

TUGAS AKHIR
NORMALISASI SUNGAI BANGEK KECAMATAN
KOTO TANGAH KOTA PADANG

Diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan program S1
Pada jurusan Teknik sipil fakultas Teknik sipil dan perencanaan
Universitas bung hatta

Oleh :

NAMA : HUSNI MUBAROK

NPM : 1810015211184



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS BUNG HATTA
PADANG
2023

LEMBAR PENGESAHAN INSTITUSI
TUGAS AKHIR
NORMALISASI SUNGAI BANGK KECAMATAN KOTO
TANGAH KOTA PADANG

Oleh :

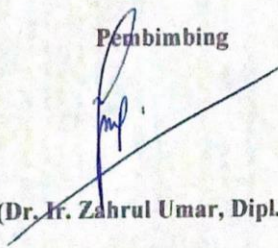
Nama : Husni Mubarak
NPM : 1810015211184
Program Studi : Teknik Sipil

Telah diperiksa dan disetujui untuk diajukan dan dipertahankan dalam ujian komprehensif guna mencapai gelar Sarjana Teknik Sipil Strata Satu pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Bung Hatta-Padang

Padang, 29 Agustus 2023

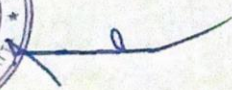
Menyetujui :

Pembimbing

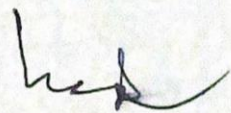

(Dr. Ir. Zahrul Umar, Dipl.HE)

Bekan FTSP




(Prof. Dr. Ir. Nasfryzal Carlo, M.Sc.)

Ketua Proram Studi


(Indra Khaidir, S.T., M.Sc.)

**LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI
TUGAS AKHIR
NORMALISASI SUNGAI BANGEK KECAMATAN KOTO
TANGAH KOTA PADANG**

Oleh :

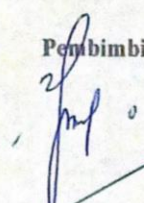
Nama : Husni Mubarak
NPM : 1810015211184
Program Studi : Teknik Sipil

Telah diperiksa dan disetujui untuk diajukan dan dipertahankan dalam ujian komprehensif guna mencapai gelar Sarjana Teknik Sipil Strata Satu pada Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Bung Hatta-Padang

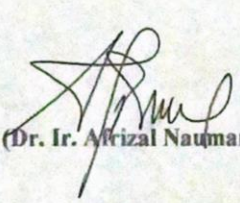
Padang, 29 Agustus 2023

Menyetujui :


Pembimbing


(Dr. Ir. Zahrul Umar, Dipl.HE)

Penguji I


(Dr. Ir. Afrizal Naufar, MT)

Penguji II


(Evince Oktarina, S.T, M.T)

PERNYATAAN KEASLIAN LAPORAN TUGAS AKHIR

Saya mahasiswa di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Bung Hatta.

Nama Mahasiswa : Husni Mubarak

Nomor Induk Mahasiswa : 1810015211184

Dengan ini menyatakan bahwa karya tulis Tugas Akhir yang saya buat dengan judul **“Normalisasi Sungai Bangek Kecamatan Koto Tangah Kota Padang”** adalah :

- 1) dibuat dan diselesaikan sendiri, dengan menggunakan data-data hasil pelaksanaan dan perencanaan sesuai dengan metoda kespiliran.
- 2) Bukan merupakan duplikasi karya tulis yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana diuniversitas lain, kecuali pada bagian-bagian sumber informasi dicantumkan dengan cara referensi yang semestinya.

Kalau terbukti saya tidak memenuhi apa yang telah dinyatakan di atas, maka karya tugas akhir ini batal.

Padang, 29 Agustus 2023

Yang membuat pernyataan



(Husni Mubarak)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia yang telah diberikan-Nya, sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan oleh penulis. Tugasakhir yang berjudul “NORMALISASI SUNGAI BANGEK KECAMATAN KOTO TANGAH KOTA PADANG” ini ditujukan untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil Strata Satu Universitas Bung Hatta, Padang. Penulis menyadari bahwa tanpa adanya bimbingan, bantuan dan doa dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini tidak dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu, yaitu kepada:

- 1) Allah SWT, karena dengan berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
- 2) Bapak Prof. Dr. Ir. Nasfryzal Carlo, M. Sc, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan dan selaku Dosen Pembimbing I penulis.
- 3) Bapak Indra Khaidir, S.T, M.Sc selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil.
- 4) Bapak Dr. Ir. Zahrul Umar, Dipl. HE, selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membantu, memberikan bimbingan, nasehat, saran dan masukan dalam pengerjaan tugas akhir ini kepada penulis.
- 5) Bapak Dr. Ir. Afrizal Naumar, M.T selaku Dosen Penguji I yang telah Banyak membantu, memberikan saran, nasehat, masukan dan memberikan motivasi kepada penulis.
- 6) Ibu Evince Oktarina ST,MT selaku Dosen Penguji II yang telah banyak membantu, memberikan motivasi saran dan masukan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini kepada penulis.
- 7) Semua Bapak dan Ibu Dosen Teknik Sipil di Universitas Bung Hatta, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terimakasih telah memberikan Ilmu yang bermanfaat dan berguna untuk penulis selama menempuh Pendidikan S1 di Universitas Bung Hatta.

- 8) Orang Tua saya yang sangat saya banggakan dan cintai, kepada Bapak Mahmud selaku Ayah saya dan Ibu Mawar selaku Umak saya, saya mengucapkan terimakasih banyak selama ini sudah menjadi tempat bercerita, memberikan banyak do'a dan dukungan, walaupun sering bertanya "Kapan Wisuda" kepada penulis.
- 9) Keluarga besar yang telah memberikan motivasi kepada penulis.
- 10) Untuk kekasih saya Stevani Aulia yang telah menemani saya dari semester empat sampai pada titik ini, dari orang yang tidak saya kenal menjadi orang yang akan saya prioritaskan dalam kehidupan kedepan, dengan izin allah, Terima kasih banyak Bi.
- 11) Untuk Preman kos, sahabat saya Tono, Dian Jungler, Abul, Finki Extra joss, Fariz tarzan, Bung Ando, Edo kanduang, Yovand pemburu, afif Guinnever, Raihan syclop, Marko, Pajar Sadboy, Augi Solo, Zul Keren, Teguh Maxim, Jack, Acong, Adit Es, Ari Bocil, yang telah mendengarkan keluh kesah, memberikan kegilaan, pembullying, pengomporan sampai hampir beribut, yang selalu punya cara untuk selalu tersenyum dalam keadaan genting, Terima kasih banyak kepada keluarga preman kos.
- 12) Untuk orang-orang yang sering bertanya "Kapan Lulus", terimakasih atas pertanyaannya, karena pertanyaan kalian membuat penulis menjadi semangat dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
- 13) Yang terakhir penulis mengucapkan terimakasih kepada diri sendiri, karena sudah bertahan dan kuat sampai Tugas Akhir ini selesai.
- 14) Pihak-pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semuapihak yang membacanya.

Padang, 21 agustus 2023
Penulis

Husni Mubarak

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iv
BAB I	1
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Maksud dan Tujuan Penulisan	4
1.4 Batasan masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II	6
2.1 Normalisasi Sungai	6
2.2 Daerah Aliran Sungai (DAS)	6
2.2.1 Bentuk Bentuk Daerah Aliran Sungai	7
2.3 Pengertian Banjir	7
2.4 Analisa Hidrologi	7
2.5 Analisa Curah Hujan (presipitasi)	8
2.5.1 Curah Hujan Rata-Rata Kawasan (Area Raninfall)	9
2.5.2.1 Metode Thiesen	9
2.5.2.2 Metode rata-rata aljabar (aritmatik)	10
2.5.2.3 Metode isohyet	10
2.5.4 Curah Hujan Terpusat (<i>Point Rainfall</i>)	11
2.6 Analisa curah hujan rencana	11
2.6.1 Metode Distirbusi Normal	11
2.6.2 Metode Gumbel	13
2.6.3 Metode Distribusi Log-Person III	15
2.6.4 Metode Distribusi Log-Normal	16
2.7 Uji Distribusi Probabilitas	17
2.7.1 Metode Chi-Kuadrat (X^2)	17
2.7.2 Metode Smirnov-Kolmogrof (Secara Analitis)	20
2.8 Analisa Bebit Banjir Rencana	21
2.8.3 Metode Weduwen	21
2.8.1 Metode Hasper	23
2.8.2 Metode Mononobe	24
2.9 Perencanaan Dimensi Sungai	25

2.9.1	Analisa Hidraulika	25
2.9.2	Kemiringan sungai	25
2.9.3	kapasitas saluran	26
2.9.4	Koefisien Kekasaran Strickler	27
2.9.5	Jagaan(<i>Freeboard</i>).....	28
2.10	Perencanaan Perkuatan Tebing Sungai dengan Batu Kali	28
2.10.1	Perhitungan Stabilitas Tebing.....	29
BAB III	.....	32
3.2	Analisa Sungai Bangek	33
3.2	Alat dan Bahan	35
3.3	Metode Penelitian.....	37
BAB IV	.....	38
4.1	Analisa curah hujan rata-rata	38
4.1.1	Analisa curah hujan dengan metode Thiessen	38
4.1.2	Analisa Distribusi Frekuensi	39
4.2	Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi	46
4.2.1	Uji Chi-Kuadrat	46
4.3.1	Metoda Smirnov-Kolmogorof (<i>Analitis</i>)	53
4.3	Analisa Debit Banjir Rencana.....	59
4.3.1	Metode Weduwen.....	59
4.3.2	Metode Hasper	61
4.3.3	Metode Mononobe.....	63
4.4	Analisa Debit Banjir Aktual Berdasarkan Pengamatan	65
4.5	Analisa Penampang Rencana	66
4.6	Perhitungan Stabilitas Perkuatan Tebing Sungai.....	68
4.7.1	Akibat Berat Sendiri	69
4.7.2	Akibat Gaya Gempa	70
4.7.4	Kontrol Stabilitas Terhadap Tebing	77
BAB V PENUTUP	.....	80
5.1	Kesimpulan	80
5.2	Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	.....	82
LAMPIRAN	.....	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.2 Siklus Hidrologi	8
Gambar 2.3 Polygon Thissen	10
Gambar 2.4 Gambar Penampang Trapesium	27
Gambar 3.2 Peta Kecamatan Koto Tengah	32
Gambar 3.3 Lokasi penelitian.....	33
Gambar 3.4 Lokasi Penelitian	34
Gambar 3.5 Peta Topografi	35
Gambar 3.6 Peta Cathment Area sungai bangek.....	36
Gambar 3.7 Peta Stasiun Hujan Terhadap DAS	36
Gambar 3.8 Metode Penelitian.....	37
Gambar 4.2 Akibat Berat Sendiri.....	69
Gambar 4.3 Akibat Tekanan Tanah	74

DAFTAR TABEL

Tabel 2.5 Nilai Variabel Reduksi Gauss (Variable Reduced Gauss).....	12
Tabel 2.7 Reduced Mean, Y_n	14
Tabel 2.8 Reduced Standard Deviation, S_n	14
Tabel 2.9 Reduced Variate Y_{Tr} sebagai fungsi periode ulang.....	15
Tabel 2.6 Harga G pada distribusi Log Person III untuk Cs positif.....	16
Tabel 2.10 Nilai Parameter Chi-Kuadrat Kritis, X^2_{cr} (uji satu sisi)	19
Tabel 2.11 Nilai ΔP Kritis Smirnov-Kolmogorof.....	21
Tabel 2.15 Tinggi Jagaan Standar Tanggul.....	28
Tabel 4.1 Curah Hujan Maksimum Rata-Rata.....	38
Tabel 4.2 Perhitungan Curah Hujan Rencana Metode Distribusi Normal	39
Tabel 4.3 Rekapitulasi Perhitungan Curah Hujan Rencana Metode Distribusi Normal	40
Tabel 4.4 Perhitungan Curah Hujan Menggunakan Metode Gumbel	41
Tabel 4.5 Perhitungan curah hujan rencana Metode Gumbel.....	42
Tabel 4.6 Curah hujan rencana menggunakan distribusi log normal	43
Tabel 4.7 curah hujan rencana menggunakan distribusi log normal	43
Tabel 4.8 Curah hujan rencana menggunakan Metode Log-Person III	44
Tabel 4.9 Curah hujan rencana menggunakan metode Log-Person III.....	45
Tabel 4.10 Resume hasil curah hujan rencana	46
Tabel 4.11 Data curah hujan dari nilai yang terbesar ke yang kecil	47
Tabel 4.12 Interval kelas distribusi Probabilitas Normal.....	49
Tabel 4.13 Nilai Chi-kuadrat untuk Distribusi Normal	49
Tabel 4.14 Interval kelas distribusi Probabilitas Gumbel	50
Tabel 4.15 Nilai Chi-kuadrat untuk Distribusi Gumbel.....	50
Tabel 4.16 Interval kelas distribusi Probabilitas Log Normal	51
Tabel 4.17 Nilai Chi-kuadrat untuk Distribusi Log Normal	51
Tabel 4.18 Interval kelas distribusi Probabilitas Log-Person III	52
Tabel 4.19 Nilai Chi-kuadrat untuk Distribusi Log-Person III.....	52
Tabel 4.20 Rekapitulasi hasil perhitungan nilai X^2 dan X^2_{Cr}	53

Tabel 4.21 Keselarasan sebaran Smirnov-Kolmogorof untuk Distribusi Normal	53
Tabel 4.22 Keselarasan sebaran Smirnov-Kolmogorof untuk Log Normal	55
Tabel 4.23 Keselarasan sebaran Smirnov-Kolmogorof untuk Log-Person III	55
Tabel 4.24 Keselarasan sebaran Smirnov-Kolmogorof untuk Metode Gumbel	56
Tabel 4.25 Resume Uji Probabilitas dengan Smirnov-Kolmogorof	58
Tabel 4.26 Resume Uji Probabilitas Chi-Kuadrat dengan Smirnov-Kolmogorof	58
Tabel 4.27 Nilai terpilih Distribusi Log Normal.....	59
Tabel 4.28 Hasil perhitungan debit banjir Metode Hasper	63
Tabel 4.29 : Hasil Perhitungan Metode Mononobe	64
Tabel 4.30 Rekapitulasi Perhitungan Debit Banjir Rencana.....	64
Tabel 4.31 Momen Akibat Berat Sendiri.....	70
Tabel 4.32 Momen Akibat Gaya Gempa	74
Tabel 4.33 Momen Akibat Tekanan Tanah.....	76
Tabel 4.34 Resume Gaya	77

NORMALISASI SUNGAI BANGEK KECAMATAN KOTO TANGAH KOTA PADANG

Husni Mubarak¹⁾, Zahrul Umar²⁾

Program Studi Teknik Sipil , Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan,
Universitas Bung Hatta

E-mail: cokimamihusni@yahoo.com¹⁾, zahrul_umar@yahoo.co.id²⁾

ABSTRAK

Sungai Bangkek adalah salah satu anak sungai Batang Kandis yang berada di kecamatan Koto Tangah Kota Padang, sungai ini sering terjadi banjir akibat intensitas hujan yang tinggi dan penyempitan pada penampang sungai. Normalisasi Sungai adalah salah satu Alternatif untuk mengendalikan banjir. Penelitian ini memerlukan data curah hujan dari stasiun Kasang, Stasiun Koto tuo dari tahun 2012-2021, dan peta Topografi. Untuk curah hujan rencana 25 tahun , menggunakan Metode Log Normal, analisa debit menggunakan metode Weduwen. Perencanaan perkuatan tebing sungai dengan perhitungan stabilitas Akibat berat sendiri, Akibat gaya gempa, Akibat tekanan tanah, Akibat beban terbagi rata dan Kontrol stabilitas terhadap tebing.

Kata kunci : Normalisasi, Debit, Curah Hujan, Stabilitas

Pembimbing



Dr. Ir. Zahrul Umar, Dipl. HE

**NORMALIZATION OF THE BANGEK RIVER, KOTO TANGAH DISTRICT,
PADANG CITY**

Husni Mubarak¹⁾, Zahrul Umar²⁾

Civil Engineering Study Program, Faculty of Civil Engineering and Planning,
Bung Hatta University

Email: cokimamihusni@yahoo.com¹⁾, zahrul_umar@yahoo.co.id²⁾

ABSTRACT

The Bangek River is a tributary of the Batang Kandis river in the Koto Tengah sub-district, Padang City. This river often floods due to high intensity rain and narrowing of the river cross-section. River Normalization is one alternative for controlling floods. This research requires rainfall data from Kasang Station, Koto Tuo Station from 2012-2021, and topographic maps. For the 25 year planned rainfall, use the Normal Log Method, discharge analysis uses the Weduwen method. Planning for strengthening river banks by calculating stability due to own weight, due to earthquake forces, due to ground pressure, due to evenly distributed loads and control of stability of the cliff

Keywords: Normalization, Discharge, Rainfall, Stability

Pembimbing


Dr. Ir. Zahrul Umar, Dipl. HE

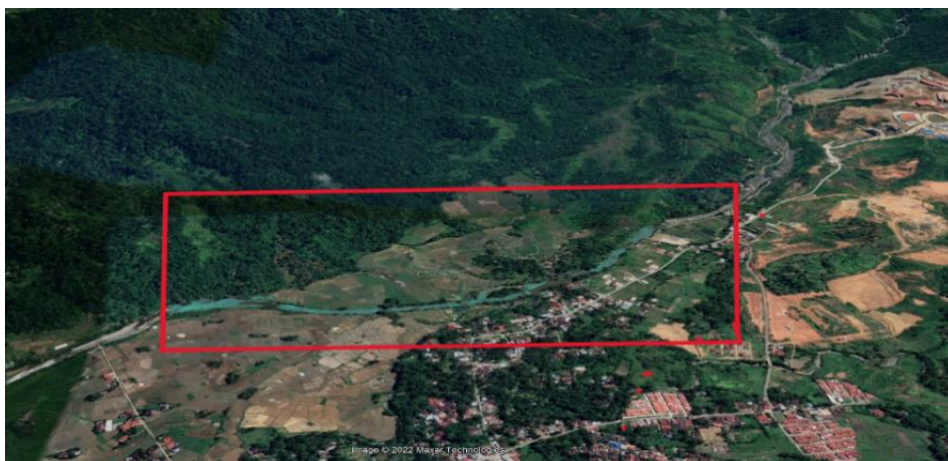
BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Banjir merupakan bencana alam yang paling sering terjadi di Indonesia. Keadaan dimana suatu daerah tergenang oleh air dalam jumlah yang besar. Kedatangan banjir dapat diprediksi dengan memperhatikan curah hujan dan aliran air. Kerugian yang diakibatkan banjir seringkali sulit diatasi baik oleh masyarakat maupun instansi terkait.

Banjir juga interaksi antara manusia dan alam, sistem alam itu sendiri. Bencana banjir ini merupakan aspek interaksi manusia dengan alam, yang timbul dari proses dimana manusia mencoba menggunakan alam yang bermanfaat dan menghindari alam yang merugikan manusia.

Banjir dapat disebabkan oleh kondisi alam maupun ulah manusia. Banjir yang disebabkan oleh kondisi alam berupa curah hujan yang tinggi. Sementara itu, banjir yang disebabkan oleh ulah manusia salah satunya adanya penyumbatan akibat buang sampah sembarangan. Banjir akibat dari meluapnya atau meningkatnya debit sungai telah banyak menimbulkan kerusakan fisik seperti, merusak berbagai jenis struktur, jalan raya, sistem drainase, bangunan dan kerusakan skunder seperti, persediaan air, pertanian dan transportasi. Perubahan kondisi lahan dari waktu ke waktu mengakibatkan ancaman terhadap terjadinya banjir yang semakin besar.



Gambar 1.1 Lokasi Penelitian

(Sumber: Google Earth)

Berdasarkan surat kabar dan berita pada tanggal 11 juni 2022, tiga remaja hanyut di Lubuk Tongga Sungai Bangek, Kelurahan Balai Gadang, Kecamatan Koto Tengah, Padang. Hal ini disebabkan karena debit air tiba-tiba membesar dan arus sungai meningkat karena di guyur hujan. rusak nya tebing sungai dan penyempitan lebar sungai menjadi penyebab banjir, disebabkan oleh curah hujan yang tinggi dan tidak tertampung oleh luas penampang sungai tersebut. Jika itu terus menerus terjadi akan menjadi dampak yang sangat buruk.(Seputartangsel.com, 2022)



Gambar 1.2 Banjir Sungai Bangek

(Sumber: Google)

Untuk itu perlu dilakukan normalisasi sungai, Normalisasi sungai adalah menciptakan kondisi sungai dengan lebar dan kedalaman tertentu. Sehingga sungai mampu mengalirkan air dan tidak terjadinya luapan, Tujuan normalisasi sungai antara lain untuk keperluan melindungi tebing sungai karena erosi (erosi), atau untuk memperluas profil sungai guna menampung banjir-banjir yang terjadi.

Berdasarkan latar belakang diatas dan informasi yang di dapat perlu dilakukan normalisasi Sungai bangek agar tidak terjadi luapan, maka penulis mengangkat tema tugas akhir ini dengan judul “**Normalisasi Sungai Bangek Kecamatan Koto Tengah Kota Padang**”.

1.2 Rumusan Masalah

Normalisasi sungai merupakan salah satu cara yang dapat dilakukan dalam penanganan banjir di suatu daerah. Beberapa hal yang dilakukan dalam normalisasi sungai yaitu perencanaan ulang dimensi sungai, peninggian ataupun pembuatan tanggul sungai, dan lain sebagainya sesuai kebutuhan dan kondisi alam maupun soisal ekonomi di daerah tersebut.

Dalam penyelesaian masalah banjir dengan normalisasi sungai perlu dilakukan kajian mengenai hal-hal sebagai berikut :

1. Berapa curah hujan rencana yang terjadi di sungai tersebut.
2. Berapa debit banjir rencana di daerah tersebut.
3. Bagaimana penampang sungai dapat mengalirkan sesuai dengan debit rencana.
4. Rencana penguatan tebing sungai.

1.3 Maksud dan Tujuan Penulisan

Maksud dari tugas akhir ini adalah untuk mengendalikan dan meminimalisir terjadinya banjir di Sungai Bangek Kota Padang, dengan perkuatan tebing sungai bangek.

Adapun tujuan dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Menghitung curah hujan rencana
2. Mengetahui debit banjir rencana
3. Menghitung penampang sungai Bangek agar dapat menampung luapan debit banjir.
4. Analisa Stabilitas perkuatan tebing

1.4 Batasan masalah

- a. Perencanaan normalisasi pada sungai bangek ini sepanjang 2 km²
- b. Pengukuran pada sungai ini dilakukan pada lebar sungai dan tinggi sungai
- c. penampang sungai yang sesuai
- d. Volume galian yang dihasilkan
- e. Rencana anggaran biaya tidak dibahas

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang penulis harapkan dalam studi kasus ini adalah :

1. Kasus ini dapat dijadikan pengalaman dan pembelajaran yang sangat penting dan berharga bagi kami sebagai penulis dan dibuat untuk menyelesaikan program studi sarjana Teknik sipil ;
2. Pembahasan pada studi ini dapat dijadikan bahan tambah bagi mahasiswa yang akan membahas tentang normalisasi sungai
3. Studi ini dapat direalisasikan dimasa yang akan datang guna mengurangi kerugian akibat banjir.

1.6 Sistematika Penulisan

Secara keseluruhan dalam penulisan tugas akhir ini dibagi dalam beberapa bab. Agar penulisan tugas akhir ini terartur, sistematis dan tidak menyimpang dari peraturan yang ada maka penulis perlu membuat sistematika penulisan laporan sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Merupakan dasar penulisan tugas akhir ini yaitu pendahuluan yang berisikan tentang latar belakang, maksud dan tujuan dalam penulisan, Batasan tugas akhir, metodologi penulisan dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Menjelaskan mengenai dasar teori yang sangat diperlukan dalam penulisan, antara lain dasar teori hidrologi dan hidrolika seperti perhitungan curah hujan, debit banjir, penampang sungai dan stabilitas dinding penahan tanah.

BAB III : PENGUMPULAN DATA

Menjelaskan mengenai data-data yang dibutuhkan dalam penulisan tugas akhir ini. Seperti data penampang sungai, data curah hujan, dan data lainnya yang dapat membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini sehingga didapatkan hasil yang sesuai.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Normalisasi Sungai

Normalisasi sungai merupakan suatu metode yang digunakan untuk menyediakan alur sungai dengan kapasitas mencukupi untuk menyalurkan air, terutama air yang berlebih saat curah hujan tinggi. Normalisasi dilakukan karena mengecilnya kapasitas sungai akibat pedangkalan dan penyempitan badan sungai, dinding sungai yang rawan longsor, serta aliran air yang belum terbangun dengan baik dan penyalahgunaan untuk pemukiman.

2.2 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah aliran sungai (DAS) merupakan ruang dimana sumber daya alam terutama vegetasi, tanah dan air, berada dan tersimpan serta tempat hidup manusia dalam memanfaatkan sumber daya alam tersebut untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Sebagai wilayah DAS juga di pandang sebagai ekosistem dari daur air, sehingga DAS di defenisikan sebagai suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, meyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami. Batas didarat merupakan pemisah topografi dan batas dilaut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan (UU No. 7 tahun 2004). Dengan demikian DAS merupakan suatu wilayah alami yang memberikan manfaat produksi serta memberikan pasokan air melalui sungai, air tanah, dan mata air, untuk memenuhi berbagai kepentingan hidup, baik untuk manusia, flora maupun fauna (Paimin dkk, 2012).

DAS adalah upaya manusia dalam mengatur hubungan timbal balik antara sumber daya alam dengan manusia di dalam DAS dan segala aktivitasnya, agar terwujud kelestarian dan keserasian ekosistem serta meningkatnya kemanfaatan sumber daya alam bagi manusia secara berkelanjutan. pengelolaan DAS perlu mengintegrasikan factor-faktor biofisik, social ekonomi dan kelembagaan untuk mencapai kelestarian berbagai macam penggunaan lahan didalam DAS yang secara teknis aman dan tepat, secara lingkungan sehat, secara ekonomi layak, dan secara social dapat diterima masyarakat (Brooks et al, 1990).

2.2.1 Bentuk Bentuk Daerah Aliran Sungai

Bentuk-bentuk daerah aliran sungai (DAS) dapat dibagi dalam empat,

Antara lain:

- a. Bentuk memanjang
- b. Bentuk radial
- c. Bentuk paralel
- d. Bentuk kompleks

2.3 Pengertian Banjir

Sungai adalah alur air alami atau buatan berupa jaringan pengaliran beserta air di dalamnya, mulai dari hulu sampai muara, dengan dibatasi kanan dan kiri oleh garis sempadan.

Banjir adalah peristiwa yang terjadi Ketika aliran air yang berlebihan merendam daratan. Penyebab yang paling berisiko meningkatkan peluang banjir adalah aktivitas warga yang tidak bertanggung jawab diantaranya membuang sampah kesungai, berkembangnya pemukiman kumuh di bantaran sungai, penebangan pohon dikawasan hutan lindung, dan lain sebagainya.

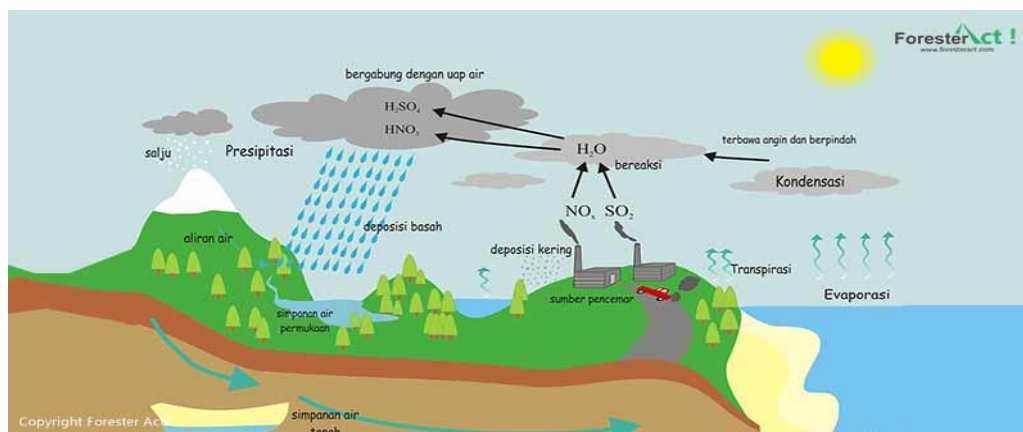
2.4 Analisa Hidrologi

Data hidrologi adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai fenomena hidrologi. Data hidrologi merupakan bahan informasi yang sangat penting dalam pelaksanaan inventarisasi potensi sumber-sumber air, pemanfaatan dan pengelolaan sumber-sumber air yang tepat dan rehabilitasi sumber-sumber alam seperti air. Fenomena hidrologi seperti besarnya : curah hujan, temperature, penguapan, lama penyinaran matahari, kecepatan angin, debit sungai, tinggi muka air sungai, kecepatan aliran dan konsentrasi sedimen sungai akan selalu berubah menurut waktu.

Sumber daya air adalah salah satu sumber daya alam yang berguna atau potensial bagi manusia dalam memenuhi kebutuhan sehari-hari di berbagai sector kehidupan. Air merupakan sumber daya alam yang jumlahnya tetap dari waktu ke waktu di bumi ini. Hanya saja wujudnya yang berubah ubah, ada yang berbentuk gas, cair dan pada. Perubahan wujud ini mengalami satu siklus melalui serangkaian peristiwa yang

berlangsung secara terus-menerus, sesuai dengan kesetimbangan alam yang disebut dengan siklus hidrologi. Siklus hidrologi merupakan rangkaian peristiwa yang terjadi mulai dari air saat jatuh ke bumi hingga menguap ke udara hingga kemudian jatuh Kembali ke bumi.

Proses siklus hidrologi adalah saat dimana seluruh air yang ada di permukaan bumi akan menguap. Seluruh air yang menguap ke atmosfer atau ke angkasa ini kemudian berubah menjadi awan di langit. Setelahnya air yang telah berubah menjadi awan akan berubah lagi ke dalam bentuk yang lain yaitu butiran-butiran air menjadi hujan (*presipitasi*). Air hujan mengalir di permukaan (*run off*) dan limpasan permukaan langsung ke sungai atau danau. Sebagian hujan jatuh ketanaman (*intersepsi*). Hujan Sebagian masuk ke dalam tanah (*infiltrasi*) dan membentuk aliran (*perkulasi*) yang menuju sungai dan laut.



Gambar 2.1 Siklus Hidrologi

2.5 Analisa Curah Hujan (presipitasi)

Hujan (presipitasi) adalah proses jatuhnya segala materi yang dicurahkan dari atmosfer ke permukaan bumi dalam bentuk cair (hujan) maupun padat (salju). Presipitasi merupakan bagian dari siklus hidrologi. Presipitasi ini terjadi ketika awan sudah tidak mampu menahan dikandungnya. Awan kemudian menurunkan air hujan.

- Kenaikan massa uap air ke tempat yang lebih tinggi sampai saatnya atmosfer menjadi jenuh.
- Terjadi kondensasi atas partikel-partikel uap di atmosfer

- c. Partikel-partikel uap air tersebut bertambah besar sejalan dengan waktu untuk kemudian jatuh ke bumi dan permukaan laut (sebagai hujan) karena grafitasi.

2.5.1 Curah Hujan Rata-Rata Kawasan (Area Rainfall)

Curah hujan Kawasan merupakan curah hujan yang diukur dan dilakukan pada daerah tertentu. Data curah hujan diperoleh dari alat penakar hujan yang terjadi pada satu tempat atau daerah dan hanya satu titik saja. Bila dalam satu daerah terdapat beberapa stasiun pencatat curah hujan, maka untuk mendapatkan curah hujan areadengan mengambil rata-ratanya.

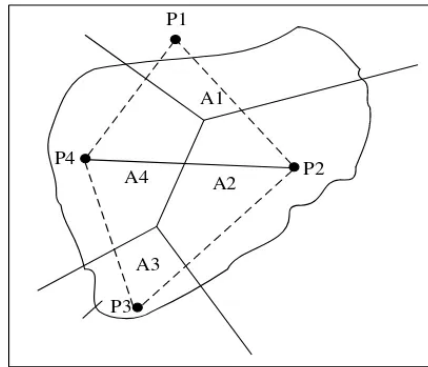
Untuk menghitung tinggi hujan di Kawasan, ada tiga metode yang umum digunakan, yaitu metode Thiesen, metode isohyet dan rata-rata aljabar.

2.5.2.1 Metode Thiesen

Metode ini memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan di sekitarnya. Pada suatu luasan dindalam DAS di anggap bahwa hujan adalah sama dengan yang terjadi pada stasiun yang terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu stasiun mewakili luasan tersebut. Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan didaerah yang ditinjau tidak merata, pada metode ini stasiun hujan minimal yang di gunakan untuk perhitungan adalah tiga stasiun hujan. Hitungan curah hujan rata-rata dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh dari tiap stasiun.

$$P = \frac{P_1A_1 + P_2A_2 + \dots + P_nA_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

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



Gambar 2.2 Polygon Thissen

2.5.2.2 Metode rata-rata aljabar (aritmatik)

Metode ini menggunakan perhitungan curah hujan wilayah dengan merata-ratakan semua jumlah curah hujan yang ada pada wilayah tersebut. Metode ini digunakan khususnya untuk daerah seragam dengan variasi CH kecil. Cara ini dilakukan dengan mengukur serempak untuk waktu lama waktu tertentu dari semua alat penakar dan dijumlahkan seluruhnya. Kemudian hasil penjumlahannya dibagi dengan jumlah penakar hujan maka akan dihasilkan rata-rata curah hujan di daerah tersebut. Menurut Sosrodarsono (2003), secara matematik di tulis persamaan sebagai berikut;

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

Dimana P_1, P_2, \dots, P_n adalah curah hujan yang tercatat dipos penakar hujan 1, 2, ..., n dan n adalah banyaknya pos penakar hujan.

2.5.2.3 Metode isohyet

Metode ini menggunakan pembagian DAS dengan garis-garis yang menghubungkan tempat-tempat dengan curah yang sama besar. Curah hujan rata-rata di daerah aliran sungai didapatkan dengan menjumlahkan perkalian antara curah rata-rata du antara garis-garis isohyet dengan luas daerah yang dibatasi oleh garis batas DAS dan dua garis isohyet, kemudian dibagi dengan luas seluruh DAS metode ini cocok untuk daerah terbukit dan tidak teratur dengan luas lebih dari 5.000 km

$$\bar{P} = \frac{A_1 \left(\frac{P_1 + P_2}{2} \right) + A_2 \left(\frac{P_2 + P_3}{2} \right) + \dots + A_n \left(\frac{P_{n-1} + P_n}{2} \right)}{A_1 + A_2 + \dots + A_{n-1}}$$

Dengan:

P_n = Curah hujan pada masing-masing stasiun (mm)

A_n = Luas areal polygon (km^2)

2.5.4 Curah Hujan Terpusat (*Point Rainfall*)

Curah hujan terpusat adalah hujan yang didapat dari hasil pecatat alat ukur curah hujan atau data curah hujan yang akan diolah yaitu data mentah yang tidak dapat langsung dipakai dan harus diolah terlebih dahulu sesuai dengan kebutuhan.

Data curah hujan dihasilkan dapat berupa kesimpulan data yaitu:

- Jumlah hujan perhari dan lamanya.
- Besarnya curah hujan dalam hitungan perjam/permenit.
- Jumlah hujan pertahun.
- Jumlah hujan perbulan.
- Besarnya hujan harian maximum dalam 1 tahun pengamatan periode tertentu.

2.6 Analisa curah hujan rencana

Analisa curah hujan rencana ini bertujuan untuk mengetahui besarnya curah hujan maksimum dalam periode ulang tertentu yang nantinya dipergunakan untuk perhitungan debit banjir rencana. Dalam perencanaan normalisasi sungai bangek curah hujan rencana yang dipakai adalah curah hujan rencana dengan periode ulang 10 tahunan. Oleh karena itu dicari curah hujan rencana untuk periode 10 tahun, berdasarkan curah hujan rata-rata daerah aliran yang sudah diketahui.

Ada beberapa metode yang dapat digunakan dalam menghitung analisis frekuensi data hujan, seperti metode Distribusi Normal, Distribusi Log Normal, Distribusi Log Person III, dan Gumbel

2.6.1 Metode Distirbusi Normal

Distribusi normal atau kurva normal disebut pula distribusi Gauss. Rumus yang dipakai pada distribusi normal adalah:

$$X_T = \bar{X} + K_T S$$

Dimana:

$$K_T = \frac{X_T - \bar{X}}{S} \quad S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

- X_T = perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T-tahunan,
- \bar{X} = nilai rata-rata hitung variat,
- S = deviasi standar nilai variat,
- K_T = faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang atau periode ulang dan tipe model matematik distribusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang.

Tabel 2.1 Nilai Variabel Reduksi Gauss (*Variable Reduced Gauss*)

No	Periode Ulang, T (tahun)	Peluang	K_T
1	1.001	0.999	-3.05
2	1.005	0.995	-2.58
3	1.010	0.990	-2.33
4	1.050	0.950	-1.64
5	1.110	0.900	-1.28
6	1.250	0.800	-0.84
7	1.330	0.750	-0.67
8	1.430	0.700	-0.52
9	1.670	0.600	-0.25
10	2.000	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 : Bonnier (1980) dalam Suripin (2004)

2.6.2 Metode Gumbel

Metode gumbel digunakan untuk analisis data maksimum, misalnya untuk analisis frekuensi banjir. Data-data metode ini yang harus tersedia adalah curah hujan tahunan dengan pengamatan 10 tahunan.

Rumus:

$$X_T = \bar{X} + SK$$

$$\bar{X} = \text{Harga rata-rata sampel}$$

$$S = \text{standar deviasi (simpangan baku) sampel}$$

Faktor probabilitas K untuk harga-harga ekstrim gumbel dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$K = \frac{Y_{Tr} - Y_n}{S_n}$$

$$Y_n = \text{reduced mean yang tergantung jumlah sampel/data } n \text{ (Tabel 2.3)}$$

$$S_n = \text{reduced standard deviation yang juga tergantung pada jumlah sampel/data } n \text{ (Tabel 2.4)}$$

$$Y_{Tr} = \text{reduced variate, yang dapat dihitung dengan persamaan berikut ini}$$

$$Y_{Tr} = -\ln \left\{ -\ln \frac{T_r - 1}{T_r} \right\}$$

Tabel 2.2 Reduced Mean, Y_n

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5252	0,5203	0,5296	0,5309	0,532	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5392	0,5371	0,5380	0,5303	0,5386	0,5402	0,5410	0,5418	0,5424	0,543
40	0,5435	0,5442	0,5448	0,5453	0,5450	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5557
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600	0,5602	0,5603	0,5604	0,5606	0,5607	0,5608	0,5609	0,5610	0,5611

Sumber: (Suripin: *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*, 2004)

Tabel 2.3 Reduced Standard Deviation, S_n

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1080
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	0,1538	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
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,9940	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065	1,2069	1,2073	1,2077	1,2081	1,2084	1,2087	1,2090	1,2093	1,2096

Sumber: (Suripin: *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*, 2004)

Tabel 2.4 *Reduced Variate* Y_{Tr} sebagai fungsi periode ulang

Periode ulang, T_r (tahun)	<i>Reduced Variate</i> , Y_{Tr}	Periode ulang, T_r (tahun)	<i>Reduced Variate</i> , Y_{Tr}
2	0,3668	100	4,6012
5	1,5004	200	5,2969
10	2,251	250	5,5206
20	2,9709	500	6,2149
25	3,1993	1000	6,9087
50	3,9028	5000	8,5188
75	4,3117	10000	9,2121

Sumber: (Suripin: *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*, 2004)

2.6.3 Metode Distribusi Log-Person III

Metode distribusi Log Person III banyak digunakan dalam analisa hidrologi terutama dalam analisa data maksimum dan minimum dengan nilai ekstrim. Langkah-langkah penggunaan distribusi Log-Person Tipe III adalah:

1. Ubah data ke dalam bentuk logaritmis

$$X = \log X$$

2. Hitung harga rata-rata:

$$\text{Log } \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n}$$

3. Hitung harga simpangan baku:

$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log x})^2}{n-1} \right]^{0,5}$$

4. Hitung koefisien kemencengan:

$$Cs = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^3}{(n-1)(n-2) s^3}$$

5. Hitung logaritma hujan atau banjir dengan periode ulang T dengan rumus:

$$\text{Log } X_T = \overline{\log x} + K \cdot s$$

Dimana K adalah variabel standar (standardized variable) untuk X yang besarnya tergantung koefisien kemencengan G . Tabel 2.5 memperlihatkan harga K untuk berbagai nilai kemencengan G . Hitung hujan atau banjir kala ulang T dengan menghitung antilog dari $\log X_T$.

Tabel 2.5 Harga G pada distribusi Log Person III untuk Cs positif

Cs	Kala Ulang											
	1,0101	1,0526	1,1111	1,25	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Percent Chance											
	99	95	90	80	50	20	10	4	2	1	0.5	0.1
0.0	-2.326	-1.645	-1.282	-0.842	0.000	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576	3.090
0.1	-2.252	-1.616	-1.270	-0.846	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.400	2.670	3.235
0.2	-2.175	-1.586	-1.258	-0.850	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763	3.380
0.3	-2.104	-1.555	-1.245	-0.853	-0.050	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856	3.525
0.4	-2.029	-1.524	-1.231	-0.855	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615	2.949	3.670
0.5	-1.955	-1.491	-1.216	-0.856	-0.083	0.808	1.323	1.910	2.311	2.686	3.041	3.815
0.6	-1.880	-1.458	-1.200	-0.857	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132	3.960
0.7	-1.806	-1.423	-1.183	-0.857	-0.116	0.790	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223	4.105
0.8	-1.733	-1.388	-1.166	-0.856	-0.132	0.780	1.336	1.993	2.453	2.891	3.312	4.250
0.9	-1.660	-1.353	-1.147	-0.854	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401	4.395
1.0	-1.588	-1.317	-1.128	-0.852	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489	4.540
1.1	-1.518	-1.280	-1.107	-0.848	-0.180	0.745	1.341	2.006	2.585	3.087	3.575	4.680
1.2	-1.449	-1.243	-1.086	-0.844	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149	3.661	4.820
1.3	-1.388	-1.206	-1.064	-0.838	-0.210	0.719	1.339	2.108	2.666	3.211	3.745	4.965
1.4	-1.318	-1.163	-1.041	-0.832	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828	5.110
1.5	-1.256	-1.131	-1.018	-0.825	-0.240	0.690	1.333	2.146	2.743	3.330	3.910	5.250
1.6	-1.197	-1.093	-0.994	-0.817	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388	3.990	5.390
1.7	-1.140	-1.056	-0.970	-0.808	-0.268	0.660	1.324	2.179	2.815	3.444	4.069	5.525
1.8	-1.087	-1.020	-0.945	-0.799	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147	5.660
1.9	-1.037	-0.984	-0.920	-0.788	-0.294	0.627	1.310	2.207	2.881	3.553	4.223	5.785
2.0	-0.990	-0.949	-0.895	-0.777	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298	5.910
2.1	-0.946	-0.914	-0.869	-0.765	-0.319	0.592	1.294	2.230	2.942	3.656	4.372	6.055
2.2	-0.905	-0.882	-0.844	-0.752	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705	4.454	6.200
2.3	-0.867	-0.850	-0.819	-0.739	-0.341	0.555	1.274	2.248	2.997	3.753	4.515	6.333
2.4	-0.832	-0.819	-0.795	-0.725	-0.351	0.537	1.262	2.256	3.023	3.800	4.584	6.467
2.5	-0.799	-0.790	-0.771	-0.711	-0.360	0.518	1.250	2.262	3.048	3.845	4.652	6.600
2.6	-0.769	-0.762	-0.747	-0.696	-0.368	0.499	1.238	2.267	3.071	3.889	4.718	6.730
2.7	-0.740	-0.736	-0.724	-0.681	-0.376	0.479	1.224	2.272	3.097	3.932	4.783	6.860
2.8	-0.714	-0.711	-0.702	-0.666	-0.384	0.460	1.210	2.275	3.114	3.973	4.847	6.990
2.9	-0.690	-0.688	-0.681	-0.651	-0.390	0.440	1.195	2.277	3.134	4.013	4.909	7.120
3.0	-0.667	-0.665	-0.660	-0.636	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051	4.970	7.250

Sumber : CD Soemarto, Hidrologi Teknik

2.6.4 Metode Distribusi Log-Normal

Distribusi Log Normal merupakan hasil transformasi dari distribusi normal, yaitu dengan mengubah variate X menjadi nilai logaritmik variate X. Distribusi Log Person Type III akan menjadi distribusi log normal apabila nilai koefisien kemencengan $C_s = 0,00$. Metode log normal apabila digambarkan pada kertas peluang logaritmik akan merupakan persamaan garis lurus, sehingga dapat dinyatakan sebagai model matematik dengan persamaan sebagai berikut: (Soewarno, 1995).

$$\log X = \overline{\log X} + K_T x \overline{S \log X} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana :

Log X = Nilai Logaritma Curah Hujan T-tahun

$\overline{\log X}$ = Nilai Logaritma Curah Hujan Maksimum Rata-rata

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

K_T = Faktor Frekuensi, nilai tergantung dari T

$\overline{Slog X}$ = Nilai standar deviasi logaritma X

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

2.7 Uji Distribusi Probabilitas

Uji distribusi probabilitas dimaksudkan untuk mengetahui apakah persamaan distribusi probabilitas yang dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Ada dua metode pengujian distribusi probabilitas, yaitu Metode Chi-Kuadrat (X^2) dan Metode Smirnov-Kolmogorof.

2.7.1 Metode Chi-Kuadrat (X^2)

$$X^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_f - E_f)^2}{E_f}$$

Keterangan rumus:

X^2 = Parameter Chi-Kuadrat terhitung.

E_f = Frekuensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya.

O_f = Frekuensi yang diamati pada kelas yang sama.

n = Jumlah sub kelompok.

Derajat nyata atau derajat kepercayaan (α) tertentu yang sering diambil adalah 5 %.

Derajat kebebasan (Dk) dihitung dengan rumus:

$$Dk = K - (p + 1)$$

$$K = 1 + 3,3 \log n$$

Keterangan rumus:

Dk = Derajat kebebasan.

P = Banyaknya parameter, untuk uji Chi-Kuadrat adalah 2.

K = Jumlah kelas distribusi.

n = Banyaknya data.

Selanjutnya distribusi probabilitas yang dipakai untuk menentukan curah hujan rencana adalah distribusi probabilitas yang mempunyai simpangan maksimum terkecil dan lebih kecil dari simpangan kritis, atau dirumuskan sebagai berikut:

$$X^2 < X^2_{cr} \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan rumus:

X^2 = Parameter Chi-Kuadrat terhitung.

X_{cr} = Parameter Chi-Kuadrat Kritis

Untuk nilai parameter Chi-Kuadrat Kritis, X^2_{cr} (uji satu sisi) dapat dilihat pada **Tabel 2.10** dibawah ini:

Tabel 2.6 Nilai Parameter Chi-Kuadrat Kritis, X^2_{cr} (uji satu sisi)

dk	α Derajat kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,0000393	0,000157	0,000982	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,070	12,832	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,690	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,180	2,733	15,507	17,535	20,090	21,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,940	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	19,675	21,920	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	21,026	23,337	26,217	28,300
13	3,565	4,107	5,009	5,892	22,362	24,736	27,688	29,819
14	4,075	4,660	5,629	6,571	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	24,996	27,488	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	26,296	28,845	32,000	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	27,587	30,191	33,409	35,718
18	6,265	7,015	8,231	9,390	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	30,144	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,260	9,591	10,851	31,41	34,170	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,260	10,196	11,689	13,091	36,172	38,076	41,683	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	36,415	39,364	42,980	45,558
25	10,520	11,524	13,120	14,611	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,160	12,198	13,844	15,379	38,885	41,923	45,642	48,290
27	11,808	12,879	14,573	16,151	40,113	43,194	46,963	49,645

Sumber : (Soewarno: Hidrologi, *Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data*, 1995)

Prosedur perhitungan dengan menggunakan Metode Uji Chi-Kuadrat adalah sebagai berikut:

1. Urutkan data dari besar ke kecil atau sebaliknya
2. Menghitung jumlah kelas.
3. Menghitung derajat kebebasan (Dk) dan X^2_{cr} .
4. Menghitung kelas distribusi.
5. Menghitung interval kelas.
6. Perhitungan nilai X^2 .
7. Bandingkan nilai X^2 terhadap X^2_{cr} .

2.7.2 Metode Smirnov-Kolmogorof (Secara Analitis)

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

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

$$P(X_i) = \frac{i}{n+1i}$$

Keterangan rumus:

n = jumlah data;

i = 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 (Gumbel, Normal, dan sebagainya).
4. Hitung selisih (ΔP_i) antara peluang empiris dan teoritis untuk setiap data yang sudah diurut:
$$\Delta P_i = P(X_i) - P'(X_i)$$
5. Tentukan apakah $\Delta P_i < \Delta P$ kritis, jika “tidak” artinya Distribusi Probabilitas yang dipilih tidak dapat diterima, demikian sebaliknya.
6. ΔP kritis dapat dilihat ditabel 2.11

Tabel 2.7 Nilai ΔP Kritis Smirnov-Kolmogorof

Jumlah data N	α Derajat Kepercayaan			
	0,2	0,1	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	0,3	0,34	0,4
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	0,2	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,2	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
N>50	$1,07/N^{0,5}$	$1,22/N^{0,5}$	$1,36/N^{0,5}$	$1,63/N^{0,5}$

Sumber: (Soewarno, 1995, dalam kamiana, I Made, *Teknik Perhitungan Rencana Bangunan*, 2011)

2.8 Analisa Bebit Banjir Rencana

Debit banjir rencana adalah debit terbesar yang mungkin terjadi pada sungai bersangkutan. Ada beberapa metode untuk memperkirakan debit banjir. Metode yang dipakai pada suatu lokasi lebih banyak ditentukan oleh ketersediaan data. Ada beberapa metode empiris yang dipakai untuk menghitung debit banjir antara lain:

- a. Metode Weduwen
- b. Metode Hasper
- c. Metode Mononobe

2.8.3 Metode Weduwen

Metode perhitungan banjir weduwen cocok untuk cathment area ≤ 100 km²

Persamaannya adalah :

$$Q = \alpha \cdot \beta \cdot q_n \cdot A$$

Dengan:

Q_{\max} = debit maksimum (m^3/dt).

α = Koefisien limpasan air hujan weduwen (*run off*).

β = Koefisien reduksi weduwen.

q_n = luasan curah hujan dengan periode ulang n tahun ($m^3/dt/km^2$).

$$q_n = \frac{Rn}{240} \times \frac{67,65}{t+1,45}$$

A = luas daerah aliran sampai dengan 100 km^2 .

Menurut Weduwen, nilai koefisien pengaliran (α) adalah:

$$\alpha = 1 - \frac{4.1}{\beta q_n + 7}$$

Menurut Weduwen, besar koefisien reduksi (β) dapat ditunjukkan dengan rumus:

$$\beta = \frac{120 + \frac{t+1}{t+9} A}{120 + A}$$

Lamanya hujan (t dalam satuan jam) ditentukan dengan rumus:

$$t = 0,125 \times L \times q_n^{-0,125} \times S^{-0,25}$$

S = kemiringan sungai

L = panjang sungai (m)

Langkah-langkah perhitungan debit banjir rencana periode ulang dengan Metode Weduwen adalah:

1. Coba harga t.
2. Hitung harga β berdasarkan persamaan (2.35).
3. Hitung q_n .
4. Hitung harga α berdasarkan persamaan (2.34).
5. Hitung harga t berdasarkan persamaan (2.36).
6. Cek harga t hitung, apakah sudah sama dengan t coba, jika tidak sama makan ulangi dari langkah 1.

7. Tentukan nilai α , β , dan I pada saat nilai t sudah tetap (sama dengan t perhitungan sebelumnya).
8. Hitung Q berdasarkan nilai α , β , dan I pada saat t pada langkah 7.

2.8.1 Metode Hasper

Pada perhitungan debit banjir rencana metode hasper, tinggi hujan yang diperhitungkan adalah tinggi hujan pada titik pengamatan. Metode ini digunakan untuk luas DAS $> 50 \text{ km}^2$, dengan persamaan dasarnya adalah:

$$Q = \alpha \cdot \beta \cdot I \cdot A$$

Dimana:

Q = debit banjir rencana untuk periode ulang T -tahun (m^3/dtk)

α = Koefisien aliran

β = Koefisien reduksi

I = Hujan maksimum per satuan luas/intensitas hujan ($\text{m}^3/\text{dtk}/\text{km}^2$)

A = Luas daerah pengaliran (km^2)

Besarnya koefisien aliran (α) ditentukan dengan rumus:

$$\alpha = \frac{1+0.012 \times A^{0.7}}{1+0.075 \times A^{0.7}}$$

Nilai koefisien reduksi (β) ditentukan dengan rumus:

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{(t + 3.7 \times 10^{-0.14t})}{t^2 + 15} \times \frac{A^{3/4}}{12}$$

Waktu hujan maksimum (t_c) ditentukan dengan rumus:

$$t_c = 0.1 \times L^{0.8} \times S^{-0.3}$$

Keterangan rumus:

L = panjang sungai utama (km)

S = kemiringan dasar sungai rata-rata

Besarnya curah hujan (r dalam satuan mm) untuk lama hujan tertentu ($t = t_c$ dalam satuan jam) dan hujan harian maksimum (R_{24} dalam satuan mm) dirumuskan sebagai berikut:

1. Untuk $t < 2$ jam

$$r = \frac{t \cdot R_{24}}{t+1 - [0.0008(260 - R_{24})(2-t)^2]}$$

2. Untuk 2 jam $< t < 19$ jam

$$r = \frac{t \cdot R_{24}}{t+1} \text{ Untuk } 19 \text{ jam} < t < 30 \text{ hari}$$

$$r = 0.707 \times R_{24} \times (t + 1)^{0.5}$$

Besarnya intensitas hujan (I dalam satuan $m^3/dt/km^2$) ditentukan berdasarkan hubungan antara r (mm) dan t (jam) dengan rumus:

$$I = \frac{r}{3.6 \times t}$$

Langkah-langkah perhitungan debit maksimum (Q_{max}) dengan Metode Haspers adalah:

1. Hitunglah nilai α berdasarkan persamaan
2. Hitung nilai t_c berdasarkan persamaan
3. Hitung nilai β berdasarkan persamaan
4. Hitung nilai r berdasarkan persamaan
5. Hitung nilai I berdasarkan persamaan
6. Hitung nilai Q_{max} berdasarkan persamaan

2.8.2 Metode Mononobe

Metode mononobe dapat digunakan untuk menghitung debit puncak sungai atau saluran. Rumus umum metode mononobe sebagai berikut :

$$Q_n = \frac{\alpha \times I_n \times A}{3.6} \dots \dots \dots (2.36)$$

Keterangan :

Q_n = Debit banjir rencana dengan periode ulang tertentu (m^3/det)

α = Koefisien pengaliran = 0.70

I_n = Intensitas hujan periode ulang tertentu (mm/Jam)

$$I_n = \frac{R_n}{24} \times \left(\frac{24}{t_c}\right)^{\frac{2}{3}} \dots \dots \dots (2.37)$$

R_n = Curah hujan maksimum periode ulang tertentu (mm)

A = Luas daerah pengaliran (km²)

tc = Waktu konsentrasi (jam)

$$tc = \frac{L}{V} \dots\dots\dots(2.38)$$

V = Kecepatan aliran disungai (km/jam)

V = 72 x (S)^{0.6}

2.9 Perencanaan Dimensi Sungai

Merencanakan dimensi penampang saluran pada sungai dipengaruhi oleh besarnya debit yang dialirkan, kemiringan dasar saluran dan kekasaran saluran dan lain-lain. Semua ini dilakukan supaya diperoleh saluran sungai yang efektif dan efisien.

2.9.1 Analisa Hidraulika

Dalam perencanaan saluran sungai kita harus memperhatikan faktor-faktor kapasitas pengaliran, kapasitas saluran, kecepatan aliran, bahan konstruksi saluran, kemiringan dasar saluran untuk penampang. Aliran seragam (uniform flow) dianggap memiliki ciri-ciri sebagai berikut :

1. Kedalaman, luas basah, kecepatan dan debit setiap penampang pada saluran yang lurus dan konstan.
2. Garis energy, muka air dasar dan dasar saluran sejajar, besar kemiringan sama.

Jenis saluran yang digunakan adalah saluran yang digunakan ialah saluran terbuka berdasarkan aliran seragam.

2.9.2 Kemiringan sungai

Untuk kemiringan memanjang dasar saluran diatur dengan keadaan tinggi topografi dan tinggi energi yang dibutuhkan untuk mengalirkan air. Dalam berbagai hal, kemiringan ini dapat bergantung pada kegunaan saluran. Dimana faktor-faktor yang perlu untuk mempertimbangkan dalam penentuan kemiringan ialah cara kehilangan akibat rembesan, pembangunan, perubahan iklim dan ukuran saluran tersebut.

2.9.3 kapasitas saluran

Perhitungan kecepatan rata-rata dengan menggunakan rumus manning adalah sebagai berikut;

1. Penampang Saluran Trapesium

$$Q = A \cdot V$$

$$A = (b + m \cdot h) h$$

$$P = b + 2h\sqrt{1 + m^2}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

Dimana:

$$Q = \text{Debit (m}^3/\text{dt)}$$

$$V = \text{Kecepatan aliran rata-rata (m/dt)}$$

$$Ks = \text{Koefisien Strikler}$$

$$P = \text{Keliling basah (m)}$$

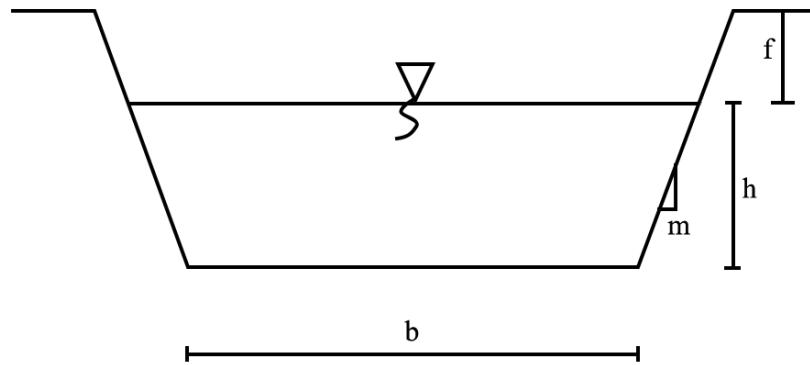
$$m = \text{Kemiringan Talud (1 Vertikal : Horizontal)}$$

$$A = \text{Luas keliling basah (m}^2\text{)}$$

$$R = \text{Jari-jari hidrolis (m)}$$

$$I = \text{Kemiringan saluran}$$

Bentuk profil penampang yang akan direncanakan:



Gambar 2 3 Gambar Penampang Trapesium

2.9.4 Koefisien Kekasaran Strickler

Koefisien kekasaran bergantung kepada faktor-faktor berikut :

- a. Kekasaran permukaan saluran
- b. Ketidakteraturan permukaan saluran
- c. Trase
- d. Vegetasi (tetumbuhan), dan
- e. Sedimen

Bentuk dan besar/kecilnya partikel di permukaan saluran merupakan ukuran kekasaran. Akan tetapi, untuk saluran tanah ini hanya merupakan bagian kecil saja dari kekasaran total.

Pada saluran irigasi, ketidakteraturan permukaan yang menyebabkan perubahan dalam keliling basah dan potongan melintang mempunyai pengaruh yang lebih penting pada koefisien kekasaran saluran daripada kekasaran permukaan.

Perubahan-perubahan mendadak pada permukaan saluran akan memperbesar koefisien kekasaran. Perubahan-perubahan ini dapat disebabkan oleh penyelesaian konstruksi saluran yang jelek atau karena erosi pada talud saluran. Terjadinya riak-riak di dasar saluran akibat interaksi aliran di perbatasannya juga berpengaruh terhadap kekasaran saluran.

Pengaruh vegetasi terhadap resistensi sudah jelas, panjang dan kerapatan vegetasi adalah faktor-faktor yang menentukan. Akan tetapi tinggi air dan kecepatan aliran sangat membatasi pertumbuhan vegetasi. Vegetasi diandaikan minimal untuk harga-harga k yang dipilih dan dipakai dalam perencanaan saluran.

Pengaruh trase saluran terhadap koefisien kekasaran dapat diabaikan, karena dalam perencanaan saluran ranpa pasangan akan dipakai tikungan jari-jari besar.

Pengaruh factor-faktor diatas terhadap koefisien kekasaran saluran akan bervariasi menurut ukuran saluran. Ketidakteraturan pada permukaan akan menyebabkan perubahan kecil di daerah potongan melintang di saluran yang besar ketimbang di saluran kecil.

2.9.5 Jagaan(*Freeboard*)

Tinggi jagaan merupakan tambahan tinggi pada tanggul untuk menampung loncatan air dari permukaan air sungai yang sedang mengalir, yang diakibatkan oleh adanya ombak gelombang dan loncatan hidrolis pada saat banjir. Tinggi jagaan berkisar antara 0,6 – 2,0 m.

Tabel 2.8 Tinggi Jagaan Standar Tanggul

No	Debit Banjir Rencana (m ³ /dtk)	Jagaan
1	200 - < 500	0,80
2	500 - < 2.000	1,00
3	2000 - < 5.000	1,20
4	5.000 - ≤ 10.000	1,50
5	> 10.000	2,00

Sumber: Irigasi dan Bangunan Air, Gunadarma, 1997.

2.10 Perencanaan Perkuatan Tebing Sungai dengan Batu Kali

Perekuatan tebing (*revertment*) adalah bangunan yang diletakkan pada permukaan suatu lereng yang berguna untuk melindungi tebing alur sungai atau permukaan lereng tanggul dan secara keseluruhan berperan meningkatkan stabilitas alur sungai atau tubuh tanggul yang dilindunginya. Selain itu diadakan pengaman-pengaman terhadap kemungkinan kerusakan terhadap bangunan ini, karena disaat terjadinya banjir bangunan tersebut akan tenggelam sepenuhnya.

Pembuatan design dinding penahan tanah biasanya membutuhkan data antara lain:

1. Potensi sarana dan prasarana yang sudah ada dan potensi sumber daya alamnya.
2. Tanah letak rencana/bentuk lokasi.
3. Data kondisi lokasi, lingkungan dan peruntukan konstruksi
 - a. Sungai → sebagai saluran irigasi
 - b. Jalan → sebagai pengaman tepi jalan
 - c. Perlindungan tebing → keamanan sarana dan prasarana (jalan, pemukiman, dll) yang ada di atas atau di bawahnya, pencegah gerusan.
 - d. Tanggul → pencegah banjir, luapan banjir.

Perkuatan tebing menggunakan batu kali merupakan tembok penahanan tanah yang berfungsi sebagai melindungi tebing khususnya tebing sungai agar tidak terjadinya gerusan di area sekitar tebing sungai. Pembuatan tebing khususnya batu kali memanfaatkan gravitasi bumi serta mengandalkan berat dari konstruksi itu sendiri.

2.10.1 Perhitungan Stabilitas Tebing

Perhitungan stabilitas bertujuan untuk memeriksa stabilitas perkuatan tebing terhadap geser, guling dan daya dukung tanah yang ditimbulkan oleh beban konstruksi.

Gaya-gaya yang bekerja antara lain:

a. Akibat Berat Sendiri

Akibat berat sendiri perkuatan tebing merupakan yang diakibatkan oleh bangunan itu sendiri. Berat sendiri perkuatan tebing tergantung kepada bahan yang digunakan untuk membuat bangunan perkuatan tebing tersebut. Dalam tinjauan ini bahan yang digunakan adalah beton bertulang dengan berat jenis $\gamma = 2,4 \text{ t/m}^3$ dan pasangan batu kali dengan berat jenis $\gamma = 2,2 \text{ t/m}^3$.

b. Akibat gaya gempa

Gaya yang diakibatkan oleh gempa harus diperhitungkan kedalam kekuatan bangunan. Gaya gempa ini bekerja secara horizontal dengan garis kerja melewati titik

bangunan. Pada peta zona gempa Indonesia dapat dilihat pembagian wilayah gempa yang berbeda.

Koefisien gempa dapat digunakan menggunakan rumus :

$$Ad = n (ac \times Z)^m$$

$$E = ad / g$$

Dimana :

Ad : Percepatan gempa rencana (m/s^2)

n,m : Koefisien untuk jenis tanah

ac : Percepatan dasar gempa (m/s^2)

E : Koefisien gempa

Z : Faktor yang tergantung dari letak geografis

G : Gravitasi ($9,81 m/dt^2$)

c. Akibat Tekanan Tanah

Gaya-gaya yang timbul akibat tekanan tanah dapat dihitung menggunakan rumus:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \gamma' \cdot L^2 \cdot K_a$$

Dimana:

P = Gaya akibat tekanan tanah (t)

γ' = Berat jenis tanah efektif (t/m^3)

K_a = Tekanan tanah aktif

γ' = $\gamma_s - \gamma_w$

Dimana:

γ' = Berat jenis efektif tanah (t/m^3)

γ_s = Berat jenis tanah (t/m^3)

γ_w = Berat jenis air (t/m^3)

Tekanan Tanah Aktif:

$$\begin{aligned}K_a &= \tan^2 \left(45 - \frac{\emptyset}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45 - \frac{18}{2} \right) \\ &= 0,65\end{aligned}$$

Tekanan Tanah Pasif:

$$\begin{aligned}K_p &= \tan^2 \left(45 + \frac{\emptyset}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45 + \frac{18}{2} \right)\end{aligned}$$

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Kondisi Umum Kawasan

Secara geografis wilayah kecamatan koto tengah terletak pada 0-58 LS dan 100°21'11"BT. Letak kec. Koto tengah berbatasan dengan daerah administrasi pemerintahan lain, yaitu:

Utara : Kec. Batang Anai (Kab.Padang Pariaman)

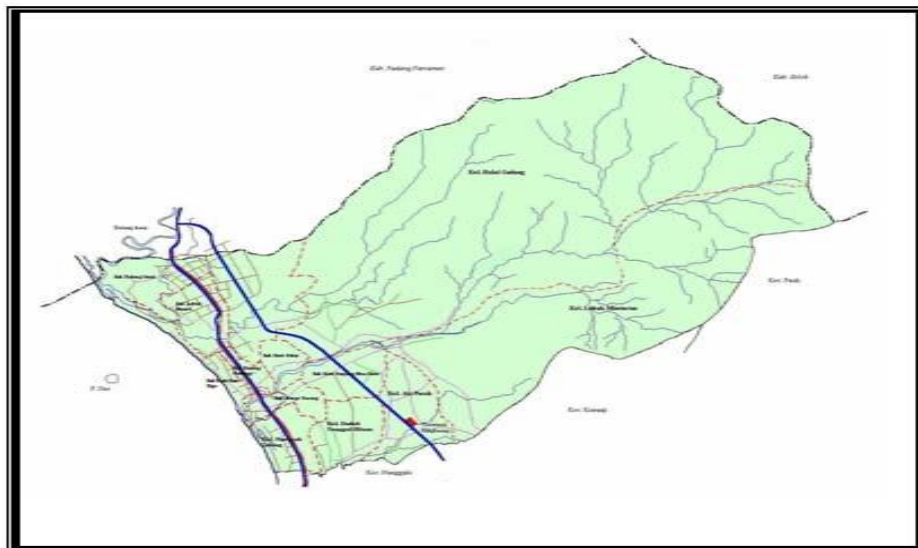
Selatan : Kec. Nanggalo

Barat : Samudra Indonesia

Timur : Kec. Kuranji dan Kab. Solok

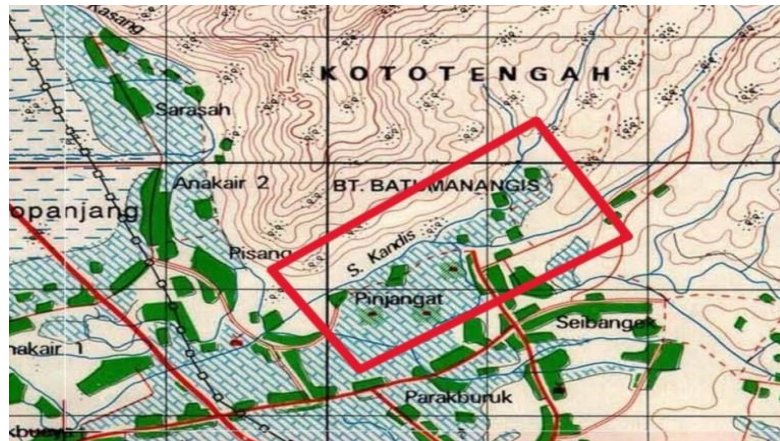
Topografi daerah kecamatan koto tengah merupakan dataran rendah dengan ketinggian 2-25 meter dibawah permukaan laut dan 75% merupakan daerah relative datar. Kecamatan koto tengah ini memiliki luas wilayah: 232.55 KM² dan memiliki tiga sungai besar yaitu batang lagan, batang kandis dan sungai Bangek, 3 buah sungai yang mengalir ini juga telah dimanfaatkan oleh masyarakat untuk pengairan dan juga irigasi.

PETA KECAMATAN KOTO TANGAH



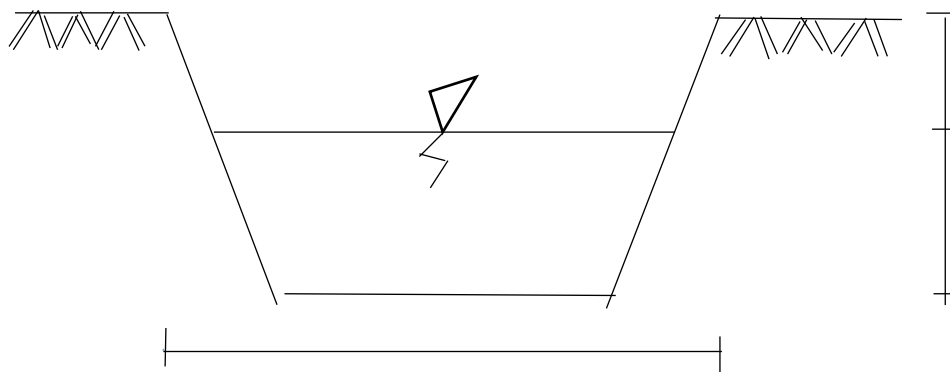
Gambar 3.1 Peta Kecamatan Koto Tengah

(Sumber: Google)



Gambar 3.2 Lokasi penelitian

3.2 Analisa Sungai Bangek



Gambar 3.3 Analisa Penampang Sungai Bangek

Sumber: Pengukuran di Lapangan

Dari hasil pengamatan dilapangan dengan lebar sungai (b) = 22,3 m, tinggi muka air (h) = 2,6 m, tinggi jagaan sungai (w) = 0,5 m. Sungai tidak dapat menampung debit banjir yang direncanakan. Dengan kondisi sungai seperti di atas sering terjadi banjir di daerah sungai Bangek, dan kerugian yang dialami warga dikawasan tersebut.

Agar sungai Bangek dapat menampung debit banjir, maka untuk itu ada 2 solusi agar sungai dapat menampung debit banjir, yaitu:

- Menambah lebar badan Sungai
- Mempertinggi Jagaan Sungai



Gambar 3.3 Lokasi Penelitian

(sumber: Google Earth)

Pada tugas akhir ini penulis mengkaji normalisasi sungai Bangek kota Padang, normalisasi ini direncanakan sepanjang 2 km dari pusat penelitian.

1. Pengukuran Tinggi air sungai
2. Pengukuran lebar sungai
3. Pengukuran Kecepatan Sungai

3.3 Pengumpulan Data

a. Data primer

Data primer adalah data yang diperoleh dari sumber pertama dari individu atau perorangan seperti hasil dari wawancara atau hasil pengisian kuesioner yang biasa dilakukan peneliti.

b. Data sekunder

adalah sumber data yang mengacu pada informasi yang dikumpulkan dari sumber yang sudah ada. Sumber data seperti catatan, arsip atau dokumentasi perusahaan, publikasi pemerintah, analisis industri oleh media, internet dan sebagainya.

Data yang diperoleh berupa

- 1) Data curah hujan dari Dinas Pengendalian Sumber Daya Air (PSDA) Sumatera Barat
- 2) Peta Topografi

3) Data Tanah

3.2 Alat dan Bahan

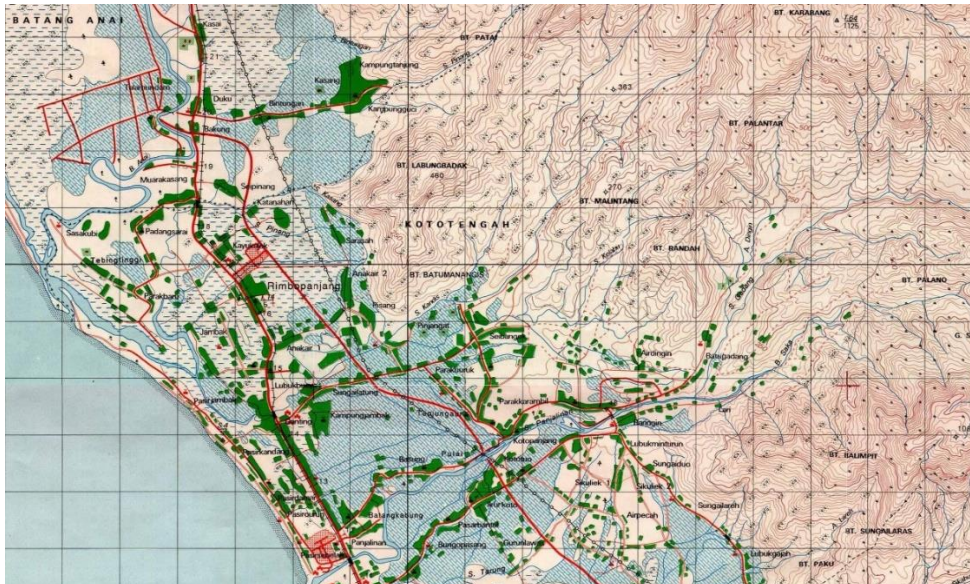
Alat yang digunakan pada penulisan tugas akhir ini adalah:

- Perangkat Keras (*Hardware*): satu unit komputer, printer, alat tulis.
- Perangkat Lunak (*Software*): *Microsoft Word*, *Microsoft Excel*, dan *Software ArcGIS*.

Bahan yang digunakan pada penulisan tugas akhir ini adalah:

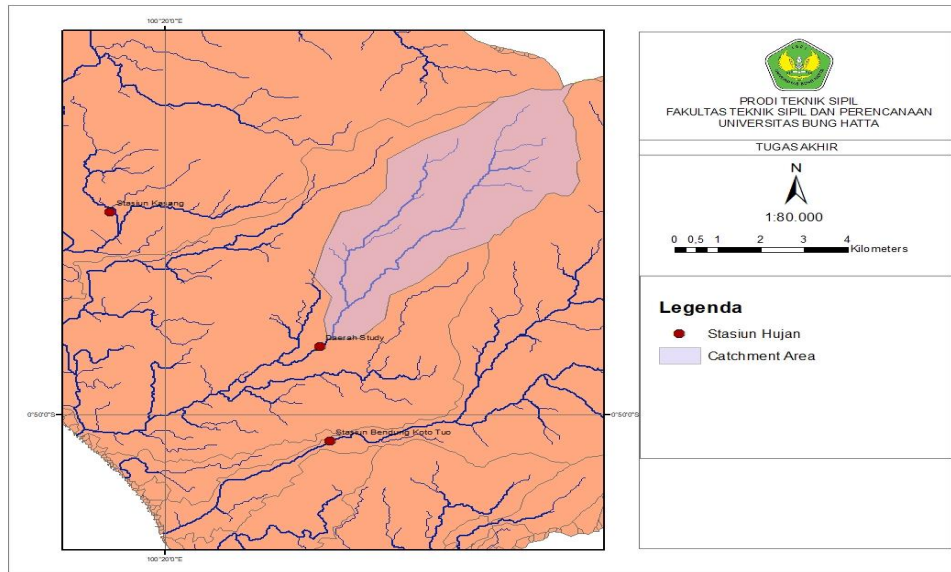
- Lokasi Penelitian diperoleh dari media masa dan media online yang memberitakan terjadinya banjir di Kecamatan koto tengah
- Peta Topografi
- Data curah hujan stasiun Bendung Koto Tuo dan Kasang tahun 2012 sampai tahun 2021.
- Peta Catchment Area Sungai Bangek

3.5 Data Hidrologi

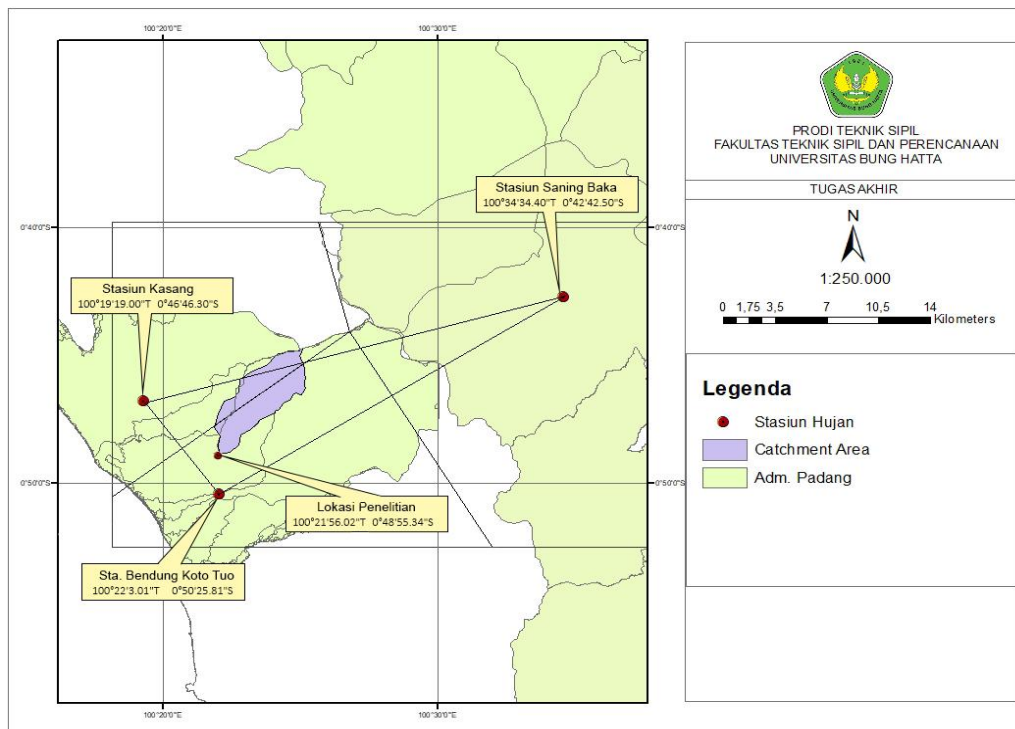


Gambar 3.4 Peta Topografi

Sumber: Dinas PSDA Sumatra barat



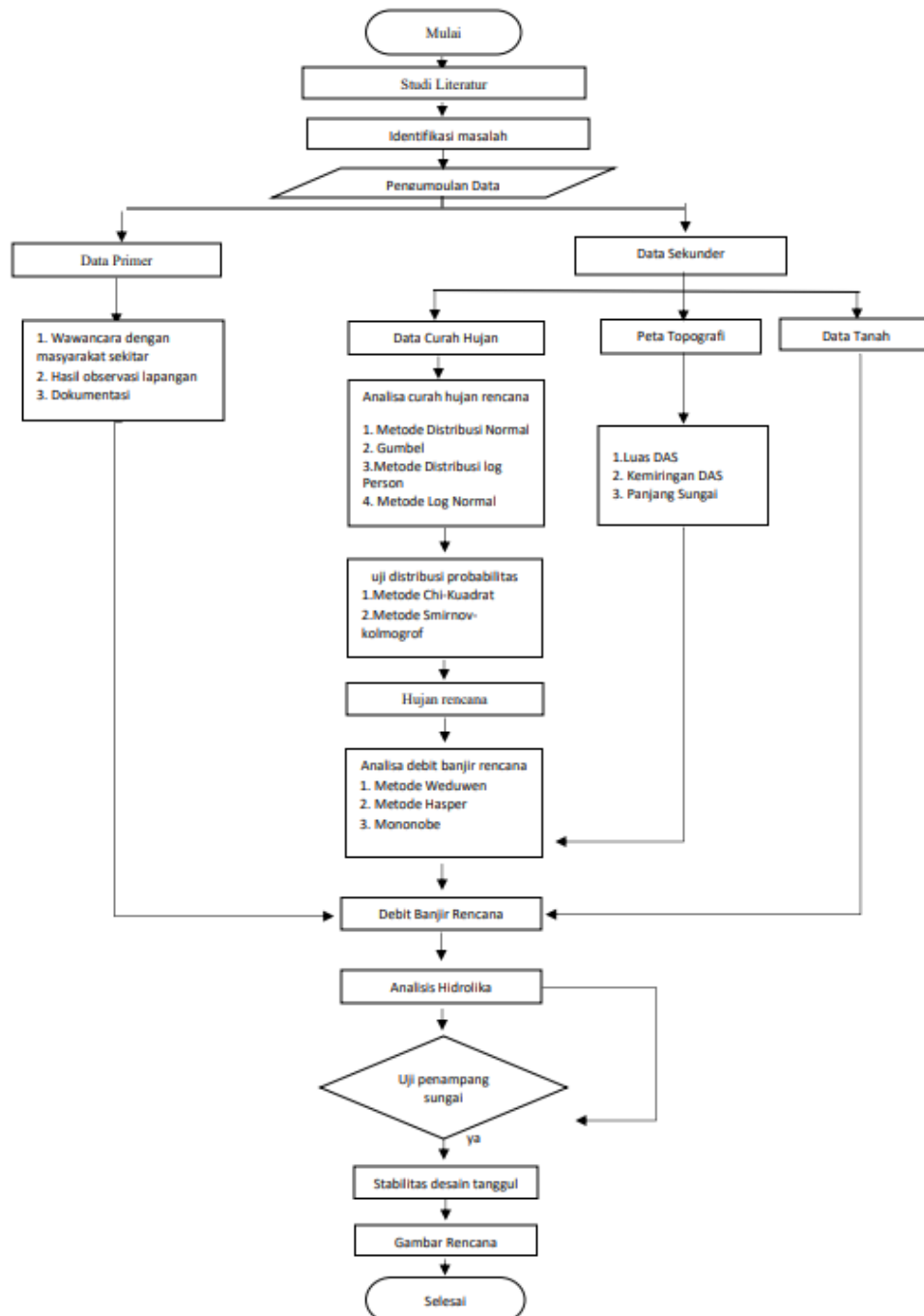
Gambar 3.5 Peta Cathment Area sungai bangek
(sumber : ArcGis)



Gambar 3.6 Peta Stasiun Hujan Terhadap DAS
(Sumber : ArcGis)

3.3 Metode Penelitian

FlowChart metodologi penelitian laporan Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.7 Metode Penelitian

BAB IV
ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa curah hujan rata-rata

4.1.1 Analisa curah hujan dengan metode Thiessen

Data hujan diperoleh dari beberapa titik stasiun curah hujan pada daerah sungai bangek, dan data hujan yang di ambil adalah 10 tahun yaitu Mulai dari tahun 2012 sampai tahun 2021. Adapun metode yang digunakan dalam perhitungan curah hujan rata-rata daerah dari data curah hujan di beberapa stasiun pengamatan yaitu metode Thiessen sebagai berikut :

Tabel 4.1 Curah Hujan Maksimum Rata-Rata

NO	Kejadian			Hujan Harian Maksimum		Hujan Harian Rata-Rata	Hujan Maksimum Harian Rata-Rata
	Tahun	Bulan	Tanggal	STA. Bebdung Koto Tuo	STA. Kasang		
				0,56	0,44		
1	2012	2	29	152	95	126,9	126,9
		5	10	45,6	157	94,6	
2	2013	12	3	174	0	97,4	97,4
		11	12	0	193	84,9	
3	2014	1	3	153	0	85,7	99,4
		9	20	25	194	99,4	
4	2015	8	2	145	0	81,2	233,2
		6	16	0	530	233,2	
5	2016	6	16	218	0	122,1	129,4
		3	22	0	294	129,4	
6	2017	10	7	140	32	92,5	143,5
		8	21	129	162	143,5	
7	2018	6	23	151	0	84,6	84,6
		5	20	0	150	66	
8	2019	6	13	111	0	62,2	62,2
		10	19	0	123	54,1	
9	2020	1	9	143	100	124,1	124,1
		7	22	0	140	61,6	
10	2021	8	19	174	111	146,3	174,1
		9	29	116	248	174,1	

(Sumber: Pengolahan Data)

4.1.2 Analisa Distribusi Frekuensi

Untuk mendapatkan besarnya debit banjir rencana berdasarkan data hujan, perlu dilakukan terlebih dahulu analisis. Analisis yang digunakan untuk analisis statistik distribusi curah hujan harian maksimum. Untuk memperoleh distribusi frekuensi, metode yang umum dipakai untuk menentukan curah hujan rencana adalah distribusi normal, log normal, gumbel dan log person III.

Penentuan tipe distribusi terbaik yang akan digunakan dilakukan dengan memperhatikan besaran statistic data hujan dan sebagai pembanding semua tipe distribusi diuji kecocokan dengan metode chi-kuadrat dan Smirnov kolmogrov

4.1.2.1 Distribusi Normal

Perhitungan curah hujan rencana metoda distribusi normal, dapat dilihat pada tabel 4.3 dibawah ini

Tabel 4.2 Perhitungan Curah Hujan Rencana Metode Distribusi Normal

NO	Tahun	Xi	X Rata-Rata	(Xi - X Rata-Rata)	(Xi - X Rata-Rata) ²
1	2012	126.9	127.47	-0.548	0.300
2	2013	97.4	127.47	-30.028	901.681
3	2014	99.4	127.47	-28.108	790.060
4	2015	233.2	127.47	105.732	11179.256
5	2016	129.4	127.47	1.892	3.580
6	2017	143.5	127.47	16.052	257.667
7	2018	84.6	127.47	-42.908	1841.096
8	2019	62.2	127.47	-65.308	4265.135
9	2020	124.1	127.47	-3.388	11.479
10	2021	174.1	127.47	46.612	2172.679
Jumlah		1274.7			21422.931
Rata-Rata		127.47			
SD				48.78	

(Sumber: Pengolahan Data)

Curah hujan rata-rata:

$$X = \frac{\sum Xi}{n} = \frac{12747}{10} = 127,47 \text{ mm}$$

Standar deviasi:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{21422,931}{10-1}} = 48,78$$

Curah hujan rencana yang dihitung adalah curah hujan rencana periode ulang 2,5, dan 10 tahun.

Untuk nilai $k_T =$

$$K_2 = 0,000$$

$$K_5 = 0,840$$

$$K_{10} = 1,280$$

Maka :

$$R_2 = \bar{X} + K_T S$$

$$= 127,47 + (0 \times 48,47)$$

$$= 127,47 \text{ mm}$$

Perhitungan selanjutnya ditabelkan kedalam tabel 4.4 dibawah ini :

Tabel 4.3 Rekapitulasi Perhitungan Curah Hujan Rencana Metode Distribusi Normal

N	X Rata-Rata	SD	KT	Xt
2	127,47	48,78	0	127,470
5	127,47	48,78	0,84	168,445
10	127,47	48,78	1,28	189,908
25	127,47	48,78	1,708	210,786
50	127,47	48,78	2,05	227,469

(Sumber: Pengolahan Data)

4.1.2.2 Distribusi Gumbel

Perhitungan curah hujan rencana metode gumbel, dapat dilihat pada tabel 4.5 dibawah ini

Tabel 4.4 Perhitungan Curah Hujan Menggunakan Metode Gumbel

NO	Tahun	Xi	X Rata-Rata	(Xi - X Rata-Rata)	(Xi - X Rata-Rata) ²
1	2012	126.9	127.47	-0.548	0.300
2	2013	97.4	127.47	-30.028	901.681
3	2014	99.4	127.47	-28.108	790.060
4	2015	233.2	127.47	105.732	11179.256
5	2016	129.4	127.47	1.892	3.580
6	2017	143.5	127.47	16.052	257.667
7	2018	84.6	127.47	-42.908	1841.096
8	2019	62.2	127.47	-65.308	4265.135
9	2020	124.1	127.47	-3.388	11.479
10	2021	174.1	127.47	46.612	2172.679
Jumlah		1274.7			21422.931
Rata-Rata		127.47			
SD				48.78	

(Sumber: Pengolahan Data)

Curah hujan rata- rata

$$\bar{X} = \bar{X} = \frac{\sum Xi}{n} = \frac{12747}{10} = 127,47 \text{ mm}$$

Standar deviasi

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Xi - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{21422,931}{10-1}} = 48,78$$

Berdasarkan tabel reduced pndard deviation (sn), tabel reduced mean (yn) dan tabel return periode (Yt)

Untuk n = 10 tahun ; Yn = 0,4952 ; Sn = 0,9496

Untuk t = 2 tahun ; Yt = 0,3668

t = 5 tahun ; Yt = 1,5004

t = 10 tahun ; Yt = 2,251

t = 25 tahun ; Yt = 3,1993

$$t = 50 \text{ tahun ; } Y_t = 3,9028$$

Hitung Nilai K untuk Periode ulang n (tahun):

$$\begin{aligned} K_2 &= \frac{Y_{T_2} - Y_n}{S_n} \\ &= \frac{0,3668 - 0,4952}{0,9496} \\ &= -0,135 \end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya ditabelkan kedalam Tabel 4.6 dibawah ini:

Tabel 4.5 Perhitungan curah hujan rencana Metode Gumbel

N	X Rata-Rata	Yn	Sn	Yt	K	SD	Xt
2	127,47	0,4952	0,9496	0,3668	-0,1352	48,78	120,874
5	127,47	0,4952	0,9496	1,5004	1,0586	48,78	179,106
10	127,47	0,4952	0,9496	2,251	1,8490	48,78	217,664
25	127,47	0,4952	0,9496	3,1993	2,8476	48,78	266,377
50	127,47	0,4952	0,9496	3,9028	3,5885	48,78	302,515

(Sumber: Pengolahan Data)

4.1.2.3 Distribusi Log Normal

Perhitungan hujan rencana berdasarkan probabilitas log normal, jika data yang digunakan adalah berupa sampel, dilakukan dengan rumus- rumus sebagai berikut:

$$\log X = \overline{\log X} + K_T x S \overline{\log X}$$

Dimana :

Log X = Nilai Logaritma Curah Hujan T-tahun

$\overline{\log X}$ = Nilai Logaritma Curah Hujan Maksimum Rata-Rata

$$\overline{\log X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n}$$

K_T = Faktor Frekuensi, nilai tergantung dari T

$S \overline{\log X}$ = Nilai standar deviasi logaritma X

$$S_{\log \bar{X}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^2}{n-1}}$$

Perhitungan curah hujan metode distribusi log normal, dapat dilihat pada tabel 4.7 :

Tabel 4.6 Curah hujan rencana menggunakan distribusi log normal

NO	Tahun	Xi	Log Xi	Log \bar{X}	Log Xi - Log \bar{X}	(Log Xi - Log \bar{X}) ²
1	2012	126.9	2.103	2.078	0.025	0.001
2	2013	97.4	1.989	2.078	-0.089	0.008
3	2014	99.4	1.997	2.078	-0.081	0.006
4	2015	233.2	2.368	2.078	0.290	0.084
5	2016	129.4	2.112	2.078	0.034	0.001
6	2017	143.5	2.157	2.078	0.079	0.006
7	2018	84.6	1.927	2.078	-0.151	0.023
8	2019	62.2	1.794	2.078	-0.284	0.081
9	2020	124.1	2.094	2.078	0.016	0.000
10	2021	174.1	2.241	2.078	0.163	0.027
Jumlah		1274.8	20.782			0.237
Rata-Rata		127.48	2.078			
Sd Log X		0.162				

(Sumber: Pengolahan Data)

Tabel 4.7 curah hujan rencana menggunakan distribusi log normal

N	X Rata-Rata	Log \bar{x}	KT	Sd Log X	Log XT	XT
2	127,48	2,078	0	0,162	2,078	119,674
5	127,48	2,078	0,84	0,162	2,214	163,712
10	127,48	2,078	1,28	0,162	2,285	192,912
25	127,48	2,078	1,708	0,162	2,355	226,306
50	127,48	2,078	2,05	0,162	2,410	257,099

(Sumber: Pengolahan Data)

4.1.2.4 Distribusi Log-Person III

Perhitungan curah hujan rencana metoda distribusi Log-Person III, yaitu dapat dilihat pada Tabel 4.9 dibawah ini:

Tabel 4.8 Curah hujan rencana menggunakan Metode Log-Person III

NO	Tahun	Xi	Log Xi	Log \bar{X}	Log Xi - Log \bar{X}	(Log Xi - Log \bar{X}) ²	(Log Xi - Log \bar{X}) ³
1	2012	126.9	2.103	2.078	0.025	0.001	0.000
2	2013	97.4	1.989	2.078	-0.089	0.008	-0.001
3	2014	99.4	1.997	2.078	-0.081	0.006	-0.001
4	2015	233.2	2.368	2.078	0.290	0.084	0.024
5	2016	129.4	2.112	2.078	0.034	0.001	0.000
6	2017	143.5	2.157	2.078	0.079	0.006	0.000
7	2018	84.6	1.927	2.078	-0.151	0.023	-0.003
8	2019	62.2	1.794	2.078	-0.284	0.081	-0.023
9	2020	124.1	2.094	2.078	0.016	0.000	0.000
10	2021	174.1	2.241	2.078	0.163	0.027	0.004
Jumlah		1274.8	20.782			0.237	0.002
Rata-Rata		127.48	2.078				
Sd Log X			0.162				
Cs			0.1				

(Sumber: Pengolahan Data)

Jumlah data (n) = 10 Sampel

Log X rata-rata:

$$\overline{\text{Log X}} = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n} = \frac{20,782}{10} = 2.078$$

$$S = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^2}{n-1} \right]^{0.5} = \left(\frac{0,237}{10-1} \right)^{0,5} = 0,16$$

Koefisien Kemencengan:

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^3}{(n-1)(n-2)s^3} = \frac{10 \times (0,002)}{(10-1) \times (10-2) \times (0,16)^3}$$

Cs = 0,678 dibulatkan menjadi Cs= 0,1

Nilai Cs = 0,1 yang diperoleh digunakan untuk menentukan nilai K dengan menggunakan Tabel 2.6.

Dari Tabel 2.6, maka didapat nilai:

$$K_2 = -0,017$$

$$K_5 = 0,836$$

$$K_{10} = 1,292$$

$$K_{25} = 1,785$$

$$K_{50} = 2,107$$

Curah hujan rencana yang dihitung berdasarkan periode ulang hujan rencana 2, 5, 10,25 dan 50 tahun:

$$\begin{aligned} \text{Log } X_2 &= \overline{\log X} + K_2.S \\ &= 2,078 + (-0,017 \times 0,16) \\ &= 2,075 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_{2 \text{ tahun}} &= 10^{2,075} \\ &= 118,918 \text{ mm} \end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya ditabelkan pada Tabel:

Tabel 4.9 Curah hujan rencana menggunakan metode Log-Person III

N	Log	Cs	KT	S Log X	Log XT	XT
2	2,078	0,1	-0,017	0,162	2,075	118,918
5	2,078	0,1	0,836	0,162	2,213	163,468
10	2,078	0,1	1,292	0,162	2,287	193,778
25	2,078	0,1	1,785	0,162	2,367	232,900
50	2,078	0,1	2,107	0,162	2,419	262,624

(Sumber: Pengolahan Data)

Untuk mendapatkan curah hujan dengan metode Log-Person III juga dilakukan dengan menentukan nilai log rata-rata dari curah hujan maksimum yang kemudian dijumlahkan dengan faktor frekuensi yang dikalikan dengan standar deviasi.

Tabel 4.10 Resume hasil curah hujan rencana

N	METODE			
	Distribusi Normal (mm)	Distribusi Gumbel (mm)	Distribusi Log-Normal (mm)	Distribusi Log-Person III (mm)
2	127,470	120,874	119,674	118,918
5	168,445	179,106	163,712	163,468
10	189,908	217,664	192,912	193,778
25	210,789	266,377	226,306	232,9
50	227,469	302,515	257,099	262,624

(Sumber: Pengolahan Data)

4.2 Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi

Uji distribusi probabilitas yang dimaksudkan untuk mengetahui apakah persamaan distribusi probabilitas yang dipilih dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis.

4.2.1 Uji Chi-Kuadrat

Rumus yang digunakan dalam perhitungan dengan metode uji chi kuadrat adalah sebagai berikut:

$$X^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(of - Ef)^2}{Ef}$$

Dimana :

X^2 = Parameter Chi – Kuadrat Terhitung

Ef = Frekuensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya

Of = Frekuensi yang diamati pada kelas yang sama

n = Jumlah sub kelompok

Derajat nyata atau derajat kepercayaan (α) tertentu yang sering diambil adalah 5 %. Derajat kebebasan (Dk) dihitung dengan rumus :

$$Dk = k - (p+1)$$

$$K = 1 + 3,3 \log n$$

Dimana :

Dk = Derajat Kebebasan

p = Banyaknya parameter, untuk Chi Kuadrat adalah 2

k = jumlah kelas distribusi

n = Banyaknya data

Selanjutnya distribusi probabilitas yang dipakai untuk menentukan curah hujan rencana adalah distribusi probabilitas yang mempunyai simpangan maksimum terkecil dan lebih kecil dari simpangan kritis.

$$X^2 < X^2_{cr}$$

Dimana :

X^2 = parameter Chi Kuadrat terhitung

X^2_{cr} = parameter Chi Kuadrat kritis

Prosedur perhitungan adalah sebagai berikut:

1. Menghitung parameter statistik X rata-rata dan Standar Deviasi (data curah hujan diurut dari besar ke kecil). Dapat dilihat pada Tabel 4.12 dibawah ini:

Tabel 4.11 Data curah hujan dari nilai yang terbesar ke yang kecil

Tahun	Curah Hujan Maksimum Harian Rata-Rata (mm)	Tahun	Curah Hujan Maksimum Harian Rata-Rata (mm)
2012	126.9	2015	233.2
2013	97.4	2021	174.1
2014	99.4	2017	143.5
2015	233.2	2016	129.4
2016	129.4	2012	126.9
2017	143.5	2020	124.1
2018	84.6	2014	99.4
2019	62.2	2012	97.4
2020	124.1	2018	84.6
2021	174.1	2019	62.2

(Sumber: Pengolahan Data)

2. Menghitung Jumlah Kelas

$$\text{Jumlah data (n)} = 10$$

$$\begin{aligned}\text{Kelas distribusi (k)} &= 1 + 3,3 \log n \\ &= 1 + 3,3 \log 10 \\ &= 4,3 \sim 5 \text{ kelas}\end{aligned}$$

3. Menghitung derajat kebebasan (DK) dan X^2_{cr}

$$\text{Parameter (P)} = 2$$

$$\begin{aligned}\text{Derajat kebebasan (Dk)} &= k - (P+1) \\ &= 5 - (2+1) = 2\end{aligned}$$

Nilai X^2_{cr} dengan jumlah data (n) 10, $\alpha = 5\%$ dan $Dk = 2$ adalah X^2_{cr} 5,991 (berdasarkan tabel lampiran)

4. Menghitung kelas distribusi

a. Kelas distribusi = $1/5 \times 100 = 20\%$

b. Interval distribusi adalah 20%, 40%, 60%, 80%

1) Persentase 20%

$$\begin{aligned}P_x = 0,20 \text{ diperoleh } T = 1/P_x \\ &= 1/0,20 \\ &= 5 \text{ Tahun}\end{aligned}$$

2) Persentase 40%

$$\begin{aligned}P_x = 0,4 \text{ diperoleh } T = 1/P_x \\ &= 1/0,4 \\ &= 2,5 \text{ Tahun}\end{aligned}$$

3) Persentase 60%

$$\begin{aligned}P_x = 0,60 \text{ diperoleh } T = 1/P_x \\ &= 1/0,60 \\ &= 1,67 \text{ Tahun}\end{aligned}$$

4) Persentase 80%

$$\begin{aligned}P_x = 0,80 \text{ diperoleh } T = 1/P_x \\ &= 1/0,80 \\ &= 1,25 \text{ Tahun}\end{aligned}$$

5. Menghitung interval kelas

a. Distribusi Probabilitas Normal

Nilai K_T berdasarkan T dari Tabel Nilai Variabel Reduksi *Gauss*

$$T = 5 \text{ Tahun} \quad K_T = 0,84$$

$$T = 2,5 \text{ Tahun} \quad K_T = 0,25$$

$$T = 1,67 \text{ Tahun} \quad K_T = -0,25$$

$$T = 1,25 \text{ Tahun} \quad K_T = -0,84$$

$$\text{Nilai } X_{rt} = 127,47$$

$$\text{Nilai } SD = 48,78$$

$$\text{Interval kelas : } X_T = X_{rt} + K_T * SD$$

$$\begin{aligned} X_4 &= 127,47 + (0,84 \times 48,78) \\ &= 168,455 \end{aligned}$$

Tabel 4.12 Interval kelas distribusi Probabilitas Normal

No	T	X Rata-Rata	Sd	KT	Xt
1	5	127.48	48.78	0.84	168.455
2	2.5	127.48	48.78	0.25	139.675
3	1.67	127.48	48.78	-0.25	115.285
4	1.25	127.48	48.78	-0.84	86.505

(Sumber: Pengolahan Data)

Tabel 4.13 Nilai Chi-kuadrat untuk Distribusi Normal

No	Interval	Ef	Oi	Oi-Ef	(Oi-Ef) ² /Ef
1	>168.455	2	2	0	0.000
2	139.675-168.455	2	1	-1	0.500
3	115.285-139.675	2	3	1	0.500
4	86.505-115.285	2	2	0	0.000
5	<86.505	2	2	0	0.000
		10	10	0	1.000

(Sumber: Pengolahan Data)

b. Distribusi Probabilitas Gumbel

Dengan Jumlah Data (n) = 10 maka didapat nilai

$$Y_n = 0,492 \quad S_n = 0,9497$$

$$X_{rt} = 127,47$$

$$SD = 48,78$$

$$\begin{aligned}
K &= -\text{Ln}\left(-\text{Ln}\frac{T-1}{T}\right) \\
&= -\text{Ln}\left(-\text{Ln}\frac{5-1}{5}\right) \\
&= 1,500 \\
K_T &= \frac{1,500 - 0,4952}{0,9496} \\
&= 1,058 \\
X_T &= X_{rt} + SD * K_T \\
&= 127,47 + 48,78 * 1,059 \\
&= 179.116
\end{aligned}$$

Tabel 4.14 Interval kelas distribusi Probabilitas Gumbel

No	T	X Rata-Rata	Yn	Sn	Yt	KT	Sd	Xt
1	5	127,48	0,4952	0,9496	1,500	1,059	48,78	179,116
2	2,5	127,48	0,4952	0,9496	0,426	0,1858	48,78	136,543
3	1,67	127,48	0,4952	0,9496	0,091	-0,426	48,78	106,717
4	1,25	127,48	0,4952	0,9496	-0,476	-1,023	48,78	77,590

(Sumber: Pengolahan Data)

Tabel 4.15 Nilai Chi-kuadrat untuk Distribusi Gumbel

No	Interval	Ef	Oi	Oi-Ef	(Oi-Ef) ² /Ef
1	>179.116	2	1	-1	0,500
2	136,543-179.116	2	2	0	0,000
3	106.717-136,543	2	2	0	0,000
4	77.509-106.717	2	3	1	0,500
5	<77.590	2	2	0	0,000
		10	10	0	1,000

(Sumber: Pengolahan Data)

Sehingga:

$$T = 5 \text{ Tahun} \quad K_T = 1,059$$

$$T = 2,5 \text{ Tahun} \quad K_T = -0,073$$

$$T = 1,67 \text{ Tahun} \quad K_T = -0,426$$

$$T = 1,25 \text{ Tahun} \quad K_T = -1,023$$

c. Distribusi Probabilitas Log Normal

T = 5 Tahun	$K_T = 0,84$
T = 2,5 Tahun	$K_T = 0,25$
T = 1,67 Tahun	$K_T = -0,25$
T = 1,25 Tahun	$K_T = -0,84$
Nilai Log X_{rt}	$= 2,078$
Interval S Log X	$= 0,162$

Interval Kelas : $\text{Log } X_T = \text{Log } X_{rt} + K_T \cdot S \text{ Log } X$

Sehingga:

$$\text{Log } X_4 = 2,078 + (0,84 \times 0,162)$$

$$= 2,214$$

$$X_t = 10^{(2,214)}$$

$$= 163,712 \text{ mm}$$

Tabel 4.16 Interval kelas distribusi Probabilitas Log Normal

No	T	X Rata-Rata	Log X	KT	Sd Log X	Log XT	XT
1	5	127.48	2.078	0.84	0.162	2.214	163.712
2	2.5	127.48	2.078	0.25	0.162	2.119	131.371
3	1.67	127.48	2.078	-0.25	0.162	2.038	109.018
4	1.25	127.48	2.078	-0.84	0.162	1.942	87.482

(Sumber: Pengolahan Data)

Tabel 4.17 Nilai Chi-kuadrat untuk Distribusi Log Normal

No	Interval	Ef	Oi	Oi-Ef	$(O_i - E_f)^2 / E_f$
1	>163.712	2	2	0	0.000
2	131.371-163.712	2	1	-1	0.500
3	109.018-131.371	2	3	1	0.500
4	87.482-109.018	2	2	0	0.000
5	<87.482	2	2	0	0.000
		10	10	0	1.000

(Sumber: Pengolahan Data)

d. Distribusi Frekuensi Log Person III

Nilai K_T dihitung berdasarkan nilai $C_s = 0,1$ dan nilai T untuk berbagai periode ulang

Sehingga:

$$T = 5 \text{ Tahun} \quad K_T = 0,846$$

$$T = 2,5 \text{ Tahun} \quad K_T = 0,155$$

$$T = 1,67 \text{ Tahun} \quad K_T = -0,358$$

$$T = 1,25 \text{ Tahun} \quad K_T = -0,836$$

$$\text{Nilai Log } X_{rt} = 2,078$$

$$\text{Nilai S Log } X_T = 0,162$$

$$\text{Interval kelas : Log } X_T = \text{Log } X_{rt} + K_T \cdot S \text{ Log } X_T$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Log } X_4 &= 2,078 + (0,846 \cdot 0,162) \\ &= 2,215 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_t &= 10^{2,215} \\ &= 164,079 \end{aligned}$$

Tabel 4.18 Interval kelas distribusi Probabilitas Log-Person III

No	T	Log X	Cs	KT	S Log X	Log XT	XT
1	5	2,078	0,1	0,846	0,162	2,215	164,079
2	2,5	2,078	0,1	0,155	0,162	2,103	126,797
3	1,67	2,078	0,1	-0,3583	0,162	2,020	104,702
4	1,25	2,078	0,1	-0,836	0,162	1,943	87,613

(Sumber: Pengolahan Data)

Tabel 4.19 Nilai Chi-kuadrat untuk Distribusi Log-Person III

No	Interval	Ef	Oi	Oi-Ef	$(O_i - E_f)^2 / E_f$
1	>164,079	2	2	0	0,000
2	126,797-164,079	2	3	1	0,500
3	104,702-126,797	2	1	-1	0,500
4	87,613-104,702	2	2	0	0,000
5	<87,613	2	2	0	0,000
		10	10	0	1,000

(Sumber: Pengolahan Data)

Tabel 4.20 Rekapitulasi hasil perhitungan nilai X^2 dan X^2Cr

NO	Distribusi Probabilitas	X2 Terhitung	X2 Kritis	Keterangan
1	Normal	1.000	5,991	Diterima
2	Gumbel	1.000	5,991	Diterima
3	Log Normal	1.000	5,991	Diterima
4	Log Person III	1.000	5,991	Diterima

(Sumber: Pengolahan Data)

4.3.1 Metoda Smirnov-Kolmogorof (Analitis)

Uji kecocokan Smirnov-Kolmogorof dengan mengurutkan data (dari besar ke yang kecil atau sebaliknya) dan tentukan peluang dari masing-masing data tersebut. Hasil perhitungan uji keselarasan sebaran dengan Smirnov-Kolmogorof untuk ke tiga metoda dapat dilihat pada Tabel 4.22, Tabel 4.23, Tabel 4.24, dan Tabel 4.25 dibawah ini:

Tabel 4.21 Keselarasan sebaran Smirnov-Kolmogorof untuk Distribusi Normal

No	Maximum Harian Rata-Rata	Peringkat (m)	P(Xi)	f(t)	Luas Dibawah	P (X)	P	PM
1	233,2	1	0,091	2,17	0,985	0,015	-0,076	0,1204
2	174,1	2	0,182	0,96	0,8315	0,169	-0,013	
3	143,5	3	0,273	0,33	0,6293	0,371	0,098	
4	129,4	4	0,364	0,04	0,516	0,484	0,1204	
5	126,9	5	0,455	-0,01	0,5000	0,500	0,045	
6	124,1	6	0,545	-0,07	0,4721	0,528	-0,018	
7	99,4	7	0,636	-0,58	0,281	0,719	0,083	
8	97,4	8	0,727	-0,62	0,2676	0,732	0,005	
9	84,6	9	0,818	-0,88	0,1894	0,811	-0,008	
10	62,2	10	0,909	-1,34	0,0901	0,910	0,001	

(Sumber: Pengolahan Data)

Keterangan :

i = Nomor urut data

X_i = Data curah hujan diurut dari yang kecil ke yang besar (mm)

$$P(X_i) = \frac{i}{n+1} = \frac{1}{10+1} = 0,091$$

$f(t)$ = Untuk disrtibusi probabilitas Normal , dimana $K_T = f(t)$

$$\text{Untuk } f(t)_1 = \frac{x_i - \bar{X}}{s} = \frac{233,2 - 127,47}{48,78} = 2,16$$

T = untuk mencari nilai T berdasarkan $f(t) = 2,16$ maka, berdasarkan Tabel Luas Wilayah Kurva Normal)

$f(t)$ = 2,16 maka hasil interpretasi, $T = 0,9842$

$$P'(X_i) = 1 - T$$

$$= 1 - 0,9842 = 0,0158$$

$$\Delta P = P'(X_i) - P(X_i)$$

$$= 0,0158 - 0,091$$

$$= -0,0752$$

Kesimpulan :

Simpangan Maksimum (ΔP_{\max}) = 0,480

Derajat nyata atau kepercayaan (α) adalah 5% maka, didapat (ΔP_{kritis}) = 0,41

Syarat :

$$(\Delta P_{\max}) < (\Delta P_{\text{kritis}})$$

$$0.1204 < 0.41 \dots\dots\dots (\text{Memenuhi}).$$

Tabel 4.22 Keselarasan sebaran Smirnov-Kolmogorof untuk Log Normal

No	Maksimum Harian Rata-Rata	Log Xi	P(xi)	f(t)	Luas dibawah kurva normal	P'(Xi)	P	P Max
1	233.2	2.368	0.091	1.79	0.9633	0.0367	-0.054	0.056
2	174.1	2.241	0.182	1.00	0.8413	0.1587	-0.023	
3	143.5	2.157	0.273	0.49	0.6879	0.3121	0.039	
4	129.4	2.112	0.364	0.21	0.5832	0.4168	0.053	
5	126.9	2.103	0.455	0.16	0.5636	0.4364	-0.019	
6	124.1	2.094	0.545	0.10	0.5398	0.4602	-0.085	
7	99.4	1.997	0.636	-0.50	0.3085	0.6915	0.056	
8	97.4	1.989	0.727	-0.55	0.2912	0.7088	-0.018	
9	84.6	1.927	0.818	-0.93	0.1762	0.8238	0.006	
10	62.2	1.794	0.909	-1.75	0.0401	0.9599	0.051	

(Sumber: Pengolahan Data)

Jika jumlah data 10 dan α (derajat kepercayaan) adalah 5 % maka diperoleh ΔP kritis = 0,41 Jadi ΔP mak < ΔP kritis 0,056 < 0,41 Distribusi Log Normal dapat diterima untuk menganalisis data curah hujan.

Tabel 4.23 Keselarasan sebaran Smirnov-Kolmogorof untuk Log-Person III

No	Maksimum harian rata-rata	Log Xi	P(Xi)	f(t)	P'(xi)	P	p max
1	233,2	2,368	0,091	1,7856	0,0399	-0,051	0,057
2	174,1	2,241	0,182	1,0029	0,1634	-0,019	
3	143,5	2,157	0,273	0,4852	0,3234	0,050	
4	129,4	2,112	0,364	0,2082	0,4208	0,057	
5	126,9	2,103	0,455	0,1560	0,4392	-0,016	
6	124,1	2,094	0,545	0,0962	0,4602	-0,085	
7	99,4	1,997	0,636	-0,4981	0,6741	0,038	
8	97,4	1,989	0,727	-0,5526	0,6938	-0,033	
9	84,6	1,927	0,818	-0,9299	0,8194	0,001	
10	62,2	1,794	0,909	-1,7536	0,9590	0,050	

(Sumber: Pengolahan Data)

Keterangan :

i = Nomor urut data

Xi = Data curah hujan diurut dari yang kecil ke yang besar (mm)

$$P(Xi) = \frac{1}{n+1} = \frac{1}{10+1} = 0,091$$

$f(t)$ = Untuk disrtibusi Log-Person III , dimana $K_T = f(t)$

Untuk $f(t)_1 = 1,79$

$P'(X_i)$ = Persentase peluang teoritis berdasarkan nilai C_s dan nilai K_T

$C_s = 0,1$; $K_T = 1,79$

Dari hasil interpolasi, diperoleh peluang teoritis terlampaui $P'(X_i) = -0,79$

$\Delta P = P'(X_i) - P(X_i)$

$= -0,79 - 0,091$

$= -0,881$

Kesimpulan :

Simpangan Maksimum (ΔP_{MAX}) = 1,485

Derajat nyata atau kepercayaan (α) adalah 5% maka, didapat (ΔP_{kritis})= 0,41

Syarat :

$(\Delta P_{MAX}) < (\Delta P_{kritis})$

0,057 < 0.41 (Memenuhi)

Tabel 4.24 Keselarasan sebaran Smirnov-Kolmogorof untuk Metode Gumbel

No	Maksimum Harian Rata- Rata	$p(X_i)$	$f(t)$	Y_n	S_n	Y_t	T	$P'(X_i)$	P	P Max
1	233,2	0,91	2,17	0,4952	0,9497	2,553	13,351	0,075	0,835	0,087
2	174,1	0,182	0,96	0,4952	0,9497	1,403	4,586	0,218	0,036	
3	143,5	0,273	0,33	0,4952	0,9497	0,807	2,777	0,360	0,087	
4	129,4	0,364	0,04	0,4952	0,9497	0,533	2,253	0,444	0,080	
5	126,9	0,455	-0,01	0,4952	0,9497	0,484	2,173	0,460	0,005	
6	124,1	0,545	-0,07	0,4952	0,9497	0,429	2,090	0,479	0,066	
7	99,4	0,635	-0,58	0,4952	0,9497	0,051	1,537	0,651	0,016	
8	97,4	0,727	-0,62	0,4952	0,9497	0,090	1,503	0,665	0,062	
9	84,6	0,818	-0,88	0,4952	0,9497	0,340	1,325	0,755	0,063	
10	62,2	0,909	-1,34	0,4952	0,9497	0,776	1,129	0,886	0,023	

Keterangan :

I = Nomor Urut Data

X_i = Data Curah Hujan yang diurut dari yang terbesar (mm)

$$P(X_i) = \frac{i}{n+1} = \frac{1}{10-1} = 0,091$$

$f(t)$ = Untuk distribusi Gumbel, dimana $K_T=f(t)$

$$\text{Untuk } F(t)=1 = \frac{X_i-X}{S} = \frac{233,2-127,47}{48,78} = 2,16$$

T = untuk mencari nilai T berdasarkan $f(t) = 2,16$ maka,

Untuk $f(t) = 2,16$ maka, Interpolasi nilai T = 13.351

$$P'(X_i) = \frac{1}{T}$$

$$= 1/13,351$$

$$= 0,074$$

$$\Delta P = P'(X_i) - P(X_i)$$

$$= 0,074 - 0,091$$

$$= -0,017$$

Kesimpulan :

Simpangan Maksimum (ΔP_{MAX}) = -0,826

Derajat nyata atau kepercayaan (α) adalah 5% maka, didapat (ΔP_{kritis})=0,41

Syarat :

$$(\Delta P_{MAX}) < (\Delta P_{kritis})$$

$$0,087 < 0,41 \dots\dots\dots (\text{Memenuhi})$$

Dari hasil pengujian distribusi keselarasan dengan metoda Smirnov-Kolmogorof dapat disimpulkan bahwa distribusi yang memenuhi persyaratan uji smirnov-Kolmogorof yaitu $(\Delta P_{MAX}) < (\Delta P_{kritis})$ dimana jumlah distribusi data = 10 dan derajat nyata atau kepercayaan $(\alpha) = 5 \%$ dapat dilihat pada tabel 4.26.

Tabel 4.25 Resume Uji Probabilitas dengan Smirnov-Kolmogorof

NO	Distribusi Probabilitas	X2 Terhitung	X2 Kritis	Keterangan
1	Normal	0,1204	0,41	Diterima
2	Gumbel	0,087	0,41	Diterima
3	Log Normal	0,056	0,41	Diterima
4	Log Person III	0,057	0,41	Diterima

(Sumber: Pengolahan Data)

Berdasarkan tabel rekapitulasi diatas, Distribusi Normal, Log person III dan Distribusi Gumbel dapat diterima karena nilai ΔP Maksimum $<$ dari ΔP , sedangkan Distribusi Log normal tidak dapat diterima karena ΔP Maksimum $>$ dari ΔP . Selanjutnya untuk perhitungan hujan rencana dengan Distribusi Normal karena metode tersebut dapat diterima dengan Uji Chi-Kuadrat dan Smirnov-Kolmogorov.

Tabel 4.26 Resume Uji Probabilitas Chi-Kuadrat dengan Smirnov-Kolmogorof

No	Distribusi Probabilitas	Uji Chi Kuadrat		Keterangan	Uji Smirnov-Kolmogorov		Keterangan
		Uji Chi Kuadrat Hitung (χ^2)	Uji Chi Kuadrat Kritis (χ^2_{cr})		Smirnov Hitung (ΔP Max)	Smirnov Kritis (ΔP Kritis)	
1	Normal	1.000	5,991	Diterima	0.1204	0,41	Diterima
2	Gumbel	1.000	5,991	Diterima	0,087	0,41	Diterima
3	Log Normal	1.000	5,991	Diterima	0,056	0,41	Diterima
4	Log Person III	1.000	5,991	Diterima	0,057	0,41	Diterima

(Sumber: Pengolahan Data)

Tabel 4.27 Nilai terpilih Distribusi Log Normal

Periode Ulang	Hujan Rencana
2	119,674
5	163,712
10	192,912
25	226,306
50	257,099

(Sumber: Pengolahan Data)

4.3 Analisa Debit Banjir Rencana

Debit Banjir rencana adalah debit aliran sungai atau saluran yang besarnya ditentukan berdasarkan periode atau kala ulang tertentu. Pertimbangan teknis dalam perhitungan banjir rencana adalah pemilihan koefisien pengaliran yang berkaitan erat dengan kondisi daerah pengaliran dan karakteristik hujan yang jatuh pada DAS tersebut.

Dalam perhitungan analisis debit banjir rencana dihitung berdasarkan data hujan rencana untuk periode ulang 2,5,10,25 dan 50 Tahun. Perhitungan yang digunakan dalam mengkaji ulang debit banjir rencana sungai Bangek ini adalah dengan Metode Hasper, Metode Weduwen dan Metode mononabe

4.3.1 Metode Weduwen

Langkah- langkah perhitungan debit banjir rencana dengan metode weduwen sebagai berikut.

Data perhitungan :

Luas Daerah Aliran Sungai (A) = 21,51 km²

Panjang sungai = 18 km = 18000 m

Kemiringan sungai (S) = 0,053

- Elevasi hulu = 1000 m

- Elevasi hilir = 32 m

- Kemiringan (S) = $\frac{\text{Elevasi hulu} - \text{Elevasi hilir}}{L}$

$$= \frac{1000 - 32}{18000} = 0,053$$

Perhitungan selanjutnya menentukan nilai koefisien reduksi (β), intensitas hujan (I), Koefisien pengaliran (α) dan lama hujan (t) dengan cara coba-coba untuk lama hujan (t1) hingga hasilnya diperoleh t1=t dicoba-coba 2,2 jam dengan perhitungan sebagai berikut.

a. Koefisien reduksi (β)

$$\begin{aligned}\beta &= \frac{120 + \frac{t+1}{t+9} \times A}{120+A} \\ &= \frac{120 + \frac{2,2+1}{2,2+9} \times 21,51}{120+21,51} \\ &= 0,8914\end{aligned}$$

b. Intensitas hujan maksimum (I)

$$\begin{aligned}I &= \frac{67,65}{t1+1,45} \\ &= \frac{67,65}{2,2+1,45} \\ &= 18,53 \text{ mm/jam}\end{aligned}$$

c. Koefisien pengaliran (α)

$$\begin{aligned}\alpha &= 1 - \frac{4,1}{I+7} \\ &= 1 - \frac{4,1}{18,53 + 7} \\ &= 0,8394\end{aligned}$$

d. Lama hujan (t)

$$\begin{aligned}t &= \frac{0,476 \times A^{\frac{3}{8}}}{(\alpha \times \beta \times I)^{\frac{1}{8}} \times S^{\frac{1}{4}}} \\ &= \frac{0,476 \times 21,51^{\frac{3}{8}}}{(0,8394 \times 0,8914 \times 18,53)^{\frac{1}{8}} \times 0,053^{\frac{1}{4}}} \\ &= 2,2 \text{ Jam}\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas dari nilai t1 = 2,2 Jam diperoleh t = 2,2 jam, sehingga t1 = t. Nilai – nilai tersebut akan digunakan untuk perhitungan debit periode ulang tahun tertentu. Hitung nilai I periode ulang tahun tertentu dengan pengaruh curah hujan dengan cara berikut.

$$\begin{aligned}
I_2 &= \frac{67,65}{t+1,45} \times \frac{Rn}{240} \\
&= \frac{67,65}{2,2+1,45} \times \frac{119,674}{240} \\
&= 16,056 \text{ mm/jam}
\end{aligned}$$

Selanjutnya hitung nilai debit banjir rencana periode ulang 2, 5, 10, 25 dan 50 tahun dengan cara sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
Q_2 &= \alpha \times \beta \times I \times A \\
&= 0,8394 \times 0,8914 \times 16,056 \times 21,51 \\
&= 258,420 \text{ m}^3/\text{det}
\end{aligned}$$

Hasil perhitungan dabit benjir rencana sebagai berikut.

Tabel 4.28 Hasil Perhitungan Metode Weduwen

T	RT	α	β	I	A	Q
2	119,674	0,8394	0,8914	16,056	21,51	258,420
5	163,712	0,8394	0,8914	21,965	21,51	353,514
10	192,912	0,8394	0,8914	25,882	21,51	416,568
25	226,306	0,8394	0,8914	30,363	21,51	488,678
50	257,099	0,8394	0,8914	34,494	21,51	555,171

4.3.2 Metode Hasper

Pada perhitungan debit banjir rencana metode Hasper, tinggi hujan yang diperhitungkan adalah tinggi curah hujan pada titik pengamatan.

$$\text{Rumus umum : } Q = \alpha \cdot \beta \cdot I \cdot A$$

1. Hitung besarnya koefisien daerah pengaliran (α)

$$\text{Luas Pengaliran} = 21,51 \text{ km}^2$$

$$\alpha = \frac{1+0.012 \times A^{0,7}}{1+0.075 \times A^{0,7}}$$

$$\alpha = \frac{1+0.012 \times 21,51^{0,7}}{1+0.075 \times 21,51^{0,7}} = 0,671$$

2. Hitung waktu konsentrasi (t)

$$\text{Panjang Sungai} = 18 \text{ km}$$

$$\text{Kemiringan} = 0,053$$

Maka waktu konsentrasi (t) :

$$t = 0.1 \times L^{0.8} \times S^{-0.3}$$

$$t = 0.1 \times 18^{0.8} \times 0,053^{-0.3}$$

$$t = 2,43 \text{ jam}$$

3. Hitung nilai koefisien reduksi (β)

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{(t + 3.7 \times 10^{-0.14t})}{t^2 + 15} \times \frac{A^{3/4}}{12}$$

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{(2,43 + 3.7 \times 10^{-0.14(2,43)})}{2,43^2 + 15} \times \frac{21,51^{3/4}}{12}$$

$$\beta = 1,164$$

4. Hitung hujan maksimum (I)

$$R_t = 119,674 \text{ mm (perhitungan curah hujan periode 2 tahun)}$$

Untuk t = 2-19 jam

$$r = \frac{t \cdot R_t}{t+1}$$

$$r = \frac{2,43 \cdot 119,674}{2,43+1} = 84,78$$

sehingga :

$$q_n = \frac{r}{3,6 \times t}$$

$$q_n = \frac{84,78}{3,6 \times 2,43} = 9,69 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{km}^2$$

5. Hitung debit banjir kala ulang T-tahun (Q)

$$Q = \alpha \cdot \beta \cdot q_n \cdot A$$

Debit banjir kala ulang 2 tahun

$$Q_2 = 0,671 \times 1,164 \times 9,69 \times 21,51 = 162,794 \text{ m}^3/\text{dt}$$

Untuk perhitungan selanjutnya yaitu periode ulang 2, 5, 10, 25 dan 50 tahun dapat dilihat pada Tabel 4.33 dibawah ini :

Tabel 4.28 Hasil perhitungan debit banjir Metode Hasper

T	R _T	α	β	A	t	r	q _n	Q
2	119,674	0,671	1,164	21,51	2,43	84,78	9,69	162,794
5	163,712	0,671	1,164	21,51	2,43	115,98	13,25	222,603
10	192,912	0,671	1,164	21,51	2,43	136,66	15,62	262,420
25	226,306	0,671	1,164	21,51	2,43	160,32	18,32	307,781
50	257,099	0,671	1,164	21,51	2,43	182,14	20,82	349,781

(Sumber: Pengolahan Data)

4.3.3 Metode Mononobe

Langkah-langkah perhitungan debit banjir rencana dengan metode mononobe sebagai berikut:

Data perhitungan :

Luas daerah aliran sungai (A) = 21,51 km²

Panjang sungai (L) = 18 km

Kemiringan sungai = 0,053

α = 0,70

a. Hitung besarnya kecepatan aliran (V)

$$\begin{aligned} V &= 72 \times (S)^{0,6} \\ &= 72 \times (0,053)^{0,6} \\ &= 12,3565 \text{ km/jam} \end{aligned}$$

b. Hitung waktu konsentrasi (tc)

$$\begin{aligned} t_c &= \frac{L}{V} \\ &= \frac{18}{12,3565} \\ &= 1,4567 \text{ jam} \end{aligned}$$

c. Hitung intensitas hujan dengan rumus Mononobe

$$I_n = \frac{R_n}{24} \times \left(\frac{24}{t_c} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$I_2 = \frac{119,674}{24} \times \left(\frac{24}{1,4567} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$= 32,286 \text{ mm/jam}$$

d. Hitung besarnya debit banjir rencana (Q)

$$Q_n = \frac{\alpha \times I_n \times A}{3,6}$$

$$Q_2 = \frac{0,70 \times 32,286 \times 21,51}{3,6}$$

$$= 135,034 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Hasil perhitungan debit banjir rencana berikutnya terdapat pada Tabel 4.34 dibawah ini:

Tabel 4.29 : Hasil Perhitungan Metode Mononobe

T	A	Rn	Rn/24	V	Tc	(24/Tc) ^{2/3}	I	Q
2	0,70	119,674	4,986	12,3565	1,4567	90,48175	32,286	135,034
5	0,70	163,714	6,821	12,3565	1,4567	90,48175	44,167	184,727
10	0,70	192,912	8,038	12,3565	1,4567	90,48175	52,044	217,672
25	0,70	226,306	9,429	12,3565	1,4567	90,48175	61,053	255,352
50	0,70	257,099	10,712	12,3565	1,4567	90,48175	69,360	290,098

(Sumber: Pengolahan Data)

Hasil perhitungan debit banjir rencana (Q) dari metode Weduwen, Hasper dan Mononobe dirangkum pada Tabel 4.35 dibawah ini :

Tabel 4.30 Rekapitulasi Perhitungan Debit Banjir Rencana

No	Periode Ulang (Tahun)	Weduwen (m ³ /detik)	Hasper (m ³ /detik)	Mononobe (m ³ /detik)
1	2	258,420	162,794	135,034
2	5	353,514	222,603	184,727
3	10	416,568	262,420	217,672
4	25	488,678	307,781	255,352
5	50	555,171	349,781	290,098

(Sumber: Pengolahan Data)

4.4 Analisa Debit Banjir Aktual Berdasarkan Pengamatan

Untuk menentukan debit banjir lapangan pada Sungai bangek, penulis mengambil data lapangan pada tanggal 09 Oktober 2022 dan didapatkan data sebagai berikut :

$$b = 22,3 \text{ m}$$

$$h = 2,5 \text{ m}$$

$$I = 0,009$$

$$K_s = 35$$

Mengacu dari hasil analisa debit banjir rencana, perhitungan selanjutnya dapat dilihat dibawah ini :

$$\begin{aligned} A &= (b+m.h)h \\ &= (22,3 + 1 \times 2,5) \cdot 2,5 \\ &= 62 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= b + 2h \sqrt{1 + m^2} \\ &= 22,3 + (2 \times 2,5)\sqrt{1 + 1^2} \\ &= 29,37 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \frac{A}{P} \\ &= \frac{62}{29,37} \end{aligned}$$

$$= 2,11 \text{ m}$$

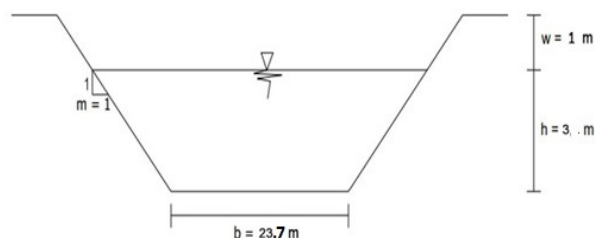
$$\begin{aligned} V &= K_s \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \\ &= 35 \cdot 2,11^{2/3} \cdot 0,009^{1/2} \\ &= 5,46 \text{ m/dt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= A \times V \\ &= 62 \times 5,46 = 338,52 \text{ m}^3/\text{dt} \end{aligned}$$

Jadi debit banjir aktual dilapangan saat terjadi banjir adalah sebesar 338 m³/dt mendekati nilai debit banjir rencana 5 tahunan pada metode Weduwen 353,514 m³/dt. Maka debit banjir rencana yang dipakai adalah debit banjir rencana 25 tahunan metode Weduwen adalah sebesar 488,678 m³/dt.

4.5 Analisa Penampang Rencana

Karena penampang tersedia tidak dapat menampung debit banjir yang terjadi dan menimbulkan genangan, maka direncanakan penampang sungai berbentuk Trapesium, untuk debit banjir rencana (Q_{banjir}) diambil Q_{25} tahun rencana sebesar 488,78 m³/detik.



$$\text{Lebar (b)} = 23,7 \text{ m}$$

$$h = 3 \text{ m}$$

$$\text{Koef. Stikler (K)} = 35$$

$$\text{Kemiringan (I)} = \frac{\text{Elevasi Hulu} - \text{Elevasi Hilir}}{\text{panjang sungai}}$$

$$= \frac{26-8}{2000}$$

$$= 0,009$$

$$Q_{25} = 488,678 \text{ m}^3/\text{dt}$$

Rumus:

$$A = (b+m.h)h$$

$$P = b + 2h \sqrt{1 + m^2}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$V = K_s \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

Dengan syarat :

$$\frac{Q}{K_s \times I^{1/2}} = \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}}$$

Diketahui data penampang :

$$Q_{25} = 488,78 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$\text{Lebar penampang (b)} = 23,7 \text{ m}$$

$$\text{Kemiringan sungai (I)} = 0,009$$

$$m = 1 : 1$$

$$K_s = 35$$

$$h \text{ coba-coba} = 3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} A &= (b+m \cdot h)h \\ &= (23,7+1 \cdot 3) \cdot 3, \\ &= 80,1 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= b + 2h \sqrt{1+m^2} \\ &= 23,7 + 2 \cdot 3 \sqrt{1+1^2} \\ &= 32,18 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R &= \frac{A}{P} \\ &= \frac{80,1}{32,18} \\ &= 2,48 \end{aligned}$$

$$V = K_s \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

$$= 35 \cdot 2,48^{2/3} \cdot 0,009^{1/2}$$

$$= 6,097 \text{ m/dt}$$

Syarat :

$$\frac{Q}{K_s \times I^{1/2}} = \frac{A^{5/3}}{P^{2/3}}$$

$$\frac{488,78}{35 \times 0,009^{1/2}} = \frac{80,1^{5/3}}{32,18^{2/3}}$$

$$147,14 \text{ m}^3/\text{dt} = 147,14 \text{ m}^3/\text{dt} \quad \text{Ok}$$

Dengan demikian dari perhitungan menggunakan h coba-coba tersebut didapat tinggi muka air banjir $h = 3 \text{ m}$.

Pemeriksaan Jenis Aliran dengan Persamaan Froude:

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gh}}$$

$$F_r = \frac{6,097}{\sqrt{9,81 \times 3}}$$

$$F_r = 1,124 \text{ (aliran superkritis)}$$

Tinggi jagaan (f) menurut Tabel 2.12 untuk $Q \text{ desain} > 25 \text{ (m}^3/\text{dt)}$ adalah 1 meter.

Jadi tinggi keseluruhan (H) = $h + 1$

$$H = 3 + 1 = 4 \text{ m.}$$

4.6 Perhitungan Stabilitas Perkuatan Tebing Sungai

Perencanaan perkuatan tebing sungai dipilih menggunakan batu kali. Menghitung stabilitas perkuatan tebing bertujuan untuk memeriksa stabilitas perkuatan tebing terhadap guling dan geser serta memeriksa tegangan tanah yang timbul akibat gaya yang ditimbulkan oleh beban konstruksi.

Gaya-gaya yang bekerja antara lain:

1. Akibat berat sendiri
2. Akibat gaya gempa
3. Akibat tekanan tanah

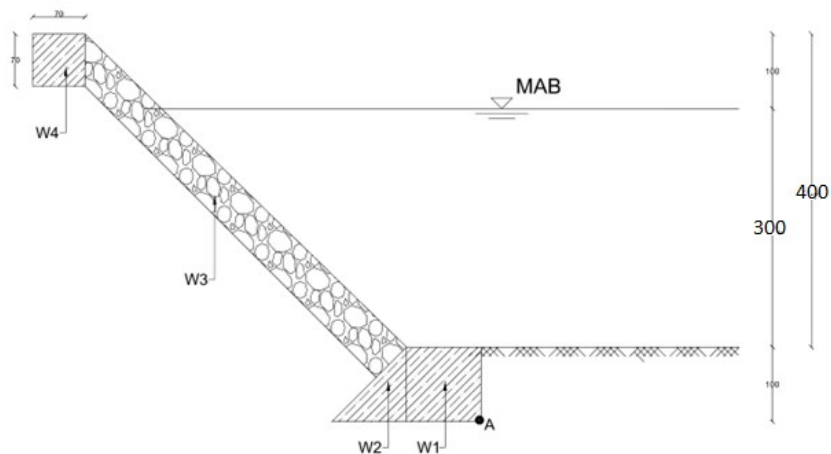
4. Akibat beban merata

Data-data:

- Jenis tanah = Tanah Alluvial
- Berat jenis batu kali = $2,2 \text{ t/m}^3$
- Berat jenis beton = $2,4 \text{ t/m}^3$
- Berat jenis air (γ_w) = 1 t/m^3
- Berat jenis tanah (γ_s) = $1,7 \text{ t/m}^3$
- Sudut geser tanah (ϕ) = 35°
- Kohesi (C) = $0,4 \text{ t/m}^3$

4.7.1 Akibat Berat Sendiri

Berat sendiri perkuatan tebing adalah berat yang diakibatkan oleh bangunannya. Berat sendiri perkuatan tebing tergantung kepada bahan yang digunakan untuk membuat bangunan perkuatan tebing tersebut adalah pasangan batu kali dengan berat jenis $\gamma = 2,2 \text{ t/m}^3$



Gambar 4.1 Akibat Berat Sendiri

Perhitungan :

$$\alpha_1 = 45^\circ$$

$$\begin{aligned} \text{Lengan Momen } W_1 &= \frac{1}{2} \\ &= 0,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen} &= 2,4 \times 0,5 \\ &= 1,2 \text{ T.m} \end{aligned}$$

Tabel 4.31 Momen Akibat Berat Sendiri

No	beban	Uraian	Luas			Bj Pasangan	Gaya T	Lengan Momen	Momen
				Alas (m)	Tinggi (m)	Batu (Ton/m ³)			
1	W1	(1x1)2,4		1	1	2,4	2,4	0,5	1,2
2	W2	(1/2x1x1)2,4	0,5	1	1	2,4	1,2	1,5	1,8
3	W3	(4 x Cos 45° x 0,5)x2,2		0,5	5,3	2,2	3,11	3,5	10,89
4	W4	(0,7 x 0,7)2,4		0,7	0,7	2,4	1,176	4,65	5,47
							7,8868		19,3562

(Sumber: Pengolahan Data)

4.7.2 Akibat Gaya Gempa

Gaya yang diakibatkan oleh gempa harus diperhitungkan terhadap kekuatan bangunan. Gaya gempa ini bekerja kearah yang berbahaya dengan garis kerja melewati titik bangunan dalam mendatar. Pada peta zona gempa dapat dilihat pembagian wilayah gempa yang berbeda. Berdasarkan zona gempa zona berada pada gambar berwarna merah yang memiliki koefisien gempa sebesar 1,40. Untuk itu gaya yang bekerja secara horizontal pada titik tangkap gaya berat sendiri bangunan adalah:

Untuk menghitung koefisien gempa digunakan persamaan sebagai berikut :

$$Ad = n (ac \times Z)^m$$

$$E = ad / g$$

Dimana :

Ad : Percepatan gempa rencana (m/s²)

n,m : Koefisien untuk jenis tanah (Tabel 4.38)

ac : Percepatan dasar gempa (m/s^2), harga periode ulang (Tabel 4.39)

E : Koefisien gempa

Z : Faktor yang tergantung dari letak geografis

G : Gravitasi ($9,81 m/dt^2$)

(Sumber : KP 06 Halaman 33)

Tabel 4. 38 Harga koefisien gempa n dan m

No	Jenis	N	M
1	Batuan	2,76	0,71
2	Diluvium	0,87	1,05
3	Alluvium	1,56	0,89
4	Alluvium Lunak	0,29	1,32

(Sumber : Yulistiyant B ; 2020)

a. Yang termasuk lapisan alluvium adalah lapisan endapan baru seperti endapan sungai, longsoran.

Tabel 4. 39 Periode Ulang dan Percepatan Dasar Gempa

No	Periode Ulang (Tahun)	ac ($gal = cm.dt^2$)
1	10	90
2	20	120
3	25	130
4	50	160
5	100	190
6	200	220
7	500	250
8	1000	280
9	5000	330

(Sumber : Kriteria Perencanaan Irigasi 06 ; 2013)

Tabel 4. 40 Harga Koefisien Gempa

Zona	Koefisien Zona Z
A	0,10 – 0,30
B	0,30 – 0,60
C	0,60 – 0,90
D	0,90 – 1,20
E	1,20 – 1,40
F	1,40 – 1,60

(Sumber : Kriteria Perencanaan Irigasi 06 ; 2013)

$n = 1,56$ (jenis berbatu)
 $m = 0,89$ (jenis berbatu)
 $a_c = 160 \text{ m/s}^2$ (periode ulang 50 tahun)
 $Z = 1,40$ zona F (Padang Pariaman)

maka :

$a_d = n (a_c \cdot z)^m$
 $= 1,56 (160 \cdot 1,40)^{0,89}$
 $= 160,172 \text{ m/s}^2$
 $E = a_d / g$
 $= 160,172 / 981$
 $= 0,163$

Perhitungan gaya akibat gempa :

a. Menghitung besarnya gaya gempa

$W1 = a \times t \times \gamma \times \text{koefisien gempa}$
 $= 1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 2,4 \text{ Ton/m}^3 \times 0,163$
 $= 0,3912 \text{ Ton}$

b. Menghitung lengan Momen

$W1 = (1/2 \times a) + \text{Jarak ke titik}$
 $= (1/2 \times 1 \text{ m}) + 0 \text{ m}$
 $= 0,5 \text{ m}$

c. Menghitung Momen

$W1 = \text{gaya} \times \text{lengan moment}$

= 0,3912 Ton X 0,5 m

= 0,1956 To

Persyaratan Angka Keamanan Minimal Terhadap Gaya Gempa

Jenis Angka Keamanan	Persyaratan AASHTO Design Method (1995)
SF Guling	1.5
SF Geser	1.1
SF Daya Dukung	1

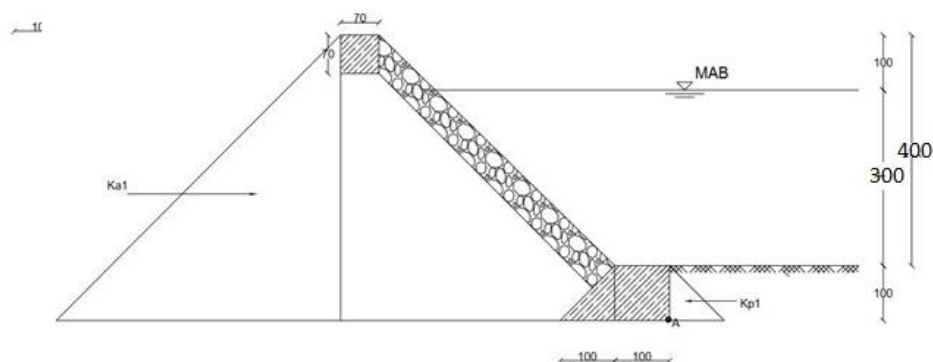
(Sumber : Prabawa, Dwi Iqbal, 2017)

Tabel 4.32 Momen Akibat Gaya Gempa

NO		Alas (m)	Tinggi (m)	Batu (Ton/m ³)	Koefisien Gempa	Gaya (Ton)	Lengan (m)	Momen (Ton.m)
W1		1	1	2,4	0,163	0,391	0,5	0,196
W2	0,5	1	1	2,4	0,163	0,391	1,5	0,587
W3		0,5	5	2,2	0,163	0,897	3,65	3,272
W4		0,7	0,7	2,4	0,163	0,192	4,95	0,949
Jumlah						1,871		5,003

(Sumber: Hasil Perhitungan)

4.7.3 Akibat Tekanan Tanah



Gambar 4.2 Akibat Tekanan Tanah

Gaya-gaya yang timbul akibat tekanan tanah dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$K = \frac{1}{2} \cdot \gamma' \cdot L^2 \cdot K_a$$

Dimana :

$$H = \text{Tinggi max}$$

$$K = \text{Gaya akibat tekanan tanah (t)}$$

$$\gamma' = \text{Berat jenis tanah efektif (t/m}^3\text{)}$$

K_a = Tekanan tanah aktif

$$\gamma' = \gamma_s - \gamma_w$$

Dimana :

γ' = Berat jenis tanah (t/m^3)

γ_s = Berat jenis efektif tanah (t/m^3)

γ_w = Berat jenis air (t/m^3)

- Tekanan Tanah Aktif :

$$\begin{aligned} K_a &= \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45 - \frac{35}{2} \right) \\ &= 0,27 \end{aligned}$$

- Tekanan Tanah Pasif :

$$\begin{aligned} K_p &= \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \\ &= \tan^2 \left(45 + \frac{35}{2} \right) \\ &= 3,69 \end{aligned}$$

$$\gamma' = \gamma_s - \gamma_w = 1,7 - 1 = 0,7 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Jarak} = 1/2 \times 5 = 2,5 \text{ m}$$

$$K_1 = \frac{1}{2} \cdot \gamma' \cdot H \cdot K_a$$

$$K_{a1} = \frac{1}{2} \cdot 0,7 \cdot 5 \cdot 0,27$$

$$= 0,472 \text{ T}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen horizontal} &= K_{a1} \cdot \text{Jarak} \\ &= 0,472 \times 2,5 \\ &= 1,18 \text{ T.m} \end{aligned}$$

Untuk perhitungan selanjutnya dilanjutkan dengan Tabel dibawah ini:

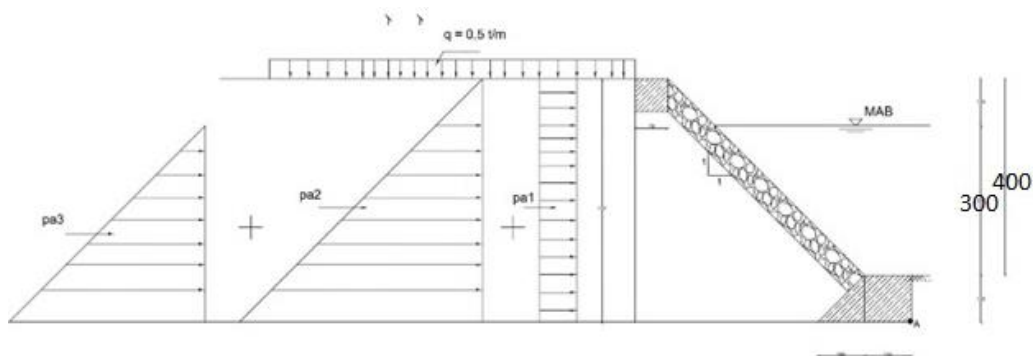
Tabel 4.33 Momen Akibat Tekanan Tanah

Beban	Gaya(t)	Lengan Momen (m)		Momen (t.m)	
			H		H
K _{a1}	0,472		2,5		1,18
K _{p1}	1,29		0,5		0,64
	1,762				1,82

(Sumber: Pengolahan Data)

4.7.4 Akibat Beban Terbagi Rata

Akibat Beban Merata dapat dilihat pada Gambar 4.4 dibawah ini :



Gambar 4.4 Akibat Beban Terbagi Rata

Beban jalan dapat dihitung berdasarkan gaya yang bekerja diatas jalan tersebut

$$q = 0,5 \text{ t}$$

$$\text{Momen} = k_a \cdot q \cdot H$$

$$= 0,27 \cdot 0,5 \cdot 5$$

$$= 0,675 \text{ t.m}$$

Untuk perhitungan selanjutnya dilanjutkan dengan tabel di bawah ini :

Beban	Gaya(t)	Lengan Momen		Momen(t.m)	
		V	H	V	H
Q	0,675		5		5,4
Jumlah	0,675				5,4

Tabel 4.34 Resume Gaya

Uraian	Besar Gaya (t)		Momen (t.m)	
	V	H	Tahan (t.m)	Geser(t.m)
Berat Sendiri	7,88		19,35	
Gaya Gempa		1,871		5,003
Tekanan Tanah		1,762		1,82
Akibat Beban Merata		0,675		5,4
	7,88	4,308	19,35	12,223

(Sumber: Pengolahan Data)

4.7.4 Kontrol Stabilitas Terhadap Tebing

Setelah dilakukan perhitungan terhadap gaya-gaya yang bekerja, selanjutnya dilakukan perhitungan stabilitas terhadap tebing.

$$M_t = 19,35$$

$$M_g = 12,223$$

$$\Sigma V = 7,88$$

$$\Sigma H = 4,308$$

Dengan rumus:

1. Kontrol terhadap guling

$$SF_1 = \frac{M_t}{M_g} \geq 1,5$$

$$= \frac{19,35}{12,223} \geq 1,5$$

$$= 1,59 > 1,5 \text{ (aman terhadap guling)}$$

2. Kontrol terhadap geser

$$\begin{aligned} Sf &= \frac{\Sigma V}{\Sigma H} \cdot \geq 1,5 \\ &= \frac{7,88}{4,308} \cdot \geq 1,5 \\ &= 1,82 > 1,5 \text{ (aman terhadap geser)} \end{aligned}$$

3. Kontrol eksentrisitas

$$\begin{aligned} e &= \frac{B}{2} - \left\{ \frac{Mt - Mg}{\Sigma V} \right\} < \frac{B}{6} \\ &= \frac{4}{2} - \left\{ \frac{19,35 - 12,223}{7,88} \right\} < \frac{4}{6} \\ e &= 0,504 < 0,666 \dots \text{ (memenuhi syarat)} \end{aligned}$$

4. Kontrol terhadap gaya dukung tanah

Dengan $\emptyset = 35^\circ$, maka dari tabel Teraghi didapat nilai-nilai faktor daya dukung tanah sebagai berikut :

$$N_c = 57,8$$

$$N_q = 41,4$$

$$N_\gamma = 42,4$$

Maka :

$$\begin{aligned} q &= c \cdot N_c + \gamma \cdot D \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \\ &= 0,4 \cdot 57,8 + 1,7 \cdot 3,5 \cdot 41,4 + 0,5 \cdot 1,7 \cdot 4 \cdot 42,4 \\ &= 413,61 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{izin} &= \frac{413,61}{2} \\ &= 206,805 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\Sigma V}{B} \cdot \left(1 + \frac{6e}{B} \right) &\leq \sigma_{izin} \\ &= \frac{7,88}{4} \cdot \left(1 + \frac{6 \cdot 0,504}{4} \right) \end{aligned}$$

$$= 3,447 < 206,805 \text{ (aman terhadap keruntuhan)}$$

$$\frac{\Sigma V}{B} \cdot \left(1 - \frac{6e}{B}\right) \leq \sigma_{\text{izin}}$$

$$= \frac{7,88}{4} \cdot \left(1 - \frac{6 \cdot 0,504}{4}\right)$$

$$= 0,244 < 206,805 \text{ (aman terhadap keruntuhan)}$$

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan tujuan dan hasil ini penulis dapat menyimpulkan sebagai berikut;

1. Dari hasil perhitungan Analisa curah hujan rencana, didapatkan dengan menggunakan Metode Log N normal, periode 2 tahun = 119,674 mm, 5 tahun = 163,712 mm, 10 tahun = 192,912 mm, 25 tahun = 226,306 mm, 50 tahun = 257,099 mm.
2. Debit banjir rencana yang digunakan dalam studi ini yaitu debit banjir rencana dengan kala ulang 25 tahun dengan menggunakan Metode Wedwen sebesar 488,678 m³/dt. hal ini untuk menyesuaikan dengan skala penanggulangan banjir di Sungai Bangek
3. Penampang pada sungai bangek ini direncanakan berbentuk trapesium , yang di dapat lebar 23,7 m, tinggi penampang 3 m serta tinggi jagaan 1 m.
4. Dinding penahan tanah menggunakan pasangan batu kali, dengan nilai stabilitas terhadap guling sebesar 1,59 >1,5 (aman) dan geser sebesar 1,67 > 1,5 (aman)

5.2 Saran

Selain beberapa kesimpulan di atas, beberapa saran yang dapat dikemukakan anantara lain :

1. Untuk mengurangi debit banjir, perlu dilakukan perbaikan dimensi penampang.
2. Perlunya ketelitian pada saat perhitungan hidrologi seperti dalam menganalisa curah hujan dan debit banjir rencana agar dihasilkan desain penampang yang ekonomis dan dapat menampung debit yang akan terjadi.

3. Disarankan agar dalam tahap perencanaan terlebih dahulu dilakukan survei studi yang berhubungan dengan keadaan sungai.
4. Tipe perkuatan tebing pada Sungai Bangek juga dapat menggunakan konstruksi lain dengan mempertimbangkan persyaratan teknis.

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Suripin, M. Eng, Dr. Ir. 2004, *Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan*. ANDI, Yogyakarta.
- Made Kamiana, I. 2011, *Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air*. GRAHA ILMU, Yogyakarta
- Soewarno. 1995. *Hidrologi – Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid I*. Bandung: Nova.
- Chow, Ven Te. 1959. *Pendekatan Berdasarkan Jenis Material dan Kekasaran Permukaan Saluran*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Harto, Sri, *Mengenal Dasar-dasar Hidrologi Terapan*, Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2000.
- C.D. Soemarto. 1987. *Hidrologi Teknik*. Surabaya.
<https://seputartangsel.pikiran-rakyat.com>
- Umar, Z. 2022. *Perencanaan Nornamlisasi Sungai*. Padang.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Nilai Variabel Reduksi Gauss (*Variable Reduced Gauss*)

No	Periode Ulang, T (tahun)	Peluang	K _r
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

Lampiran 2. Reduced Mean, Y_n

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5252	0,5203	0,5296	0,5309	0,532	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5392	0,5371	0,5380	0,5303	0,5386	0,5402	0,5410	0,5418	0,5424	0,543
40	0,5435	0,5442	0,5448	0,5453	0,5450	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5557
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600	0,5602	0,5603	0,5604	0,5606	0,5607	0,5608	0,5609	0,5610	0,5611

Lampiran 3. Reduced Standard Deviation, S_n

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1080
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	0,1538	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
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,9940	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065	1,2069	1,2073	1,2077	1,2081	1,2084	1,2087	1,2090	1,2093	1,2096

Lampiran 4. *Reduced Variate* Y_{Tr} sebagai fungsi periode ulang

Periode ulang, T_r (tahun)	<i>Reduced Variate,</i> Y_{Tr}	Periode ulang, T_r (tahun)	<i>Reduced Variate,</i> Y_{Tr}
2	0,3668	100	4,6012
5	1,5004	200	5,2969
10	2,251	250	5,5206
20	2,9709	500	6,2149
25	3,1993	1000	6,9087
50	3,9028	5000	8,5188
75	4,3117	10000	9,2121

Lampiran 5. Harga G pada distribusi Log Person III untuk Cs positif

Cs	Kala Ulang											
	1,0101	1,0526	1,1111	1,25	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Percent Chance											
	99	95	90	80	50	20	10	4	2	1	0.5	0.1
0.0	-2.326	-1.645	-1.282	-0.842	0.000	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576	3.090
0.1	-2.252	-1.616	-1.270	-0.846	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.400	2.670	3.235
0.2	-2.175	-1.586	-1.258	-0.850	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763	3.380
0.3	-2.104	-1.555	-1.245	-0.853	-0.050	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856	3.525
0.4	-2.029	-1.524	-1.231	-0.855	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615	2.949	3.670
0.5	-1.955	-1.491	-1.216	-0.856	-0.083	0.808	1.323	1.910	2.311	2.686	3.041	3.815
0.6	-1.880	-1.458	-1.200	-0.857	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132	3.960
0.7	-1.806	-1.423	-1.183	-0.857	-0.116	0.790	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223	4.105
0.8	-1.733	-1.388	-1.166	-0.856	-0.132	0.780	1.336	1.993	2.453	2.891	3.312	4.250
0.9	-1.660	-1.353	-1.147	-0.854	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401	4.395
1.0	-1.588	-1.317	-1.128	-0.852	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489	4.540
1.1	-1.518	-1.280	-1.107	-0.848	-0.180	0.745	1.341	2.006	2.585	3.087	3.575	4.680
1.2	-1.449	-1.243	-1.086	-0.844	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149	3.661	4.820
1.3	-1.388	-1.206	-1.064	-0.838	-0.210	0.719	1.339	2.108	2.666	3.211	3.745	4.965
1.4	-1.318	-1.163	-1.041	-0.832	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828	5.110
1.5	-1.256	-1.131	-1.018	-0.825	-0.240	0.690	1.333	2.146	2.743	3.330	3.910	5.250
1.6	-1.197	-1.093	-0.994	-0.817	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388	3.990	5.390
1.7	-1.140	-1.056	-0.970	-0.808	-0.268	0.660	1.324	2.179	2.815	3.444	4.069	5.525
1.8	-1.087	-1.020	-0.945	-0.799	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147	5.660
1.9	-1.037	-0.984	-0.920	-0.788	-0.294	0.627	1.310	2.207	2.881	3.553	4.223	5.785
2.0	-0.990	-0.949	-0.895	-0.777	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298	5.910
2.1	-0.946	-0.914	-0.869	-0.765	-0.319	0.592	1.294	2.230	2.942	3.656	4.372	6.055
2.2	-0.905	-0.882	-0.844	-0.752	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705	4.454	6.200
2.3	-0.867	-0.850	-0.819	-0.739	-0.341	0.555	1.274	2.248	2.997	3.753	4.515	6.333
2.4	-0.832	-0.819	-0.795	-0.725	-0.351	0.537	1.262	2.256	3.023	3.800	4.584	6.467
2.5	-0.799	-0.790	-0.771	-0.711	-0.360	0.518	1.250	2.262	3.048	3.845	4.652	6.600
2.6	-0.769	-0.762	-0.747	-0.696	-0.368	0.499	1.238	2.267	3.071	3.889	4.718	6.730
2.7	-0.740	-0.736	-0.724	-0.681	-0.376	0.479	1.224	2.272	3.097	3.932	4.783	6.860
2.8	-0.714	-0.711	-0.702	-0.666	-0.384	0.460	1.210	2.275	3.114	3.973	4.847	6.990
2.9	-0.690	-0.688	-0.681	-0.651	-0.390	0.440	1.195	2.277	3.134	4.013	4.909	7.120
3.0	-0.667	-0.665	-0.660	-0.636	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051	4.970	7.250

Lampiran 6. Harga G pada distribusi Log Person III untuk Cs Negatif

Cs	Kala Ulang											
	1,0101	1,0526	1,1111	1,25	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Percent Chance											
	99	95	90	80	50	20	10	4	2	1	0.5	0.1
0.0	-2.326	-1.645	-1.282	-0.842	0.000	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576	3.090
-0.1	-2.400	-1.673	-1.292	-0.836	0.017	0.846	1.270	1.716	2.000	2.252	2.482	2.950
-0.2	-2.472	-1.700	-1.301	-0.830	0.033	0.850	1.258	1.680	1.945	2.178	2.388	2.810
-0.3	-2.544	-1.726	-1.309	-0.824	0.050	0.853	1.245	1.643	1.890	2.104	2.294	2.675
-0.4	-2.615	-1.750	-1.317	-0.816	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029	2.201	2.540
-0.5	-2.686	-1.774	-1.323	-0.808	0.083	0.856	1.216	1.567	1.777	1.955	2.108	2.400
-0.6	-2.755	-1.797	-1.328	-0.800	0.099	0.857	1.200	1.528	1.720	1.880	2.016	2.275
-0.7	-2.824	-1.819	-1.333	-0.790	0.116	0.857	1.183	1.488	1.663	1.806	1.926	2.150
-0.8	-2.891	-1.839	-1.336	-0.780	0.132	0.856	1.166	1.448	1.606	1.733	1.837	2.035
-0.9	-2.957	-1.858	-1.339	-0.769	0.148	0.854	1.147	1.407	1.549	1.660	1.749	1.910
-1.0	-3.022	-1.877	-1.340	-0.758	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588	1.664	1.800
-1.1	-3.087	-1.894	-1.341	-0.745	0.180	0.848	1.107	1.324	1.435	1.518	1.581	1.713
-1.2	-3.149	-1.190	-1.340	-0.732	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449	1.501	1.625
-1.3	-3.211	-1.925	-1.339	-0.719	0.210	0.838	1.064	1.240	1.324	1.383	1.424	1.545
-1.4	-3.271	-1.938	-1.337	-0.705	0.225	0.832	1.041	1.198	1.270	1.318	1.351	1.465
-1.5	-3.330	-1.951	-1.333	-0.690	0.240	0.825	1.018	1.157	1.217	1.318	1.351	1.373
-1.6	-3.388	-1.962	-1.329	-0.675	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.197	1.216	1.280
-1.7	-3.444	-1.972	-1.324	-0.660	0.268	0.808	0.970	1.075	1.116	1.140	1.155	1.205
-1.8	-3.499	-1.981	-1.318	-0.643	0.282	0.799	0.945	1.035	1.069	1.087	1.097	1.130
-1.9	-3.553	-1.989	-1.310	-0.627	0.294	0.788	0.920	0.996	1.023	1.037	1.044	1.065
-2.0	-3.605	-1.996	-1.302	-0.609	0.307	0.777	0.895	0.959	0.980	0.990	0.995	1.000
-2.1	-3.656	-2.001	-1.294	-0.592	0.319	0.765	0.869	0.923	0.939	0.946	0.949	0.955
-2.2	-3.705	-2.006	-1.284	-0.574	0.330	0.752	0.844	0.888	0.900	0.905	0.907	0.910
-2.3	-3.753	-2.009	-1.274	-0.555	0.341	0.739	0.819	0.855	0.864	0.867	0.869	0.874
-2.4	-3.800	-2.011	-1.262	-0.537	0.351	0.725	0.795	0.823	0.830	0.832	0.833	0.838
-2.5	-3.845	-2.012	-1.290	-0.518	0.360	0.711	0.771	0.793	0.798	0.799	0.800	0.802
-2.6	-3.889	-2.013	-1.238	-0.499	0.368	0.696	0.747	0.764	0.768	0.769	0.769	0.775
-2.7	-3.932	-2.012	-1.224	-0.479	0.376	0.681	0.724	0.738	0.740	0.740	0.741	0.748
-2.8	-3.973	-2.010	-1.210	-0.460	0.384	0.666	0.702	0.712	0.714	0.714	0.714	0.722
-2.9	-4.013	-2.007	-1.195	-0.440	0.330	0.651	0.681	0.683	0.689	0.690	0.690	0.695
-3.0	-4.051	-2.003	-1.180	-0.420	0.390	0.636	0.660	0.666	0.666	0.667	0.667	0.668

Lampiran 7. Nilai Parameter Chi-Kuadrat Kritis, X^2_{cr} (uji satu sisi)

dk	α Derajat kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,0000393	0,000157	0,000982	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,070	12,832	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,690	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,180	2,733	15,507	17,535	20,090	21,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,940	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	19,675	21,920	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	21,026	23,337	26,217	28,300
13	3,565	4,107	5,009	5,892	22,362	24,736	27,688	29,819
14	4,075	4,660	5,629	6,571	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	24,996	27,488	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	26,296	28,845	32,000	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	27,587	30,191	33,409	35,718
18	6,265	7,015	8,231	9,390	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	30,144	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,260	9,591	10,851	31,41	34,170	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,260	10,196	11,689	13,091	36,172	38,076	41,683	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	36,415	39,364	42,980	45,558
25	10,520	11,524	13,120	14,611	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,160	12,198	13,844	15,379	38,885	41,923	45,642	48,290
27	11,808	12,879	14,573	16,151	40,113	43,194	46,963	49,645

Lampiran 8. Tabel Luas Daerah dibawah Kurva Normal

t	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
-3,4	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0002
-3,3	0,0005	0,0005	0,0005	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003
-3,2	0,0007	0,0007	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005
-3,1	0,0010	0,0009	0,0009	0,0009	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0007	0,0007
-3	0,0013	0,0013	0,0013	0,0012	0,0012	0,0011	0,0011	0,0011	0,0010	0,0010
-2,9	0,0019	0,0018	0,0017	0,0017	0,0016	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014
-2,8	0,0026	0,0025	0,0024	0,0023	0,0022	0,0022	0,0021	0,0021	0,0020	0,0019
-2,7	0,0036	0,0034	0,0033	0,0032	0,0030	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026
-2,6	0,0047	0,0045	0,0044	0,0043	0,0040	0,0040	0,0039	0,0038	0,0037	0,0036
-2,5	0,0062	0,0060	0,0059	0,0057	0,0055	0,0054	0,0052	0,0051	0,0049	0,0048
-2,4	0,0082	0,0080	0,0078	0,0075	0,0073	0,0071	0,0069	0,0068	0,0066	0,0064
-2,3	0,0107	0,0104	0,0102	0,0099	0,0096	0,0094	0,0091	0,0089	0,0087	0,0084
-2,2	0,0139	0,0136	0,0132	0,0129	0,0125	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,0110
-2,1	0,0179	0,0174	0,0170	0,0166	0,0162	0,0158	0,0154	0,0150	0,0146	0,0143
-2	0,0228	0,0222	0,0217	0,0212	0,0207	0,0202	0,0197	0,0192	0,0188	0,0183
-1,9	0,0287	0,0281	0,0274	0,0268	0,0262	0,0256	0,0250	0,0244	0,0239	0,0233
-1,8	0,0359	0,0352	0,0344	0,0336	0,0329	0,0322	0,0314	0,0307	0,0301	0,0294
-1,7	0,0446	0,0436	0,0427	0,0418	0,0409	0,0401	0,0392	0,0384	0,0375	0,0367
-1,6	0,0548	0,0537	0,0526	0,0516	0,0505	0,0495	0,0485	0,0475	0,0465	0,0455
-1,5	0,0668	0,0655	0,0643	0,0630	0,0618	0,0606	0,0594	0,0582	0,0571	0,0559
-1,4	0,0808	0,0793	0,0778	0,0764	0,0749	0,0735	0,0722	0,0708	0,0694	0,0681
-1,3	0,0968	0,0951	0,0934	0,0918	0,0901	0,0885	0,0869	0,0853	0,0838	0,0823
-1,2	0,1151	0,1133	0,1112	0,1093	0,1075	0,1056	0,1038	0,1020	0,1003	0,0985
-1,1	0,1357	0,1335	0,1314	0,1292	0,1271	0,1251	0,123	0,1210	0,1190	0,1170
-1	0,1587	0,1562	0,1539	0,1515	0,1492	0,147	0,1446	0,1423	0,1401	0,1379
-0,9	0,1841	0,1814	0,1788	0,1762	0,1736	0,1711	0,1685	0,1660	0,1635	0,1611
-0,8	0,2119	0,2090	0,2061	0,2033	0,2005	0,1997	0,1949	0,1922	0,1894	0,1867
-0,7	0,2420	0,2389	0,2358	0,2327	0,2296	0,2266	0,2236	0,2206	0,2177	0,2148
-0,6	0,2743	0,2709	0,2676	0,2643	0,2611	0,2578	0,2546	0,2514	0,2483	0,2451
-0,5	0,3085	0,3050	0,3015	0,2981	0,2946	0,2912	0,2877	0,2843	0,2810	0,2776
-0,4	0,3446	0,3409	0,3372	0,3336	0,3300	0,3264	0,3228	0,3192	0,3156	0,3121
-0,3	0,3821	0,3783	0,3745	0,3707	0,3669	0,3632	0,3594	0,3557	0,3520	0,3483
-0,2	0,4207	0,4168	0,4129	0,4090	0,4052	0,4013	0,3974	0,3936	0,3897	0,3859
-0,1	0,4602	0,4562	0,4522	0,4483	0,4443	0,4404	0,4364	0,4325	0,4286	0,4247
0	0,5000	0,4960	0,4920	0,4880	0,4840	0,4801	0,4761	0,4721	0,4681	0,4641
0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133

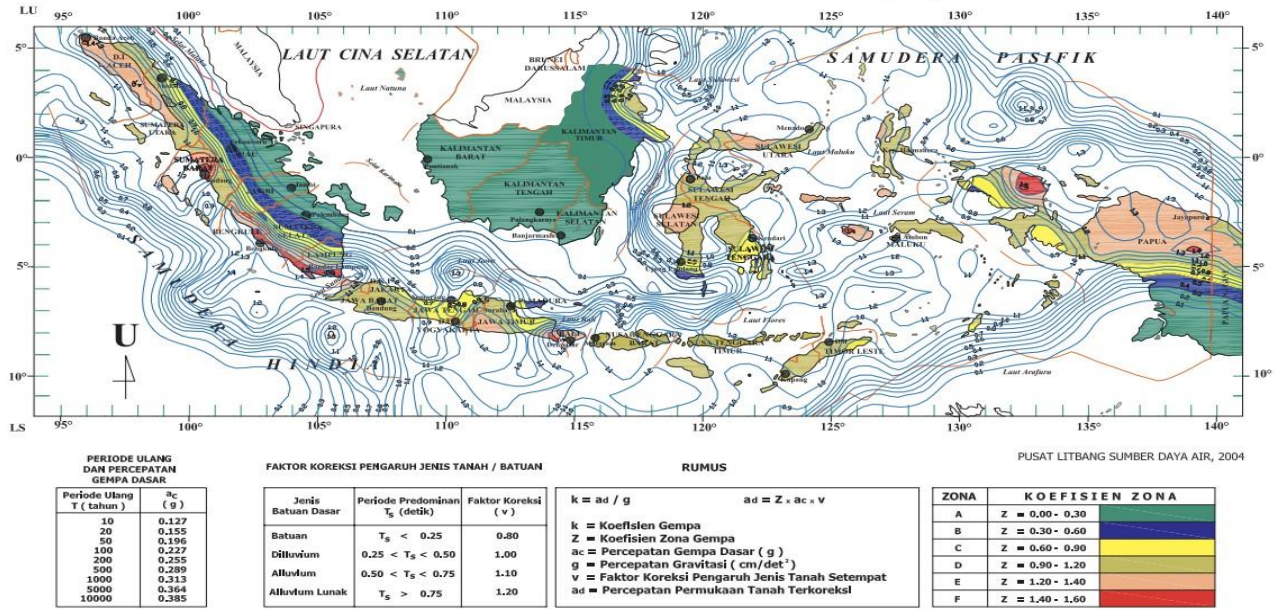
t	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9278	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9696	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,9989	0,9989	0,9990	0,9990
3,1	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993
3,2	0,9993	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
3,3	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
3,4	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998

Sumber : Suripin (2004)

Lampiran 9. Nilai ΔP Kritis Smirnov-Kolmogorof

Jumlah data N	α Derajat Kepercayaan			
	0,2	0,1	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	0,3	0,34	0,4
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	0,2	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,2	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
N>50	$1,07/N^{0,5}$	$1,22/N^{0,5}$	$1,36/N^{0,5}$	$1,63/N^{0,5}$

Lampiran 10 Peta Zonasi Gempa Indonesia



(Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum, 2010)

Lampiran 11 Tabel Terzaghi Untuk Menentukan Nilai N_c N_q N_γ

ϕ'	N_c	N_q	N_γ	ϕ'	N_c	N_q	N_γ
0	5.14	1.00	0.00	26	22.25	11.85	12.54
1	5.38	1.09	0.07	27	23.94	13.20	14.47
2	5.63	1.20	0.15	28	25.80	14.72	16.72
3	5.90	1.31	0.24	29	27.86	16.44	19.34
4	6.19	1.43	0.34	30	30.14	18.40	22.40
5	6.49	1.57	0.45	31	32.67	20.63	25.99
6	6.81	1.72	0.57	32	35.49	23.18	30.22
7	7.16	1.88	0.71	33	38.64	26.09	35.19
8	7.53	2.06	0.86	34	42.16	29.44	41.06
9	7.92	2.25	1.03	35	46.12	33.30	48.03
10	8.35	2.47	1.22	36	50.59	37.75	56.31
11	8.80	2.71	1.44	37	55.63	42.92	66.19
12	9.28	2.97	1.69	38	61.35	48.93	78.03
13	9.81	3.26	1.97	39	67.87	55.96	92.25
14	10.37	3.59	2.29	40	75.31	64.20	109.41
15	10.98	3.94	2.65	41	83.86	73.90	130.22
16	11.63	4.34	3.06	42	93.71	85.38	155.55
17	12.34	4.77	3.53	43	105.11	99.02	186.54
18	13.10	5.26	4.07	44	118.37	115.31	224.64
19	13.93	5.80	4.68	45	133.88	134.88	271.76
20	14.83	6.40	5.39	46	152.10	158.51	330.35
21	15.82	7.07	6.20	47	173.64	187.21	403.67
22	16.88	7.82	7.13	48	199.26	222.31	496.01
23	18.05	8.66	8.20	49	229.93	265.51	613.16
24	19.32	9.60	9.44	50	266.89	319.07	762.89
25	20.72	10.66	10.88				