabel 16.	Penggunaan lahan DAS Baubau	75
Tabel 17.	Hasil perhitungan curah hujan maksimum harian rata-rata per tahun	76
Tabel 18.	Rekap hasil perhitungan hujan rencana untuk empat metode	78

Tabel 19. Nilai Koefisien Pengaliran DAS Baubau	80
Tabel 20. Debit total banjir rancangan sungai baubau menurut periode kala ulang 5 hingga 25 tahun	81
Tabel 21. Jumlah penduduk dan luas genangan sungai Baubau Q5 th	85
Tabel 22. Jumlah penduduk dan luas genangan sungai Baubau Q10 th	86
Tabel 23. Jumlah penduduk dan luas genangan sungai Baubau Q20 tahun	87
Tabel 24. Jumlah penduduk dan luas genangan sungai Baubau Q25 tahun	88
Tabel 25. Jumlah bangunan dan <i>resume</i> tinggi banjir tiap periode ulang	89
Tabel 26. Fasilitas utama terkena dampak banjir tiap periode ulang....	90
Tabel 27. Hasil validasi antara Qmaks banjir dan kapasitas penampang	92
Tabel 28. Daftar kejadian banjir dan dampaknya di Kota Baubau 2009-2018	93
Tabel 29. Koefisien pengaliran setelah reboisasi	104
Tabel 30. Penggunaan lahan di Kota Baubau	119
Tabel 31. Luasan penggunaan lahan di wilayah penelitian tahun 2018 dan 2019	120
Tabel 32. Data Curah Hujan Rata-Rata Kota Baubau	123
Tabel 33. Perhitungan metode distribusi normal	124
Tabel 34. Curah hujan rencana metode distribusi normal	125
Tabel 35. Perhitungan metode distribusi log normal	125
Tabel 36. Curah hujan rencana metode distribusi log normal	126
Tabel 37. Perhitungan metode distribusi log pearson III	126
Tabel 38. Curah hujan rencana metode distribusi log pearson III	127

Tabel 39. Perhitungan metode distribusi gumbel	127
Tabel 40. Nilai <i>reduce mean</i> dan <i>reduce standard deviation</i>	128
Tabel 41. Curah hujan rencana metode distribusi gumbel	128
Tabel 42. Rekap hasil perhitungan hujan rencana untuk empat metode yang dipakai	128
Tabel 43. Uji Kecocokan dengan <i>dispersi statistik</i>	129
Tabel 44. Uji kecocokan dengan <i>dispersi logaritmik</i>	129
Tabel 45. Hasil perhitungan parameter <i>dispersi statistik</i> dan <i>logaritmik</i>	129
Tabel 46. Perbandingan parameter perhitungan <i>dispersi</i>	130
Tabel 47. Perhitungan peringkat peluang periode ulang t tahun	130
Tabel 48. Perhitungan <i>uji chi-kuadrat</i>	131
Tabel 49. Perhitungan <i>uji smirnov kolmogorov</i>	132
Tabel 50. Zona penggunaan lahan DAS Baubau	133
Tabel 51. Intensitas hujan dengan periode ulang tertentu	134
Tabel 52. Intensitas curah hujan dan hujan efektif DAS Baubau	135
Tabel 53. Perhitungan satuan unit hidrograf Sungai Baubau	139
Tabel 54. Hidrograf banjir rancangan nakayasu kala ulang 5 tahun	140
Tabel 55. Hidrograf banjir rancangan nakayasu kala ulang 10 tahun...	141
Tabel 56. Hidrograf banjir rancangan nakayasu kala ulang 20 tahun...	141
Tabel 57. Hidrograf banjir rancangan nakayasu kala ulang 25 tahun...	142
Tabel 58. Tabulasi output kondisi saluran pada tiap penampang.....	149
Tabel 59. Jumlah penduduk dan laju pertumbuhan penduduk 2017 dan 2018 per kelurahan	158
Tabel 60. Jumlah penduduk terkena banjir sungai periode 5 tahun	159

Tabel 61. Jumlah bangunan dan <i>Resume</i> tinggi banjir periode 5 tahun	160
Tabel 62. Fasilitas utama terkena dampak banjir periode 5 tahun	160
Tabel 63. Jumlah penduduk terkena banjir sungai periode 10 tahun ...	161
Tabel 64. Jumlah bangunan dan <i>Resume</i> tinggi banjir periode 10 tahun.....	161
Tabel 65. Fasilitas utama terkena dampak banjir periode 10 tahun	161
Tabel 66. Jumlah penduduk terkena banjir sungai periode 20 tahun ...	162
Tabel 67. Jumlah bangunan dan <i>Resume</i> tinggi banjir periode 20 tahun.....	162
Tabel 68. Fasilitas utama terkena dampak banjir periode 20 tahun	162
Tabel 69. Jumlah penduduk terkena banjir sungai periode 25 tahun ...	163
Tabel 70. Jumlah bangunan dan <i>Resume</i> tinggi banjir periode 25 th...	163
Tabel 71. Fasilitas utama terkena dampak banjir periode 25 tahun	164

DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
Gambar 1.	Kerangka Pemikiran Penelitian	7
Gambar 2.	Daerah Aliran Sungai (DAS)	12
Gambar 3.	Pembagian Iklim Menurut <i>Schmidt Dan Ferguson</i>	17
Gambar 4.	Peta Prakiraan Daerah Potensi Banjir Indonesia, Dasarian II April 2019	18
Gambar 5.	Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu	37
Gambar 6.	Penjabaran persamaan energi dalam pemodelan <i>Hec-Ras</i>	40
Gambar 7.	Metode pembagian aliran pada <i>Hec-Ras</i>	42
Gambar 8.	Alternatif Metode pembagian aliran (model banjir)	43
Gambar 9.	Peta Lokasi Penelitian	51
Gambar 10.	Peta Administrasi Kota Baubau Per Kelurahan	52
Gambar 11.	Variabel Overlay dalam SIG	65
Gambar 12.	Bagan Alir Kegiatan Penelitian	69
Gambar 13.	Peta Topografi DAS Baubau	71
Gambar 14.	Peta Morfometri DAS Baubau	73
Gambar 15.	Peta Penggunaan Lahan DAS Baubau	74
Gambar 16.	Grafik Persentase Penggunaan Lahan DAS Baubau	75
Gambar 17.	Grafik Tipe Iklim Kota Baubau (<i>Schmidt-Ferguson, 1995</i>)	77
Gambar 18.	Grafik <i>Resume</i> Frekuensi Curah Hujan Kala Ulang DAS .	79
Gambar 19.	Grafik Debit Banjir Metode HSS Nakayasu menurut Periode Ulang	82

Gambar 20. Profil Muka Air Banjir Periode Ulang Debit 511.76 m ³ /s ...	83
Gambar 21. Peta Potensi Banjir DAS Baubau Periode 5 Tahun	85
Gambar 22. Peta Potensi Banjir DAS Baubau Periode 10 Tahun	86
Gambar 23. Peta Potensi Banjir DAS Baubau Periode 20 Tahun	87
Gambar 24. Peta Potensi Banjir DAS Baubau Periode 25 Tahun	88
Gambar 25. Grafik Kejadian Bencana Kota Baubau Tahun 2009 sampai 2018	94
Gambar 26. Kejadian Banjir Pada wilayah DAS Baubau Kec.Murhum, 2018	95
Gambar 27. Banjir Sungai Baubau Pada Tahun 2012, (<i>ULF 2012</i>)	96
Gambar 28. Penambang Pasir Dilateral Sungai Baubau	97
Gambar 29. Pemukiman Masyarakat Pada Bantaran Sungai Baubau .	97
Gambar 30. Peta Kawasan Kumuh Bantaran Sungai Baubau	98
Gambar 31. Peta Wilayah Prediksi Genangan Banjir Periode Ulang ...	101
Gambar 32. Peta arahan penggunaan lahan	105
Gambar 33. Sketsa Potongan Memanjang <i>Check Dam</i>	106
Gambar 34. Lokasi Penempatan <i>Check Dam</i>	107
Gambar 35. Sketsa Situ/embung	109
Gambar 36. Lokasi Master Plan Situ	110
Gambar 37. Peta Penggunaan Lahan Kota Baubau	120
Gambar 38. Grafik Curah Hujan Bulanan DAS Baubau	124
Gambar 39. Grafik Distribusi Hujan Efektif Tiap Jamnya	136
Gambar 40. Grafik Hidrograf <i>Satuan Sintetik Nakayasu</i> Sungai Baubau	138
Gambar 41. Bagan Alir Pemodelan <i>Floodplain Mapping</i>	144

Gambar 42. Visualisasi model DEM DAS Baubau	145
Gambar 43. Geometri Sungai Baubau.....	146
Gambar 44. Tampilan Utama Aplikasi <i>Hec-Ras</i>	146
Gambar 45. Hasil Input Geometri Data.....	147
Gambar 46. <i>Cross Section</i> Stasiun 2.3 Km	147
Gambar 47. Taskbar <i>Steady Flow Data</i>	148
Gambar 48. Proses <i>me-run Steady Flow Analysis</i>	148
Gambar 49. Profil Muka Banjir Q 25 Th 511.761 m ³ /s	149
Gambar 50. Tampilan Utama Aplikasi <i>Hec-Ras (unsteady flow)</i>	150
Gambar 51. Perhitungan dengan <i>Unsteady Flow Data</i>	150
Gambar 52. Grafik <i>Flow Hydrograph</i> Debit di Batas Hulu dan Muka Air di Batas Hilir untuk Syarat Batas Ketinggian	151
Gambar 53. <i>Unsteady Flow Analysis Data</i>	151
Gambar 54. <i>Computation Analysis Data</i>	152
Gambar 55. Tampilan Genangan Banjir pada periode Ulang 25 Th.....	152
Gambar 56. <i>Long Section</i> Profil Muka Air Maksimum Sepanjang Sungai	153
Gambar 57. Grafis <i>Velocite</i> Sepanjang Sungai.....	153
Gambar 58. Grafik Hubungan Debit dan Elevasi Muka Air sungai, STA 3 Km	154
Gambar 59. Grafik <i>Surface Area</i> Sepanjang Badan Sungai	154
Gambar 60. Penampang Melintang (<i>Cross Section</i>) Setiap Stasiun Sungai	157

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Halaman
Lampiran 1. Analisis Penggunaan Lahan dan Hidrologi.....	119
Lampiran 2. Analisis Hidraulika dan Prediksi daerah genangan banjir dengan SIG.....	144

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang / Singkatan	Arti dan Keterangan
A	Luas daerah aliran (km ²)
C	Koefisien pengaliran
C _K	Koefisien Kurtosis/ketajaman.
C _S	Koefisien Kemencengan/kemiringan.
C _V	Koefisien variasi.
D _K	Derajat kebebasan
E _i	Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok i
f	Faktor konversi = 0,278
G	Jumlah sub kelompok
I	Intensitas curah hujan (mm/jam).
K _T	Faktor frekuensi.
L	Panjang sungai utama (km)
Log X _T	Intensitas curah hujan dengan periode ulang T tahun.
$\overline{\text{Log}X}$	Nilai rata - rata hitung sampel
L _s	Panjang lintasan aliran di dalam saluran/sungai (m).
m	Nomor urut data
n	Angka kekasaran manning.
n	Jumlah tahun pencatatan data hujan.
O _i	Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok i
p	Peluang
Q	Debit banjir rencana (m ³ /s)
Q _P	Debit puncak banjir (m ³ /s)
R	Banyaknya parameter (R = 2 untuk Log Person III)
R ₀	Curah hujan efektif (mm)
R ₂₄	Curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm).

S	Kemiringan rata-rata saluran utama (m/m).
$S_{\text{Log } X}$	Standar deviasi
S_n	<i>Reduced standard deviation</i> sesuai jumlah sampel /data
S_x	Standar deviasi data hujan.
t	Lamanya curah hujan (jam).
t_c	Waktu konsentrasi banjir (jam).
t_d	Ls 60 V (menit).
t_g	Waktu konsentrasi (jam)
t_p	Waktu puncak (jam)
T_r	Durasi hujan (jam)
t_0	$23 \times 3,28 \times L_s \times n$ (menit).
$t_{0,3}$	Waktu saat debit sama dengan 0,3 kali debit puncak (jam)
\bar{X}	Tinggi hujan harian maksimum rata-rata selama n tahun (mm)
X_T	Besarnya curah hujan rencana pada periode ulang T tahun
X^2	Parameter Chi –Kuadrat terhitung
Y_n	<i>Reduced mean</i> sesuai jumlah sampel
Y_{TR}	<i>Reduced variate</i>
α	Koefisien karakteristik DAS (biasanya = 2)
Km^2	Kilometer persegi
m^3/s	Meter kubik per detik/second

ABSTRAK

MUHAMMAD NUZUL. *Pemodelan Hidrologi dan Hidrolika dalam Memprediksi Banjir DAS Baubau* (dibimbing oleh Mahmud Achmad dan Andang Suryana Soma).

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan debit rancangan sebagai tahap awal dalam memprediksi daerah tergenang dan kemudian merencanakan strategi mitigasi.

Penelitian dilaksanakan di wilayah DAS Baubau. Metode penelitian menggunakan metode distribusi frekuensi dan Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu yang merupakan bagian dari model hidrologi, model hidrologi juga dilakukan untuk mendesain kapasitas tampung sungai menggunakan *software Hec-Ras* yang merupakan kelanjutan dari model hidrologi. Untuk mendeskripsikan lokasi genangan digunakan metode kuantitatif dengan pendekatan analisis overlay sehingga menghasilkan peta genangan banjir secara spasial dengan bantuan *software ArcGIS*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa debit DAS pada kala ulang Q5 sebesar 435,24 m³/s hingga kala ulang Q25 tahun sebesar 511,76 m³/s melebihi kapasitas sungai sehingga berpotensi terjadi banjir yang berdampak di 3 wilayah yaitu Kecamatan Murhum, Kecamatan Batupoaro, dan Kecamatan Wolio yang tersebar di 7 kelurahan. Oleh karena itu, dibuat strategi mitigasi dan adaptasi menurut lokasi pengendaliannya yang dikelompokkan menjadi 3 yaitu bagian hulu, tengah dan bagian hilir sungai.

Kata kunci: Debit Periodik, Daerah Potensi Genangan, Mitigasi Banjir.

ABSTRACT

MUHAMMAD NUZUL. *Hydraulic and Hydraulic Modeling in Predicting the Flood of Baubau Watershed* (supervised by **Mahmud Achmad** and **Andang Suryana Soma**).

This study aims to determine the discharge design as a first step in predicting inundated areas and then planning mitigation strategies.

The research was conducted in the Baubau watershed area. The research method uses the frequency distribution method and the Nakayasu Synthetic Unit Hydrograph which is part of the hydrological model. A hydraulic model is also carried out to design the carrying capacity of the river using *Hec-Ras software* which is a continuation of the hydrological model. To describe the location of inundation, quantitative methods are used with an overlay analysis approach so as to produce a spatial flood inundation map with the help of *ArcGIS software*.

The results showed that the watershed discharge at the return period of Q5 years was 435.24 m³/s, for the return period of Q25 this year it was 511.76 m³/s, exceeding the capacity of the river so that it has the potential for flooding which has an impact on 3 areas, namely Murhum District, Batupoaro District, and Wolio District spread across 7 urban villages. Therefore, mitigation and adaptation strategies are made according to the location of the control which are grouped into 3 namely the upstream, middle and downstream parts of the river.

Keywords: periodic discharge, potential inundation areas, flood mitigation.

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sungai Baubau adalah salah satu sungai terletak di Kota Baubau Sulawesi Tenggara, yang berada dalam Sub DAS Baubau. Lokasi aliran sungai membelah pusat kota di sepanjang aliran tengah menuju ke hilir sungai dan bermuara pada Selat Baubau. Di sepanjang Daerah Aliran Sungai (DAS) Baubau dari tengah sampai pada hilir sungai telah lama tumbuh permukiman padat penduduk, pertumbuhan perumahan pada kawasan tersebut berkembang dengan pesat. Perkembangan perumahan di kawasan bantaran Sungai Baubau tidak dibarengi dengan peraturan pola ruang dan pengawasan pemerintah daerah, akibatnya pola hunian masyarakat pada kawasan bantaran Sungai Baubau tumbuh dengan tidak teratur. Meningkatnya kerentanan tidak terlepas dari perkembangan kota yang tidak terencana (*unplanned urbanization*). Hal ini menandakan semakin dominannya penggunaan lahan perkotaan (*urban landuse*) serta menyempitnya ruang terbuka (*open space*) dan lemahnya kapasitas instansi terkait dalam penanganan bencana serta kepedulian masyarakat yang juga merupakan faktor penyebab kerentanan banjir.

Berdasarkan Informasi yang diperoleh dari hasil pendataan dan pemetaan kawasan kumuh di Kota Baubau pada tahun 2006 yang dilaksanakan oleh Pemerintah Kota Baubau melalui Bappeda dan Dinas

Nakertrans, memasukkan kawasan bantaran sungai yang ada di DAS Baubau masuk dalam kategori kumuh. Terjadinya degradasi lahan dan rusaknya fungsi hidrologis DAS tersebut kemungkinan disebabkan beberapa faktor, pertama penggunaan dan peruntukan lahan menyimpang dari RTRW atau RTR Daerah. Degradasi lahan akan mengakibatkan rusaknya fungsi hidrologis DAS yang terlihat dari penurunan kapasitas infiltrasi DAS dan meningkatnya koefisien aliran permukaan (Sinukaban, 2008).

Disisi lain keadaan pertumbuhan penduduk juga semakin menambah tingkat kepadatan kota, maka tingkat kerentanan wilayah tersebut terhadap ancaman banjir semakin tinggi. Dari aspek jumlah penduduk dan kepadatannya, Kota Kendari dan Kota Baubau mempunyai tingkat kerentanan yang lebih tinggi dibanding dengan kabupaten/kota lainnya di Provinsi Sulawesi Tenggara (Laporan Kajian Kerentanan dan Risiko Iklim Provinsi Sulawesi Tenggara, april 2018).

Dari data yang diperoleh BPBD dan DIBI pada tahun 2009 sampai 2018, telah terjadi kasus banjir tiap tahun tersebar di beberapa kelurahan dengan intensitas curah hujan tinggi yang mengakibatkan kerugian ekonomi, kejadian tersebut tidak menelan korban jiwa akan tetapi merendam puluhan rumah penduduk hampir tiap tahunnya. Banjir adalah setiap aliran yang relatif tinggi melampaui tanggul sungai sehingga aliran air menyebar ke dataran sungai dan menimbulkan masalah terhadap manusia (Chow, 1970).

Hal ini tentu menjadi persoalan bagi Pemerintah kota terhadap Misi mewujudkan Baubau sebagai Kota Tertib, Aman, Maju, Indah, Populer dan

Lancar yang dibingkai melalui pengarusutamaan empat pilar yaitu, Infrastruktur, Ekonomi Kerakyatan, Budaya dan Pembangunan SDM, dengan strategi dan program pembangunan yang tepat dan terarah, yang dirumuskan dalam Visi pembangunan kota Baubau 5 tahun kedepan yaitu, Mewujudkan Baubau yang Maju, Sejahtera, dan Berbudaya (RAPERDA tentang RPJMD Kota Baubau tahun 2018-2023). Sementara itu, Kepala Bappeda Kota Baubau menambahkan, tema tangguh yang diusung kota Baubau diharapkan bisa mengatasi segala hal diantaranya persoalan peningkatan kapasitas SDM serta penanggulangan bencana alam (Kepala BAPPEDA Kota Baubau La Ode Aswad, 2019).

Pada studi sebelumnya, telah dilakukan rencana pengelolaan sumberdaya hutan berbasis ekosistem DAS di wilayah perkotaan yang menyatakan bahwa secara umum kondisi DAS Baubau sudah terdegradasi dengan tingkat kerusakan kategori berat sampai sangat berat (Safril kasim, 2008). Pernyataan tersebut berhubungan dengan penilaian indeks ancaman bencana banjir didasarkan pada Perka BNPB No.2 Tahun 2012 dengan beberapa komponen pendukung yaitu kemiringan lereng, ketinggian, penggunaan lahan, curah hujan, jenis tanah, jarak dari sungai, hasil analisis tersebut Kota Baubau berada dalam kategori ancaman banjir rendah hingga tinggi (Jamal harimudin dkk, 2017). Sedangkan hasil penelitian tentang efektivitas kinerja badan penanggulangan bencana daerah dalam pengurangan risiko bencana di Kota Baubau, menunjukkan bahwa efektivitas kinerja pemerintah daerah dalam penanggulangan bencana pada BPBD

adalah suatu pencapaian hasil yang memuaskan dalam produktivitas aparat, kualitas layanan korban bencana banjir, responsivitas dalam kemampuan aparat pada BPBD Kota Baubau untuk mengenali kebutuhan korban bencana (Anwar Sadat, 2016). Hal tersebut hanya bermanfaat pada saat pasca bencana tidak untuk mengantisipasi sebelum terjadinya banjir.

Dari hasil penelitian yang dilakukan sebelumnya dari berbagai sumber yang diperoleh peneliti, dapat disimpulkan bahwa untuk mengantisipasi atau mengurangi dampak bencana dengan simulasi numerik perkiraan banjir serta penanganan pasca banjir tidak dapat langsung memperoleh hasil yang efektif kepada masyarakat sebab pencegahan tidak dilakukan secara optimal.

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penelitian ini bertujuan menganalisis data hidrologi untuk mengetahui tingkat curah hujan akibat perubahan iklim berdasarkan periode ulang yang diintegrasikan dengan pendekatan hidraulika untuk memahami karakteristik kondisi fisik sungai serta daerah dataran (*flood plain*) di sepanjang DAS serta data pendukung lainnya, hal ini guna mendapatkan data sesungguhnya di lapangan sebagai langkah awal untuk mengidentifikasi wilayah yang berpotensi tergenang banjir akibat luapan debit sungai dengan menyusun peta zonasi ancaman bencana banjir sebagai dasar pembaharuan (*novelty*) tentang acuan lokasi kewaspadaan masyarakat terhadap bencana di wilayah Kota Baubau, dengan menggunakan data investigasi tersebut tahap selanjutnya adalah menyusun strategi mitigasi sesuai dengan permasalahan yang terjadi.

B. Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah yang ada dapat dibuat rumusan masalah yaitu :

1. Berapa besarnya debit banjir rancangan pada kala ulang 5, 10, 20, dan 25 tahun di DAS Baubau ?
2. Wilayah manakah yang berpotensi mengalami dampak akibat luapan banjir daerah aliran sungai ?
3. Upaya apakah yang perlu dilakukan untuk menurunkan debit banjir pada DAS Baubau ?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini sehubungan dengan rumusan masalah penelitian adalah :

1. Menganalisis curah hujan untuk mengevaluasi besaran debit banjir rancangan pada kala ulang 5, 10, 20, dan 25 tahun.
2. Mengkaji potensi genangan banjir yang berdampak di sejumlah wilayah Kota Baubau.
3. Merencanakan strategi penanggulangan banjir sesuai kondisi permasalahan pada DAS Baubau.

D. Manfaat Penelitian

Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Manfaat Teoritis :

- Memberi gambaran informasi akademis mengenai potensi banjir yang terjadi di DAS Kota Baubau.
- Diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam perkembangan konsep ilmu mengenai efektivitas mitigasi bencana banjir terhadap kinerja pemerintah daerah dalam Penanggulangan Bencana Daerah khususnya di Kota Baubau.

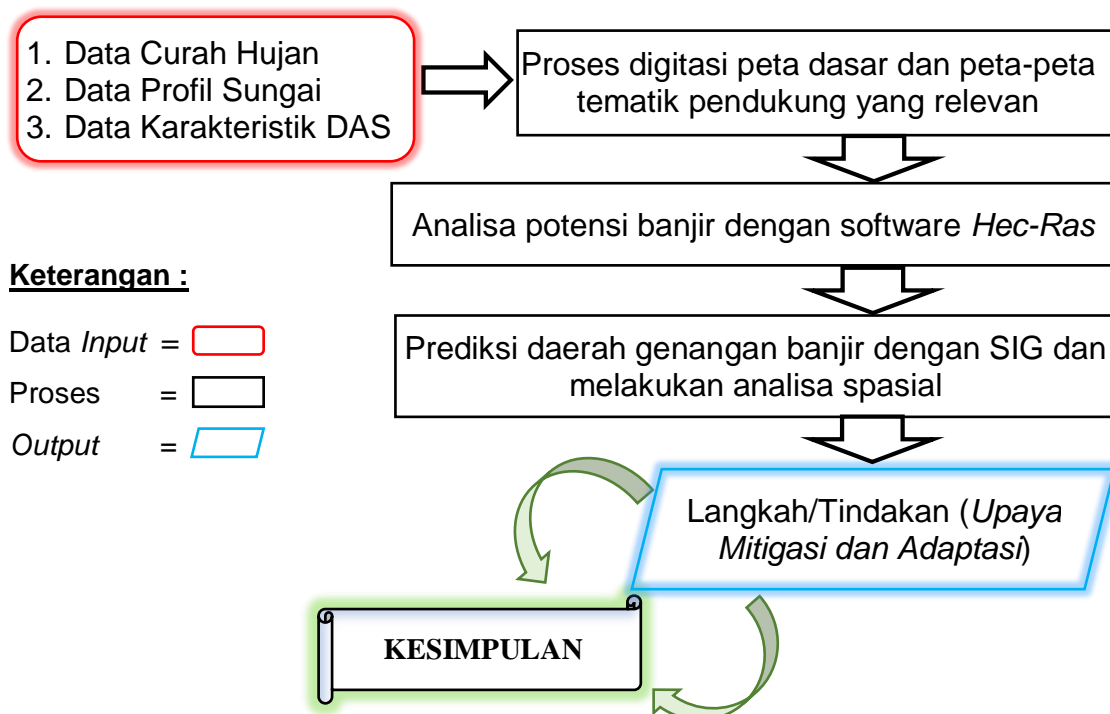
2. Manfaat Praktis :

- Menjadi bahan masukan bagi instansi terkait maupun masyarakat dalam upaya perlindungan DAS, serta bahan acuan lokasi kewaspadaan terhadap potensi bencana banjir yang terjadi pada suatu areal dalam kurun waktu tertentu.
- Diharapkan dapat memberi gambaran informasi akademis mengenai potensi banjir terjadi.

E. Ruang Lingkup dan Pembatasan Masalah

1. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian dijabarkan pada Gambar 1, gambar tersebut dapat dilihat bahwa input data utama untuk proses perhitungan dengan *Hec-Ras* adalah data analisis hidrologi mencakup data curah hujan dan analisis hidrolika aliran saluran terbuka mencakup data profil sungai, serta data karakteristik DAS. Output yang dikeluarkan *Hec-Ras* berupa peta dataran banjir ditumpangtindihkan (*overlay*) dengan peta infrastruktur Kota Baubau dan peta-peta tematik pendukung yang relevan, dalam satu Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan bantuan *software ArcGis*. Selanjutnya analisis spasial dapat dilakukan guna mengetahui dampak yang terjadi akibat banjir.



Gambar 1. Kerangka Pemikiran Penelitian

2. Pembatasan Masalah

Oleh karena keterbatasan waktu dan luasnya areal DAS yang mencakup wilayah Kota Baubau, maka penelitian ini hanya membahas masalah luapan banjir pada daerah hilir Sungai Baubau yang berada tepat di pertengahan wilayah perkotaan, dengan menggunakan 1 stasiun hujan karena keterbatasan data yang ada.

Penelitian ini tidak membahas lama genangan yang terjadi selama terjadinya banjir (berupa limpasan yang hilang akibat Infiltrasi, penguapan, dan peresapan), serta tingkat kerugian materiil maupun immateriil akibat bencana banjir.

F. Sistematika Penulisan

Tesis ini disusun menjadi beberapa bagian untuk mendapatkan alur penulisan yang jelas dan sistematis, yaitu :

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi pendahuluan, latar belakang tentang bencana banjir yang terjadi di Kota Baubau khususnya wilayah DAS Baubau, rumusan masalah, tujuan, manfaat penelitian, dan batasan penelitian, serta sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini mencakup uraian tentang tinjauan teoritis dari berbagai literatur yang bertujuan untuk menjelaskan konsep serta analisis yang digunakan untuk Daerah Aliran Sungai (DAS).

BAB III : METODE PENELITIAN

Metode Penelitian, menjelaskan tentang keadaan di lapangan (Lokasi studi), waktu penelitian, metode yang digunakan serta sumber jenis data, informasi dan langkah-langkah dalam analisa penelitian.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan Pembahasan berisi pembahasan mengenai penggunaan lahan wilayah penelitian, kompilasi informasi/data hasil survey data primer dan sekunder, dengan tujuan dan sasaran yang ingin dicapai setelah itu menganalisa hasil pemodelan banjir DAS Baubau menggunakan *Hec-Ras* dengan teknik analisa distribusi frekuensi dengan metode HSS nakayasu, kemudian menyajikan hasil prediksi banjir periodik lalu diintegrasikan ke dalam Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk mengetahui wilayah risiko banjir, dan merencanakan strategi mitigasi.

BAB V : PENUTUP

Berisi poin-poin yang telah dirangkum pada Kesimpulan serta Rekomendasi yang penulis usulkan sehubungan dengan hasil analisa yang dilakukan pada penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Bencana Banjir

Banjir adalah bencana alam yang disebabkan peristiwa alam seperti curah hujan akibat perubahan iklim yang sering menimbulkan kerugian baik fisik maupun material. Kata Presiden Grup Bank Dunia, Jim Yong Kim. "Kurangnya langkah dalam menyikapi perubahan iklim akan membuat dunia yang akan diwariskan kepada anak cucu kita sangat berbeda dengan dunia yang kita tempatkan sekarang. Dunia yang akan diwariskan pada anak cucu kita akan sangat berbeda dengan dunia yang kita tempatkan sekarang jika tidak ada langkah konkrit untuk mengatasi perubahan iklim. Perubahan iklim adalah salah satu tantangan terbesar yang dihadapi pembangunan, dan kita memegang tanggung jawab moral untuk bertindak atas nama generasi-generasi penerus, terutama penduduk miskin".

1. Bahaya Banjir

Bahaya (*hazard*) adalah ancaman yang dihadapi masyarakat yang berasal dari peristiwa alam (seperti banjir, gempa bumi dan lain-lain) yang bersifat ekstrim yang dapat berakibat buruk atau keadaan yang tidak menyenangkan seperti yang ditunjukkan pada tingkat kerusakan dengan suatu lokasi tertentu (Bollin et al. 2003; Noor (2011). Sementara itu menurut White et al. (1973) dalam Cardona, O.D et al. (2012) bahaya merupakan suatu

peristiwa yang akan mungkin terjadi di masa depan yang disebabkan oleh faktor fisik alam maupun akibat ulah manusia yang dapat merugikan masyarakat.

Bahaya banjir diukur menurut probabilitas kejadian yang memunculkan nilai kerusakan, dipahami secara komprehensif sebagai risiko banjir, atau dampaknya berupa hilangnya nyawa dan kerusakan material kepada masyarakat. Rossi et al. (1994) dalam Senirwan (2013). Bahaya banjir dapat terjadi pada dataran di sekitar bantaran sungai yang masuk dalam daerah genangan pada debit banjir tahunan Q100 merupakan daerah rawan banjir sangat tinggi dijelaskan pada tabel 1 menjelaskan klasifikasi tersebut akan diadopsi dalam studi ini.

Tabel 1. Tingkat bahaya banjir menurut periode kala ulang

Kelas	Kala Ulang Debit Banjir	Daerah Rawan Banjir
1	Q50 - Q100	Sangat Tinggi
2	Q30 - Q50	Tinggi
3	Q10 - Q30	Sedang
4	Q1 - Q10	Rendah

Sumber: Ir. Husni Sabar, (2000:335)

B. Daerah Aliran Sungai (DAS)

1. Pengertian DAS

Daerah Aliran Sungai (DAS), dalam istilah asing disebut *drainage area*, *drainage basin*, *river basin*, *catchment area* atau *watershed* (Notohadiprawiro, 1981; Cech, 2005). Pengertian yang berkembang di Indonesia, terdapat tiga terminologi sesuai dengan luas dan cakupannya yaitu : *Catchment*, *Watershed*

dan *Basin*. Tidak ada batasan baku, tetapi selama ini yang dipahami bahwa *catchment* lebih kecil dari *watershed*, dan *basin* adalah DAS besar (Priyono dan Savitri, 2001).

Sebuah DAS yang besar dapat dibagi menjadi Sub DAS – Sub DAS yang lebih kecil ditampilkan pada Gambar 2. Unit spasial yang lebih kecil dapat dibentuk pada Sub DAS untuk melakukan analisis spasial yang lebih akurat berdasarkan jenis tanah dan penggunaan lahannya.



Gambar 2. Daerah Aliran Sungai (DAS)

2. Risiko

Risiko bencana menurut (UNDP 2010; Setneg 2007 dalam Silviani, 2013) merupakan suatu potensi kerugian atau dampak berbahaya yang ditimbulkan akibat bencana pada suatu wilayah dalam kurun waktu tertentu yang dapat berupa maut, luka, sakit, jiwa terancam, kurangnya rasa aman, mengungsi, kerusakan atau kehilangan harta, dan terhambatnya kegiatan masyarakat yang diakibatkan adanya interaksi antara alam dan aktivitas

manusia. Sementara menurut Cardona, O.D et al. (2012) Risiko bencana adalah sesuatu kejadian yang mungkin dapat terjadi di masa depan yang disebabkan baik dari proses sosial maupun lingkungan.

Dalam penyusunan peta risiko bencana, komponen-komponen utama ini dipetakan dengan menggunakan perangkat GIS. Pemetaan baru akan dilaksanakan setelah seluruh data indikator pada setiap komponen diperoleh melalui sumber data yang telah ditentukan. Data yang diperoleh selanjutnya dibagi dalam 3 kelas ancaman, yaitu rendah, sedang dan tinggi. Untuk mendapatkan ketinggian genangan dilakukan *overlay* kelas rawan banjir dengan kelas skoring pada tabel 2.

Tabel 2. Skoring dan pembobotan tinggi genangan banjir

Komponen/ Indikator	Bahan Rujukan	Kedalaman (m)	Kelas	Nilai	Bobot (%)	Skor
Peta zonasi daerah rawan banjir (Divalidasi dengan data kejadian)	Panduan dari Kementerian PU, BMKG dan Bakosurtanal	< 0.76	Rendah	1	100%	0.333333
		0.76 - 1.5	Sedang	2		0.666667
		> 1.5	Tinggi	3		1.000000

(Sumber: Perka Badan Penanggulangan Bencana No.2 Tahun 2012)

Pemanfaatan daerah kawasan banjir harus diatur dengan pedoman dari peta risiko dan zona dataran banjir. Pedoman tersebut memiliki beberapa tujuan yaitu :

- a. Mengurangi dampak bencana pada permukiman yang ada
- b. Mempersiapkan syarat bagi permukiman dalam menghadapi banjir
- c. Mengijinkan pemukiman baru dengan persyaratan tertentu, seperti flood proofing
- d. Melarang adanya pengembangan daerah permukiman yang baru.

3. Kerentanan

Kerentanan Banjir menurut Yusuf dalam Syarif (2010) adalah memperkirakan daerah-daerah yang mungkin menjadi sasaran banjir. Wilayah-wilayah yang rentan banjir, biasanya terletak pada daerah datar, dekat dengan sungai, berada di daerah cekungan dan di daerah pasang surut air laut, sedangkan bentukan banjir pada umumnya terjadi pada daerah rendah sebagai akibat dari banjir yang terjadi berulang-ulang, biasanya daerah ini mempunyai tingkat kelembaban tanah yang tinggi dibanding daerah-daerah lain yang jarang terlanda banjir.

Parameter kerentanan lingkungan digunakan untuk mengetahui besar genangan yang mempengaruhi kerusakan terjadi dan memungkinkan semakin besar tingkat bahaya di wilayah penelitian. Parameter kerentanan tersebut adalah Curah hujan, Frekuensi genangan banjir, Luas daerah tergenang dan Kemiringan lereng, untuk mengetahui parameter dan kriteria kerentanan bahaya banjir dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Kerentanan lingkungan

No	Parameter	Kriteria	Skor	No	Parameter	Kriteria	Skor
1	Curah Hujan (mm/tahun)	< 1500	1	3	Luas daerah tergenang (Ha)	< 2	1
		1500 - 2000	2			2 - 4	2
		2000 - 2500	3			> 4	3
		2500 - 3000	4			> 140	1
		> 3000	5			55 - 140	2
2	Frekuensi genangan banjir (dalam 1 tahun kejadian)	< 6	1	4	Kemiringan lereng (%)	25 - 55	3
		6 - 11	2			15 - 25	4
		> 11	3			8 - 15	5
						3 - 8	6
						0 - 2	7

(Sumber: Ristya, 2012)

C. Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan (*land use*) dan penutupan lahan (*land cover*) diperlukan untuk menggambarkan kondisi fisik wilayah secara aktual. Perubahan lahan akan tetap berlanjut di masa mendatang bahkan dalam kecepatan yang lebih tinggi seiring dengan pertumbuhan ekonomi yang terjadi di daerah perkotaan (Winarso 1995).

Menurut Sinukaban (2008) bahwa degradasi lahan akan menyebabkan rusaknya fungsi hidrologis DAS yang tampak dari penurunan kapasitas infiltrasi DAS dan meningkatnya koefisien aliran permukaan. Kejadian degradasi lahan dan rusaknya fungsi hidrologis DAS tersebut kemungkinan diakibatkan beberapa faktor, Pertama penggunaan dan peruntukan lahan yang menyimpang dari Rencana Tata Ruang Wilayah atau Rencana Tata Ruang Daerah. Semisalnya, daerah yang diperuntukkan sebagai hutan lindung dialihfungsikan menjadi pertanian, hutan produksi dialihfungsikan menjadi permukiman penduduk, lahan budidaya pertanian dialihfungsikan menjadi permukiman atau industri, dan sebagainya, kedua penggunaan lahan di DAS tidak sesuai dengan kemampuan lahan.

D. Siklus Dan Proses Hidrologi

Hidrologi mempelajari siklus air di alam raya. Siklus hidrologi atau siklus air meliputi kejadian-kejadian air menguap ke atas (udara), kemudian mengembun dan menjadi hujan atau salju, lalu turun masuk ke dalam tanah

atau mengalir di atas permukaan tanah, kemudian berkumpul di danau atau laut, menguap lagi dan seterusnya (Asdak, 1995).

1. Iklim

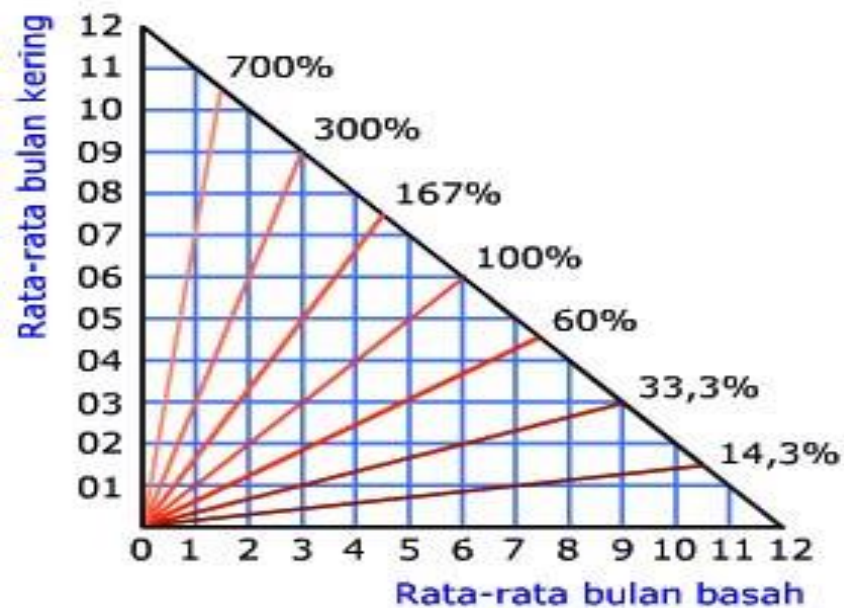
Penentuan type iklim menurut Schmidt dan Ferguson bahwa klasifikasi ini sekedar memperhatikan unsur iklim yaitu hujan dan memerlukan data bulanan paling sedikit sepuluh tahunan. Kriteria yang digunakan adalah penentuan bulan kering, bulan basah dan bulan lembab dengan pengertian sebagai berikut :

- Bulan Kering (BK) : Bulan dengan hujan kurang dari 60 mm
- Bulan Lembab (BL) : Bulan dengan hujan antara 60 mm-100 mm
- Bulan Basah (BB) : Bulan dengan hujan di atas 100 mm

Dalam menentukan bulan kering, bulan lembab dan bulan basah, tahun demi tahun selama periode pengamatan yang kemudian dijumlahkan dan dihitung rata-ratanya. Penentuan tipe iklimnya adalah digunakan nilai Quotient (Q) yaitu :

$$Q = \frac{\text{Rata-rata bulan kering (BK)}}{\text{Rata-rata bulan basah (BB) x 100\%}} \quad (1)$$

Dari perhitungan nilai Q tersebut dan dengan menggunakan segitiga Schmidt dan Ferguson, maka didapatkan delapan tipe iklim dari A hingga H seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Pembagian Iklim Menurut Schmidt Dan Ferguson
(Sumber: Handoko, 1994)

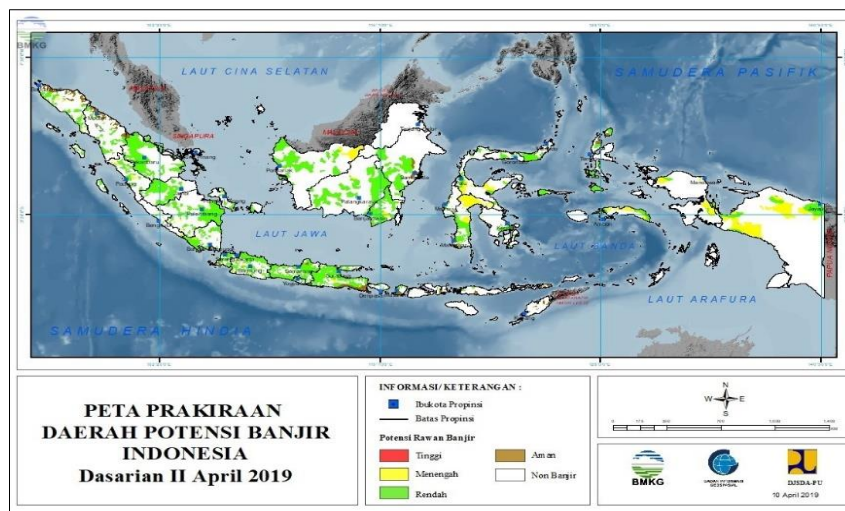
Tabel 4. Klasifikasi tipe iklim

Tipe Iklim	Nilai Q	Keadaan Iklim dan Vegetasi	Kondisi Iklim
A	0% - 14.3%	Daerah sangat basah, hutan hujan tropika	Sangat Basah
B	14.3% - 33.3%	Daerah basah, hutan hujan tropika	Basah
C	33.3% - 60%	Daerah agak basah, hutan rimba, daun gugur pada musim kemarau	Agak Basah
D	60% - 100%	Daerah sedang, hutan musim	Sedang
E	100% - 167%	Daerah agak kering, hutan sabana	Agak Kering
F	167% - 300%	Daerah kering, hutan sabana	Kering
G	300% - 700%	Daerah sangat kering, padang ilalang	Sangat Kering
H	H > 700%	Daerah ekstrim kering, padang ilalang	Luas Biasa Kering

(Sumber: Schmidt dan Ferguson Tahun 1995)

E. Curah Hujan

Curah hujan adalah air dalam bentuk atau padat yang jatuh di atas permukaan tanah yang didahului oleh proses kondensasi massa udara, sedangkan bentuk dan jumlahnya dipengaruhi oleh faktor iklim yaitu angin, temperatur dan tekanan udara (Viessman et al, 1977). Faktor yang menentukan besarnya curah hujan rata - rata di suatu daerah antara lain garis lintang, posisi dan luas daerah, jarak dari pantai atau sumber lain, efek geografis dan ketinggian (Subarkah, 1980).



Gambar 4. Peta Prakiraan Daerah Potensi Banjir Indonesia, Dasarian II April 2019 (sumber: BMKG)

1. Analisa Frekuensi

Analisis frekuensi merupakan prosedur memperkirakan frekuensi suatu kejadian pada masa lalu atau masa yang akan datang. Prosedur tersebut dapat digunakan untuk menentukan hujan rancangan dalam berbagai kala ulang berdasarkan distribusi paling sesuai antara distribusi hujan secara teoritik dengan distribusi hujan secara empirik. Menurut buku Bambang

Triatmodjo (2008) curah hujan rancangan merupakan curah hujan terbesar tahunan (diambil data hujan yang terbesar pada tiap tahunnya) dengan suatu kemungkinan periode ulang tertentu. Analisa curah hujan rencana bertujuan untuk menentukan periode ulang pada peristiwa hidrologis masa yang akan datang.

Analisa hujan rencana maupun debit rencana dapat diperhitungkan untuk kala ulang 5,10, 20 dan 25 tahun.

Dalam ilmu statistik dikenal beberapa macam distribusi frekuensi, metode yang dipakai dalam analisis frekuensi dalam menghitung data curah hujan harian maksimum adalah sebagai berikut :

- a. Distribusi Gumbel.
- b. Distribusi Normal.
- c. Distribusi Log Normal.
- d. Distribusi Log Pearson III.

a).Distribusi Gumbel.

Berdasarkan Gumbel curah hujan untuk periode ulang (PUH) tertentu (T_r) dihitung berdasarkan persamaan berikut :

$$X_{T_r} = \bar{X} + \left(\frac{Y_{T_r} - Y_n}{S_n} \right) \times S_x \quad (2)$$

$$Y_{T_r} = - L_n \left[L_n \left(\frac{T_r}{T_r - 1} \right) \right] \quad (3)$$

$$S_n \left[\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - R^2)}{n-1} \right]^{1/2} \quad (4)$$

Dimana :

X_{T_r} = Besarnya curah hujan rencana pada periode ulang T tahun

S_x = Standar deviasi data hujan.

S_n = *Reduced standard deviation* sesuai jumlah sampel/data

Y_n = *Reduced mean* sesuai jumlah sampel

\bar{X} = Nilai rata - rata hitung sampel

Y_{TR} = *Reduced variate*

Untuk mengetahui besarnya nilai dari Y_{TR} , Y_n , S_n dapat dilihat dalam

tabel 5 berikut :

Tabel 5. *Reduced variate*, Y_{TR} sebagai fungsi periode ulang

Periode Ulang, T_r (tahun)	Reduced variate, Y_{TR}	Periode Ulang, T_r (tahun)	Reduced variate, Y_{TR}
2	0,3668	20	2,9709
5	1,5004	25	3,1993
10	2,2510	50	3,9028
15	2,6109	100	4,6012

(Sumber: CD, Soemarto. 1995)

Tabel 6. Reduksi standar deviasi (Y_n) untuk distribusi gumbel

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.4952	0.4996	0.5035	0.5070	0.5100	0.5128	0.5157	0.5181	0.5202	0.5220
20	0.5236	0.5252	0.5268	0.5283	0.5296	0.5300	0.5820	0.5882	0.5343	0.5353
30	0.5363	0.5371	0.5380	0.5388	0.5396	0.5400	0.5410	0.5418	0.5424	0.5430
40	0.5463	0.5442	0.5448	0.5453	0.5458	0.5468	0.5468	0.5473	0.5477	0.5481
50	0.5485	0.5489	0.5493	0.5497	0.5501	0.5504	0.5508	0.5511	0.5515	0.5518
100	0.5600	0.5602	0.5603	0.5604	0.5606	0.5607	0.5608	0.5609	0.5610	0.5611

(Sumber: C.D. Soemarto. 1995)

Tabel 7. Reduksi standar deviasi (S_n) untuk distribusi gumbel

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	1.0916	1.1004	1.1047	1.1080
30	1.1124	1.1159	1.1193	1.1226	1.1255	1.1285	1.1313	1.1339	1.1363	1.1388
40	1.1413	1.1436	1.1458	1.1480	1.1499	1.1519	1.1538	1.1557	1.1574	1.1590
50	1.1607	1.1623	1.1638	1.1658	1.1667	1.1681	1.1696	1.1708	1.1721	1.1734
100	1.2065	1.2069	1.2073	1.2077	1.2081	1.2084	1.2087	1.2090	1.2093	1.2096

(Sumber: C.D. Soemarto. 1995)

b).Distribusi Normal.

Distribusi normal disebut juga distribusi Gauss. Dalam pemakaian praktis umumnya digunakan persamaan sebagai berikut :

$$X_T = \bar{X} + K_T \times S \quad (5)$$

$$K_T = \frac{X_T - \bar{X}}{Sx} \quad (6)$$

Dimana :

X_T = Perkiraan nilai yang diharapkan akan terjadi dengan periode ulang T - tahunan.

\bar{X} = Nilai rata-rata hitung sampel.

Sx = Standar deviasi.

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

Nilai faktor frekuensi K_T umumnya sudah tersedia dalam tabel 8 untuk mempermudah perhitungan, biasa disebut sebagai tabel nilai Variabel Reduksi Gauss (*Variable reduced Gauss*) seperti ditunjukkan dalam tabel 8.

Tabel 8. Nilai variabel *reduksi gauss*

No	Periode Ulang T (Tahun)	Peluang	K_T	No	Periode Ulang T (Tahun)	Peluang	K_T
1	1.001	0.999	-3.05	11	2.50	0.400	0.25
2	1.005	0.995	-2.58	12	3.3	0.300	0.52
3	1.01	0.990	-2.33	13	4	0.250	0.67
4	1.05	0.950	-1.64	14	5	0.200	0.84
5	1.11	0.900	-1.28	15	10	0.100	1.28
6	1.25	0.800	-0.84	16	20	0.050	1.64
7	1.33	0.750	-0.67	17	50	0.020	2.05
8	1.43	0.700	-0.52	18	100	0.010	2.33
9	1.67	0.600	-0.25	19	200	0.005	2.58
10	2.00	0.500	0	20	500	0.002	2.88

(Sumber: C.D. Soemarto. 1995)

c). Metode Distribusi Log Normal.

$$\text{Log } X_T = \overline{\text{Log } X} + K_T \times S_{\text{Log } X} \quad (7)$$

Dimana :

K_T = Faktor frekuensi. $S_{\text{Log } X}$ = Standar deviasi

$\text{Log } X_T$ = Intensitas curah hujan dengan periode ulang T tahun.

$\overline{\text{Log } X}$ = Nilai rata - rata hitung sampel

Nilai faktor frekuensi K_T untuk Distribusi Log Normal sama dengan Distribusi Normal, seperti ditunjukkan dalam tabel 8, yang umum disebut sebagai tabel nilai variabel reduksi gauss (*Variable reduced gauss*).

d). Distribusi Log Pearson III.

Parameter statistik yang diperlukan pada perhitungan Log Pearson III ada 3 yaitu: harga rata-rata (*mean*), penyimpangan baku (*Standard deviation*) dan koefisien *skewness*. Terdapat 12 buah distribusi pearson, tetapi hanya distribusi Log Pearson III yang dipakai dalam analisis hidrologi. Tidak ada syarat untuk distribusi ini, disebut Log Pearson III karena memperhitungkan 3 parameter fisik (Limantara Lili, 2010).

Dalam menghitung besarnya curah hujan rencana dengan distribusi Log Pearson III, tentukan nilai koefisien kemiringan (C_s) dan standar deviasi (S_x) terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan dispersi logaritmik, kemudian hitung besarnya curah hujan rencana dengan memakai persamaan berikut :

$$\text{Log } X_T = \overline{\text{Log } X} + K_T \times S_{\text{LOG } X} \quad (8)$$

Dimana :

$\text{Log } X_T$ = Intensitas curah hujan dengan periode ulang T tahun.

$\overline{\text{Log } X}$ = Nilai rata - rata hitung sampel

K_T = Faktor frekuensi.

$S_{\text{LOG } X}$ = Standar deviasi

Besarnya nilai K_T pada distribusi Log Pearson III dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 9. Nilai K_T untuk distribusi log pearson III

Koef. Penyimpangan (CS)	Persentase peluang terlampaui (<i>Percent chance of being exceeded</i>)								
	99.01	50	20	10	5	4	2	1	0.5
(CS)	Interval kejadian (<i>Recurrence interval</i>), T_r tahun (Periode ulang)								
	1.01	2	5	10	20	25	50	100	200
0.5	-1,950	-0.0830	0.803	1.323	1.714	1.910	2.231	2.684	3.041
0.4	-2,029	-0.0660	0.816	1.317	1.692	1.880	2.261	2.615	2.949
0.3	-2,104	-0.0500	0.824	1.309	1.669	1.849	2.211	2.544	2.856
0.2	-2,178	-0.0330	0.830	1.301	1.646	1.818	2.159	2.472	2.763
0.1	-2,252	-0.0170	0.836	1.292	1.621	1.785	2.107	2.400	2.670
0	-2,326	0	0.842	1.282	1.595	1.751	2.054	2.326	2.576
-0.01	-2,400	0.0170	0.846	1.270	1.567	1.716	2.000	2.252	2.482
-0.02	-2,472	0.0330	0.850	1.258	1.539	1.680	1.945	2.178	2.388
-0.03	-2,544	0.0500	0.853	1.245	1.510	1.643	1.890	2.104	2.294
-0.04	-2,615	0.0660	0.855	1.231	1.481	1.606	1.834	2.029	2.201
-0.05	-2,686	0.0830	0.856	1.216	1.450	1.567	1.777	1.955	2.108

(Sumber: CD. Soemarto, 1995)

Pada setiap perhitungan distribusi diatas memiliki persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi sebagai dasar pemilihan penggunaan metode distribusi. Persyaratan tersebut dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. Parameter statistik untuk menentukan persyaratan masing masing distribusi

No	Jenis Distribusi	Syarat
1	Gumbell	$C_s \approx 1,1396$ $C_k \approx 5,4002$
2	Normal	$(\bar{x} \pm s) = 68,27\%$ $(\bar{x} \pm 2s) = 95,44\%$ $C_s \approx 0,00$ $C_k \approx 3,00$
3	Log Normal	$C_s = Cv^3 + 3Cv = 0,2874$ $C_k = Cv^8 + 6Cv^6 + 15 Cv^4 + 16Cv^2 + 3 = 3,147$
4	Log Pearson III	$C_s \neq 0$ Selain dari nilai di atas

(Sumber: Bambang Triadmodjo, 2008)

Setelah dilakukan perhitungan dari setiap metode distribusi curah hujan, maka selanjutnya dipilih salah satu metode untuk dilakukan pengujian distribusi. Adapun pengujian distribusi yang dilakukan yaitu sebagai berikut :

a. Pengujian Dispersi Statistik dan Logaritma.

1). Dispersi Statistik

Distribusi curah hujan yang menggunakan pengukuran dispersi ini adalah distribusi Normal dan distribusi Gumbel. Dalam perhitungan ini ada beberapa parameter yang digunakan yang meliputi nilai rata-rata (\bar{X}), deviasi standar (S_x), koefisien variasi (C_v) koefisien kemiringan (C_s) dan koefisien kurtosis (C_k). Adapun persamaan untuk perhitungan parameter menurut Soewarno (1995) sebagai berikut :

$$\bar{X} = \sum \frac{Rx}{n} \quad (9)$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (Xi - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad (10)$$

$$C_V = \frac{S_x}{\bar{X}} \quad (11)$$

$$C_S = \frac{n \times \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1) \times (n-2) \times S_x^3} \quad (12)$$

$$C_K = \frac{n^2 \times \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1) \times (n-2) \times (n-3) \times S_x^4} \quad (13)$$

Dimana :

\bar{X} =Tinggi hujan harian maksimum rata-rata selama n tahun (mm)

S_x =Standar deviasi

C_V =Koefisien variasi.

C_S =Koefisien Kemencengan/kemiringan.

C_K =Koefisien Kurtosis/ketajaman.

n =Jumlah tahun pencatatan data hujan.

2). Dispersi Logaritma

Sedangkan dalam perhitungan dispersi logaritma hampir sama dengan perhitungan dispersi statistik hanya saja perhitungan nilai parameter menggunakan Logaritma. Adapun distribusi curah hujan yang menggunakan pengukuran dispersi ini adalah distribusi Normal dan distribusi Gumbel. Berikut rumus perhitungan menggunakan dispersi logaritmik :

$$S_{\text{Log } X} = \sqrt{\frac{\sum (\text{Log } X_i - \overline{\text{Log } X})^2}{n-1}} \quad (14)$$

$$C_V = \frac{S_{\text{Log } x}}{\overline{\text{Log } X}} \quad (15)$$

$$C_S = \frac{n \times \sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \overline{\text{Log } X})^3}{(n-1) \times (n-2) \times S_{\text{Log } x}^3} \quad (16)$$

$$C_k = \frac{n^2 \times \sum_{i=1}^n (\text{Log} X_i - \overline{\text{Log} X})^4}{(n-1) \times (n-2) \times (n-3) \times S_{\text{Log} x}^4} \quad (17)$$

Besarnya nilai parameter - parameter diatas akan menentukan jenis metode distribusi curah hujan yang akan dipakai selanjutnya.

b. Pengujian Chi-Kuadrat

Pengujian *Chi-Kuadrat* ini dimaksud untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang telah dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisa. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter X^2 . Persamaan yang digunakan menurut Soewarno (1995) ialah :

$$X^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (18)$$

Dimana :

X^2 = Parameter Chi –Kuadrat terhitung

G = Jumlah sub kelompok

O_i = Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok i

E_i = Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok i

Suatu distribusi dikatakan cocok atau selaras jika hasil perbandingan antara nilai Chi-Kuadrat (X) hitung < X kritis. Nilai X kritis dapat dilihat di tabel berikut :

Tabel 11. Nilai kritis untuk distribusi *Chi – Kuadrat*

Dk	α Derajat Kepercayaan							
	0.995	0.990	0.975	0.950	0.050	0.025	0.010	0.005
1	0.0393	0.016	0.0982	0.393	3.841	5.024	6.635	7.879
2	0.100	0.0201	0.0506	0.103	5.991	7.378	9.210	10.597
3	0.717	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	16.705

(Sumber: Soemarto.1995)

Untuk mempermudah perhitungan Chi-Kuadrat maka dilakukan pengurutan data dari yang terbesar sampai terkecil atau sebaliknya dengan menggunakan persamaan :

$$P = \frac{m}{n-1} \times 100\% \quad (19)$$

Dimana :

p = Peluang n = Jumlah data
m = Nomor urut data

Selanjutnya dari hasil pengamatan yang didapat dicari penyimpangannya dengan *chi-square kritis* paling kecil. Untuk suatu nilai nyata tertentu (*level of significant*) yang sering diambil adalah 5%. Derajat kebebasan ini secara umum dihitung menggunakan rumus sebagai berikut (Soewarno,1995) :

$$G = 1 + 3,322 \text{ Log } n \quad (20)$$

$$D_k = G - (R+1) \quad (21)$$

Dimana :

G = Jumlah kelas
D_k = Derajat kebebasan
R = Banyaknya parameter (R = 2 untuk Log Pearson III)
N = Jumlah data

Adapun kriteria penilaian hasilnya adalah sebagai berikut :

- Apabila peluang lebih dari 5% maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
- Apabila peluang lebih kecil dari 1% maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan tidak dapat diterima.

- Apabila peluang lebih kecil dari 1% - 5% maka tidak mungkin mengambil keputusan, perlu penambahan data.

c. Uji Kecocokan (*Goodness of fit test*)

Penguji parameter dalam menguji kecocokan (*the goodness of fit test*) distribusi frekuensi sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan akan menggambarkan atau mewakili distribusi frekuensi tersebut. Penelitian ini menggunakan Metode *Smirnov-Kolmogorof* (secara analitis). Pengujian probabilitas Metode *Smirnov-Kolmogorof* dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut :

- 1) Urutkan data (X_i) dari besar ke kecil atau sebaliknya.
- 2) Tentukan peluang empiris dengan masing-masing data yang sudah diurut tersebut (X_i) dengan rumus tertentu.

$$P(x_i) = \frac{m}{n-1} \times 100\% \quad (22)$$

Dimana :

p = Peluang

m = Nomor urut data diurut dari besar ke kecil atau sebaliknya.

n = Jumlah data

- 3) Tentukan peluang teoritis masing-masing data yang sudah diurut tersebut P berdasarkan persamaan distribusi probabilitas yang dipilih (*Gumbel, Normal, dan sebagainya*).

$$p_{xi} = \frac{1}{T} \quad (23)$$

- 4) Dari kedua nilai peluang tersebut, di tentukan selisih terbesar antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis:

$$D = P(X <) - P'(X <) \quad (24)$$

5) Apabila $D < D_0$ maka distribusi yang digunakan untuk menentukan debit rencana dapat diterima, sebaliknya jika harga $D > D_0$, maka distribusi yang digunakan untuk menentukan debit rencana tidak diterima. Berdasarkan tabel 12, nilai kritis *Smirnov Kolmogorov* ditentukan harga D_0 .

Tabel 12. Nilai kritis D_0 *Smirnov Kolmogorov*

Jumlah Data n	(α Derajat Kepercayaan)			
	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
$N > 50$	$\frac{107}{N^{0.5}}$	$\frac{122}{N^{0.5}}$	$\frac{136}{N^{0.5}}$	$\frac{163}{N^{0.5}}$

(Sumber: Kamiana, 2011)

1.1. Intensitas Curah Hujan

Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu dimana air tersebut terkonsentrasi. Dalam penelitian ini intensitas hujan diturunkan dari data curah hujan harian. Menurut Lubis (1992) intensitas hujan (mm/jam) dapat diturunkan dari data curah hujan harian (mm) empirik menggunakan *metode mononobe* sebagai berikut :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (25)$$

Dimana :

I = Intensitas curah hujan (mm/jam).

t = Lamanya curah hujan (jam).

R_{24} = Curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm).

1.2. Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi suatu DAS adalah waktu yang diperlukan oleh air hujan yang jatuh untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke tempat keluar DAS (Titik Kontrol) setelah tanah menjadi jenuh dan depresi-depresi kecil terpenuhi. Salah satu rumus untuk memperkirakan waktu konsentrasi (t_c) adalah rumus yang dikembangkan oleh Kirpich (1940), yang dapat ditulis sebagai berikut :

$$t_c = 0.00025 (L / \sqrt{S})^{0.8} \quad (26)$$

Dimana:

t_c = Waktu konsentrasi banjir (jam).

L = Panjang saluran utama dari hulu sampai penguras (km).

S = Kemiringan rata-rata saluran utama (m/m).

Waktu konsentrasi bisa juga dihitung dengan membedakan menjadi dua komponen, yaitu :

- a. *Inlet time* (t_0) yakni waktu yang diperlukan air untuk mengalir di permukaan lahan sampai saluran terdekat.
- b. *Conduit time* (t_d) yaitu waktu perjalanan dari pertama masuk sampai titik keluaran.

$$t_c = t_0 + t_d \quad (27)$$

Dimana :

$$t_0 = 23 \times 3,28 \times L_s \times n \text{ (menit).}$$

$$t_d = L_s 60 V \text{ (menit).}$$

n = Angka kekasaran manning.

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

1.3. Koefisien Limpasan

Nilai koefisien limpasan atau koefisien pengaliran sangat berpengaruh terhadap debit banjir. Limpasan air hujan yang langsung mengalir di atas permukaan suatu lahan akan memberikan aliran yang cepat ataupun lambat pada saat menuju ke suatu saluran drainase dan yang nantinya menuju ke saluran primer atau sungai, tergantung dari tata guna lahan di sekitar saluran tersebut. Nilai koefisien ini juga dapat digunakan untuk menentukan kondisi fisik dari suatu DAS yang artinya memiliki kondisi fisik yang baik. Hal ini sesuai dengan pernyataan Kodoatie dan Syarief (2005) yang mengatakan bahwa angka koefisien aliran permukaan itu merupakan salah satu indikator untuk menentukan kondisi fisik DAS. Nilai C berkisar antara 0 - 1, nilai C = 0 menunjukkan bahwa semua air hujan terinterepsi dan terinfiltrasi ke dalam tanah dan sebaliknya untuk C = 1 menunjukkan bahwa semua air hujan akan mengalir sebagai aliran permukaan (*run off*). Perubahan tata guna lahan yang dapat terjadi secara langsung akan mempengaruhi debit puncak yang terjadi pada suatu DAS.

Tabel 13. Nilai koefisien limpasan

Zona Penggunaan Lahan	Koefisien Limpasan [©] C
Hutan Sekunder	0.15
Air danau/Situ	0.15
Hutan Primer	0.02
Air empang/Tambak	0.15
Lahan Kosong/tidak terpelihara	0.20
Semak belukar/Alang-alang	0.20
Permukiman dan Tempat kegiatan	0.90
Air tawar sungai	0.15
Tegal/Huma	0.20
Perkebunan	0.40
Pertanian Lahan Kering/Ladang	0.20
Sawah	0.15
Budidaya Lainnya	0.20

(Sumber: BSN. Sni 2415:2016)

F. Debit Banjir

1. Debit Kala Ulang Banjir

Daerah dataran banjir diprediksi berdasarkan debit banjir beserta kala ulang tertentu. Debit banjir dengan kala ulang 100 tahun Q_{100} bermakna banjir yang mempunyai probabilitas kejadian 0.01 dalam setahun yang akan menggenangi daerah dataran banjir. Daerah dataran banjir Q_{100} tentu jauh lebih besar dibanding daerah dataran banjir Q_{10} . Mengingat banyak sungai di Indonesia yang tidak dilengkapi dengan alat pengukur debit, maka debit banjir biasanya dihitung berdasarkan curah hujan dengan menggunakan metode *Gumbel*, metode *Log Pearson III*, ataupun metode *Normal*. Dan perhitungan debit banjir digunakan dengan metode *hidrograf sintetis* (*Nakayasu*, *Snyder*, dll) untuk pemodelan *unsteady flow* dan metode rasional untuk *steady flow*.

2. Perhitungan Debit Banjir

Pada perhitungan debit banjir digunakan 2 (dua) Metode Rasional dan Metode Hidrograf, untuk metode rasional digunakan untuk menentukan banjir maksimum bagi saluran-saluran dengan daerah aliran kecil antara 100 - 200 acres atau kira-kira 40-80 ha. Untuk daerah yang alirannya lebih luas sampai dengan 5000 Ha, dapat digunakan metode rasional yang diubah. Untuk luas daerah lebih dari 5000 Ha, digunakan hidrograf satuan atau metode rasional yang diubah. Metode Rasional ini bisa dinyatakan secara aljabar dengan persamaan sebagai berikut (Subarkah, 1980) :

$$Q = f \times C \times I \times A \quad (28)$$

Dimana :

Q = Debit banjir rencana (m^3/s) I = Intensitas hujan (mm/jam)

f = Faktor konversi = 0,278 A = Luas daerah aliran (km^2)

C = Koefisien pengaliran

Sedangkan untuk Metode Hidrograf merupakan teori hidrograf satuan menghubungkan hujan netto atau hujan efektif, yaitu sebagian hujan total yang menyebabkan adanya limpasan permukaan, dengan hidrograf limpasan. Jadi hidrograf tersebut didefinisikan sebagai hubungan antara salah satu unsur aliran terhadap waktu tertentu. Berdasarkan definisi tersebut dikenal ada dua macam hidrograf, yakni hidrograf muka air dan hidrograf debit. Hidrograf muka air tidak lain berupa data atau grafik hasil rekaman AWLR (*Automatic Water Level Recorder*).

a. Hidrograf satuan.

Hidrograf satuan adalah hidrograf limpasan langsung yang dihasilkan oleh hujan efektif yang terjadi merata diseluruh areal DAS dan dengan intensitas tetap selama satu satuan waktu yang ditetapkan, sebagai hujan satuan. Konsep hidrograf satuan pertama kali dikemukakan oleh Sherman, 1932.

b. Hidrograf satuan sintetik (HSS).

Hidrograf Satuan Sintetis adalah hidrograf yang didasarkan atas sintesis parameter-parameter daerah aliran sungai (Sutapa, 2005). Seyhan (1977) mengutarakan bahwa beberapa parameter fisik DAS berperan dalam menentukan bentuk hidrograf satuan selain karakteristik hujan. Parameter fisik DAS tersebut adalah luas DAS, kemiringan, panjang sungai. Parameter-parameter fisik suatu DAS itulah yang akan dipergunakan untuk menetapkan besarnya hidrograf satuan dari DAS yang bersangkutan dengan metode hidrograf satuan sintesis.

Adapun keuntungan dari Hidrograf Satuan Sintetis ini menurut Seyhan (1977) adalah bisa mensintesiskan hidrograf dari DAS yang terukur dan menggunakannya untuk DAS yang tidak terukur. Sedangkan kelemahannya menurut Seyhan (1977) dan Harto (1993) adalah karena persamaan Hidrograf Satuan Sintesis dibuat secara empiris menggunakan data yang diperoleh pada tempat-tempat lokal, persamaan tersebut terbatas dalam kawasan dengan kondisi geografis

yang serupa dengan kawasan dimana persamaan tersebut diperoleh. Hasil dari penurunan hidrograf satuan ini dinamakan Hidrograf Satuan Sintetik (HSS). Ada tiga jenis Hidrograf Satuan Sintetis, yaitu:

- Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu.
- Hidrograf Satuan Sintetik Gama I.
- Hidrograf Satuan Sintetik SCS.

2.1. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Stasiun pengukuran debit dan tinggi muka air sungai (*stasiun hidrometri*) pada umumnya hanya dipasang di tempat - tempat tertentu saja yang dipandang oleh pengelolanya memiliki arti yang cukup penting. Hal tersebut disebabkan karena tidak mungkin memasang stasiun hidrometri disembarang tempat dan biaya pemasangannya juga cukup mahal. Pengembangan suatu daerah sering tidak dapat diketahui sebelumnya, atau kalau rencana itu diketahui tidak selekasnya diikuti dengan kaitan pengumpulan data, hingga pada saat dibutuhkan untuk analisis data tidak tersedia, atau tersedia dalam jangka waktu yang sangat pendek.

Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu ini merupakan salah satu upaya untuk mengatasi kesulitan-kesulitan tersebut. Cara ini dapat digunakan disembarang lokasi yang dikehendaki dalam suatu DAS tanpa tergantung ada atau tidaknya data pengukuran sungai. Akan tetapi, perlu ditegaskan bahwa kegiatan hidrometrik masih tetap merupakan pilihan utama, sehingga walaupun telah ditemukan cara pendekatan yang akan banyak mengatasi masalah kelangkaan data, namun prioritas pengukuran sungai ditempat

mutlak masih diperlukan. Adapun keuntungan dari Hidrograf Satuan Sintetis ini bisa mensintesiskan hidrograf dari DAS yang terukur dan menggunakannya untuk DAS yang tidak terukur. Hidrograf satuan ini secara sederhana dapat ditampilkan pada Gambar 5.

Dalam buku Bambang Triadmodjo (2006) yang berjudul '*Hidrologi Terapan*' cara menghitung Hidrograf Satuan Sintetik dengan menggunakan metode Nakayasu seperti pada persamaan berikut ini :

a. Waktu kelambatan (t_g), rumusnya:

untuk $L > 15$ km

$$t_g = 0,4 + 0,058 \times L \quad (29)$$

untuk $L < 15$ km

$$t_g = 0,21 \times L^{0,7} \quad (30)$$

b. Waktu puncak dan debit puncak hidrograf satuan sintetis dirumuskan

(t_p) sebagai berikut:

$$t_p = t_g + 0,8 T_r \quad (31)$$

c. Durasi Hujan (T_r) :

$$T_r = 0,5 \times t_g \text{ sampai } 1 \times t_g \quad (32)$$

d. Waktu saat debit sama dengan 0,3 kali debit puncak:

$$t_{0,3} = a \times t_g \quad (33)$$

e. Debit puncak hidrograf satuan sintetis dirumuskan sebagai berikut:

$$Q_P = \frac{C \times A \times R_0}{3,6 \times (0,3 \times t_p \times t_{0,3})} \quad (34)$$

Keterangan rumus-rumus diatas :

Q_P : Debit puncak banjir (m^3/s)

T_r : Durasi hujan (jam)

Untuk mendapatkan lengkung kurva Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu digunakan persamaan berikut ini :

a. Bagian kurva naik ($0 < t < T_p$):

$$Q_t = Q_P \times \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4} \quad (35)$$

b. Bagian kurva turun:

1) Jika $T_p < t < T_p + t_{0,3}$

$$Q_{d1} = Q_P \times 0,3 \frac{t - T_p}{t_{0,3}} \quad (36)$$

2) Jika $T_p + t_{0,3} < t < T_p + t_{0,3} + 1,5 t_{0,3}$

$$Q_{d2} = Q_P \times 0,3 \frac{t - T_p + 0,5 \times t_{0,3}}{1,5 t_{0,3}} \quad (37)$$

3) Jika $t > T_p + t_{0,3} + 1,5 t_{0,3}$

$$Q_{d3} = Q_P \times 0,3 \frac{t - T_p + 0,5 \times t_{0,3}}{2 \times t_{0,3}} \quad (38)$$

G. Model Hidraulika

Hidrolika yaitu bagian dari “hidrodinamika” yang terkait dengan gerak air atau mekanika suatu aliran. Ditinjau dari mekanika aliran, terdapat dua macam aliran yaitu aliran saluran tertutup dan aliran saluran terbuka. Dalam penelitian ini jenis aliran yang digunakan yaitu aliran saluran terbuka yang mempunyai permukaan bebas aliran saluran terbuka mempunyai permukaan yang berhubungan dengan atmosfer, tidak seperti pada aliran saluran tertutup tidak mempunyai hubungan langsung dengan tekanan atmosfer (Henderson, F.M. (1966).

1. Analisis Hidrolika

Dalam analisis hidrolika, dihitung profil muka air dengan menggunakan beberapa data berupa hasil analisis hidrologi untuk mendapatkan profil muka air. Di dalam analisis ini juga digunakan program/software *Hec-Ras*.

1.1. Aplikasi HEC-RAS

Hec-Ras merupakan program aplikasi untuk pemodelan aliran saluran terbuka alami ataupun buatan seperti drainase, sungai, dan penampang saluran terbuka lainnya yang memiliki permukaan bebas pada tekanan atmosfer. *River Analysis System (RAS)*, dibuat oleh *Hydrologic Engineering Center (HEC)* yang merupakan satuan kerja di bawah *US Army Corps of Engineers (USACE)*. *Hec-Ras* dapat menyajikan pemodelan satu dimensi aliran tunak maupun tak-tunak (*steady and unsteady one-dimensional flow model*). *Hec-Ras* merupakan program aplikasi yang mengintegrasikan fitur *graphical user interface*, analisis hidraulik, manajemen dan penyimpanan data, grafik, serta pelaporan.

Dalam modul *Hec-Ras* dikenal dua jenis tipe aliran yaitu aliran tetap (*steady flow*) dan aliran tidak tetap (*unsteady flow*). Aliran tetap adalah aliran dimana kedalaman air tidak berubah menurut waktu sehingga kecepatan aliran air juga tidak berubah menurut waktu. Sebaliknya aliran tidak tetap apabila kedalaman air berubah menurut waktu sehingga kecepatannya juga berubah menurut waktu. Profil muka air pada *Hec-Ras* dihitung dari penampang melintang sungai yang satu ke penampang melintang berikutnya yang diselesaikan dengan persamaan energi.

1.1.1. Persamaan Dasar

Profil muka air yang dihitung dari satu *cross-section* ke *cross-section* berikutnya diselesaikan dengan persamaan energi yang dinamakan metode *Standar – Step*. Persamaan energi yang digunakan dapat dilihat sebagai berikut :

$$Y_2 + z_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} = Y_1 + z_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} + h_e \quad (39)$$

Dimana :

Y_1, Y_2 : Tinggi kedalaman pada *cross-section* 1 dan 2

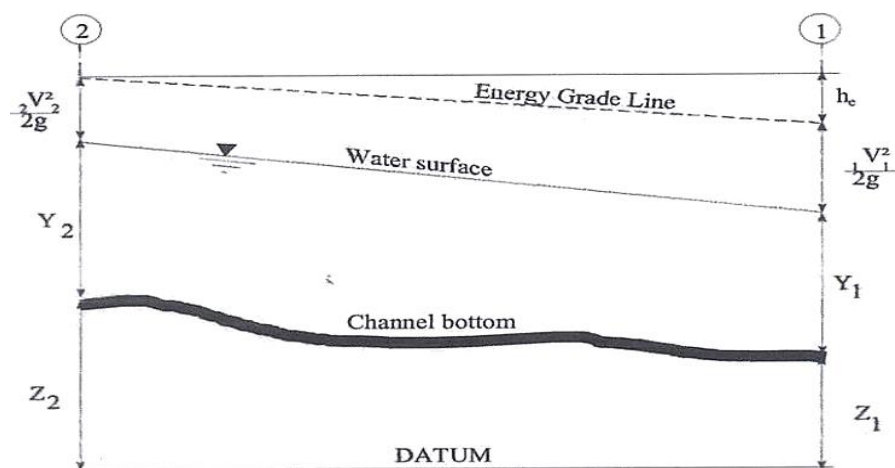
z_1, z_2 : Elevasi dasar saluran pada *cross-section* 1 dan 2

α_1, α_2 : Koefisien kecepatan

g : Gravitasi

h_e : Kehilangan energi

Diagram batas persamaan energi ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Penjabaran persamaan energi dalam pemodelan HEC-RAS

Tinggi energi yang hilang (h_e) antara 2 *cross-section* disebabkan dari kehilangan akibat gesekan dan kehilangan akibat penyempitan atau

pelebaran. Persamaan tinggi energi yang hilang tersebut adalah sebagai berikut :

$$h_e = L \cdot \bar{S}_f + c \cdot \left[\frac{a_2 \cdot V_2^2}{2g} = Y_1 + z_1 + \frac{a_1 \cdot V_1^2}{2g} \right] \quad (40)$$

Dimana :

L : Panjang bidang gesekan dari 2 titik pengamatan

\bar{S}_f : Kemiringan rata-rata dasar saluran antara 2 *cross-section*

C : Koefisien kehilangan akibat penyempitan dan pelebaran

$$L = \frac{L_{lob} \cdot \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \cdot \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \cdot \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \quad (41)$$

Dimana :

L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} : Panjang bidang gesekan antara 2 *cross-section* untuk aliran di sebelah kiri tanggul, tengah saluran dan kanan tanggul.

$\bar{Q}_{lob}, \bar{Q}_{ch}, \bar{Q}_{rob}$: Debit aliran di bagian kiri tanggul, tengah saluran dan kanan tanggul.

1.1.2. Perhitungan Debit pada *Cross-Section* di tiap Bagian Aliran Sungai.

Penentuan untuk debit total dan koefisien kecepatan untuk sebuah *cross-section* membutuhkan pembagian aliran menjadi unit-unit karena kecepatan aliran tidak terdistribusi merata. Pada Hec-Ras pendekatan yang digunakan adalah pembagian area pada bagian wilayah tanggul dengan menggunakan batasan-batasan nilai-nilai n yang ada pada *cross-section* tersebut (lokasi dimana nilai n berubah) sebagai dasar pembagian (Gambar 7). Debit yang dihitung di dalam masing-

masing sub-sub area di wilayah tanggul dipakai rumus *Manning* (unit dalam Inggris) adalah sebagai berikut :

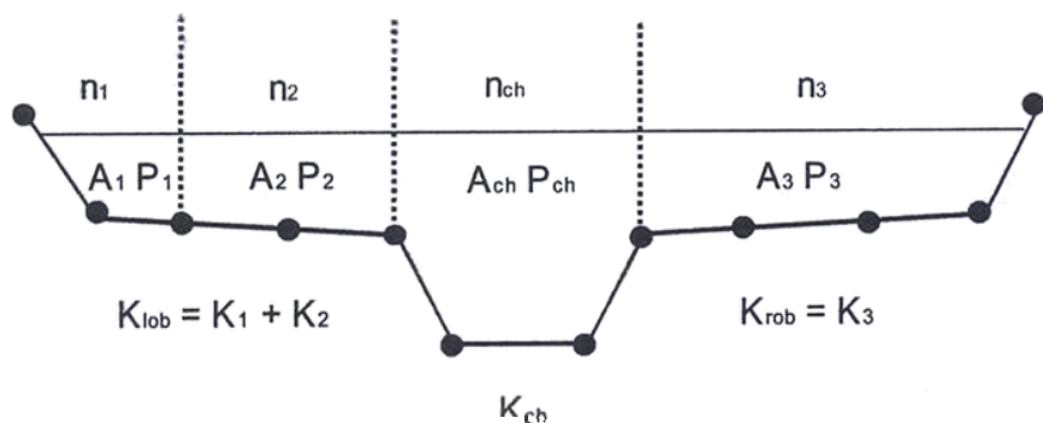
$$Q = K \cdot \bar{S}_f^{1/2} \quad (42)$$

$$K = \frac{1,486}{n} A \cdot R^{2/3} \quad (43)$$

Dimana :

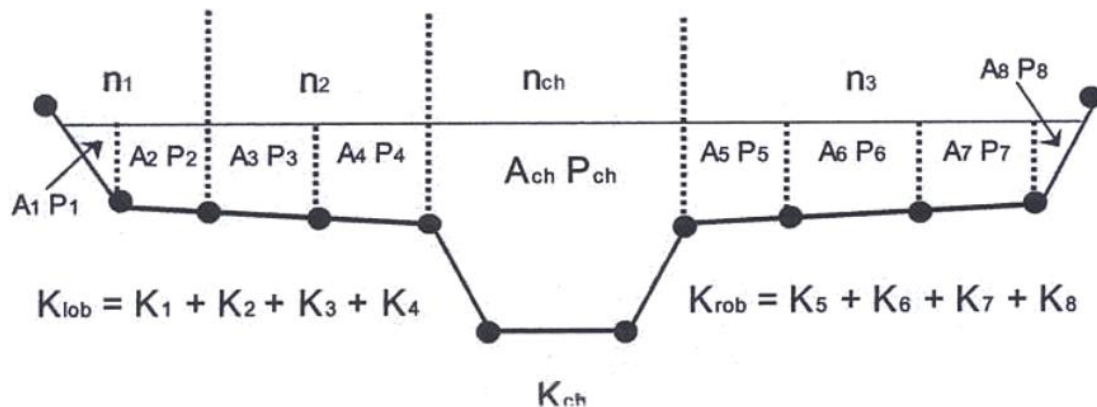
- K : Koefisien pengaliran untuk sub-sub area
- N : Koefisien kekasaran *Manning* untuk sub-sub area
- A : Luas penampang basah (*cross-section*) sub-sub area
- R : Radius hidraulik untuk sub-sub area

Program akan menjumlahkan semua aliran sub area di tanggul untuk memperoleh aliran kiri dan aliran kanan tanggul. Pada bagian aliran tengah, aliran dihitung secara normal sebagai sebuah elemen. Total aliran untuk *cross-section* tersebut didapat dengan menjumlahkan 3 bagian aliran pada kiri, tengah dan kanan.



Gambar 7. Metode pembagian aliran pada HEC-RAS

Sebuah metode alternatif yang mungkin di dalam HEC–RAS adalah menghitung aliran diantara setiap titik koordinat di dalam sisi tanggul (Gambar 8). Aliran kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan nilai total aliran di sisi kiri tanggul dan sisi kanan tanggul.



Gambar 8. Alternatif Metode pembagian aliran (model banjir)

Pada penggunaan aplikasi ini, dimungkinkan untuk melakukan hal-hal berikut ini:

- Manajemen file.
- Menginputkan data serta mengeditnya.
- Melakukan analisis hidraulik.
- Menampilkan data masukan maupun hasil analisis dalam bentuk tabel dan grafik.
- Penyusunan laporan.
- Mengakses *On-Line help*.

Hasil yang diperoleh dari *Hec-Ras* adalah ketinggian profil muka air yang dihasilkan oleh debit banjir sehingga dapat menggenangi daerah di sekitar sungai tersebut. Maka dari itu dengan menggunakan program *Hec-Ras*

dapat diprediksi banjir yang terjadi di daerah pemukiman dan fasilitas-fasilitas infrastruktur yang ada disekitar sungai tersebut. Dan hasil dari prediksi pemodelan tersebut dapat diintegrasikan dengan sistem informasi geografis yang nantinya dapat menampilkan informasi daripada daerah genangan banjir dan luas genangan yang terjadi menurut periode kala ulangnya.

H. Penginderaan Jauh Dan SIG

1. Penginderaan Jauh

Dewasa ini, foto udara skala kecil dan citra satelit telah digunakan untuk pemetaan penggunaan lahan/penutup lahan bagi wilayah yang luas (Lillesand dan Kiefer, 1990). Data SIG dan penginderaan jauh saling melengkapi satu sama lain dengan saling menambahkan informasi. Data SIG membantu analisis citra dengan mengelompokkan pixel-pixel yang meragukan, sedangkan citra yang digunakan sebagai latar belakang bagi data vektor, khusus menyediakan orientasi dan tata letak situasional (Albrecht, 2007).

2. Sistem Informasi Geografis (SIG) Dalam Prediksi Daerah Genangan Banjir

Untuk mempermudah integrasi antara model hidrolika dan hidrologi dan sistem informasi geografis. *US. Army Corps Of Engineer* mengembangkan *Hec-Ras*. Program ini kemudian dapat digunakan sebagai interface dengan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis seperti *ArcView* ataupun *Geo-Ras* sehingga dapat secara langsung memproses data spasial yang terdapat

dalam sistem informasi geografis ke dalam model tersebut. Integrasi ini merupakan integrasi eksternal mengingat masing-masing program telah mempunyai bahasa masing-masing akan tetapi dapat disatukan dengan adanya program *interface*. Dengan demikian prediksi untuk terjadinya banjir serta kerugian yang diakibatkan dapat segera diketahui dalam sistem peringatan bahaya banjir diantaranya keluaran GIS berupa peta. Peta tersebut bisa berupa peta format digital sehingga mudah disosialisasikan ke berbagai macam instansi terkait dengan penanganan bencana.

2.1 Penentuan Zonasi Daerah Rawan dan Bahaya Banjir

Menurut Sukiyah et al., (2004), melakukan penelitian tentang daerah rawan banjir dengan menggunakan SIG memperoleh hasil bahwa hasil analisis penetapan kawasan banjir menggunakan SIG tidak terlalu jauh berbeda dengan kondisi di lapangan. Penentuan zonasi daerah rawan dan bahaya banjir dengan menggunakan pendekatan kuantitatif metode analisis kuantitatif dengan menggunakan metode pendekatan analisis *overlay* parameter-parameter banjir (Yusuf, 2005).

I. Mitigasi Bencana Alam Banjir

Jika melihat area wilayah rawan banjir terjadi di daerah pemukiman karena sebagian besar wilayah tersebut didominasi oleh pemukiman. Menurut Siswoko (2007) upaya dalam mengantisipasi banjir bersifat struktural yang tepat pada wilayah pemukiman adalah dengan membangun tanggul yang

harus cukup aman dan stabil serta tidak mudah jebol pada saat terjadinya limpasan banjir di atas tanggul. Selain itu, normalisasi alur sungai, relokasi pemukiman ilegal sekitar sungai, dan pembangunan insitu juga diperlukan untuk merendahkan elevasi muka air banjir sungai serta mengurangi luas dan tinggi genangan.

1. Kapasitas Pemerintah dalam Penanggulangan Bencana Banjir

Strategi perlu dilaksanakan berbagai pihak Dinas dan Badan pemerintah daerah yang berhubungan dengan penanggulangan bencana sesuai dengan peran dan tanggung jawabnya. Permasalahan yang bersumber dari aspek kebijakan, yang diterjemahkan dalam peraturan dan hukum pemerintah daerah yang tertuang dalam RTRW seringkali tidak bebas kepentingan, bahkan dalam beberapa kejadian sulit ditegakkan, sebab tidak mendapat dukungan dari ketiga segmen (pemerintah, organisasi non-pemerintah dan masyarakat) yang terlibat dalam penanggulangan bencana.

Sebenarnya, hukum, peraturan perundang-undangan, dan keputusan yang telah dibuat pemerintah pusat maupun daerah, sudah banyak yang bisa menjadi instrumen pencegah pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan. Dalam Undang-Undang No.32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup dinyatakan, instrumen pencegahan pencemaran dan atau kerusakan lingkungan hidup terdiri dari sejumlah elemen.

2. Persepsi Dan Partisipasi Masyarakat

Partisipasi adalah kontribusi sukarela dari masyarakat terhadap penanggulangan bencana tanpa ikut serta dalam pengambilan keputusan (Mikkelsen, 2003) dalam Arifin (2007). Partisipasi masyarakat adalah bagian dari proses dimana masyarakat turut serta dalam mengambil keputusan. Pada hakekatnya pelibatan masyarakat merupakan bagian dari proses perencanaan untuk mengakomodasi kebutuhan, aspirasi dan fokus mereka. Tujuannya adalah untuk mengeliminir kemungkinan terjadinya dampak negatif.

Selain persepsi dan partisipasi masyarakat terhadap penanggulangan bencana kapasitas masyarakat juga diperlukan. Pengertian kapasitas yaitu suatu kombinasi dari semua kekuatan dan sumber-sumber yang ada di dalam komunitas, masyarakat atau organisasi untuk mencapai tujuan yang disepakati dalam mengurangi tingkat risiko atau dampak suatu bencana (UNISDR, 2013). Langkah yang perlu dilakukan untuk meningkatkan kapasitas masyarakat dan mengurangi kerentanan yaitu, pemerintah harus memiliki peraturan khusus dalam mendirikan bangunan (*building codes*), perlu memiliki pusat informasi khusus bencana, masyarakat lebih respon kegiatan penyuluhan dan sosialisasi yang diadakan pemerintah, membuat kurikulum bencana daerah dan mengadakan simulasi bencana serta mengembangkan kembali kearifan lokal yang dapat dijadikan sebagai peringatan dini terhadap bencana banjir.

3. Peringatan Dini Bencana Banjir (*Forecasting*)

Menurut Peraturan Badan Standarisasi Nasional No. 08 Tahun 2012 tentang Pedoman Penyusunan Sistem Peringatan Dini dan Evakuasi untuk Banjir Bandang, sistem peringatan dini merupakan sebuah rangkaian penyampaian informasi hasil prediksi suatu ancaman kepada masyarakat, sebelum terjadinya sebuah peristiwa yang dapat menimbulkan risiko, yang bertujuan untuk memberikan peringatan agar penerima informasi dapat segera siap siaga dan bertindak sesuai kondisi, situasi dan waktu yang tepat.

Irianto (2003) menyebutkan bahwa sistem peringatan dini banjir bertujuan agar masyarakat yang bermukim di daerah berisiko banjir, 1) dapat memperoleh informasi lebih awal tentang besaran (*magnitude*) banjir yang mungkin terjadi, 2) waktu evakuasi korban memadai sehingga risiko yang ditimbulkan bisa diminimalkan. Peramalan banjir adalah merupakan bagian dari sistem pengendalian banjir suatu sistem sungai (Kementrian PUPR Badan Pengembangan SDM tentang Metode Pengendalian Banjir). Maka dalam penyusunan sistem peramalan dan peringatan dini banjir suatu DAS perlu memperhatikan:

- a. Operasional bangunan sistem pengendalian banjir
- b. Hidrologi
- c. Karakteristik DAS
- d. Karakteristik daerah rawan banjir
- e. Kemungkinan kerugian akibat banjir.

Maka secara teknis dapat dilakukan antara lain dengan :

- a. Konstruksi pengendalian banjir
- b. Pengamatan tinggi muka air pada pos-pos pengamat
- c. Telemetering/pengamatan curah hujan
- d. Peta zonasi rawan banjir.

4. Rekomendasi Mitigasi Struktural dan Non-Struktural untuk Pengurangan Risiko Bencana Banjir

Seluruh wilayah kawasan rawan bencana perlu upaya mitigasi struktural dan non-struktural (Tariq & Van de Giesen, 2012), adaptasi merupakan bagian dari manajemen banjir secara terpadu (Bradford et al., 2012), termasuk pelibatan masyarakat (Bubeck, Botzen, Kreibich, & Aerts, 2012; Jennifer K. Poussin, Botzen, & Aerts, 2014).

Rekomendasi infrastruktur secara struktural menjadi upaya pengelolaan DAS yaitu :

- a. Sistem jaringan drainase
- b. Pembangunan waduk retensi (*situ/Embung*)
- c. Bangunan pengaman dan naturalisasi sungai.

Sedangkan untuk rekomendasi infrastruktur *non-struktural* sebagai upaya pengelolaan DAS yaitu :

- a. Pengembangan sistem peringatan dini
- b. Pembangunan DAM penahan dan *gully plug*
- c. Pembangunan hutan kota dan,
- d. Konservasi hulu pada DAS.