

**TUGAS AKHIR**

**ANALISIS BANJIR RANCANGAN DAERAH ALIRAN  
SUNGAI WAI ELA**

***FLOOD DESIGN ANALYSIS RIVER WATERSHED  
WAI ELA***

**ALWIYANI BADAWI  
D111 16 535**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
2020**



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL**

Jl. Poros Malino km. 6 Bontomarannu, 92172, Kab Gowa, Sulawesi Selatan  
☎ <http://civil.unhas.ac.id> ✉ [civil@eng.unhas.ac.id](mailto:civil@eng.unhas.ac.id)

**LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR**

Judul

**ANALISIS BANJIR RANCANGAN DAERAH ALIRAN SUNGAI WAI ELA**

Disusun dan diajukan oleh

**ALWIYANI BADAWI**

**D111 16 535**

Telah memenuhi syarat untuk melaksanakan

**UJIAN SARJANA**

pada tanggal

**30 November 2020**

Menyetujui,  
Dosen Pembimbing

Pembimbing I

Dr.Eng. Ir. Hj. Rita Tahir Lopa, MT

NIP: 196703191992032010

Pembimbing II

Dr.Eng. Ir. H. Farouk Maricar, MT

NIP: 196410201991031002

Mengetahui,  
Ketua Departemen Teknik Sipil



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, MEng

NIP: 196805292002121002


## PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, Alwiyani Badawi, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Analisis Banjir Rancangan Daerah Aliran Sungai Wai ELa**", adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu, semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Gowa, 9 November 2020

Yang membuat pernyataan,

  
Alwiyani Badawi  
NIM: D111 16 535

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah *Subhanahu Wata'ala* karena atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “ Analisis Banjir Rancangan Daerah Aliran Sungai Wai Ela”. Tak lupa kami kirimkan shalawat serta salam kepada baginda Nabi Muhammad *Shallallahu Alaihi Wasallam* sebagai panutan terbaik sepanjang masa serta para sahabat dan keluarga beliau dan orang-orang yang senantiasa istiqomah di Agama Islam yang paling mulia ini.

Tugas akhir ini dibuat sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi dalam menyelesaikan studi strata satu pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Dalam proses penyusunan tugas akhir ini, tidak dapat dipungkiri banyaknya kesulitan yang dihadapi oleh penulis. Namun dengan berkat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak, penulis pun mampu menghadapi kesulitan tersebut.

Selanjutnya dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis tak lupa menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya serta penghargaan yang setinggi-tingginya kepada berbagai pihak yang telah membantu baik secara materil maupun moril, khususnya kepada :

1. Kedua orang tua saya yang tak hentinya memberikan kasih sayang, doa, motivasi, serta dukungan moral dan materi yang tak terhingga selama ini.

2. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Muh. Wihardi Tjaronge, S.T., M.Eng. selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Ibu Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Tahir Lopa, MT. selaku pembimbing 1 dan Bapak Dr. Eng. Ir. H. Farouk Maricar, MT. selaku pembimbing 2 atas saran dan masukan serta bimbingannya dalam pembuatan tugas akhir ini.
5. Dosen dan staf penajar, serta pegawai Departemen Teknik Sipil yang telah memberikan segala ilmu pengetahuan dan bantuan baik secara langsung maupun tidak langsung selama proses perkuliahan.
6. Tim Sukses Penelitian yang telah membantu dalam penelitian ini, bapak Suwardi S. yang telah mengizinkan saya untuk membantu dalam penelitiannya.
7. Seluruh keluarga KKD Keairan, teman-teman, senior, Bapak-Ibu S2 dan S3 yang terus memberi bantuan dan dukungan. Serta kepada semua pihak yang turut membantu kelancaran penyelesaian tugas akhir ini.
8. Teman-teman Teknik Sipil Angkatan 2016 yang selalu memberi semangat, motivasi dan selalu menemani dalam suka maupun duka selama menjalani proses perkuliahan.

9. Siti Mawaddah Warahmah, Eka Dewi Sekar Sary, Nursyamsi, dan Devy Afrianty selaku teman seperjuangan yang selalu menemani dan menyemangati selama proses perkuliahan sampai sekarang.
10. Dan kepada seluruh rekan-rekan penulis lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dan mendukung penulis sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis pun menyadari sepenuhnya bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak sangat dibutuhkan agar tugas akhir ini bisa menjadi lebih baik lagi kedepannya. Akhir kata, penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan dalam pembangunan ketekniksipilan kedepannya. Amiin.

Gowa, 15 Juni 2020

Alwiyani Badawi

## ABSTRAK

Dam Wai Ela merupakan dam alami terbesar dari semua dam atau waduk yang terbentuk secara alamiah di Asia. Waduk alam di sungai Way Ela terbentuk akibat longsoran Gunung Ulakhatu, Desa Negeri Lima, Kecamatan Leihitu, Kabupaten Maluku Tengah, Pulau Ambon. Dan akhirnya mengalami keruntuhan pada tanggal 25 Juli 2013. Di era teknologi yang berkembang pesat sekarang ini sudah banyak aplikasi-aplikasi praktis yang membantu dalam perhitungan dan perencanaan khususnya di bidang teknik sipil, seperti *software The International River Interface Cooperative (iRIC)*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis debit banjir rancangan daerah aliran sungai Wai Ela dan menganalisis model karakteristik aliran Sungai Wai Ela sebelum dan setelah Dam Alam runtuh dengan menggunakan aplikasi iRIC. Metode analisis debit yang digunakan yaitu metode (HSS) Nakayasu yang hasilnya kemudian di *input* ke *software iRIC*. Hasil penelitian menunjukkan nilai Q puncak sebesar 695,962 m<sup>3</sup>/detik. Hasil simulasi karakteristik aliran pada *software iRIC* sebelum dam runtuh adalah adanya genangan yang terbentuk akibat longsoran Gunung Ulakhatu yang menutup alur sungai dan membentuk bendungan alam. Sedangkan hasil simulasi karakteristik aliran setelah dam runtuh menunjukkan adanya aliran superkritis ( $Fr > 1$ ) dengan kecepatan aliran 5,36 m/s dan tegangan geser mencapai 773,40 N/m<sup>2</sup> yang membentuk kedalaman sebesar 62,2 meter.

**Kata Kunci :** Analisa Hidrologi, Karakteristik Aliran, Sungai Wai Ela, iRIC.

## **ABSTRACT**

*Wai Ela Dam is the largest natural dam of all naturally occurring dams or reservoirs in Asia. The natural reservoir in the Way Ela river was formed by the landslide of Mount Ulakhatu, Negeri Lima Village, Leihitu District, Central Maluku Regency, Ambon Island. And finally collapsed on July 25, 2013. In today's rapidly developing technology era, there are many practical applications that help in calculations and planning, especially in the field of civil engineering, such as the software The International River Interface Cooperative (iRIC). The purpose of this study is to analyze the flood discharge design of the Wai Ela river basin and to analyze the flow characteristics model of the Wai Ela River before and after the collapse of the Natural Dam using the iRIC application. The discharge analysis method used is the Nakayasu (HSS) method, which results are then input into the iRIC software. The results showed that the peak Q value was 695,962 m<sup>3</sup> / second. The simulation result of flow characteristics in the iRIC software before the dam collapsed was a puddle formed by the landslide of Mount Ulakhatu which closed the river channel and formed a natural dam. While the simulation results of the flow characteristics after the dam collapsed showed supercritical flow ( $Fr > 1$ ) with a flow rate of 5.36 m / s and shear stress reaching 773.40 N / m<sup>2</sup> which formed a depth of 62.2 meters.*

**Keywords:**Hydrological Analysis, Flow Characteristics, Wai Ela River, iRIC.



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
<b>BAB 1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	3
C. Tujuan Penelitian .....	3
D. Manfaat Penelitian.....	3
E. Batasan Masalah .....	4
F. Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>6</b>
A. Siklus Hidrologi.....	6
B. Curah Hujan .....	8
C. Distribusi Frekuensi Curah Hujan .....	13
D. Uji Distribusi Probabilitas.....	19
E. Perhitungan Intensitas Hujan .....	24
F. Base Flow .....	25
G. Analisis Debit Banjir Rancangan .....	25
H. Automatic Water Level Recorder (AWLR) .....	28

I. Software iRIC .....	29
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	32
A. Lokasi dan Waktu Penelitian .....	32
B. Rancangan Penelitian .....	32
C. Pelaksanaan Penelitian .....	46
D. Bagan Alur Penelitian .....	47
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	51
A. Karakteristik DAS Wai Ela .....	51
B. Analisis Hidrologi.....	52
C. Analisis Banjir Rancangan HSS Nakayasu .....	64
D. Simulasi Aliran Sungai Wai Ela dengan Software iRIC .....	74
E. Hubungan Parameter Karakteristik Aliran .....	83
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN .....	88
A. Kesimpulan .....	88
B. Saran .....	89
DAFTAR PUSTAKA.....	90
LAMPIRAN	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Siklus Hidrologi .....	8
Gambar 2. Poligon Thiessen pada DAS .....	11
Gambar 3. Peta Isohyet.....	12
Gambar 4. Model Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu .....	28
Gambar 5. Lokasi Penelitian.....	32
Gambar 6. Bagan Pengoperasian <i>Software</i> iRIC.....	35
Gambar 7. iRIC <i>Software</i> Start Page.....	36
Gambar 8. Tampilan Pemilihan Solver .....	36
Gambar 9. Melakukan <i>Import</i> Data Topografi ke <i>Software</i> iRIC.....	37
Gambar 10. Data Topografi yang telah ter- <i>input</i> .....	37
Gambar 11. Menentukan Sistem Koordinat .....	38
Gambar 12. Pemilihan Jenis <i>Grid</i> yang akan digunakan.....	39
Gambar 13. Penentuan Detail <i>Grid</i> .....	39
Gambar 14. <i>Grid</i> yang telah dibuat .....	40
Gambar 15. Hasil Pembuatan Bangunan Melintang .....	41
Gambar 16. Tampilan <i>Copy Obstacle</i> .....	41
Gambar 17. Tampilan <i>Attribute Mapping</i> .....	42
Gambar 18. Tampilan grup <i>Solver Type</i> pada <i>Calculation Condition</i> ...	43
Gambar 19. Tampilan untuk Memasukkan Debit .....	43
Gambar 20. Tampilan grup <i>Time</i> pada <i>Calculation Condition</i> .....	44
Gambar 21. Tampilan grup <i>Initial Water Surface</i> pada <i>Calculation Condition</i> .....	45
Gambar 22. Tahap untuk memulai Simulasi pada <i>Software</i> iRIC.....	45
Gambar 23. Proses <i>Running</i> Simulasi yang Berhasil.....	46
Gambar 24. Menampilkan Hasil Simulasi <i>Software</i> iRIC.....	47
Gambar 25. Visualisasi Hasil Simulasi <i>Software</i> iRIC .....	47
Gambar 26. Bagan Alir Penelitian.....	50
Gambar 27. Daerah Aliran Sungai Wai Ela.....	52
Gambar 28. Kertas Grafik Probabilitas untuk Agihan Log Pearson.....	60

Gambar 29. Skema Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu .....	66
Gambar 30. Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu .....	67
Gambar 31. Rekapitulasi Hidrograf Satuan Banjir Rancangan Metode Nakayasu pada DAS Wai Ela .....	73
Gambar 32. Lokasi Dam Alam yang Runtuh .....	74
Gambar 33. Hasil Simulasi iRIC parameter Kecepatan Aliran .....	75
Gambar 34. Hasil Simulasi iRIC parameter Kedalaman Aliran.....	76
Gambar 35. Hasil Simulasi iRIC parameter Bilangan Froude.....	77
Gambar 36. Hasil Simulasi iRIC Parameter Tegangan Geser.....	78
Gambar 37. Hasil Simulasi iRIC parameter Kecepatan Aliran.....	79
Gambar 38. Hasil Simulasi iRIC parameter Kedalaman Aliran.....	80
Gambar 39. Hasil Simulasi iRIC parameter Bilangan Froude.....	81
Gambar 40. Hasil Simulasi iRIC Parameter Tegangan Geser.....	82
Gambar 41. Grafik Hubungan Kedalaman dan Kecepatan .....	83
Gambar 42. Grafik Hubungan Bilangan Froude dan Kecepatan .....	84
Gambar 43. Grafik Hubungan Tegangan Geser dan Kecepatan.....	84
Gambar 44. Grafik Hubungan Kedalaman dan Bilangan Froude .....	85
Gambar 45. Grafik Hubungan Kedalaman dan Tegangan Geser.....	86
Gambar 46. Grafik Hubungan Bilangan Froude dan Tegangan Geser...86	

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Keadaan Curah Hujan dan Intensitas Curah Hujan.....	10
Tabel 2. Nilai Variabel Reduksi Gauss.....	14
Tabel 3. Nilai Variabel Reduksi Log Normal.....	15
Tabel 4. Nilai Variabel Reduksi Gumbel.....	16
Tabel 5. Hubungan $Y_n$ dan $S_n$ dengan jumlah Data (n) .....	17
Tabel 6. Nilai K untuk Distribusi Log Pearson III .....	18
Tabel 7. Parameter Statistik untuk Penentuan Jenis Distribusi .....	20
Tabel 8. Nilai Kritis Chi - Kuadrat .....	22
Tabel 9. Nilai Kritis Uji Kolmogorov - Smirnov.....	24
Tabel 10. Karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS) Wai Ela.....	51
Tabel 11. Data Curah Hujan Tahunan Maksimum Stasiun Pattimura .....	53
Tabel 12. Urutan Data Curah Hujan Harian Maksimum Tahunan .....	54
Tabel 13. Analisis Frekuensi Curah Hujan .....	55
Tabel 14. Uji Parameter Statistik Untuk Penentuan Jenis Sebaran.....	57
Tabel 15. Analisis Curah Hujan Rencana Distribusi Log Pearson III .....	58
Tabel 16. Perhitungan Probabilitas Curah Hujan .....	59
Tabel 17. Perhitungan Uji Keselarasan Chi Kuadrat .....	61
Tabel 18. Perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorov .....	62
Tabel 19. Perhitungan Distribusi Hujan Jam-Jaman .....	63
Tabel 20. Parameter Untuk Menghitung HSS Nakayasu .....	64
Tabel 21. Perhitungan HSS Nakayasu.....	67
Tabel 22. Perhitungan HSS Nakayasu Periode Ulang 2 Tahun .....	69
Tabel 23. Perhitungan HSS Nakayasu Periode Ulang 5 Tahun .....	69
Tabel 24. Perhitungan HSS Nakayasu Periode Ulang 10 Tahun .....	70
Tabel 25. Perhitungan HSS Nakayasu Periode Ulang 20 Tahun .....	70
Tabel 26. Perhitungan HSS Nakayasu Periode Ulang 25 Tahun .....	70
Tabel 27. Perhitungan HSS Nakayasu Periode Ulang 50 Tahun .....	71
Tabel 28. Perhitungan HSS Nakayasu Periode Ulang 100 Tahun .....	72
Tabel 29. Rekapitulasi Debit Banjir Rancangan HSS Nakayasu .....	72

## BAB 1. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Dam Wai Ela merupakan dam terbesar dari semua dam atau waduk yang terbentuk secara alamiah di Asia. Waduk alam di sungai Way Ela terbentuk akibat longsor gunung Ulakhatu, Desa Negeri Lima, Kecamatan Leihitu, Kabupaten Maluku Tengah, Pulau Ambon, yang terjadi hanya semalam pada tanggal 13 Juli 2012. Fenomena longsor tersebut menutupi sungai Wai Ela membentuk waduk alam yang membendung lembah sepanjang kurang lebih 300 meter dengan ketinggian sekitar 200 meter dan memiliki tampungan maksimal sebesar 87 juta m<sup>3</sup>, dengan volume longsor diperkirakan mencapai sekitar 10 juta m<sup>3</sup>.

Sebelum akhirnya mengalami keruntuhan pada usia sekitar 1 tahun yang terjadi pada tanggal 25 Juli 2013, Kementerian Pekerjaan Umum telah melakukan riset lebih lanjut guna pemenuhan kebutuhan air baku dan listrik untuk Ambon. Pada tahun 2012, dilakukan studi Dam Break Analysis untuk mengetahui stabilitas bendungan alam tersebut. Disamping itu juga telah dipasang Early Warning System yang ditindaklanjuti dengan pelatihan kepada masyarakat di hilirnya yang diperkirakan akan terkena dampak musibah bilamana sewaktu-waktu bendungan jebol. Upaya pencegahan dengan membangun *spillway* juga dilakukan oleh pemerintah, namun tidak sempat terselesaikan, karena ditengah proses pengerjaan kondisi cuaca yang ekstrim serta curah hujan yang tinggi membuat penanganan terhadap

Bendungan Alam Way Ela menjadi terhambat dan akhirnya jebol dan menimbulkan banjir bandang yang membawa material longsor lebih dari 40 juta m<sup>3</sup>.

Menurut BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana) berkat upaya sosialisasi intensif dan gladi rutin berhasil meminimalisir korban bencana dimana data korban jiwa berjumlah 1 orang, 3 orang hilang dan 3 lainnya luka ringan. Sedangkan jumlah pengungsi mencapai 3000 orang. Selain itu kerusakan yang diakibatkan runtuhnya bendungan alam tersebut setidaknya merusak 470 unit rumah serta 5 unit fasilitas umum lainnya seperti sekolah, kantor dan jembatan. Pasca bencana banjir bandang, kondisi alur sungai Way Ela menjadi sangat memperhatikan. Begitu banyak material longsor yang terbawa oleh banjir dan menutupi sebagian besar badan sungai. Kondisi ini membuat sungai Wai Ela menjadi rentan mengalami banjir bilamana intensitas curah hujan yang tinggi melanda kawasan tersebut.

Upaya untuk mengantisipasi banjir dapat diperoleh dengan menentukan debit banjir rancangan, yang selanjutnya dapat digunakan sebagai dasar penentuan desain struktur Bangunan Air dari aspek hidrolis yang akan dibangun untuk mengantisipasi banjir.

Berdasarkan uraian diatas, maka penulis merasa perlu menganalisis karakteristik aliran Sungai Wai Ela, serta debit banjir rancangan pada aliran sungai Wai Ela yang dikemas dalam skripsi yang berjudul “**Analisis Banjir Rancangan Daerah Aliran Sungai Wai Ela**”.

## **B. Rumusan Masalah**

Secara umum perumusan masalah pada tugas akhir ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil analisis Q rancangan daerah aliran sungai Wai Ela?
2. Bagaimana simulasi karakteristik aliran Sungai Wai Ela sebelum dan setelah Dam alam runtuh dengan menggunakan aplikasi iRIC?

## **C. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis hasil Q rancangan daerah aliran sungai Wai Ela.
2. Menganalisis model simulasi karakteristik aliran sungai Wai Ela sebelum dan setelah dam runtuh dengan menggunakan aplikasi iRIC.

## **D. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu sebagai berikut :

1. Dapat membantu pemerintah terkait yang menangani permasalahan runtuhnya Dam alami Wai Ela.
2. Mendapat pengalaman dan ilmu tentang cara menggunakan aplikasi iRIC.



3. Hasil pada Tugas Akhir ini diharapkan bisa menjadi acuan praktis tanpa survey langsung ke lapangan dalam menentukan karakteristik aliran sungai Wai Ela.

#### **E. Batasan Masalah**

Agar pembahasan tugas akhir ini tidak terlalu meluas, maka perlu dibuat batasan masalah. Adapun batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Penggunaan data distribusi curah hujan parsial dengan batasan minimum 100 mm.
2. Penelitian berada di DAS Wai Ela, Desa Negeri Lima, Kecamatan Leihitu, Pulau Ambon.
3. Curah Hujan dianggap merata pada seluruh bagian wilayah DAS Wai Ela.
4. Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) yang digunakan untuk menganalisis DAS Wai Ela adalah (HSS) Nakayasu.
5. Debit aliran sungai yang digunakan dalam simulasi pada *software* iRIC adalah data Q20 tahun.

#### **F. Sistematika Penulisan**

Adapun tahapan sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

#### **Bab 1. Pendahuluan**

Pendahuluan memuat suatu gambaran secara singkat dan jelas tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, pembatasan masalah dan sistematika penulisan tugas akhir ini.

## **Bab 2. Tinjauan Pustaka**

Bab ini menguraikan tentang konsep teori yang berhubungan dengan penelitian agar dapat memberikan gambaran model dan metode analisis yang akan digunakan dalam menganalisis masalah.

## **Bab 3. Metodologi Penelitian**

Bab ini menguraikan tentang metode yang akan digunakan dan rencana kerja penelitian.

## **Bab 4. Analisa Data dan Pembahasan**

Bab ini merupakan analisa tentang permasalahan, evaluasi dan perhitungan terhadap masalah yang ada di lokasi penelitian.

## **Bab 5. Penutup**

Bab ini merupakan penutup dari keseluruhan penulisan tugas akhir yang berisi point-point kesimpulan hasil analisa dan pembahasan yang telah dilakukan. Kesimpulan juga disertai dengan rekomendasi saran yang ditujukan untuk penelitian yang akan datang.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi atau daur hidrologi adalah gerakan air laut ke udara kemudian jatuh ke permukaan tanah dan akhirnya kembali mengalir ke laut. Air laut menguap karena adanya radiasi matahari menjadi awan, kemudian awan bergerak ke daratan karena tertiuip angin. Karena adanya tekanan atmosfer dan gaya gravitasi menyebabkan *presipitasi* berupa hujan, salju, hujan es, dan embun (Rahayu dkk,2009).

Pada saat air hujan jatuh ke bumi, sebagian besar air jatuh langsung ke permukaan bumi menimbulkan limpasan permukaan (*surface runoff*) dan ada juga yang terhambat oleh vegetasi (*intersepsi*). Aliran permukaan akan mengalir kembali ke laut, namun dalam perjalanan menuju ke laut beberapa bagian masuk ke dalam tanah (*infiltrasi*) dan bergerak lurus ke bawah (*perkolasi*) ke dalam daerah jenuh (*saturated zone*) yang terdapat dibawah permukaan tanah. Air hujan yang terhambat oleh vegetasi (*intersepsi*) sebagian ada yang menguap lagi (*interception loss*) ada juga tidak langsung jatuh ke bumi, tetapi terhambat oleh dedaunan terlebih dahulu (*through fall*) dan ada yang mengalir melalui batang vegetasi tersebut (*stem flow*). (Rahayu dkk, 2009).

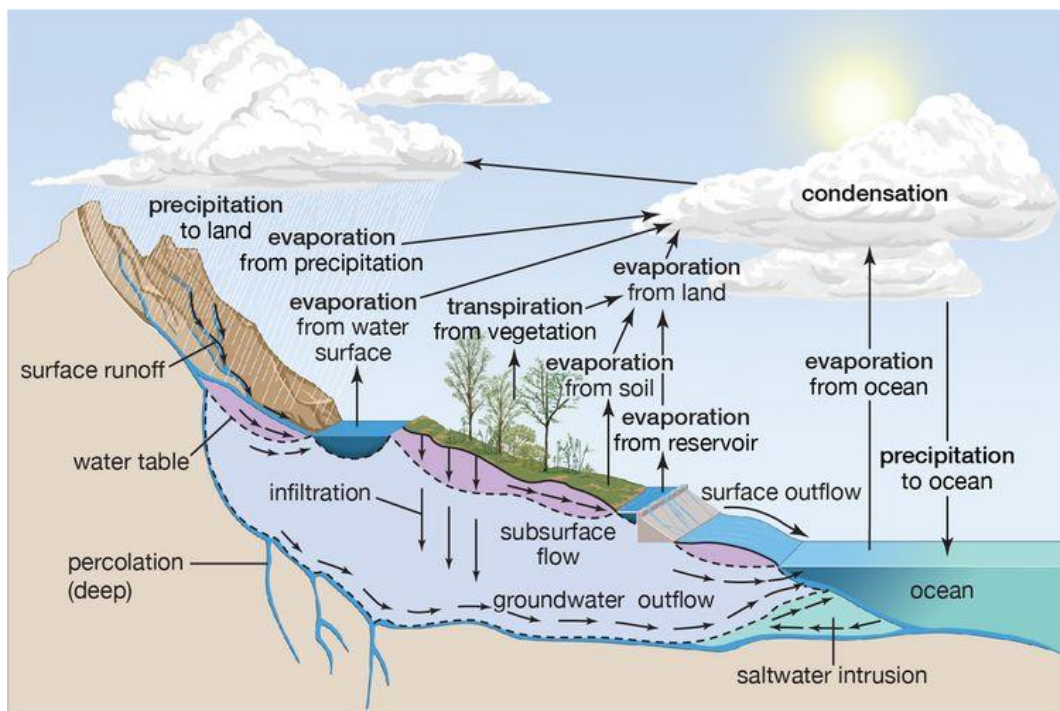
Air hasil curahan tajuk mengalir di permukaan dan berkumpul di suatu tempat menjadi suatu aliran permukaan (*run off*) seperti sungai, danau dan bendungan apabila kapasitas lengas tanah sudah maksimal

yaitu tidak dapat menyerap air lagi. Dalam lengas tanah, ada zona aerasi yaitu zona transisi dimana air didistribusikan ke bawah (*infiltrasi*) atau ke atas (air kapiler). Semakin besar infiltrasi, tanah akan semakin lembab dan setiap tanah memiliki perbedaan kapasitas penyimpanan dan pori-pori tanah berbeda-beda. Kapasitas infiltrasi tergantung dari tekstur, vegetasi, lengas tanah, dan kemiringan lereng. Air tersebut memasuki celah-celah bebatuan yang renggang di dalam bumi untuk mengisi persediaan air tanah (Rahayu dkk, 2009).

Selain itu, air yang jatuh ke permukaan tanah akan langsung mengisi tampungan air (*channel storage*) contohnya sungai danau dan bendungan lalu menjadi aliran permukaan. Tipe-tipe aliran ada 3 yaitu aliran di atas permukaan tanah (*overland flow*), aliran langsung di bawah permukaan (*sub surface storm flow*) dan aliran dasar (*base flow*). Aliran di atas permukaan tanah adalah aliran yang terjadi apabila kapasitas presipitasi melebihi batas infiltrasi, sehingga air mengalir melalui permukaan tanah menuju saluran. Aliran langsung di bawah permukaan tanah adalah sebagian air yang memasuki permukaan tanah dan bergerak horizontal melalui lapisan atas tanah sampai ke saluran sungai. Aliran dasar adalah aliran yang mengalami infiltrasi dan perkolasi masuk melalui *aquifer* ke dalam tampungan air tanah dan mengalir terus menerus secara perlahan-lahan menuju sungai kemudian ke laut (Asdak, 2010).

Vegetasi mengalami fotosintesis pada saat siang hari dan mengalami *transpirasi*. Transpirasi adalah penguapan pada tumbuhan melalui bagian

bawah daun yaitu stomata. Peristiwa berkumpulnya uap air di udara dari hasil *evaporasi* dan transpirasi disebut *evapotranspirasi*. *Evapotranspirasi* dikontrol oleh kondisi atmosfer di muka bumi. *Evaporasi* membutuhkan perbedaan tekanan di udara. Potensi *evapotranspirasi* adalah kemampuan atmosfer memindahkan air dari permukaan ke udara, dengan asumsi tidak ada batasan kapasitas. Gambar 1. berikut merupakan gambar siklus hidrologi (Asdak, 2010).



**Gambar 1.** Siklus Hidrologi

## B. Curah Hujan

Hujan merupakan proses perubahan wujud air yang berbentuk uap diubah menjadi bentuk cair kembali. Proses ini dapat terjadi di daratan maupun lautan. Hujan yang jatuh ke permukaan bumi dapat diukur kedalamannya, yang memiliki tujuan untuk mengetahui volume hujan yang

jatuh ke permukaan bumi dan harus dialirkan ke badan air melalui atas permukaan dan di bawah permukaan tanah. Volume hujan yang jatuh dapat dengan rumus berikut.

$$V_p = A_c \times p \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

$V_p$  = Volume air yang jatuh

$A$  = Luas area tangkapan curah hujan

$p$  = tebal hujan yang jatuh

Didalam pengukuran hujan sering dialami dua masalah. Permasalahan pertama adalah tidak tercatatnya data curah hujan karena rusaknya alat atau pengamat tidak mencatat data. Data yang hilang ini dapat diisi dengan nilai perkiraan. Masalah lain yang biasa dihadapi adanya perubahan kondisi di lokasi pencatatan dalam periode tersebut, seperti pemindahan stasiun, perbaikan stasiun, perubahan prosedur pengukuran. Dari masalah diatas perlu adanya koreksi dari nilai yang didapatkan (Triatmodjo, 2008).

Derajat atau besaran curah hujan dinyatakan dengan jumlah curah hujan dalam suatu satuan waktu, satuan yang digunakan adalah mm/jam dan disebut intensitas curah hujan. Tabel berikut menyajikan keadaan curah hujan berkaitan dengan intensitasnya (Sosrodarsono dan Takeda, 1978).

**Tabel 1.** Keadaan Curah Hujan dan Intensitas Curah Hujan

Keadaan Curah Hujan	Intensitas Curah Hujan (mm)	
	1 jam	24 jam
Hujan sangat ringan	<1	<5
Hujan ringan	1-5	5-20
Hujan normal	5-10	20-50
Hujan lebat	10-20	50-100
Hujan sangat lebat	>20	>100

Sumber : Sosrodarsono dan Takeda, 1978

Ada 3 macam cara yang berbeda dalam menentukan tinggi curah hujan rata-rata pada areal tertentu dari angka-angka curah hujan di beberapa titik pos penakar atau pencatat (Sosrodarsono dan Takeda, 1987).

a. Rata-rata aljabar

Tinggi rata-rata curah hujan didapatkan dengan mengambil nilai rata-rata hitung (*arithmetic mean*) pengukuran hujan di pos penakar-penakar hujan di dalam areal studi.

$$d = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{n} \dots\dots\dots(2)$$

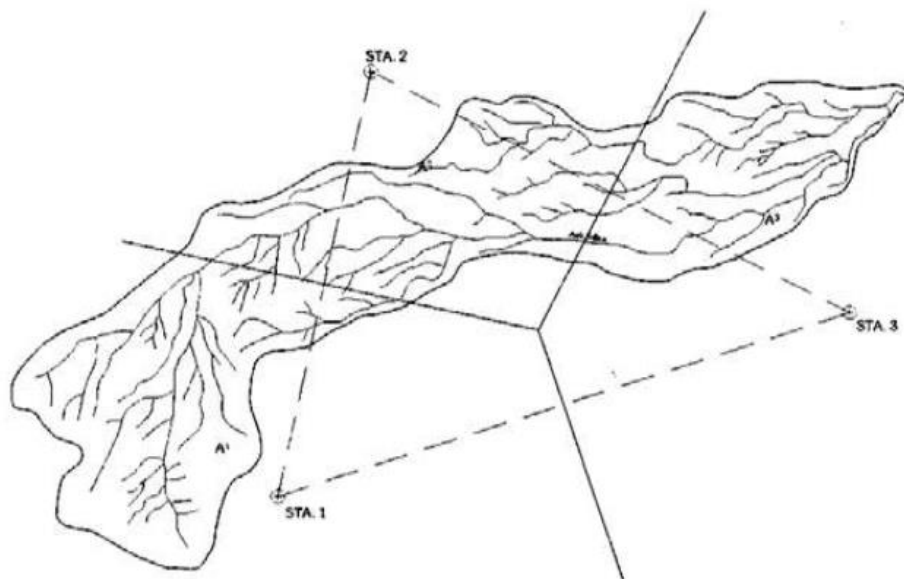
Dimana d = tinggi curah hujan rata-rata,  $d_1, d_2, \dots, d_n$  = tinggi curah hujan pada pos penakar 1,2,... n dan n = pos penakar.

Cara ini akan memberikan hasil yang dapat dipercaya jika pos-pos penakarnya ditempatkan secara merata di areal tersebut, dan hasil penakaran masing-masing pos penakar tidak menyimpang jauh dari

nilai rata-rata seluruh pos di seluruh areal (Sosrodarsono dan Takeda,1987).

b. Cara Poligon Thiessen

Cara ini berdasarkan rata-rata timbang (*weighted averae*). Masing-masing penakar mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung di antara dua buah pos penakar. Gambar 2. Menunjukkan contoh posisi system 1, 2, dan 3 dari skema Poligon Thiessen dalam Daerah Aliran Sungai (DAS) (Sosrodarsono dan Takeda,1987).



**Gambar 2.** Poligon Thiessen pada DAS

Curah hujan pada suatu daerah dapat dihitung dengan persamaan berikut :

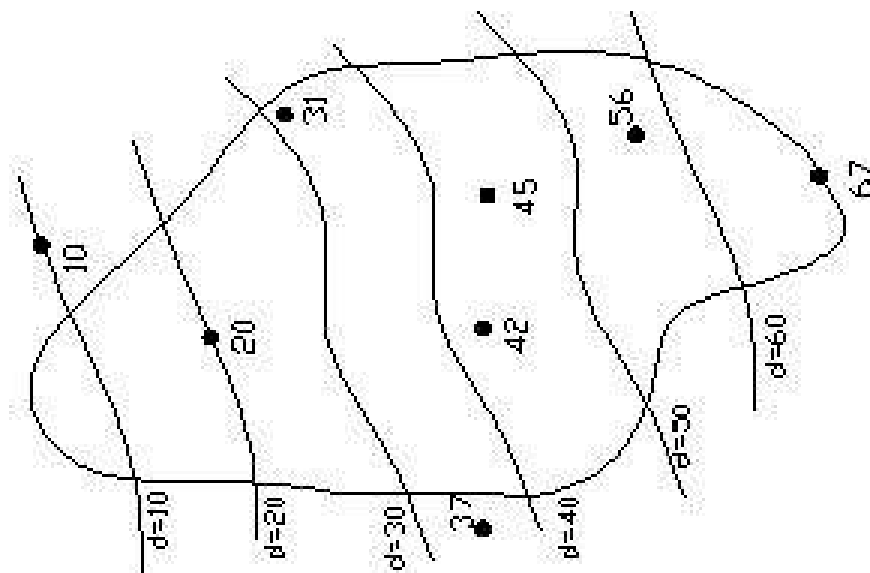
$$d = \frac{A_1 \cdot D_1 + A_2 \cdot D_2 + \dots + A_n \cdot D_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (3)$$



Dimana  $d$  = tinggi curah hujan rerata daerah (mm),  $d_n$  = hujan pada pos penakar hujan (mm).  $A_n$  = luas daerah pengaruh pos penakar hujan ( $\text{km}^2$ ) dan  $A$  = luas total DAS ( $\text{km}^2$ ).

c. Cara Isohyet

Dalam hal ini kita harus menggambarkan dulu kontur dengan tinggi curah hujan yang sama (Isohyet), seperti terlihat pada Gambar 3. berikut :



**Gambar 3.** Peta Isohyet

Kemudian luas bagian di antara garis kontur yang berdekatan diukur, dan nilai rata-ratanya dihitung sebagai berikut :

$$d = \frac{\frac{d_0+d_1}{2}A_1 + \frac{d_1+d_2}{2}A_2 + \dots + \frac{d_{n-1}+d_n}{2}A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (4)$$

$$d = \frac{\sum \frac{d_{i-1}+d_i}{2} A_i}{\sum A_i} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana  $d$  = tinggi curah hujan rata-rata areal,  $A$  = luas areal total =  $A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n$ , dan  $d_0, d_1, \dots, d_n$  = curah hujan pada Isohyet 0,

1, 2, ..., n. Ini adalah cara yang paling teliti untuk mendapatkan hujan areal rata-rata, tetapi memerlukan jaringan pos penakar yang relatif lebih padat yang memungkinkan untuk membuat Isohyet. Pada waktu menggambar garis-garis Isohyet sebaiknya juga memperhatikan pengaruh bukit atau gunung terhadap distribusi hujan (hujan orografik) (Sosrodarsono dan Takeda, 1987).

### C. Distribusi Frekuensi Curah Hujan

Untuk menganalisis probabilitas curah hujan biasanya dipakai beberapa macam distribusi yaitu Distribusi Normal, Log Normal, Gumbel, dan Log Pearson Type III.

#### a. Distribusi Normal

Distribusi Normal atau kurva normal disebut pula Distribusi Gauss. Untuk analisa frekuensi curah hujan menggunakan metode Distribusi Normal, dengan persamaan sebagai berikut (Soewarno, 1995):

$$X_T = X + k \cdot S_x \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

$X_T$  = Variabel yang diekstrapolasikan, yaitu besarnya curah hujan rencana untuk periode T tahun

$X$  = Harga rata-rata dari data =  $\frac{\sum_1^n x_i}{n}$

$k$  = Variabel Reduksi

$S_x$  = Standar Deviasi =  $\sqrt{\frac{\sum_1^n x_i^2 - \frac{(\sum_1^n x_i)^2}{n}}{n-1}}$

**Tabel 2.** Nilai Variabel Reduksi Gauss

No	Periode Ulang, T (tahun)	Peluang	KT
1	1,001	0,999	-3,05
2	1,005	0,995	-2,58
3	1,010	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	2,000	0,500	0
11	2,500	0,400	0,25
12	3,330	0,300	0,52
13	4,000	0,250	0,67
14	5,000	0,200	0,84
15	10,000	0,100	1,28
16	20,000	0,050	1,64
17	50,000	0,020	2,05
18	100,000	0,010	2,33
19	200,000	0,005	2,58
20	500,000	0,002	2,88
21	1,000,000	0,001	3,09

Sumber : Soemarto, 1999

b. Distribusi Log Normal

Untuk analisa frekuensi curah hujan menggunakan metode Distribusi

Log Normal, dengan persamaan sebagai berikut (Soewarno, 1995):

$$\log X_T = \log X + k \cdot S_x \log X \dots \dots \dots (7)$$

Dimana :

$\log X_T$  = Variabel yang diekstrapolasikan, yaitu besarnya curah hujan rancangan unutm periode ulan T tahun.

$$\log X = \text{Harga rata-rata dari data} = \frac{\sum_1^n \log(x_i)}{n}$$

$$Sx \log X = \text{Standar Deviasi} = \sqrt{\frac{\sum_1^n (\log X_i^2 - \log \sum_1^n x_i)}{n-1}}$$

$$k = \text{Variabel Reduksi}$$

**Tabel 3.** Nilai Variabel Reduksi Log Normal

No	Periode Ulang, T (tahun)	Peluang	K <sub>T</sub>
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	2,000	0,500	0
11	2,500	0,400	0,25
12	3,330	0,300	0,52
13	4,000	0,250	0,67
14	5,000	0,200	0,84
15	10,000	0,100	1,28
16	20,000	0,050	1,64
17	50,000	0,020	2,05
18	100,000	0,010	2,33
19	200,000	0,005	2,58
20	500,000	0,002	2,88
21	1,000,000	0,001	3,09

Sumber : Soemarto, 1999

c. Distribusi Gumbel

Untuk analisa frekuensi curah hujan menggunakan metode E.J.

Gumbel, dengan persamaan sebagai berikut (Soemarto, 1999):

$$X_T = X + K.Sx \dots\dots\dots (8)$$

Dimana :

$X_T$  = Variabel yang diekstrapolasikan, yaitu besarnya curah hujan rencana untuk periode T tahun

$X$  = Harga rata-rata dari data =  $\frac{\sum_1^n x_i}{n}$

$k$  = Variabel Reduksi

$S_x$  = Standar Deviasi =  $\sqrt{\frac{\sum_1^n x_i^2 - \frac{(\sum_1^n x_i)^2}{n}}{n-1}}$

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

$$K = \frac{Y_T - Y_n}{S_n} \dots\dots\dots (9)$$

Dimana :

$Y_T$  = Variabel Reduksi sebagai fungsi dari periode ulang T tahun

$Y_n$  = Variabel Reduksi sebagai fungsi dari banyak data (N)

$S_n$  = Standar Deviasi sebagai fungsi dari banyak data (N)

**Tabel 4.** Nilai Variabel Reduksi Gumbel

Periode Ulang T (tahun)	Peluang	$Y_T$
1,001	0,001	-1,930
1,005	0,005	-1,670
1,010	0,010	-1,530
1,050	0,050	-1,097
1,110	0,100	-0,834
1,250	0,200	-0,476
1,330	0,250	-0,326
1,430	0,300	-0,185
1,670	0,400	0,087
2,000	0,500	0,366

Sumber : Soewarno, 1995

Lanjutan Tabel 4. Nilai Variabel Reduksi Gumbel

Periode Ulang T (tahun)	Peluang	$Y_T$
2,500	0,600	0,671
3,330	0,700	1,030
4,000	0,750	1,240
5,000	0,800	1,510
10,000	0,900	2,250
20,000	0,950	2,970
50,000	0,980	3,900
100,000	0,990	4,600
200,000	0,995	5,290
500,000	0,998	6,210
1,000,000	0,999	6,900

Sumber : Soewarno, 1995

Tabel 5. Hubungan  $Y_n$  dan  $S_n$  dengan jumlah Data (n)

$n$	$Y_n$	$S_n$
<b>10</b>	0,4952	0,9497
<b>20</b>	0,5235	1,0629
<b>30</b>	0,5362	1,1124
<b>40</b>	0,5436	1,1413
<b>50</b>	0,5485	1,1607
<b>60</b>	0,5521	1,1747
<b>70</b>	0,5548	1,1854
<b>80</b>	0,5569	1,1938
<b>90</b>	0,5586	1,2007
<b>100</b>	0,5600	1,2065

Sumber : Soemarto, 1999

#### d. Distribusi Log Pearson III

Pearson telah mengembangkan banyak model matematik fungsi distribusi untuk membuat persamaan empiris dari suatu distribusi. Bentuk distribusi Log Pearson Type III merupakan hasil transformasi dari distribusi Pearson III dengan menggantikan variat menjadi logaritmik, dengan persamaan sebagai berikut (Soemarto, 1999) :

Nilai rata-rata :  $\overline{\text{Log } X} = \sqrt{\text{Log } X = \frac{\sum \text{Log } x}{n}}$

Standar Deviasi :  $S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \overline{\text{log } x})^2}{n-1}}$

Koefisien Kemencengan :  $C_s = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n (\text{log } X_i - \overline{\text{log } X})^3}{(n-1)(n-2)S_d^3}$

Logaritma curah hujan dengan periode ulang yang dikehendaki dengan rumus :

$$X_T = X_r + K_T \cdot S_d \dots\dots\dots (11)$$

Dimana :

$X_T$  = Logaritma curah hujan dalam periode ulang T tahun (mm/hari)

$X_r$  = Nilai rata-rata curah hujan

$S_d$  = Standar Deviasi

n = Jumlah data pengamatan

$C_s$  = Koefisien Kemencengan

**Tabel 6.** Nilai K untuk Distribusi Log Pearson II

Kemencengan (Cs)	Periode Ulang (Tahun)						
	2	5	10	20	25	50	100
3	-0,360	0,420	1,180	1,912	2,278	3,152	4,051
2,5	-0,360	0,518	1,250	1,925	2,262	3,048	3,845
2,2	-0,330	0,574	1,284	1,921	2,24	2,97	3,705
2	-0,307	0,609	1,302	1,913	2,219	2,912	3,605
1,8	-0,282	0,643	1,318	1,901	2,193	2,848	3,499
1,6	-0,254	0,675	1,329	1,885	2,163	2,78	3,388
1,4	-0,225	0,705	1,337	1,864	2,128	2,706	3,271
1,2	-0,195	0,732	1,34	1,838	2,087	2,626	3,149
1	-0,164	0,758	1,34	1,809	2,043	2,542	3,022
0,9	-0,148	0,769	1,339	1,792	2,018	2,498	2,957
0,8	-0,132	0,78	1,336	1,777	1,998	2,453	2,891
0,7	-0,116	0,79	1,333	1,756	1,967	2,407	2,824

Sumber : Hidrologi Untuk Insinyur, Ray K. Lisle, dkk, 1986)

Lanjutan Tabel 6. Nilai K untuk Distribusi Log Pearson III

Kemencengan (Cs)	Periode Ulang (Tahun)						
	2	5	10	20	25	50	100
0,6	-0,099	0,8	1,328	1,735	1,939	2,359	2,755
0,5	-0,083	0,808	1,323	1,714	1,91	2,311	2,686
0,4	-0,066	0,816	1,317	1,692	1,88	2,261	2,615
0,3	-0,05	0,824	1,309	1,669	1,849	2,211	2,544
0,2	-0,033	0,842	1,282	1,595	1,751	2,054	2,326
0,1	-0,017	0,836	1,27	1,597	1,761	2	2,252
0	0	0,842	1,282	1,595	1,751	2,054	2,326
-0,1	0,017	0,85	1,27	1,539	1,716	2	2,252
-0,2	0,033	0,852	1,258	1,525	1,68	1,945	2,178
-0,3	0,05	0,853	1,245	1,51	1,643	1,89	2,104
-0,4	0,066	0,855	1,231	1,481	1,606	1,834	2,029
-0,5	0,083	0,856	1,26	1,465	1,567	1,777	1,955
-0,6	0,099	0,857	1,2	1,419	1,528	1,72	1,88
-0,7	0,116	0,857	1,183	1,386	1,488	1,663	1,806
-0,8	0,132	0,856	1,166	1,354	1,448	1,606	1,733
-0,9	0,148	0,854	1,147	1,32	1,407	1,549	1,66
-1	0,164	0,852	1,128	1,287	1,366	1,492	1,588
-1,2	0,195	0,844	1,086	1,217	1,282	1,379	1,449
-1,4	0,225	0,832	1,041	1,146	1,198	1,27	1,318
-1,6	0,254	0,817	0,994	1,075	1,116	1,166	1,197
-1,8	0,282	0,799	0,945	1,005	1,035	1,069	1,087
-1,9	0,295	0,788	0,92	0,971	0,997	1,025	1,039
-2	0,307	0,777	0,895	0,938	0,959	0,98	0,99
-2,2	0,33	0,752	0,844	0,873	0,888	0,9	0,905
-2,5	0,36	0,711	0,771	0,786	0,793	0,798	0,799
-3	0,396	0,636	0,66	0,664	0,666	0,666	0,667

Sumber : Hidrologi Untuk Insinyur, Ray K. Lisle, dkk, 1986)

#### D. Uji Distribusi Probabilitas

Penentuan jenis distribusi yang sesuai dengan data dilakukan dengan mencocokkan parameter statistik dengan syarat masing-masing jenis distribusi. (Triatmodjo, 2008)



**Tabel 7.** Parameter Statistik untuk Penentuan Jenis Distribusi

Jenis Distribusi	Persyaratan
Normal	$C_s = 0$
	$C_k = 3$
Log Normal	$C_s = 3C_v + C_v^3$
	$C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
Gumbel	$C_s = 1,14$
	$C_k = 5,4$
Log Pearson III	Jika Tidak ada parameter yang terpenuhi

### 1. Uji Chi- Kuadrat

Uji Chi Kuadrat digunakan untuk menguji apakah distribusi pengamatan dapat disamai dengan baik oleh distribusi teoritis. Perhitungannya dengan menggunakan persamaan berikut (Soewarno, 1995):

$$X_h^2 = \sum_{t=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots (12)$$

Dimana:

$X_h^2$  = nilai Chi-Kuadrat terhitung

$E_i$  = frekuensi (banyak pengamatan) yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya

$O_i$  = frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama

$k$  = jumlah sub kelompok dalam satu grup.

Nilai  $\chi^2$  yang diperoleh harus lebih kecil dari nilai  $\chi_{cr}^2$  (Chi-Kuadrat kritik), untuk suatu derajat nyata tertentu, yang sering diambil 5%.

Derajat kebebasan dihitung dengan persamaan :

$$DK = K - (P + 1) \dots\dots\dots (13)$$

Dimana :

$DK$  = derajat kebebasan

$K$  = banyaknya kelas

$P$  = Nilai Chi Kuadrat (Nilai  $R=2$  untuk distribusi normal dan binomial, dan nilai  $R=1$  untuk distribusi poisson)

Prosedur perhitungan dengan menggunakan metode uji Chi-Kuadrat adalah sebagai berikut :

1. Urutkan data pengamatan dari besar ke kecil atau sebaliknya
2. Menghitung jumlah kelas dengan rumus :

$$k = 1 + 3,22 \log n \dots\dots\dots (14)$$

3. Menghitung kelas distribusi dengan sebaran peluang

$$Pr = \frac{100\%}{k} \dots\dots\dots (15)$$

4. Menghitung nilai  $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$  untuk setiap sub-kelompok, dan menjumlahkan hasil setiap sub kelompok sehingga di peroleh nilai  $X^2$  (chi-kuadrat terhitung)
5. Hitung derajat kebebasan ( $Dk$ )
6. Menentukan nilai  $X_{cr}^2$  (berdasarkan tabel 8)
7. Membandingkan nilai  $X^2$  dan  $X_{cr}^2$

**Tabel 8.** Nilai Kritis Chi - Kuadrat

Dk	Derajat Kepercayaan				
	0,20	0,10	0,05	0,01	0,001
1	1,642	2,706	3,841	6,635	10,827
2	3,219	4,605	5,991	9,210	13,815
3	4,642	6,252	7,815	11,345	16,268
4	5,989	7,779	9,488	13,277	18,465
5	7,289	9,236	11,07	15,086	20,517
6	8,558	10,645	12,592	16,812	22,457
7	9,803	12,017	14,067	18,475	24,322
8	11,030	13,362	15,507	20,090	26,125
9	12,242	14,684	16,919	21,666	27,877
10	13,442	15,987	18,307	23,209	29,588

Sumber : Burhan Nurgiantor, dkk., 2004

## 2. Uji Kolmogorov – Smirnov

Uji Kolmogorov Smirnov merupakan pengujian normalitas yang banyak dipakai, kelebihan dari uji ini adalah sederhana dan tidak menimbulkan perbedaan persepsi di antara satu pengamat dengan pengamat yang lain, yang sering terjadi pada uji normalitas dengan menggunakan grafik. Konsep dasar dari uji normalitas Kolmogorov Smirnov adalah dengan membandingkan distribusi data (yang akan diuji normalitasnya) dengan distribusi normal baku.

$$D = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \dots\dots\dots (16)$$

Dimana :

$\bar{x}$  = nilai x rata-rata

$n$  = jumlah data

$X_i$  = angka ke-i pada data

Pengujian distribusi probabilitas dengan metode Smirnov-Kolmogorof dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Urutkan data hujan harian maksimum tahunan ( $X_i$ ) dari besar ke kecil atau sebaliknya.
2. Tentukan peluang empiris masing-masing data yang sudah diurut tersebut dengan rumus Weibull, yaitu :

$$P(X_i) = \frac{m}{n+1} \times 100\% \dots\dots\dots (17)$$

Dimana :

$P(X_i)$  = Probabilitas (%)

$n$  = jumlah data

$m$  = nomor urut data (setelah diurut dari besar ke kecil atau sebaliknya)

3. Tentukan peluang teoritis masing-masing data yang sudah diurut tersebut  $P'(X_i)$  berdasarkan persamaan distribusi probabilitas yang dipilih yaitu Log Pearson Type III.
4. Hitung selisih ( $\Delta P_i$ ) antara peluang empiris dan teoritis untuk setiap data yang sudah diurut.

$$\Delta P_i = P(X_i) - P'(X_i) \dots\dots\dots (18)$$

5.  $\Delta P_{cr}$ , diperoleh berdasarkan tabel Nilai Kritis Uji Kolmogorov-Smirnov.

6. Tentukan apakah  $\Delta P_{\max} < \Delta P_{cr}$ , jika benar artinya Distribusi Probabilitas yang dipilih dapat diterima.

**Tabel 9.** Nilai Kritis Uji Kolmogorov - Smirnov

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	0,929
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	0,538	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	0,369	0,391	0,457	0,486

Sumber : Laporan Penelitian, Ilham, 2015

### E. Perhitungan Intensitas Hujan

Intensitas curah hujan adalah jumlah curah hujan yang dinyatakan dalam tinggi hujan atau volume hujan tiap satuan waktu, yang terjadi pada satu kurun waktu air hujan terkonsentrasi. Besarnya intensitas curah hujan berbeda-beda tergantung dari lamanya curah hujan dan frekuensi kejadiannya. Intensitas curah hujan yang tinggi pada umumnya berlangsung dengan durasi pendek dan meliputi daerah yang tidak luas. Hujan yang meliputi daerah luas, jarang sekali dengan intensitas tinggi, tetapi dapat berlangsung dengan durasi cukup panjang. Terdapat beberapa metode untuk menghitung intensitas curah hujan (Soemarto, 1999).

#### 1. Metode Mononobe

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (19)$$

Dimana :

$I$  = Intensitas curah hujan

$t$  = Durasi curah hujan

$R_{24}$  = Curah hujan rencana

## 2. Metode Van Breen

$$I_t = \frac{54R_t + 0,07R_t^2}{t_c + 0,3R_t} \dots\dots\dots (20)$$

Dimana :

$I_t$  = Intensitas curah hujan pada suatu periode ulang (T tahun)

$R_t$  = Tinggi curah hujan pada periode ulang T tahun

$T_c$  = Durasi Hujan

## F. Base Flow

Aliran dasar (*Base flow*) merupakan aliran air di sungai pada saat tidak terjadi limpasan. *Base flow* berasal dari bagian curah hujan yang mengalami infiltrasi dan perkolasi masuk dalam tampungan air tanah dan keluar ke sungai sebagai rembesan mata air. Rumus *Base flow* disajikan sebagai berikut (Viera Wim Andiese, 2012):

$$Q_b = 0,4715 \cdot A^{0,6444} \cdot D^{0,9403} \dots\dots\dots (21)$$

Dimana:

$Q_b$  = Aliran Dasar, (m<sup>3</sup>/detik)

$A$  = Luas Das (Km<sup>2</sup>)

$D$  = Kerapatan sungai,  $D = \frac{L_{\text{sungai}}}{A}$  (Km/Km<sup>2</sup>)

### G. Analisis Debit Banjir Rancangan

Metode Nakayasu adalah metode yang berdasarkan teori hidrograf satuan yang menggunakan hujan efektif (bagian dari hujan total yang menghasilkan limpasan langsung). Perhitungan debit banjir rancangan menggunakan metode HSS Nakayasu menggunakan persamaan sebagai berikut (Soemarto, 1999) :

$$Q_p = \frac{A \cdot R_o}{3,6 (0,3T_p + T_{0,3})} \dots\dots\dots (22)$$

$$T_p = t_g + 0,8 T_r \dots\dots\dots (23)$$

$$T_g = 0,21 L^{0,7} \quad (L < 15 \text{ km}) \dots\dots\dots (24)$$

$$T_g = 0,4 + 0,58 L \quad (L < 15 \text{ km}) \dots\dots\dots (25)$$

$$T_r = 0,75 T_g \dots\dots\dots (26)$$

$$\alpha = \frac{0,47(A \cdot L)^{0,25}}{T_g} \dots\dots\dots (27)$$

$$T_{0,3} = \alpha \cdot T_g \dots\dots\dots (28)$$

$$Q_t = \left( \frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \cdot Q_p \dots\dots\dots (29)$$

Dimana :

$Q_p$  = Debit puncak banjir (m<sup>3</sup>/det)

$R_o$  = Hujan satuan (mm) = 1 (tetapan)

$A$  = Luas DAS (Km<sup>2</sup>)

$T_p$  = Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (mm)

$T_{0,3}$  = Waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak. (jam)

$T_g$  = Waktu konsentrasi (jam)

$T_r$  = Satuan waktu hujan (jam)

$a$  = Parameter hidrograf, bernilai antara 1,5 - 3,0

$Q_t$  = Debit pada saat T jam ( $m^3/det$ )

$L$  = Panjang sungai (Km)

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu adalah :

a. Pada kurva naik,  $0 \leq t \leq T_p$

Maka :

$$Q_t = Q_p \left( \frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \dots\dots\dots (30)$$

b. Pada kurva turun,  $T_p \leq t < (T_p + T_{0,3})$

Maka :

$$Q_t = Q_p \cdot 0,3^{\left[ \frac{t-T_p}{T_{0,3}} \right]} \dots\dots\dots (31)$$

c. Pada kurva turun,  $(T_p + T_{0,3}) \leq t < (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$

Maka :

$$Q_t = Q_p \cdot 0,3^{\left[ \frac{t-T_p+0,5 T_{0,3}}{1,5 T_{0,3}} \right]} \dots\dots\dots (32)$$

d. Pada kurva turun,  $t > (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$

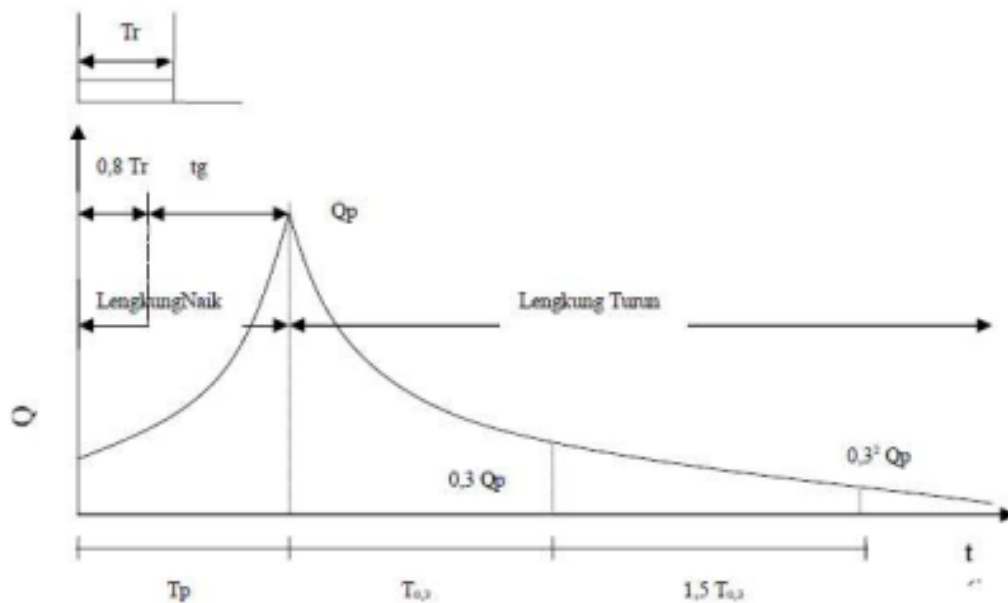
Maka :

$$Q_t = Q_p \cdot 0,3^{\left[ \frac{t-T_p+0,5 T_{0,3}}{2 T_{0,3}} \right]} \dots\dots\dots (33)$$



Dimana,

$Q_t$  = Debit pada saat 1 jam ( $m^3/det$ )



Sumber : Triamodjo B, 2008

#### **Gambar 4.** Model Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu

Pada gambar 4 merupakan contoh gambar Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu berupa hubungan antara waktu dengan debit puncaknya.

#### **H. Automatic Water Level Recorder (AWLR)**

*Automatic Water Level Recorder* (AWLR) adalah alat untuk mengukur tinggi muka air pada sungai, danau, ataupun aliran irigasi dengan hasil pengukuran dalam bentuk hidrograf. AWLR merupakan alat pengganti sistem pengukuran tinggi air konvensional di mana perekaman data masih dilakukan secara manual sehingga pengukuran dan hasil pengamatannya langsung dan teratur. Kerugian dari metode manual adalah perlu bagi manusia atau petugas untuk melakukan pengamatan terus menerus.

Dengan AWLR dapat dilakukan berbagai aplikasi di bidang hidrologi seperti mengetahui kondisi suatu DAS. Alat ini juga dapat berfungsi sebagai sistem peringatan dini terhadap banjir pada suatu Daerah Aliran Sungai. Keuntungan dari AWLR (*Automatic Water Level Recorder*) adalah:

- Resolusi tinggi yang diamati adalah 1 mm
- Cukup menggunakan baterai kering 12V dengan kapasitas 4A, bisa bertahan hingga 14–20 hari.
- Data yang diperoleh mudah dibaca dan sangat rinci serta akurat.

#### **I. Software iRIC**

Perangkat lunak iRIC (*The International River Interface Cooperative*) adalah platform simulasi numerik yang mendukung berbagai macam penyelesaian komputasi untuk masalah dalam ilmu teknik keairan. Perangkat lunak ini dimulai pada tahun 2007 oleh professor Yasuyuki Shimizu dari Universitas Hokkaido bersama Dr. Jonathan Nelson dari *United States Geological* (USGS). Awalnya perangkat lunak iRIC adalah sebagai alat analisis aliran sungai dan morfodinamika, tetapi kini telah berkembang untuk menangani berbagai masalah yang jauh lebih luas termasuk prediksi banjir, generasi limpasan curah hujan, penyebaran tsunami, aliran sedimentasi, penilaian habitat, dan masih banyak lagi. Berikut adalah beberapa alat analisis atau *solvers* yang termuat dalam aplikasi iRIC (i-ric.org,2020) :

- a) Nays2DH
- b) FaSTMECH
- c) SRM
- d) Morpho2DH
- e) Nays 1D+
- f) CER1D
- g) *Cuvert Analysis Program (CAP)*
- h) *Slope Area Computation (SAC)*
- i) Mflow\_02
- j) River2D
- k) NaysEddy
- l) SToRM
- m) Nays2DFlood
- n) EMILO
- o) DHABSIM
- p) EvaTRiP

Pada penelitian ini *solver* yang digunakan adalah *solver* Nays2DH. Dimana *solver* Nays2DH ini merupakan model komputasi yang dapat melakukan simulasi aliran horizontal dua dimensi (2D), angkutan sedimen, dan simulasi perubahan morfologi dasar dan tepi sungai.

*Solver* Nays2DH adalah kombinasi antara *solver* Nays2D dan Morpho2D. *Solver* Nays2D sendiri dikembangkan oleh Dr. Yasuyuki Shimizu di Universitas Hokkaido, Jepang. *Solver* Nays2D merupakan alat

analisis dua dimensi (2D) untuk melakukan simulasi aliran, angkutan sedimen, evolusi dasar sungai, dan erosi tepi sungai. Dengan bergabungnya lebih banyak developer dalam penembangan Nays2D, maka telah banyak penambahan fungsi model dalam alat analisis ini, seperti model pertemuan sungai dan model butiran campuran. Selain itu Nays2D juga telah dapat diaplikasikan pada beberapa model simulasi seperti evolusi dasar sungai akibat pengaruh vegetasi, perhitungan dan prediksi genangan pada dataran banjir, sedimentasi pada pertemuan sungai, analisis erosi tepi sungai, dan sebagainya.

*Solver* Morpho2D merupakan alat analisis yang dikembangkan oleh Dr. Hiroshi Takebayashi. *Solver* Morpho2D memungkinkan pengguna melakukan simulasi terhadap perubahan morfologi dasar sungai dengan ukuran butiran sedimen seragam dan campuran, dan sebagainya. Kedua *solver* ini memiliki kelebihan tersendiri, dan sama-sama menghasilkan simulasi dalam bentuk dua dimensi (2D). Dengan digabungkannya kedua *solver* ini menjadi *Solver* Nays2DH, pengguna dapat melakukan simulasi gabungan terhadap model pertemuan sungai, model erosi tepi, simulasi angkutan dasar dan sedimen suspensi (*bed load-suspended load*) terhadap sedimen campuran, dan sebagainya. (Shimizu & Takebayashi, 2014).