

**KAJIAN PENGENDALIAN BANJIR KALI WIDAS
KABUPATEN NGANJUK DENGAN TANGGUL DAN
RETARDING BASIN**

**Diajukan untuk melengkapi tugas dan memenuhi syarat guna
memperoleh gelar sarjana teknik**



Disusun Oleh :
DIDIK EFENDI .H.
98.23.016



**JURUSAN TEKNIK PENGAIRAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG
2005**

**LEMBAR PERSETUJUAN
TUGAS AKHIR**

**KAJIAN PENANGGULANGAN BANJIR KALI WIDAS KABUPATEN
NGANJUK DENGAN TANGGUL DAN RETARDING BASIN**

**Diajukan untuk melengkapi tugas dan memenuhi syarat guna memperoleh gelar
sarjana teknik**

**Disusun Oleh :
DIDIK EFENDI .H.
98.23.016**

Menyetujui :

Pembimbing I

(Ir. H.M.Liliek Dumairi,DIPL.HE)

Pembimbing II

(Ir.IWayan Mundra, MT)

Mengetahui :

Ketua Jurusan Teknik Pengairan



(Ir. Ibnu Hidayat P.J,MT)



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

SI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting) Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

BERITA ACARA
UJIAN KOMPRESHIP TUGAS AKHIR

Telah dipertahankan di hadapan Majelis Penguji Kompreship Tugas Akhir jenjang Program Strata Satu (S-1) Jurusan Teknik Pengairan, pada kamis 22 September 2005 dengan Judul Tugas Akhir:

**KAJIAN PENGENDALIAN BANJIR KALI WIDAS KABUPATEN NGANJUK
DENGAN TANGGUL DAN RETARDING BASIN**

Oleh

Nama : Didik Efendi Hariyanto

Nim : 98.23.016

Dinyatakan Lulus Dengan Nilai C+

Majelis Penguji

Penguji

Ir.H. Ibnu Hidayat.P.J.,MT

Penguji

Ir.Hirijanto.MT

PANITIA UJIAN

Ketua



Ir. Agustina Nurul Hidayati, MTP
NIP.Y.1039000214

Sekretaris

Ir. H. Ibnu Hidayat.P.J.,MT
NIP.131.947.534



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

NI (PERSERO) MALANG
BANK NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting) Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

KARTU BIMBINGAN TUGAS AKHIR
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

NAMA MAHASISWA : DIDIK EFENDI HARIYANTO
NIM : 98.23.016
JURUSAN : TEKNIK PENGAIRAN
JUDUL TUGAS AKHIR : KAJIAN PENGENDALIAN BANJIR KALI WIDAS
KABUPATEN NGANJUK DENGAN TANGGUL
DAN RETARDING BASIN

TANGGAL PENGAJUAN : 17 FEBRUARI 2005

SELESAI TANGGAL : 20 SEPTEMBER 2005

DOSEN PEMBIMBING : 1. Ir.H.M.Liliek Dumairi,DIPL.HE
2. Ir.I Wayan Mundra, MT

Dosen Pembimbing I

Ir.H.M.Liliek Dumairi,DIPL.HE

Dosen Pembimbing II

Ir.I Wayan Mundra, MT

Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan



Ir. Agustina Nurul Hidayati, MTP
NIP. Y. 1039000214

DEKAN



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

(PERSERO) MALANG
K NIAGA MALANG

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting) Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

PERSETUJUAN PERBAIKAN TUGAS AKHIR

Berdasarkan lembar perbaikan Tugas Akhir, yang siberikan pada saat Ujian
Komprehenship Tugas Akhir Teknik Pengairan pada

Hari : kamis
Tanggal : 22 September 2005

Untuk Mhasiswa:

Nama : Didik Efendi Hariyanto
Nim : 98.23.016

Sudah diadakan perbaikan sebagaimana mestinya dan dapat diajukan kembali untuk
memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Malang, September 2005

Penguji

Mahasiswa Ybs,

Ir.H.Ibnu Hidayat P.J.,MT

Didik Efendi Hariyanto

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Pengairan
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Nasional Malang



Ir.H.Ibnu Hidayat.P.J.,MT
NIP. 131.947.534



PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting) Fax. (0341) 553015 Malang 65145
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

PERSETUJUAN PERBAIKAN TUGAS AKHIR

Berdasarkan lembar perbaikan Tugas Akhir, yang siberikan pada saat Ujian
Komprehenship Tugas Akhir Teknik Pengairan pada

Hari : kamis
Tanggal : 22 September 2005
Untuk Mhasiswa:
Nama : Didik Efendi Hariyanto
Nim : 98.23.016

Sudah diadakan perbaikan sebagaimana mestinya dan dapat diajukan kembali untuk
memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Malang, September 2005

Mahasiswa Ybs,

Ir. Hirijanto, MT

Didik Efendi Hariyanto

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Pengairan
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Nasional Malang



Ir. H. Ibnu Hidayat.P.J., MT
NIP. 131.947.534

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul ***Kajian Pengendalian Banjir Kali Widias Kabupaten Nganjuk Dengan Tanggul Dan Retarding Basin*** sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik.

Dengan terselesaikannya laporan tugas akhir ini, penyusun mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya atas bimbingan, pengarahan, saran dan dorongan serta waktu yang sangat berharga yang telah diberikan selama proses penyusunan hingga terselesaikannya laporan tugas akhir ini kepada yang terhormat :

1. Bapak Ir. Ibnu Hidayat P.J, MT selaku ketua jurusan Teknik Pengairan.
2. Bapak Ir. Endro Yuwono selaku sekretaris jurusan Teknik Pengairan.
3. Bapak Ir.H.M.Lilieki Dumairi, DIPL.HE selaku Dosen Pembimbing I.
4. Bapak Ir. I Wayan Mundra, MT selaku Dosen Pembimbing II.
5. Rekan-rekan Mahasiswa khususnya Teknik Pengairan yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Dengan menyadari adanya keterbatasan waktu, kemampuan pengetahuan, literature dan pengalaman, maka tugas akhir ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penyusun mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak untuk tugas akhir ini. Akhirnya penyusun berharap semoga makalah ini dapat bermanfaat dan menjadi tambahan ilmu pengetahuan bagi semua pihak. Amin.

Malang, September 2005

Penyusun

DAFTAR ISI

BAB I

PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Batasan masalah.....	3
1.3. Maksud dan Tujuan.....	3
1.4. Rumusan Masalah.....	4

BAB II

DASAR-DASAR ANALISA DEBIT BANJIR RENCANA , PERENCANAAN TANGGUL DAN RETARDING BASIN

2.1. Analisa Debit Banjir Rencana	5
2.1.1. Curah Hujan Harian.....	5
2.1.2. Curah Hujan Rancangan.....	8
2.1.3. Curah Hujan Maksimal Yang Mungkin Terjadi (PMP).....	9
2.1.4. Distribusi Curah Hujan.....	10
2.1.5. Uji Kesesuaian Distribusi Frekwensi.....	11
2.1.6. Koefisien Pengaliran.....	14
2.1.7. Debit Banjir Rencana... ..	15
2.1.8. Lengkung Massa dan Kapasitas Waduk.....	18
2.1.9. Analisa Hidrolika	22
2.2. Perencanaan Tanggul	25
2.2.1. Jenis-Jenis Tanggul	26
2.2.2. Tinggi Jagaan	28

2.2.3. Lebar Mercu Tanggul.....	29
2.2.4. Kemiringan Lereng Tanggul	29
2.3. Perencanaan Retarding Basin	30

BAB III

PERENCANAAN TANGGUL DAN WADUK PENAMPUNG BANJIR

(RETARDING BASIN)

3.1. Metodologi.....	32
3.2. Aspek Hidrologi	33
3.2.1. Data Curah Hujan	33
3.2.2. Hujan Rerata Daerah	34
3.2.3. Distribusi Frekwensi E.J.Gumbel	35
3.2.4. Distribusi Hujan...	37
3.2.5. Perhitungan Curah Hujan Efektif	38
3.2.6. Uji Kesesuaian.....	39
3.2.7. Hidrograf Banjir Rancangan	42
3.3. Perencanaan Tanggul.....	53
3.4. Perencanaan Retarding Basin.....	54

BAB IV

PENUTUP.....57

4.1.Kesimpulan

4.2. Saran

DAFTAR PUSTAKA.....

LAMPIRAN.....

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Air merupakan sumber alam yang sangat penting untuk kehidupan manusia, baik sebagai sumber makanan, sumber tenaga maupun untuk kegunaan yang lain. Meskipun air sangat bermanfaat, tetapi air kadang kala menjadi penyebab terjadinya banjir yang bisa menimbulkan kerugian yang tidak sedikit. Apabila air banjir pada musim hujan dapat ditampung dan disimpan, maka pada saat kekurangan air atau pada musim kemarau dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan hidup manusia dan keperluan lain seperti, Irigasi, Pertanian, dan Perikanan. Seperti yang telah kita ketahui bersama, sumber air dapat berupa waduk, sungai, atau air tanah (*Ground Water*). Untuk pengaturan air tersebut, diperlukan sarana-sarana tertentu berupa bangunan atau sarana khusus yang diharapkan dapat membantu kelancaran pengaliran air.

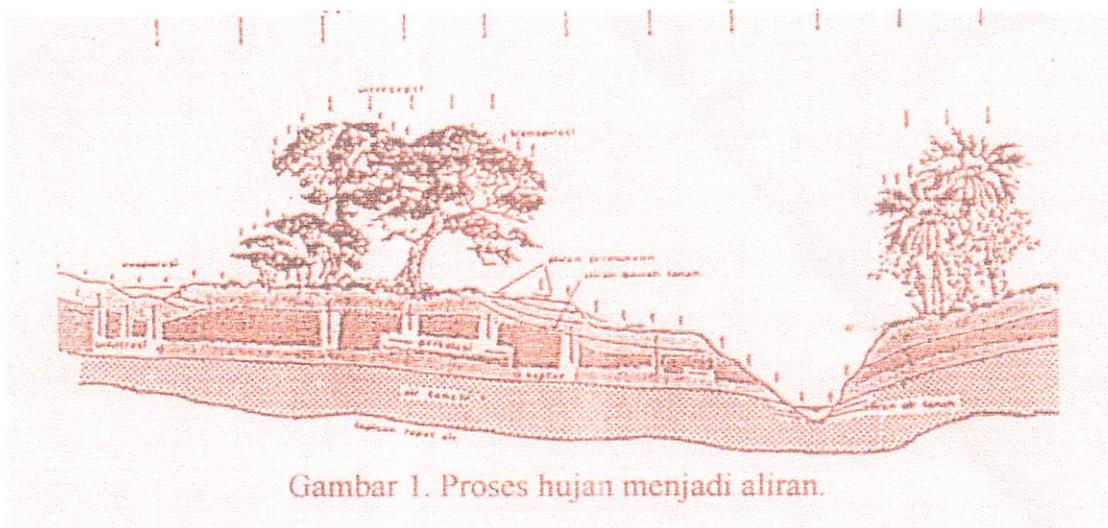
Daerah pengaliran Kali Widias Kabupaten Nganjuk, ditinjau dari segi topografi serta letak ketinggiannya berada sekitar 60 sampai dengan 2.300 meter diatas permukaan air laut, dan daerah ini merupakan daerah yang mempunyai iklim tropis dengan temperature udara berkisar antara 25°C -33°C, sedangkan curah hujan rata-rata pertahun berkisar antara 1500 mm/tahun s/d 1800 mm/tahun.

Curah hujan yang cukup tinggi bagi Kota Nganjuk, telah dapat menimbulkan genangan air atau banjir pada daerah tersebut, sehingga dapat menghambat pertumbuhan kota.

Hujan terjadi karena penguapan air, terutama air dari permukaan air laut, yang terbawa oleh angin naik terkondensi atmosfer. Apabila kondisi memungkinkan kondensasi awan tersebut berubah menjadi hujan yang sebagian airnya jatuh di atas laut dan sebagian di atas daratan. Air hujan yang jatuh di daratan pertama-tama akan terintersepsi oleh tanaman dan bangunan, kemudian sisanya akan sampai di permukaan tanah. Di permukaan tanah sebagian air terinfiltrasi ke dalam tanah, mengalir ke dalam tanah sebagai aliran bawah permukaan dan sebagian menjadi aliran permukaan tanah. Sebagian air yang terintersepsi dan mengalir di permukaan tanah kembali ke atmosfer melalui proses penguapan.

Aliran permukaan tanah bermula dari lapis air yang tipis dan bergerak di permukaan tanah, selanjutnya terkumpul pada tampungan-tampungan cekungan kecil atau alur-alur kecil. Air dalam alur-alur kecil ini kemudian masuk ke sistem jaringan sungai.

Jika kondisi memungkinkan air yang terinfiltrasi akan masuk lebih dalam dan mengisi air tanah, yang kemudian dapat muncul sebagai mata air atau rembesan ke dalam aliran sungai bergabung dengan aliran permukaan, dan akhirnya menuju ke laut. Proses hujan menjadi aliran dapat dilihat pada gambar 1 berikut :



Gambar 1. Proses hujan menjadi aliran.

Gambar 1. Proses Hujan Menjadi Aliran.

1.2. BATASAN MASALAH .

Sesuai dengan uraian diatas, pembahasan masalah dititik beratkan pada proses analisa debit banjir yang sebagai objeknya adalah pada Kali Widas, yang meliputi ;

1. Data debit kala ulang 10 tahun (Q_{10}).
2. Menganalisa atau merencanakan debit yang mengalir pada Kali Widas, sehingga masalah banjir dapat teratasi.
3. Hasil akhir analisis adalah alternatif pengendalian banjir.

1.3. MAKSUD DAN TUJUAN.

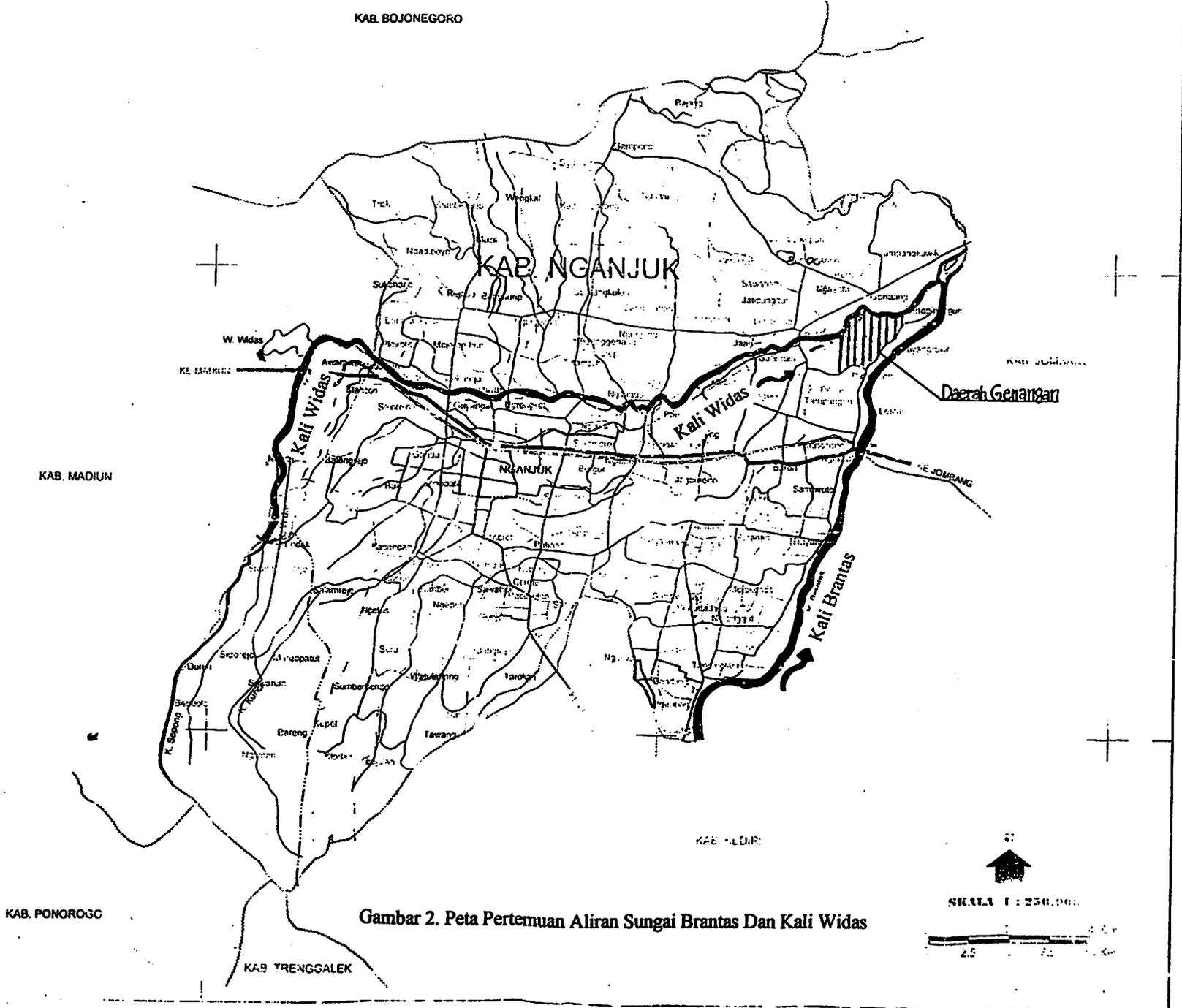
Maksud dari studi ini adalah untuk mengetahui debit maksimumnya (puncak), debit banjir pada Kali Widas yang pada saat ini sudah dapat menimbulkan genangan atau banjir disekitarnya.

Sedangkan tujuan dari pada studi ini adalah dapat mengetahui limpasan yang terjadi pada Kali Widas yang sudah dapat menimbulkan genangan, serta memberikan alternatif dalam penanggulangan banjir di daerah tersebut.

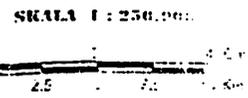
1.4. RUMUSAN MASALAH.

Berdasarkan batasan masalah diatas, maka analisa banjir pada Kali Widas Kabupaten Nganjuk ini akan menyajikan beberapa hal yaitu ;

1. Besarnya debit (Q_{10}) yang direncanakan pada daerah studi. ?
3. Besarnya limpasan yang terjadi pada Kali Widas. ?
2. Alternatif atau usaha-usaha yang harus dilakukan untuk pengendalian banjir pada Kali Widas. ?



Gambar 2. Peta Pertemuan Aliran Sungai Brantas Dan Kali Widas



BAB II

DASAR-DASAR ANALISA DEBIT BANJIR RENCANA, PERENCANAAN TANGGUL DAN RETARDING BASIN

2.1. ANALISA DEBIT BANJIR RENCANA.

Langkah awal dari setiap perencanaan suatu proyek khususnya untuk perencanaan bangunan-bangunan air, selalu didahului dengan perhitungan hidrologi perencanaan. Pertama sekali yang dilakukan dalam perhitungan hidrologi pada perencanaan suatu proyek adalah analisa curah hujan rancangan dengan kala ulang tertentu. Hal ini dimaksudkan untuk merencanakan bangunan, baik dimensinya maupun usia gunanya, dengan pertimbangan bahwa setiap proyek atau bangunan direncanakan untuk keperluan dimasa yang akan datang.

Pada analisa ini data curah hujan yang digunakan adalah data hujan selama 10 (sepuluh) tahun pengamatan. Analisa curah hujan dalam perencanaan bangunan air diperlukan untuk menghitung debit banjir rencana yang mungkin terjadi selama masa efektif dari bangunan tersebut.

2.1.1. Curah Hujan Harian.

Dalam menentukan tinggi curah hujan rata-rata di beberapa titik pos penakar hujan, ada tiga cara yang umum digunakan yaitu :

(CD Soemarto: 23 : 1986) yaitu ;

a) Cara rata-rata Aljabar (*Aritmatic Mean Method*).

Cara ini adalah perhitungan rata-rata Aljabar curah hujan didalam dan disekitar daerah yang bersangkutan.

$$R = 1/n (R_1+R_2+....+R_n) \quad \dots\dots\dots(1-1)$$

dimana:

R = Curah Hujan Daerah (mm).

n = Jumlah pos penakar.

$R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ = Curah hujan ditiap titik pos pengamatan.

$$\bar{R} = \frac{\sum R}{n} \dots\dots\dots(1-2)$$

dimana :

\bar{R} = rata-rata akhir curah hujan untuk 10 tahun pengamatan.

R = rata-rata hitungan.

n = jumlah data.

b) Cara Poligon Thiessen.

Misalnya A_1 adalah luas daerah pengaruh pos penakar 1, A_2 luas daerah pengaruh pos penakar 2 dan seterusnya. Jumlah $A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n = A$

Adalah jumlah luas seluruh areal yang dicari tinggi curah hujan rata-ratanya.

Jika pos penakar 1 menakar d_n , maka :

$$d = \frac{A_1 d_1 + A_2 d_2 + A_3 d_3 + \dots + A_n d_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n}$$
$$= \sum_{i=1}^n \frac{A_i d_i}{A} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i d_i}{A} \dots\dots\dots(1-3)$$

dimana :

A = luas areal.

D = tinggi curah hujan rata-rata areal.

$d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ = tinggi curah hujan dipos 1, 2, 3, ... n.

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ = luas daerah pengaruh pos 1, 2, 3, ... n.

Jika $\frac{A_i}{A} = P_i$ merupakan persentase luas pada pos i yang

Jumlahnya untuk seluruh luas adalah 100%.

Maka:

$$d \sum_{i=1}^n P_i d_i$$

c) Cara Garis Isohyet.

Rumus yang pakai adalah sebagai berikut :

$$d = \frac{\frac{d_0 + d_1}{2} \cdot A_1 + \frac{d_1 + d_2}{2} \cdot A_2 + \dots + \frac{d_{n-1} + d_n}{2} \cdot A_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n}$$

$$= \frac{\sum_1^n \frac{d_{i-1} + d_i}{2} \cdot A_i}{\sum_i A_i}$$

$$= \sum_i^n \frac{\frac{d_{i-1} + d_i}{2} \cdot A_i}{A} \dots\dots\dots(1-4)$$

dimana:

$A = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n$ = luas daerah total.

D = tinggi curah hujan rata-rata areal.

$d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ = curah hujan pada Isohyet $0, 1, 2, 3, \dots, n$.

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ = luas bagian areal yang dibatasi oleh Isohyet yang bersangkutan.

2.1.2. Curah Hujan Rancangan.

Ada dua cara metode yang digunakan untuk menganalisa curah hujan rancangan yaitu:

a) Metode Log Pearson Type III.

* Rata-rata logaritma: $\log \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log x_i$ (1-5)

* Standart deviasi: $S = \sqrt{\frac{\sum (\log x - \log \bar{x})^2}{n-1}}$ (1-6)

* Koefisien Asimetri $C_s = \frac{n \sum (\log x - \log \bar{x})^3}{(n-1).(n-2).(S)^3}$ (1-7)

* Persamaan peramalan menurut distribusi ini adalah:

$$\log x_T = \log \bar{x} + k \cdot S \quad \text{.....(1-8)}$$

dimana:

$\log X_T$ = Curah hujan rancangan kala ulang T tahun.

$\log \bar{x}$ = Rerata logaritma.

S = Standart deviasi.

b) Metode Gumbel.

Persamaan Gumbel adalah sebagai berikut:

$$X_T = \bar{x} + S.K \quad \text{.....(1-9)}$$

dimana:

X_T = Variate yang diekstrapolasikan, yaitu besarnya

Curah hujan rencana untuk periode ulang T

Tahun.

\bar{x} = harga rata-rata dari data.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_1^n x_i \quad \dots\dots(1-10)$$

S = Standart deviasi.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_1^n X_i (x_i \times \bar{x})}{n-1}} \quad \dots\dots(1-11)$$

dimana : x_i = total curah hujan rancangan.

\bar{x} = rata-rata akhir data hujan.

n = jumlah data.

k = Faktor frekwensi yang mana masih diuraikan sebagai berikut :

$$k = \frac{Y_T - Y_n}{S_n}$$

dimana : Y_T = fungsi dari waktu ulang T (tabel 2-1).

Y_n = fungsi n (tabel 2-2).

S_n = fungsi dari banyak data n (tabel 2-2).

2.1.3. Curah Hujan maksimum Yang Mungkin Terjadi (PMP).

Perhitungan curah hujan maksimum yang mungkin terjadi (PMP) dilakukan dengan menggunakan Metode Hersfield dengan persamaan sebagi berikut :

(E.Wilson:33:1993)

$$X_m = X_n + K_m \cdot S_n \quad \dots\dots(1-12)$$

dimana :

X_m : Curah hujan terbesar yang mungkin terjadi.

K_m : Faktor koefisian Hersfiel.

X_n : Harga rata-rata hujan.

S_n : Standart deviasi.

Tabel 2.1. Reduced variate sebagai fungsi waktu ulang T (Y_T).

T	YT	T	YT
2	0.36651	100	4.60015
5	1.49994	200	5.29581
10	2.25037	500	6.21361
15	2.67375	1000	6.90726
20	2.97020	2000	7.60065
25	3.19853	5000	8.51709
50	3.90194	10000	9.21029

(Sumber : Hidrologi Teknik, C.D. Soemarto, 1983)

Tabel 2.2. Hubungan besarnya sampel n dengan reduced mean Y_n serta reduced standard deviation S_n .

n	Yn	Sn
10	0.4952	0.9497
15	0.5128	1.0205
20	0.5235	1.0628
25	0.5308	1.0914
50	0.5485	1.1607
100	0.5600	1.2065
500	0.5724	1.2588
1000	0.5745	1.2685

(Sumber : Hidrologi Teknik, C.D. Soemarto, 1986)

2.1.4. Distribusi Curah Hujan.

Dalam studi ini, diperhitungkan kemungkinan curah hujan tiap jamnya, dihitung dengan menggunakan rumus Dr. Mononobe, sebagai berikut :

(Suyono : 45 : 1989)

$$R_T = \frac{R_{24}}{t} \times \left(\frac{t}{T} \right)^{\frac{2}{3}} \quad \dots\dots(1-13)$$

dimana:

R_T = Intensitas hujan rerata (mm / jam).

R_{24} = Curah hujan efektif dalam satu hari.

t = Waktu konsentrasi hujan (jam).

T = Waktu mulai hujan.

Perhitungan curah hujan pada jam ke T, digunakan rumus sebagai berikut (Suyono Sosrodarsono, 1981):

$$Rt = t \times R_T - (t - 1) \times (R_T - 1) \quad \dots\dots(1-14)$$

dimana :

Rt = curah hujan pada jam ke T

R_T = intensitas curah hujan rerata

t = lamanya hujan rerata sampai jam ke (t-1)

2.1.5. Pemeriksaan Uji Kesesuaian Distribusi Frekwensi.

Untuk mengetahui apakah suatu data sesuai dengan jenis sebaran teoritis yang dipilih maka setelah penggambaran pada kertas probabilitas perlu dilakukan pengujian lebih lanjut. Pengujian ini biasanya dengan uji kesesuaian yang dilakukan dengan dua cara uji yaitu Smirnov Kolmogorov dan uji Chi Kuadrat.

a). Metode Smirnov Kolmogorov

Pemeriksaan uji kesesuaian ini dimaksudkan untuk mengetahui suatu kebenaran hipotesa distribusi frekwensi.

Dengan pemeriksaan ini akan diketahui :

- Kebenaran antara hasil pengamatan dengan model distribusi yang diharapkan atau yang diperoleh secara teoritis.

- Kebenaran hipotesa (diterima atau ditolak).

Hipotesa adalah perumusan sementara terhadap suatu hal untuk menjelaskan hal tersebut, kearah penyelidikan selanjutnya. Untuk mengadakan pemeriksaan uji diawali dengan plotting data dari hasil pengamatan pada kertas probabilitas dan durasi yang sesuai.

Tahapan plotting data dan garis durasi pada kertas probabilitas sebagai berikut :

- Data hujan maksimum rerata tiap tahun disusun dari kecil ke besar.
- Probabilitas dihitung dengan persamaan Weibul, yaitu :

$$P = \frac{100 + m}{n + 1} (\%)$$

dimana :

P = Probabilitas (%)

m = Nomor urut data dari seri data yang telah disusun

n = Nilai data

- Plot data hujan X_i dan probabilitas
- Plot persamaan analisis frekwensi yang sesuai

Tabel 2.3 Nilai Kritis D_0 untuk Uji Smirnov Kolmogorov

N	α			
	0.20	0.10	0.05	0.01
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0.32	0.37	0.41	0.49
15	0.27	0.30	0.34	0.40
20	0.23	0.26	0.29	0.36
25	0.21	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.20	0.23	0.27
40	0.17	0.19	0.21	0.25
45	0.16	0.18	0.20	0.24
50	0.15	0.17	0.19	0.23
$N > 50$	$107/N^{0.5}$	$1.22/N^{0.5}$	$1.36/N^{0.5}$	$1.63/N^{0.5}$

Sumber : Bonnier, 1980.

Catatan : α = derajat kepercayaan.

b). Chi-Square

Dari distribusi (sebaran) Chi-Square, dengan penjabaran seperlunya, dapat diturunkan persamaan :

$$X^2 = \sum \frac{(Ef - Of)^2}{Ef} \dots\dots\dots(1-15)$$

dimana :

X^2 = Harga Chi-Square

Ef = Frekwensi (banyaknya pengamatan) yang diharapkan, sesuai dengan pembagian kelasnya.

Of = Frekwensi yang terbaca pada kelas yang sama .

Nilai X^2 yang didapat, harus lebih kecil dari harga X_2 kritis untuk suatu derajat nyata tertentu (*level of significance*), yang diambil sebesar 5%.

Derajat kebebasan ini dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Dk = K - (P + 1) \dots \dots \dots (1-16)$$

dimana :

Dk = Derajat kebebasan

K = Banyaknya kelas

P = Banyaknya keterikatan atau parameter, untuk sebaran Chi-Square

$$K = 1 + 3.322 \log n$$

Disarankan agar banyaknya kelas tidak kurang dari lima dan frekwensi absolute tiap kelas tidak kurang dari lima pula. Apabila ada kelas yang frekwensinya kurang dari lima, maka dapat dilakukan penggabungan dengan kelas yang lain.

2.1.6. Koefisien Pengaliran.

Perhitungan koefisien pengaliran yang digunakan adalah koefisien pengaliran rata-rata daerah studi dengan memperhatikan karakteristik hujan yang jatuh pada lokasi daerah kajian.

Besarnya koefisien pengaliran tidak akan sama antara daerah yang satu dengan daerah yang lain. Hal ini dipengaruhi adanya banyak faktor, antara lain :

- Struktur geologi tanah.
- Kemiringan daerah aliran.
- Jenis permukaan tanah.
- Klimatologi (suhu, angin, serta evaporasi).

Dari berbagai data koefisien pengaliran untuk berbagai macam daerah, maka dapat dilihat nilai C pada tabel sebagai berikut:

Tabel 2.4. Nilai C Untuk Daerah Pertanian dan Hutan berdasarkan Kemiringan Lahan dan Jenis Tanahnya

Tataguna tanah	Loam berpasir	Lempung siltloam	Lempung padat
Hutan			
Kemiringan 0-5%	0.10	0.30	0.40
5-10%	0.25	0.35	0.50
10-30%	0.30	0.50	0.60
Padang rumput			
Kemiringan 0-5%	0.10	0.30	0.40
5-10%	0.15	0.35	0.55
10-30%	0.20	0.40	0.60
Tanah pertanian			
Kemiringan 0-5%	0.30	0.50	0.60
5-10%	0.4	0.60	0.70
10-30%	0.50	0.70	0.80
Perumahan			
Daerah singlefamily	0.30 – 0.50		
Multi units, terpisah	0.40 – 0.60		
Multi units, tertutup	0.60 – 0.75		

Sumber ; Iman Subarkah (1978).

2.1.7. Debit Banjir Rencana

Debit banjir rencana adalah debit banjir terbesar tahunan yang kemungkinan terjadi pada periode ulang tertentu atau debit banjir dengan suatu kemungkinan periode ulang tertentu. Debit banjir rencana ditentukan jangan terlalu kecil agar tidak sering terjadi ancaman perubahan bangunan atau daerah-daerah sekitarnya akibat banjir yang lebih besar. Akan tetapi juga tidak boleh terlalu besar, sehingga bangunan menjadi tidak ekonomis. Untuk itu besarnya debit rencana hendaknya ditetapkan dengan masa ulang tertentu. Pemilihan masa ulang tertentu harus didasarkan pada pertimbangan hidroekonomis, (Imam Subarkah, 1980) berdasarkan :

- a. Besarnya kerugian yang akan ditanggung, jika bangunan rusak oleh banjir dan sering tidaknya perusakan itu terjadi.
- b. Umur ekonomis bangunan.
- c. Biaya bangunan.

Perhitungan debit banjir dikerjakan dengan melakukan analisa data curah hujan dan banjir. Besarnya debit banjir rencana dapat ditentukan dengan beberapa metode, diantaranya dengan metode hidrograf banjir, yang dalam hal ini digunakan metode satuan sintetik Nakayasu (*CD. Soemarto, 1987; 168*), adalah dengan membuat hidrograf banjir pada sungai yang tidak ada atau sedikit sekali dilakukan pengamatan hidrograf banjirnya, selanjutnya dicari karakteristik atau parameter daerah pengaliran.

Adapun karakteristik tersebut adalah :

- Tenggang waktu dari permulaan hujan hingga puncak hidrograf.
- Tenggang waktu dari titik berat hujan sampai titik berat hidrograf.
- Tenggang waktu hidrograf.
- Luas daerah pengaliran.
- Panjang alur sungai utama yang terpanjang.
- Koefisien pengaliran.

Unit hidrograf dengan cara HSS Nakayasu dimana besarnya banjir yang disebabkan satuan spesifik curah hujan dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$Q_{mak} = \frac{1}{3.6} * A * \left[\frac{R_0}{0.3T_p + T_{0.3}} \right] \dots\dots\dots(1-17)$$

dimana :

Q_{mak} = debit puncak banjir (m³/det)

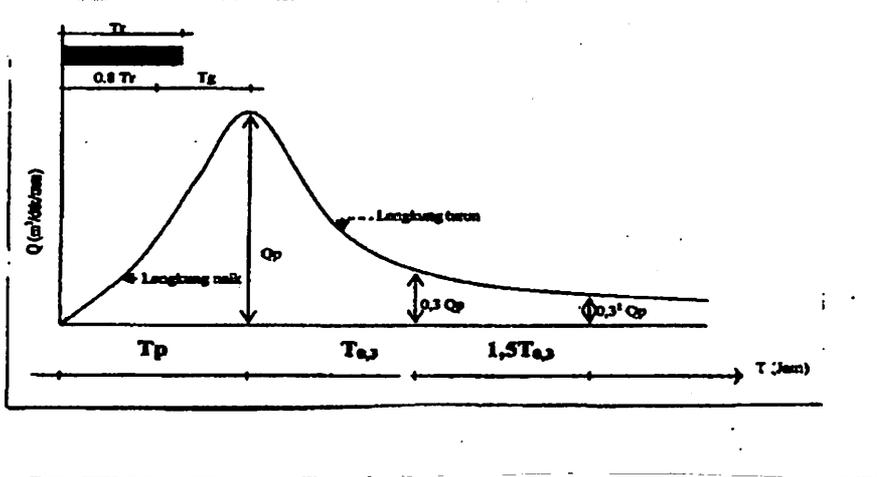
A = luas daerah pengaliran (km²)

R_0 = curah hujan satuan (mm)

T_p = tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

$T_{0.3}$ = waktu yang diperlukan pada penurunan debit puncak sampai ke debit sebesar 30% dari debit puncak (jam)

Adapun bentuk kurva dari HSS Nakayasu adalah sebagai berikut :



Gambar 2.1 Kurva HSS Nakayasu

Persamaan hidrograf satuannya adalah :

Ordinat :

a. bagian kurva naik :

$$0 < t \leq T_p \quad \dots\dots(1-18)$$

$$Q_t = Q_{mak} \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2.4} \quad \dots\dots(1-19)$$

b. bagian kurva turun :

$$a. T_p < t \leq (T_p + T_{0.3}) \quad \dots\dots(1-20)$$

$$Q_t = Q_{mak} * 0.3 \left[\frac{t - T_p}{T_{0.3}} \right] \quad \dots\dots(1-21)$$

$$b. (T_p + T_{0.3}) < t \leq (T_p + T_{0.3} + 1.5.T_{0.3}) \quad \dots\dots(1-22)$$

$$Qt = Q_{mak} * 0.3^{\left[\frac{t - Tp + 0.5T_{0.3}}{1.5T_{0.3}} \right]} \dots\dots(1-23)$$

c. $t > (Tp + T_{0.3} * 1.5T_{0.3}) \dots\dots(1-24)$

$$Qt = Q_{mak} * 0.3^{\left[\frac{t - Tp + 1.5T_{0.3}}{2T_{0.3}} \right]} \dots\dots(1-25)$$

Tenggang waktu (Tp) = $Tg + 0.8Tr \dots\dots(1-26)$

$L < 15 \text{ km} \quad Tg = 0.21 * L^{0.7} \dots\dots(1-27)$

$L > 15 \text{ km} \quad Tg = 0.4 + 0.58 * L \dots\dots(1-28)$

dimana :

L = panjang alur sungai (km)

Tg = waktu konsentrasi (jam)

$Tr = 0.5 * Tg$ sampai Tg (jam) $\dots\dots(1-29)$

$T_{0.3} = \alpha + tg \dots\dots(1-30)$

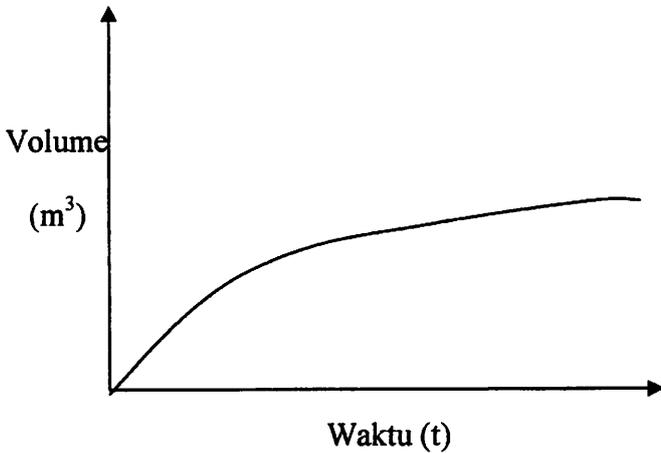
secara empiris α dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$\alpha = \frac{0.47(A * L)^{0.25}}{Tg} \dots\dots(1-31)$$

2.1.8. Lengkung Massa dan Kapasitas Waduk

Menurut (Soemarto 1987 : p 104) lengkung massa adalah penyajian secara grafis aliran kumulatif atau volume air dari $t = 0$ sampai $t = t$ sebagai fungsi waktu. Lebih lanjut tentang pernyataan tersebut dapat dijelaskan pada gambar (2.9) jika volume dinyatakan sebagai ordinat dan interval waktu dari suatu debit digambarkan terhadap waktu dengan menambah setiap volume yang baru ke volume total sebelumnya, maka suatu lengkung massa kumulatif dari suatu limpasan dapat diperoleh.

Kurva massa sangat berguna dalam studi perencanaan waduk penampung karena kurva tersebut merupakan suatu metode yang dapat dipakai untuk menetapkan kapasitas simpanan yang diperlukan untuk suatu pelepasan dan aliran rata-rata.



Gambar 2.9. Kurva Massa Komulatif Dari Suatu Aliran Sungai

A. Lengkung Kapasitas Dan Luas Permukaan Genangan Waduk

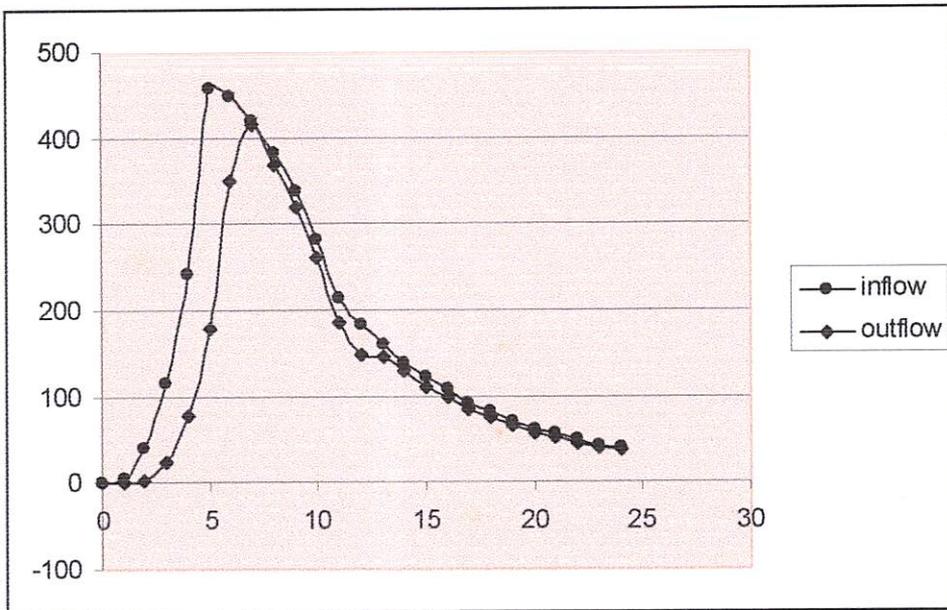
Sehubungan dengan fungsi utama waduk adalah untuk menyediakan tampungan air, maka ciri fisiknya yang paling penting adalah kapasitas tampungan air. Kapasitas waduk yang bentuknya beraturan dapat dihitung dengan rumus-rumus untuk menghitung volume benda padat. Sedangkan kapasitas waduk pada kedudukan alamiah biasanya haruslah didasarkan pada pengukuran topografi (*Linsley et al, 1989 : 144*).

**TABEL 3-11.
PERHITUNGAN LIMPASAN PADA KALI WIDAS**

T (jam)	Q inflow (m ³ /dt)	$\left(\frac{I_1 + I_2}{2}\right) \cdot \Delta t$ (m ³ /dt)	Volume Tampungan (m ³)	ΔS (v ₂ -v ₁) (m ³)	V _o (m ³)	Q outflow (m ³ /dt)
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	6.5	11700 ✓	11700	11700	0.00	0.00
2	40.7	84960	84960	73260	11700	3.25
3	115.3	280800	280800	195840	84960	23.6
4	243.2	645300	645300	364500	280800	78
5	458.2	1262520	1262520	617220	645300	179.25
6	448.4	1631880	1631880	369360	1262520	350.7
7	419.6	1562400	1562400	69480	1492920	414.7
8	382.7	1444140	1444140	118260	1325880	368.3
9	337.7	1296720	1296720	147420	1149300	319.25
10	282.7	1116720	1116720	180000	936720	260.2
11	213.7	893520	893520	223200	670320	186.2
12	183.2	714420	714420	179100	535320	148.7
13	160.3	618300	618300	96120	522180	145.05
14	140.1	540720	540720	77580	463140	128.65
15	121.8	471420	471420	69300	402120	111.7
16	107.5	412740	412740	58680	354060	98.35
17	93.0	360900	360900	51840	309060	85.85
18	82.5	315900	315900	45000	270900	75.25
19	71.3	276840	276840	39060	237780	66.05
20	62.7	241200	241200	35640	205560	57.1
21	56.0	213660	213660	27540	186120	51.7
22	49.1	189180	189180	24480	164700	45.75
23	43.5	166680	166680	22500	144180	40.05
24	40.6	151380	151380	15300	136080	37.8

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari data diatas maka dapat digambarkan hidrograf inflow dan outflow sebagai berikut :



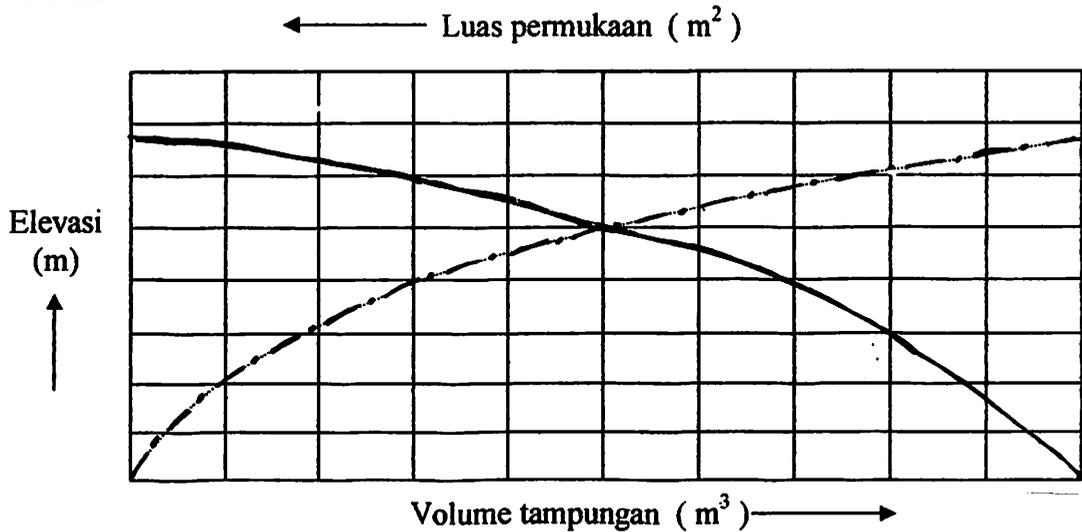
Gambar 3-7. Hidrograf Inflow dan Outflow

dari data diatas serta gambar hidrograf inflow dan outflow diketahui volume limpasan yang terjadi sebesar 2500000 m^3 , yang selanjutnya akan ditampung pada alur sungai dan Retarding Basin.

3.3. PERENCANAAN TANGGUL.

Dari analisa hidrolika untuk elevasi muka air sungai asli dengan kala ulang 10 tahun diketahui bahwa elevasi muka air berada diatas elevasi tanggul sehingga dapat disimpulkan terjadinya luapan air keluar dari tubuh sungai yang menyebabkan tergenangnya sebagian daerah sepanjang sungai terutama pada bagian hilir. Hal ini menimbulkan masalah bagi penduduk setempat.

Dalam mengatasi masalah tersebut maka perlu dilakukan pengendalian banjir yang dalam studi ini, dilakukan dengan meninggikan tanggul pada daerah terjadinya luapan dari Kali Widias. Tubuh tanggul direncanakan dengan bahan urugan tanah yang dipadatkan dan lereng tanggul sepanjang sungai diberi pasangan batu kali. Tanggul



Gambar 2.10. Lengkung Kapasitas Waduk

B. Penelusuran Banjir (*Flood Routing*)

Penelusuran banjir adalah merupakan peramalan hidrograf disuatu aliran atau bagian sungai yang didasarkan atas pengamatan hidrograf dititik lainnya (*Soemarto, 1987 : 174*). Secara teoritis maupun prakteknya, penelusuran banjir dapat dibedakan dalam dua macam metode penelusuran, yaitu penelusuran lewat sungai (*Channel Routing*) dan penelusuran banjir lewat waduk (*Reservoir Routing*). Adapun tujuan dari penelusuran banjir adalah sebagai berikut :

- a. Peramalan banjir jangka pendek.
- b. Perhitungan hidrograf satuan pada berbagai titik sepanjang sungai dari hidrograf satuan disuatu titik di sungai yang bersangkutan.
- c. Peramalan terhadap kelakuan sungai setelah terjadi perubahan keadaan palung sungai, misalnya karena adanya pembangunan waduk ataupun pembuatan tanggul.
- d. Untuk menentukan dimensi dan rancangan bangunan-bangunan hidrolis seperti tanggul, jembatan atau tembok penahan.

Dalam studi ini dilakukan penelusuran banjir lewat waduk, dimana penampungnya adalah merupakan fungsi langsung dari aliran keluar (*Outflow*).

C. Penelusuran Banjir Lewat Waduk

Rumus dasar yang digunakan dalam penelusuran banjir lewat waduk yaitu didasarkan pada persamaan kontinuitas yang menyatakan bahwa perubahan volume tampungan air pada waduk sama dengan selisih antara masukan (*Inflow*) dan keluaran (*Outflow*). Adapun persamaan tampungannya adalah sebagai berikut :
(*Yandi Hermawan, 1989 : 249*)

$$I - O = \frac{ds}{dt} \quad \dots\dots\dots(1-32)$$

atau

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_{t_1}^{t_2} I dt - \int_{t_1}^{t_2} O dt \quad \dots\dots\dots(1-33)$$

dimana :

I = Laju aliran masuk ($m^3/detik$)

O = Laju aliran keluar ($m^3/detik$)

S = Tampungan (m^3)

t = Waktu (detik, jam atau hari)

Agar bentuk persamaannya lebih mudah digunakan dalam penelusuran banjir secara hidrologis, maka dianggap bahwa aliran rata-rata pada waktu t_1 dan t_2 , yaitu pada awal dan akhir periode penelusuran (*Routing Period*), adalah sama dengan aliran rata-rata selama periode tersebut sehingga persamaannya dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\left[\frac{I_1 I_2}{2} \right] \Delta t - \left[\frac{O_1 + O_2}{2} \right] \Delta t = S_2 - S_1 \quad \dots\dots\dots(1-34)$$

atau

$$\left[\frac{I_1 + I_2}{2} \right] + \left[\frac{S_1 - O_1}{\Delta t} - \frac{O_1}{2} \right] = \left[\frac{S_2}{\Delta t} + \frac{O_2}{2} \right] \quad \dots\dots\dots(1-35)$$

jika

$$\frac{S_2}{\Delta t} - \frac{O_1}{2} = \Phi, \text{ dan} \quad \dots\dots\dots(1-36)$$

$$\frac{S_2}{\Delta t} - \frac{O_2}{2} = \Theta \quad \dots\dots\dots(1-37)$$

$$\left[\frac{I_1 + I_2}{2} \right] + \Phi = \Theta \quad \dots\dots\dots(1-38)$$

dimana :

I_1 = Laju aliran masuk pada permulaan waktu Δt

I_2 = Laju aliran masuk pada akhir waktu Δt

O_1 = Laju aliran keluar pada permulaan waktu Δt

O_2 = Laju aliran pada akhir waktu Δt

S_1 = Tampungan waduk pada permulaan waktu Δt

S_2 = Tampungan waduk pada akhir waktu Δt

2.1.9. Analisa Hidrolika

A . Jenis Aliran

Aliran air dalam suatu saluran dapat berupa aliran saluran terbuka (*open channel flow*) maupun aliran pipa (*pipe flow*). Kedua jenis aliran ini sama dalam banyak hal, namun berbeda dalam satu hal yang penting. Aliran saluran

terbuka harus memiliki permukaan bebas (*free surface*), sedangkan aliran pipa tidak demikian karena air harus mengisi saluran. Aliran pipa yang terkurung dalam saluran tertutup tidak terpengaruh langsung oleh tekanan udara kecuali oleh tekanan hidrolis.

Meskipun kedua jenis aliran itu hampir sama, penyelesaian masalah aliran dalam saluran terbuka jauh lebih sulit dibandingkan dengan aliran dalam pipa tekan. Kondisi aliran dalam saluran terbuka yang rumit berdasarkan kenyataan bahwa kedudukan permukaan bebas cenderung berubah sesuai dengan waktu dan ruang dan juga bahwa kedalaman air, debit, kemiringan dasar saluran dan permukaan bebas adalah tergantung satu sama lain. Biasanya sulit diperoleh data percobaan yang dapat dipercaya mengenai aliran dalam saluran terbuka. Umumnya penyelesaian untuk aliran saluran terbuka lebih didasarkan pada hasil pengamatan dibandingkan dengan pada aliran pipa. Metode empiris merupakan salah satu metode yang sering digunakan dan bila diterapkan secara hati-hati dapat menghasilkan nilai yang sesuai dengan praktek.

Untuk lebih jelasnya penggolongan aliran saluran terbuka dapat dibedakan sebagai berikut :

- a. Aliran tunak (*Steady flow*)
 1. Aliran seragam (*Uniform flow*)
 2. Aliran berubah (*Varied flow*)
 - Aliran berubah lambat laun
 - Aliran berubah tiba-tiba
- b. Aliran tak tunak
 1. Aliran seragam tak tunak (jarang)

2. Aliran berubah tak tunak

- Aliran tak tunak berubah lambat laun
- Aliran tak tunak berubah tiba-tiba

B. Jenis Saluran Terbuka

Menurut asalnya saluran dapat digolongkan menjadi saluran alam dan saluran buatan. Saluran alam meliputi semua alur air yang terdapat secara alamiah di bumi, mulai dari anak selokan kecil dipegunungan, selokan kecil, kali, sungai kecil dan sungai besar sampai ke muara sungai. Aliran air di bawah tanah dengan permukaan bebas juga dianggap saluran terbuka alamiah. Sifat hidrolis saluran alam biasanya sangat tidak menentu. Dalam beberapa hal dapat dibuat anggapan pendekatan yang cukup sesuai dengan pengamatan dan pengalaman sesungguhnya sedemikian rupa sehingga persyaratan aliran pada saluran ini dapat diterima untuk penyelesaian analisa hidrolis teoritis.

Saluran buatan dibuat oleh manusia, seperti saluran pelayaran, saluran pembangkit listrik, saluran irigasi dan talang, parit pembuangan, saluran banjir, selokan, dan sebagainya, termasuk model saluran yang dibuat laboratorium untuk keperluan penelitian. Sifat hidrolis saluran semacam ini dapat diatur menurut keinginan atau dirancang untuk memenuhi persyaratan tertentu. Oleh karena itu penerapan teori hidrolis untuk saluran buatan dapat membuahkan hasil yang cukup sesuai dengan kondisi sesungguhnya.

Pada umumnya suatu sungai mempunyai kemampuan untuk mengalirkan air, dimana besar kecilnya tergantung dari penampang sungai tersebut. Perhitungan kemampuan penampang sungai ini dimaksudkan untuk mengetahui kapasitas

maksimum dari penampang untuk mengalirkan debit air banjir. Dalam perhitungan dan perencanaan debit sungai pada studi ini, sungai merupakan saluran alami yang berbentuk trapesium, dimana saluran yang berbentuk trapesium stabilitas dindingnya dapat disesuaikan dengan macam material yang membentuknya. Di dalam perhitungan dapat digunakan rumus-rumus yang sudah ada, dan diaplikasikan dengan rumus Manning. Adapun rumus tersebut adalah sebagai berikut (Chow, 1989,117) :

$$Q = A * V \quad \dots\dots(1-39)$$

dengan :

- Luas penampang basah

$$A = (b + m * h) * h \quad \dots\dots(1-40)$$

- Kecepatan aliran

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2} \quad \dots\dots(1-41)$$

- Jari-jari hidrolis

$$R = \frac{A}{P} \quad \dots\dots(1-42)$$

- Keliling basah

$$P = b + 2 * h \sqrt{1 + m^2} \quad \dots\dots(1-43)$$

2.2. PERENCANAAN TANGGUL.

Dalam pengendalian banjir yang terjadi , maka direncanakan menggunakan 2 (dua) alternatif yaitu meninggikan (peningkatan) tanggul dan menampung limpasan banjir menuju waduk penampung sementara (Retarding Basin). Adapun

pertimbangan-pertimbangan yang mendasari menentukan atau menggunakan 2 (dua) alternatif dalam menaggulangi banjir adalah :

- Keterbatasan lahan untuk merencanakan waduk penampung (Retarding Basin), guna menampung seluruh debit air limpasan pada anak sungai.
- Sedangkan apabila penanggulangan dengan peningkatan tanggul direncanakan pada alur sungai daerah yang tergenang, maka akan berpengaruh pada anak sungai yang terletak pada hulu serta bangunan-bangunan yang ada pada tanggul seperti, jembatan dan pipa saluran air bersih.

2.2.1. Jenis-Jenis Tanggul.

Tanggul dibangun terutama dengan konstruksi urugan tanah, karena tanggul merupakan bangunan menerus yang sangat panjang serta membutuhkan bahan urugan yang volumenya sangat besar. Kecuali tanah kiranya amatlah sukar untuk memperoleh bahan urugan untuk pembangunan tanggul dan bahan tanah dapat diperoleh dari hasil galian kanan-kiri trase rencana tanggul atau bahan dapat diperoleh dari hasil pekerjaan normalisasi sungai, berupa galian pelebaran alur sungai yang biasanya dilaksanakan bersamaan dengan pembangunan tanggul.

Karakteristik bahan tanah tersebut merupakan faktor penting dalam penentuan bentuk penampang lintang tanggul. Pada hakikatnya tanah yang baik untuk tanggul adalah bahan tanah yang mempunyai sifat-sifat antara lain kekedapannya tinggi, nilai kohesinya tinggi, dalam keadaan jenuh air sudut geser dalamnya cukup tinggi, pekat dan angka porinya rendah. Memperhatikan hal-hal tersebut diatas, maka tanah yang terdiri dari campuran pasir dan lempung dengan proporsi $\pm 1/3$ bagian pasir dan $\pm 2/3$

bagian lempung, merupakan bahan tanggul yang cukup memadai, ditinjau dari segi mekanika tanah maupun pelaksanaannya.

Bahan yang cocok untuk pembangunan tanggul adalah tanah dengan karakteristik sebagai berikut :

- 1- Dalam keadaan jenuh air mampu bertahan terhadap gejala lincir dan longsor.
- 2- Pada waktu banjir yang lama tidak merembes atau bocor.
- 3- Penggalian serta didalam pematatannya mudah.
- 4- Tidak terjadi retak-retak yang membahayakan kestabilan tubuh tanggul.
- 5- Bebas dari bahan-bahan organis, seperti pepohonan, rerumputan dan sebagainya.

Tanggul adalah merupakan salah satu bangunan yang paling utama dan paling penting dalam usaha melindungi kehidupan dan harta benda masyarakat terhadap genangan-genangan yang disebabkan oleh banjir dan badai (gelombang pasang). Tanggul dibangun terutama dengan konstruksi urugan tanah, karena tanggul merupakan bangunan menerus yang sangat panjang serta membutuhkan bahan urugan yang volumenya sangat besar.

Berdasarkan fungsi dan dimensi tempat serta bahan yang dipakai dan kondisi topografi, tanggul dapat dibedakan, (*Suyono Sosrodarsono, 1985; 83*) sebagai berikut:

1. Tanggul utama adalah bangunan tanggul sepanjang kanan-kiri sungai guna menampung debit banjir rencana.
2. Tanggul tepi danau dan tanggul pasang adalah bangunan tanggul yang dibangun disekeliling danau atau rawa-rawa, sedangkan tanggul pasang adalah tanggul yang dibangun dimuara sungai yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut. Kedua jenis

tanggul ini diperhitungkan juga daya tahannya terhadap gaya-gaya hempasan ombak baik dari danau maupun dari laut.

3. Tanggul khusus

Pada daerah yang padat penduduknya, biasanya biaya pembebasan tanah untuk pembangunan tanggul sangat tinggi. Dalam keadaan demikian untuk mengurangi areal tanah yang harus dibebaskan, biasanya tanggul dibuat berupa dinding pasangan atau dinding beton.

Pekerjaan tanggul meliputi pembangunan tanggul baru, peningkatan tanggul lama dan pengunduran tanggul. Pembangunan tanggul baru adalah pembuatan tanggul pada suatu lokasi yang sebelumnya baru merupakan tanggul darurat atau sama sekali tidak ada tanggulnya. Peningkatan adalah usaha memperbesar yang sebelumnya sudah ada, tetapi dimensinya belum memadai. Sedangkan pengunduran tanggul adalah pekerjaan yang dilaksanakan dengan penimbunan dibelakang tanggul lama. Dalam hal ini peningkatan tanggul yang dilaksanakan melampaui mercu tanggul lama dan disebut sebagai peninggian tanggul (*Suyono Sosrodarsono, 1985 ; 96*).

2.2.2. Tinggi jagaan

Tinggi jagaan merupakan tinggi pada tanggul untuk menampung loncatan air dari permukaan air sungai yang sedang mengalir, walaupun debitnya masih lebih rendah dari debit rencana. Loncatan ini dapat terjadi akibat adanya ombak, gelombang, loncatan hidrolis pada saat terjadi banjir.

Kenaikan permukaan air sungai dapat juga terjadi akibat gejala naik turunnya dasar permukaan sungai yang diakibatkan oleh penggerusan dan pengendapan pada dasar

sungai. Selain itu kenaikan permukaan air sungai dapat pula terjadi karena kesalahan-kesalahan perhitungan hidrolika dan hidrologi pada saat penetapan debit banjir rencana. Dalam hal ini tinggi jagaan akan diambil dari standar perencanaan tinggi jagaan seperti pada tabel berikut :

Tabel 2.4. Tinggi Jagaan Standar Tanggul

Debit banjir Rencana (m ³ /dt)	<200	200-500	500-2000	2000-5000	5000-10000	>10000
Tinggi jagaan (m)	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	2.0

Sumber : Suyono Sosrodarsono, 1985

2.2.3. Lebar Mercu Tanggul

Pada daerah yang padat, dimana diperoleh areal tanah untuk tempat kedudukan tanggul sangat sukar dan mahal, pembangunan tanggul dengan mercu yang lebar kelihatannya cukup mahal, khususnya apabila mercu tanggul diperlukan pula dalam rangka pencegahan bahaya banjir, seperti pencegahan bobolnya tanggul akibat limpasan atau akibat gelombang. Biasanya lebar mercu tanggul didasarkan pada debit rencana seperti pada tabel berikut :

Tabel 2.5. Lebar Standard Mercu Tanggul

Debit banjir Rencana (m ³ /dt)	Lebar Mercu (m)
<500	3
500-2000	4
2000-5000	5
5000-10000	6
>10000	7

Sumber : Suyono Sosrodarsono, 1984

2.2.4. Kemiringan Lereng Tanggul

Penentuan kemiringan lereng tanggul merupakan tahapan yang paling penting dalam perencanaan tanggul dan sangat erat kaitannya dengan infiltrasi air dalam

tubuh tanggul serta karakteristik mekanika tanah tubuh tanggul tersebut. Dalam keadaan biasa tanpa perkuatan lereng, tanggul direncanakan dengan kemiringan 1 : 2 atau lebih kecil. Kemiringan lereng tanggul urugan tanah di Jepang biasanya lebih kecil dari 1 : 2, kecuali untuk tanggul-tanggul yang lebih rendah dari 0,6 meter.

2.3. PERENCANAAN RETARDING BASIN.

Pengendalian aliran sungai dengan suatu waduk pada dasarnya mempunyai 2 (dua) fungsi utama yaitu : penambahan aliran dalam periode aliran rendah dan pengendalian aliran pada waktu banjir.

Untuk pengendalian banjir dengan waduk penampung harus diketahui :

- Hubungan antara permukaan air dengan kapasitas penampung.
- Hubungan antara permukaan air dan debit.

$$O + \frac{S}{t} = I$$

dimana :

O = aliran keluar

I = aliran masuk

S = besarnya penampungan dalam t jam

t = interval waktu

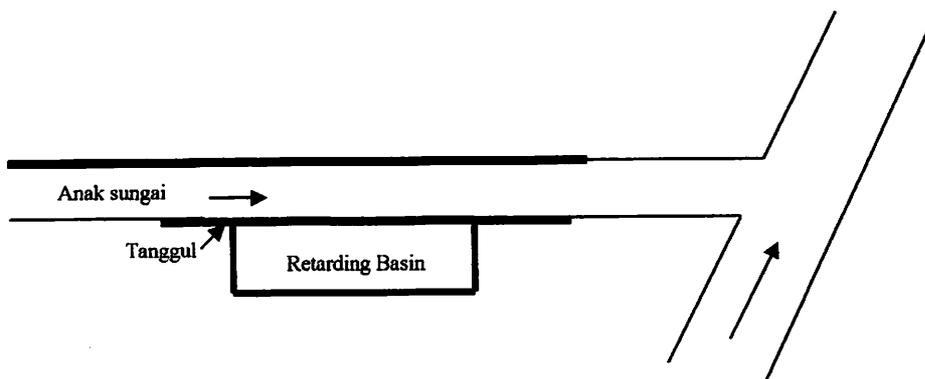
Didalam mengendalikan banjir, tindakan-tindakan yang biasa dilakukan adalah :

- 1- Penanggulangan banjir dengan waduk.
- 2- Pengurangan aliran banjir didalam suatu alur yang ditetapkan dengan tanggul, tembok banjir, atau suatu saluran tertutup.
- 3- Penurunan permukaan puncak banjir dengan mempertinggi kecepatan aliran akibat perbaikan alur.

- 4- Pengalihan air banjir melalui *bypass* atau saluran banjir (*floodways*) kedalam alur sungai lain atau ke DAS lain.
- 5- Usaha membuat kebal-banjir (*floodproofing*) bagi harta milik tertentu.
- 6- Pengurangan limpasan banjir dengan pengolahan lahan.
- 7- Pengungsian sementara dari daerah-daerah ancaman banjir berdasarkan peringatan banjir.
- 8- Pengolahan dataran banjir.

Selain menanggulangi banjir dengan tanggul dimana telah diuraikan diatas, penanggulangan banjir juga menggunakan alternatif lain yaitu merencanakan waduk penampung (*Retarding Basin*) yang bertujuan untuk menampung sebagian aliran banjir untuk memperkecil puncak banjirnya pada daerah yang harus dilindungi.

Dari permasalahan yang ada dapat dikemukakan konsep pemecahan masalah banjir dengan merencanakan waduk penampung yaitu : dengan mengalihkan sebagian air limpasan dari anak sungai menuju waduk penampung selama berlangsungnya banjir, dimana pada saat debit pada anak sungai tinggi maka air akan masuk menuju waduk penampung dan pada saat debit turun, air akan mengalir menuju anak sungai, seperti gambar berikut ini :



Gambar 2.8. Rencana Tanggul dan Retarding Basin

BAB III

PERENCANAAN TANGGUL DAN WADUK PENAMPUNG BANJIR (RETARDING BASIN)

3.1. METODOLOGI.

Seperti kita ketahui bersama, masalah yang terjadi pada Kali Widas saat ini adalah kapasitas Kali Widas yang sudah tidak dapat menampung debit yang mengalir. Selain itu debit pada Kali Widas tidak dapat masuk menuju Sungai Brantas, sehingga menimbulkan genangan atau banjir disekitar Kali Widas khususnya pada daerah Kecamatan Pathianrowo.

Untuk menanggulangi masalah banjir pada Kali Widas, maka direncanakan tanggul dan waduk penampung (Retarding Basin).

Dalam merencanakan waduk penampung maupun peningkatan tanggul diperlukan analisa hidrologi khususnya yang menyangkut analisa curah hujan. Dimana data hujan tahunan yang ada merupakan hasil pencatatan hujan selama 10 (sepuluh) tahun. Selain data curah hujan, untuk merencanakan waduk penampung memerlukan data penunjang yang lain misalkan : luas daerah pengaliran, koefisien pengaliran, dan kemiringan medan. Analisa curah hujan diperlukan untuk memperkirakan debit banjir rencana pada Kali Widas. Penentuan intensitas hujan pada periode yang direncanakan berdasarkan pada waktu konsentrasi serta durasi hujan, merupakan salah satu yang menjad parameter dalam merencanakan waduk penampung. Dalam penentuan lokasi waduk penampung (Retarding Basin), direncanakan pada sebelah kanan dari Kali Widas. Ketersediaan lahan merupakan faktor didalam menentukan lokasi perencanaan waduk penampung.

Penentuan besarnya atau kapasitas waduk penampung ini tergantung kepada besarnya curah hujan dengan perhitungan intensitas curah hujan, serta data penunjang lainnya.

3.2. ASPEK HIDROLOGI.

Aspek hidrologi pada model ini, terbagi atas beberapa proses pengolahan data dengan spesifikasi tertentu. Uraian analisa hidrologi dapat dijabarkan seperti dibawah ini.

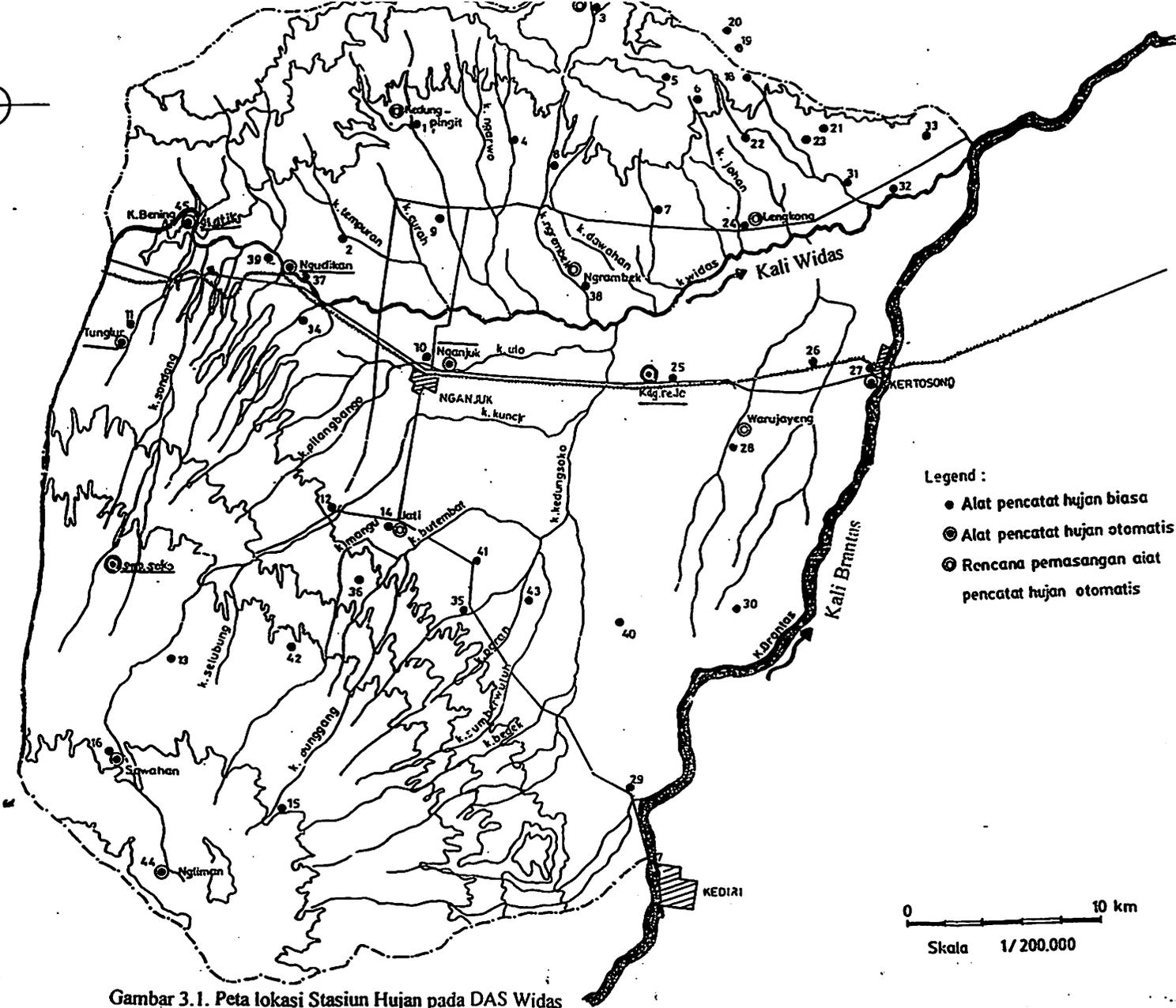
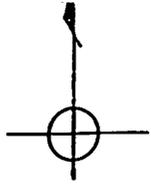
3.2.1. Data curah hujan.

Data curah hujan yang menjadi input, dibatasi 6 (enam) stasiun penakar hujan. Batasan tersebut yang mewakili dari daerah aliran sungai (DAS). Data yang ada merupakan hasil pencatatan hujan selama 10 (sepuluh) tahun pengamatan. Dalam usaha penanggulangan banjir, data curah hujan diperoleh dari beberapa stasiun pencatat hujan yang ada pada Kali Widias yaitu sebagai berikut :

Stasiun Nganjuk , Stasiun Tunglur , Stasiun Kedung Rejo , Stasiun Sumber soko , Stasiun Ngudikan , Stasiun Glatik.

Yang keenamnya dalam wilayah Kabupaten Nganjuk Jawa Timur mulai tahun pengamatan 1994 sampai dengan 2003 yaitu 10 (sepuluh) tahun.

Data hujan yang digunakan dalam hal ini adalah data curah hujan harian maksimum tiap tahun. Adapun data tersebut dapat dilihat pada tabel 3-1.



Gambar 3.1. Peta lokasi Stasiun Hujan pada DAS Widas

TABEL 3-1
DATA CURAH HUJAN HARIAN MAKSIMUM TIAP TAHUN
PADA DAS WIDAS PERIODE 1994-2003

NO	Tanggal bulan dan Tahun Kejadian	Nama Stasiun					
		Nganjuk	Tunglur	Kd.Rejo	Ngudikan	Sb.Soko	Glatik
1	6-12-1994	105	34	21	44	65	47
2	13-1-1995	92	41	32	25	20	24
3	23-3-1996	85	18	15	24	33	25
4	11-4-1997	80	39	26	0	0	0
5	7-2-1998	122	25	24	54	0	55
6	31-12-1999	85	36	28	36	40	53
7	21-3-2000	93	74	87	64	67	55
8	18-10-2001	89	15	0	0	0	0
9	28-3-2002	152	16	15	53	22	25
10	1-2-2003	122	0	28	62	5	10

Sumber : DPU Kabupaten Nganjuk bidang Pengairan

Proses pengolahan data curah hujan, yang dapat diuraikan sebagai berikut :

3.2.2. Hujan Rerata Daerah.

Pada perhitungan analisa curah hujan, untuk mencari hujan rata-rata daerah digunakan metode Thiessen. Cara ini didasarkan dengan menghitung luas daerah yang mewakili stasiun hujan masing-masing untuk dijadikan sebagai faktor koreksi dalam menghitung hujan rata-rata daerah. Cara ini memberikan hasil yang lebih teliti dari pada cara Aljabar rata-rata, akan tetapi penentuan titik pengamatan dan pemilihan ketinggian akan mempengaruhi ketelitian hasil yang didapat, (*Suyono Sosrodarsono, 1976*).

TABEL 3-2
KOEFISIEN THIESSEN PADA DPS WIDAS

No	Stasiun	Luas(km ²)	Koef. Thiessen
1	Nganjuk	93.64	0.22
2	Tunglur	40.85	0.1
3	Kd.Rejo	117.24	0.27
4	Ngudikan	63.46	0.15
5	Sb.Soko	87.49	0.2
6	Glatik	27.47	0.06
		430.150	

Sumber : DPU Kabupaten Nganjuk bidang Pengairan

Sumber : DPU Kabupaten Nganjuk bidang Pengairan

TABEL 3-3
CURAH HUJAN RATA-RATA HARIAN MAKSIMUM TIAP TAHUN
PADA DAS WIDAS

NO	Tanggal bulan dan Tahun Kejadian	Nama Stasiun						Xi
		Nganjuk 0.22	Tunglur 0.1	Kd.Rejo 0.27	Ngudikan 0.15	Sb.Soko 0.2	Glatik 0.06	
1	6-12-1994	105	34	21	44	65	47	54.59
2	13-1-1995	92	41	32	25	20	24	42.17
3	23-3-1996	85	18	15	24	33	25	36.25
4	11-4-1997	80	39	26	0	0	0	28.52
5	7-2-1998	122	25	24	54	0	55	47.22
6	31-12-1999	85	36	28	36	40	53	46.44
7	21-3-2000	93	74	87	64	67	55	77.65
8	18-10-2001	89	15	0	0	0	0	21.08
9	28-3-2002	152	16	15	53	22	25	52.94
10	1-2-2003	122	0	28	62	5	10	45.30

Sumber : Hasil Perhitungan.

3.2.3. Distribusi Frekwensi E.J. Gumbel.

Pada bagian selanjutnya setelah pemilihan distribusi frekuensi telah ditentukan, maka prosedur distribusi bisa dilakukan, dalam studi ini dibatasi hanya menggunakan "Distribusi Gumbel" karena cara ini dianggap sesuai dengan didaerah studi dan sudah sering digunakan dalam perencanaan-perencanaan untuk bangunan keairan di Negara kita Indonesia karena nilai keamanan yang dihasilkan cukup memadai.

TABEL 3-4
ANALISA HUJAN RANCANGAN E.J. GUMBEL

No	Tahun	Xi (mm)	Xi ² (mm)
1	1994	54.59	2980.10
2	1995	42.17	1778.31
3	1996	36.25	1314.19
4	1997	28.52	813.40
5	1998	47.22	2229.73
6	1999	46.44	2156.70
7	2000	77.65	6029.52
8	2001	21.08	444.37
9	2002	52.94	2802.64
10	2003	45.30	2052.10
		452.16	22600.97

Sumber : Hasil Perhitungan

\bar{x} = harga rata-rata.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_1^n x_i \quad \text{.....dari rumus (1-10)}$$

$$\bar{x} = \frac{1}{10} \times 452.16 = 45.216$$

S = standard deviasi.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n Xi^2 - (xi \times \bar{x})}{n-1}} \quad \text{.....dari rumus (1-11)}$$

$$S = \sqrt{\frac{22600.97 - (45.216 \times 452.16)}{10-1}}$$

$$= 15.48$$

Untuk n = 10 tahun $Y_n = 0.4952$, $S_n = 0.9497$

$$\frac{1}{a} = \frac{S}{S_n}$$

$$1/a = \frac{15.46}{0.9497} = 16.30$$

$$b = \bar{X} - \frac{Y_n \cdot S}{S_n}$$

$$b = 45.216 - \frac{0.4952 \times 15.48}{0.9497} = 37.12$$

$$X_T = b + \frac{1}{a} \cdot Y_T$$

$$X_T = 37.12 + 16.30 \times Y_T$$

Untuk mencari hujan rata-rata pada tahun ke T, factor reduksi (Y_T) dapat dilihat pada tabel 3-5.

TABEL 3-5
CURAH HUJAN RANCANGAN DENGAN KALA ULANG T

T (tahun)	Y_T	X_T
5	1.49994	61.57
10	2.25037	73.80
15	2.67375	80.70
20	2.97020	85.53
25	3.19852	89.26
50	3.90194	100.72

Sumber : Hasil Perhitungan

3.2.4. Distribusi Hujan.

Untuk mengubah curah hujan rancangan menjadi debit banjir rancangan, diperlukan curah hujan jam-jaman dengan suatu interval tertentu. Pada umumnya data hujan tersedia pada stasiun meteorologi adalah data hujan harian, artinya data yang tercatat secara komulatif selama 24 jam. Waktu terjadi hujan terpusat maksimum pada daerah kajian adalah 6 jam, data ini didapat dari hasil pengamatan Dinas Pengairan Kabupaten Nganjuk. Nilai koefisien pengaliran DAS Widias didapat dari

pendekatan koefisien pengaliran dengan curah hujan dengan kondisi sungai biasa didaerah tengah (*Suyono Sosrodarsono hal 146*). Pemilihan curah hujan rancangan untuk nilai hujan efektif tentunya didasarkan pada kebutuhan perencanaan maupun pertimbangan ekonomi. Untuk kajian ini dipakai hasil dari metode E.J. Gumbel.

3.2.5. Perhitungan Curah Hujan Efektif.

$$R_e = C \times X_T$$

TABEL 3-6
PERHITUNGAN CURAH HUJAN EFEKTIF DENGAN KALA
ULANG TERTENTU

T (tahun)	X_T	C	R_e
5	61.57	0.5	30.79
10	73.80	0.5	36.90
15	80.70	0.5	40.35
20	85.53	0.5	42.77
25	89.26	0.5	44.63
50	100.72	0.5	50.36

Sumber : Hasil Perhitungan

A. Perhitungan Distribusi Curah Hujan Jam-Jaman

Curah hujan terpusat berdasarkan hasil pengamatan adalah 6 jam.

$$R_1 = \frac{R_{24}}{6} \left[\frac{6}{1} \right]^{\frac{2}{3}} = 0.550 R_{24}$$

selanjutnya hasil perhitungan disajikan pada tabel 3-7.

TABEL 3- 7.
RERATA HUJAN JAM-JAMAN

No	Rerata Hujan	Nilai
1	T_1	0.550 R_{24}
2	T_2	0.347 R_{24}
3	T_3	0.265 R_{24}
4	T_4	0.218 R_{24}
5	T_5	0.188 R_{24}
6	T_6	0.167 R_{24}

Sumber : Hasil perhitungan

B. Curah Hujan Jam-Jaman

Curah hujan jam-jaman dihitung dengan Rumus 1-16, sehingga R_t didapat hasilnya sebagai berikut :

R_t = Prosentase intensitas

$$\begin{aligned} 1\text{jam} \Rightarrow R_1 &= (1 \times 0.550 R_{24}) - [(1 - 1) \times R_0] \\ &= 0.550 R_{24} - 0 \\ &= 0.550 \times 100 \\ &= 55\% \end{aligned}$$

Selanjutnya hasil perhitungan prosentase intensitas dapat dilihat pada tabel 3-8.

TABEL 3- 8
. PROSENTASE INTENSITAS

No	Rerata Hujan	Nilai
1	T ₁	0.550 R ₂₄
2	T ₂	0.143 R ₂₄
3	T ₃	0.101 R ₂₄
4	T ₄	0.078 R ₂₄
5	T ₅	0.068 R ₂₄
6	T ₆	0.060 R ₂₄

Sumber : Hasil perhitungan

3.2.6. Uji Kesesuaian.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui suatu hipotesa analisa frekwensi, dimana akan diketahui antara lain :

- Kebenaran antara probabilitas dari data pengamatan terhadap probabilitas yang diperoleh secara teoritis dari persamaan distribusi frekwensi tertentu.
- Kebenaran hipotesa dapat diterima atau tidak.

Dalam langkah pengujian terlebih dahulu dilakukan plotting hasil data pengamatan pada kertas probabilitas E.J. Gumbel dan garis durasi yang sesuai.

Sedangkan tahapan-tahapan yang dilakukan untuk plotting data dan garis durasi diawali dengan :

1. Menyusun data curah hujan dari yang terkecil hingga besar.
2. menghitung probabilitas dengan rumus Weibull

$$p = \frac{100m}{n+1}(\%)$$

dengan :

p = Probabilitas hujan (%)

m = Nomor urut data.

n = Jumlah / banyaknya data.

3. Plotting data curah hujan (X_i) dengan probabilitas (P) pada kertas distribusi metode E.J. Gumbel.
4. Plotting persamaan $(X_T = \frac{1}{a} \times Y_T + b)$

Dengan menggunakan persamaan diatas , maka didapat titik plottingnya dengan distribusi tiga buah harga untuk Y_T , maka dapat ditarik garis durasinya.

TABEL 3-9
URUTAN CURAH HUJAN DARI KECIL KE BESAR DAN
PROBABILITAS

No	Curah Hujan	$p = \frac{100 \times m}{n+1} \%$
1	21.08	9.10
2	28.52	18.18
3	36.25	27.27
4	42.17	36.36
5	45.30	45.45
6	46.44	54.55
7	47.22	63.64

8	52.94	72.73
9	54.59	81.82
10	77.65	91.00

Sumber : Hasil Perhitungan

TABEL 3-10
PERHITUNGAN SELISIH ANTARA DISTRIBUSI
PROBABILITAS TEORITIS (P_t) DENGAN EMPIRIS (P_e)
E.J. GUMBEL

No	Curah Hujan (mm)	Prob.dist. Empiris P _e (%)	Prob. Dist. Teoritis P _t (%)	$ P_e - P_t $ (%)
1	21.08	9.10	8.0	1.1
2	28.52	18.18	20.0	1.82
3	36.25	27.27	40.0	12.8
4	42.17	36.36	55.0	18.64
5	45.30	45.45	59.0	13.55
6	46.44	54.55	61.0	6.45
7	47.22	63.64	66.2	9.15
8	52.94	72.73	75.0	2.27
9	54.59	81.82	78.0	3.82
10	77.65	91.00	90.0	1

Sumber : Hasil Perhitungan

Keterangan :

$$\begin{aligned} \text{Kolom 3 } P_e &= \frac{m}{n+1} \times 100 \\ &= \frac{1}{10+1} \times 100 = 9.10 \end{aligned}$$

Kolom 4 P_t = Hasil analisis frekwensi

$$\begin{aligned} \text{Kolom 5} &= P_e - P_t \\ &= 0.2 \% \end{aligned}$$

Hasil uji dengan Smirnov Kolmogorov Test

- Banyaknya data (n) = 10 tahun
- Taraf signifikansi (α) diambil 5 %

- Dengan $n = 10$ dan $\alpha = 5 \%$, maka dari tabel (2-3) diperoleh harga

$$\Delta Cr = 0.41$$

Taraf signifikansi (α) = 5% artinya dari setiap 100 data, kira-kira 5 data yang ditolak, dengan kata lain $\pm 95\%$ konfidensi (percaya) bahwa kita telah membuat kesimpulan yang benar.

$\Delta Cr = 0.41$ artinya perbedaan antara probabilitas distribusi empiris dan probabilitas distribusi teoritis, dari hasil pemeriksaan grafik didapat Δ maksimum sebesar $18.64 = 0.1864$, ternyata Δ maksimum sebesar $0.1864 < \Delta Cr = 0.41$

jadi dapat disimpulkan bahwa hipotesa distribusi E.J. Gumbel dapat diterima dari data yang tersedia.

3.2.7. Hidrograf Banjir Rancangan

Untuk menghitung debit banjir rancangan dapat dipakai metode non hidrograf dan hidrograf satuan sintetik. Pada studi ini dipakai hidrograf satuan sintetik Nakayasu, karena metode ini lebih sesuai dengan kondisi hidrologi di Indonesia dan banyak dipergunakan untuk perhitungan debit rancangan untuk keperluan perencanaan proyek-proyek bangunan air di negara kita.

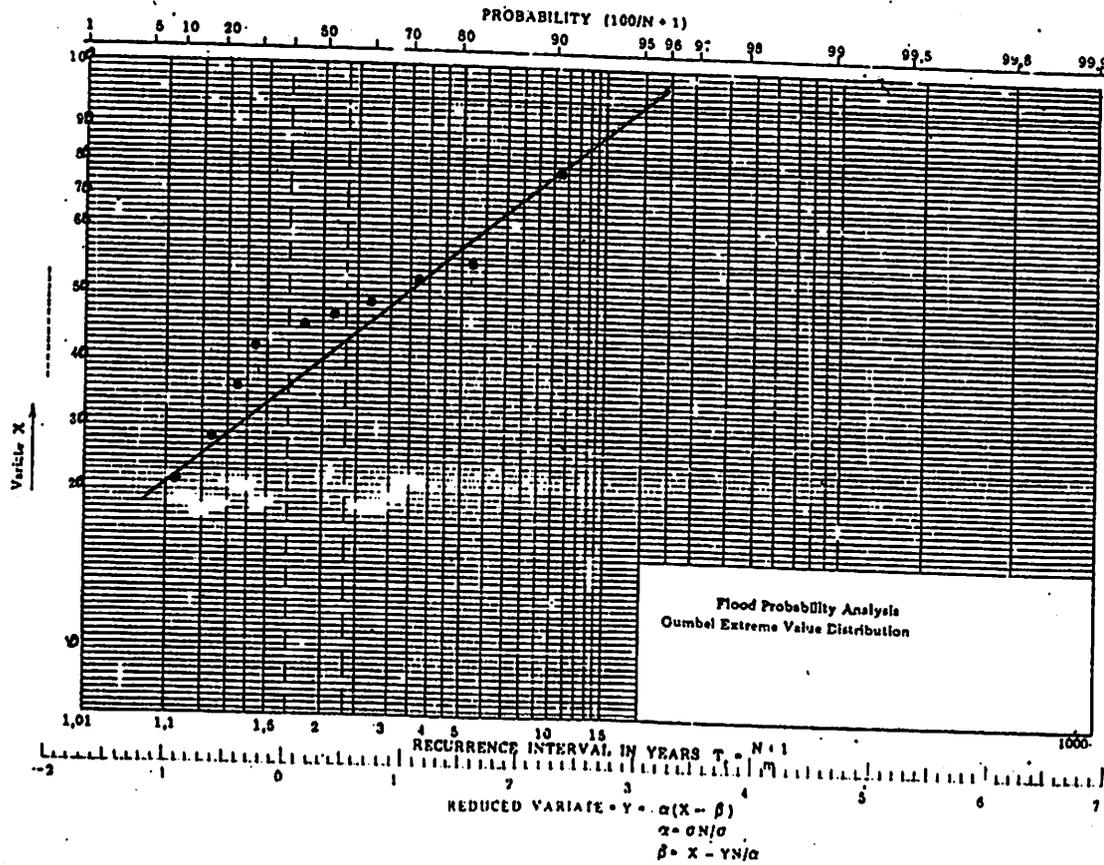
Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Untuk menentukan hidrograf banjir disuatu daerah aliran pengaliran Kali Widas akan dipakai metode hidrograf satuan sintetik Nakayasu. Dalam perhitungan banjir rencana dengan hidrograf satuan sintetik Nakayasu, maka perlu diketahui karakteristik atau parameter daerah alirannya.

Karakteristik daerah pengaliran Kali Widas adalah sebagai berikut :

- 1). Luas DAS Kali Widas (A) : 430.150 km²

Kertas Peluang Distribusi Gumbel



4). Koefisien pengaliran (C) : 0.50

5). Dari persamaan 1-29 didapat nilai $\alpha = \frac{0.47(430.150 \times 62.50)^{0.25}}{4.025} = 1.50$

.Hidrograf satuan sintetik Nakayasu dihitung berdasarkan persamaan 1-23, selanjutnya perhitungan debit puncak banjir adalah sebagai berikut :

Tg dihitung berdasarkan atas :

1). Sungai dengan panjang lebih dari 15 km

$$\begin{aligned} T_g &= 0.4 + 0.058 \times L \\ &= 0.4 + 0.058 \times 62.5 \\ &= 4.025 \text{ jam} \end{aligned}$$

2). Nilai T_r (satuan waktu hujan) = 1 jam

3). Mencari tenggang waktu permulaan hujan sampai puncak banjir (T_p)

$$\begin{aligned} T_p &= T_g + 0.8 \times T_r \\ &= 4.025 + 0.8 \times 1 \\ &= 4.83 \text{ jam} \quad \checkmark \end{aligned}$$

4). Mencari penurunan debit dan puncak sampai menjadi 30 % ($T_{0.3}$)

$$\begin{aligned} T_{0.3} &= \alpha \times T_g \\ &= 1.50 \times 4.025 \\ &= 6.04 \text{ jam} \end{aligned}$$

$$1.5 \times T_{0.3} = 9.06 \text{ jam}$$

5). Sehingga didapat debit puncak banjir sebagai berikut :

$$Q_{maks} = \frac{1}{3.6} \times A \left[\frac{R_0}{0.3T_p + T_{0.3}} \right]$$

$$Q_{maks} = \frac{1}{3.6} \times 430.150 \left[\frac{1}{0.3 \times 4.83 + 6.04} \right]$$
$$= 16 \text{ m}^3/\text{detik} \quad \checkmark$$

Perhitungan hidrograf satuan adalah :

1). Pada kurva naik

$$0 \leq t \leq t_p = 0 \leq t \leq 4.83$$

$$Q_t = Q_{maks} \times \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2.4}$$
$$= 16 \times \left(\frac{t}{4.83} \right)^{2.4}$$

Pada kurva naik jam ke-3 untuk mencari Q_t perhitungannya dapat dijabarkan sebagai berikut :

$$Q_t = Q_{maks} \times \left[\frac{t}{T_p} \right]^{2.4}$$

$$Q_t = 16 \times \left[\frac{3}{4.83} \right]^{2.4}$$

$$Q_t = 5.12 \text{ m}^3/\text{detik}.$$

Untuk hasil perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel berikut ini :

T (jam)	$(t / 4.83)^{2.4}$	Q maks	Q_t (m ³ /dt)
0.00	0.00	16	0.00
1.00	0.02	16	0.32
2.00	0.12	16	1.92
3.00	0.32	16	5.12
4.00	0.64	16	10.24
4.83	1	16	16

2). Pada kurva turun

$$a). T_p \leq t \leq (T_p + T_{0.3})$$

$$4.83 \leq t \leq 10.87$$

$$Q_t = Q_{maks} \times 0.3 \text{ pangkat} \left(\frac{t - T_p}{T_{0.3}} \right)$$

$$= 16 \times 0.3 \text{ pangkat} \left(\frac{t - 4.83}{6.04} \right)$$

Pada kurva turun jam ke-5 untuk mencari Q_t perhitungannya dapat dijabarkan sebagai berikut :

$$Q_t = Q_{maks} \times 0.3 \text{ pangkat} \left(\frac{t - T_p}{T_{0.3}} \right)$$

$$Q_t = 16 \times 0.3 \text{ pangkat} \left(\frac{5 - 4.83}{6.04} \right)$$

$$Q_t = 15.43 \text{ m}^3/\text{detik}.$$

Untuk hasil perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel berikut ini:

T (jam)	$0.3^{(t-4.83/6.04)}$	Q maks	$Q_t (\text{m}^3/\text{dt})$
5.00	0.97	16	15.43
6.00	0.80	16	12.6
7.00	0.65	16	10.4
8.00	0.53	16	8.5
9.00	0.44	16	7.04
10.00	0.36	16	5.8
10.87	0.30	16	5.0

$$b). (T_p + T_{0.3}) \leq t \leq (T_p + T_{0.3} + 1.5 \times T_{0.3})$$

$$10.87 \leq t \leq 20.00$$

$$Q_t = Q_{maks} \times 0.3 \text{ pangkat} \left(\frac{t - T_p + 0.5 \times T_{0.3}}{1.5 \times T_{0.3}} \right)$$

$$= 16 \times 0.3 \text{ pangkat} \left(\frac{t - 4.83 + 3.02}{9.06} \right)$$

T (jam)	$0.3^{(t-4.83+3.02/9.06)}$	Q maks	Q_t (m ³ /dt)
11.00	0.30	16	5.00
12.00	0.26	16	4.20
13.00	0.23	16	3.70
14.00	0.20	16	3.20
15.00	0.20	16	2.72
16.00	0.20	16	2.40
17.00	0.13	16	2.10
18.00	0.12	16	1.90
19.00	0.10	16	1.60
20.00	0.10	16	1.44

c). $t \geq (T_p + T_{0.3} \times 1.5 \times T_{0.3})$

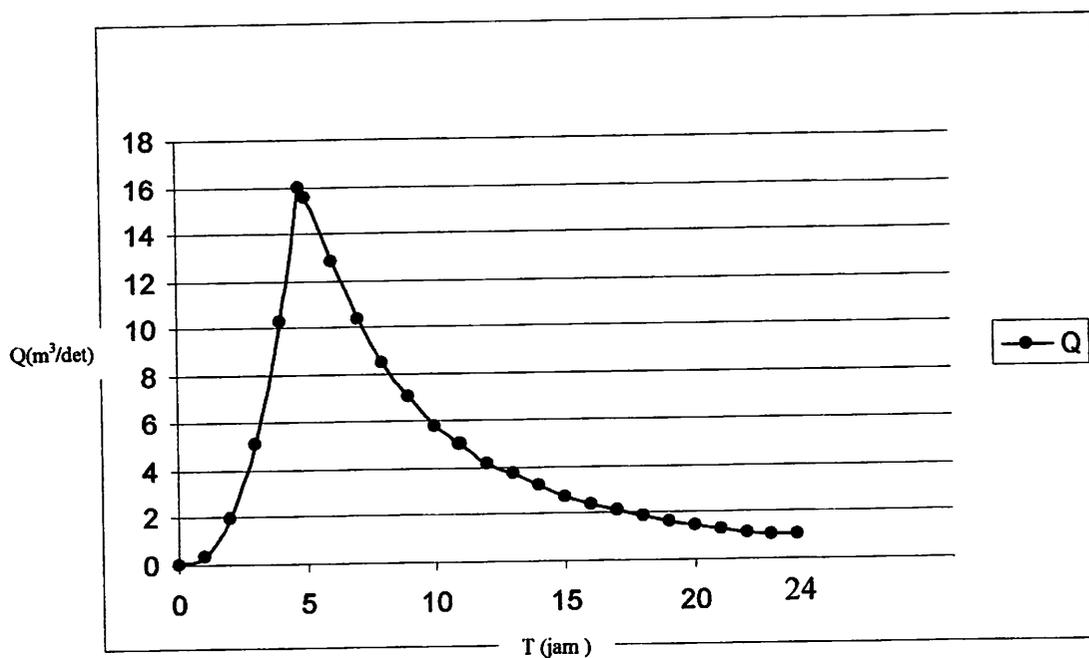
$$t \geq 20.0$$

$$Q_t = Q_{maks} \times 0.3 \text{ pangkat} \left(\frac{t - T_p + 1.5 \times T_{0.3}}{2 \times T_{0.3}} \right)$$

$$Q_t = 16 \times 0.3 \text{ pangkat} \left(\frac{t - 4.83 + 9.06}{12.08} \right)$$

T (jam)	$0.3^{(t-4.83+9.06/12.08)}$	Q maks	Q (m ³ /dt)
21.00	0.1	16	1.30
22.00	0.1	16	1.12
23.00	0.1	16	1.00
24.00	0.1	16	1.00

Dengan menggunakan data diatas maka hidrograf satuan dengan kala ulang 10 tahun dapat disajikan sebagai berikut :



Gambar 3-3.. Hidrograf Satuan Kala Ulang 10 Tahun

Pada perhitungan Q total pada hidrograf banjir rencana dengan kala ulang 10 tahun dapat dijabarkan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q &= \text{curah hujan pada jam ke } T \times UH \\ &= 116.41 \times 0.320 \\ &= 37.25 \end{aligned}$$

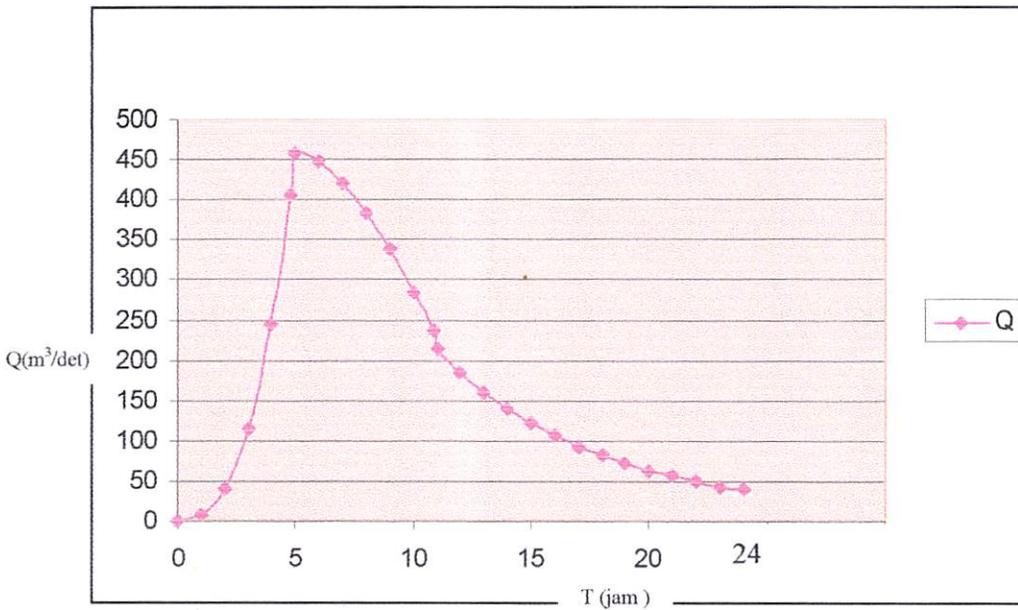
Untuk hasil perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel berikut :

**TABEL 3-11.
PERHITUNGAN HIDROGRAF BANJIR DENGAN
KALA ULANG 10 TAHUN**

T (jam)	UH	Curah Hujan Pada Jam Ke T						Q total (m ³ /dt)
		R ₁ (20.30)	R ₂ (5.28)	R ₃ (3.73)	R ₄ (2.88)	R ₅ (2.51)	R ₆ (2.17)	
0	0.00	0.00	-	-	-	-	-	0.00
1	0.32	6.5	0.00	-	-	-	-	6.5
2	1.92	39.0	1.7	0.00	-	-	-	40.7
3	5.12	104.0	10.1	1.2	0.00	-	-	115.3
4	10.24	208.0	27.0	7.2	1.0	0.00	-	243.2
4.83	16.00	325.0	54.1	19.1	5.5	1.0	0.00	404.7
5	15.52	315.1	84.5	38.2	14.7	5.0	0.7	458.2
6	12.80	260.0	82.0	59.7	29.5	13.0	4.2	448.4
7	10.40	211.1	67.6	58.0	46.1	25.7	11.1	419.6
8	8.500	172.6	55.0	48.0	44.7	40.2	22.2	382.7
9	7.04	143.0	45.0	39.0	37.0	39.0	34.7	337.7
10	5.80	118.0	37.2	31.7	30.0	32.1	33.7	282.7
10.87	5.00	101.5	30.6	26.3	24.5	26.1	27.8	236.8
11	5.00	101.5	26.4	21.6	20.3	21.3	22.6	213.7
12	4.20	85.3	26.4	18.7	16.7	17.7	18.4	183.2
13	3.70	75.1	22.2	18.7	14.4	14.6	15.3	160.3
14	3.20	65.0	19.5	16.0	14.4	12.6	12.6	140.1
15	2.72	55.2	17.0	14.0	12.1	12.6	10.9	121.8
16	2.40	49.0	14.4	12.0	10.7	10.5	10.9	107.5
17	2.10	42.6	12.7	10.1	9.2	9.3	9.1	93.0
18	1.90	38.6	11.1	9.0	7.8	8.0	8.0	82.5
19	1.60	32.5	10.0	7.8	7.0	7.0	7.0	71.3
20	1.44	29.2	8.4	7.1	6.0	6.0	6.0	62.7
21	1.30	26.4	7.6	6.0	5.5	5.3	5.2	56.0
22	1.12	22.7	7.0	5.4	4.6	4.8	4.6	49.1
23	1.00	20.3	6.0	5.0	4.1	4.0	4.1	43.5
24	1.00	20.3	5.3	4.2	3.7	3.6	3.5	40.6

Sumber : Hasil perhitungan

Dengan menggunakan data hasil perhitungan diatas, maka dapat digambarkan hidrograf banjir rencana periode 10 tahun sebagai berikut :



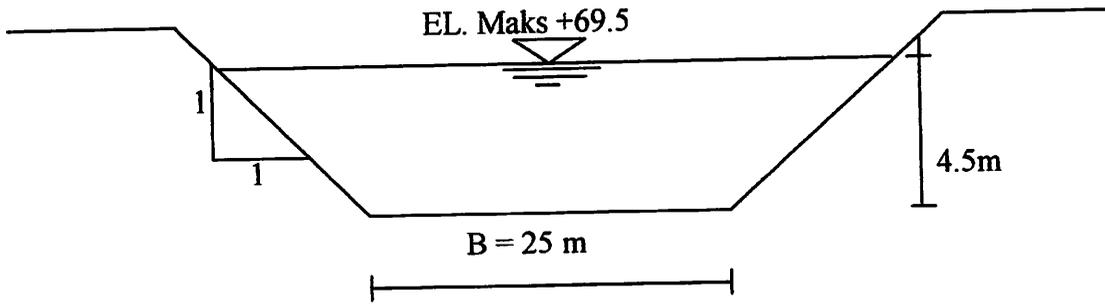
Gambar 3-4. Hidrograf Banjir Rencana Periode Ulang 10 Tahun

3.2.8. Analisa Hubungan Kapasitas dan Elevasi Muka Air K Widas.

Untuk mengetahui kapasitas Kali Widas dalam menampung debit banjir, maka kapasitas sungai dapat dicari dengan cara luas penampang sungai dikalikan dengan panjang sungai. Dengan mengetahui kapasitas Kali Widas maka didapat hubungan antara volume dan elevasi muka air di sungai sehingga kita dapat mengetahui limpasan yang terjadi pada kali tersebut, yang selanjutnya akan digunakan dalam perencanaan Retarding Basin maupun untuk peninggian tanggul.

Dari data diketahui :

- * EL. Dasar Sungai = + 65.
- * Lebar Sungai = 25 m.
- * Kemiringan rata-rata = 1 : 1.
- * Panjang Sungai = 62500 m.
- * Kemiringan dasar sungai = 0,0001.



Gambar 3-5. Potongan Melintang Kali Widas

Dengan mencari luas penampang basah pada sungai, maka akan dapat diketahui kapasitas sungai dengan cara dikalikan dengan panjang sungai.

Untuk mengetahui volume atau kapasitas pada elevasi + 69.5, dapat dijabarkan sebagai berikut :

- Penampang basah pada Kali Widas :

$$\begin{aligned} A &= (b + m \times h) \times h \\ &= (25 + 1 \times 4.5) \times 4.5 \\ &= 132.75 \end{aligned}$$

- Volume Kali Widas :

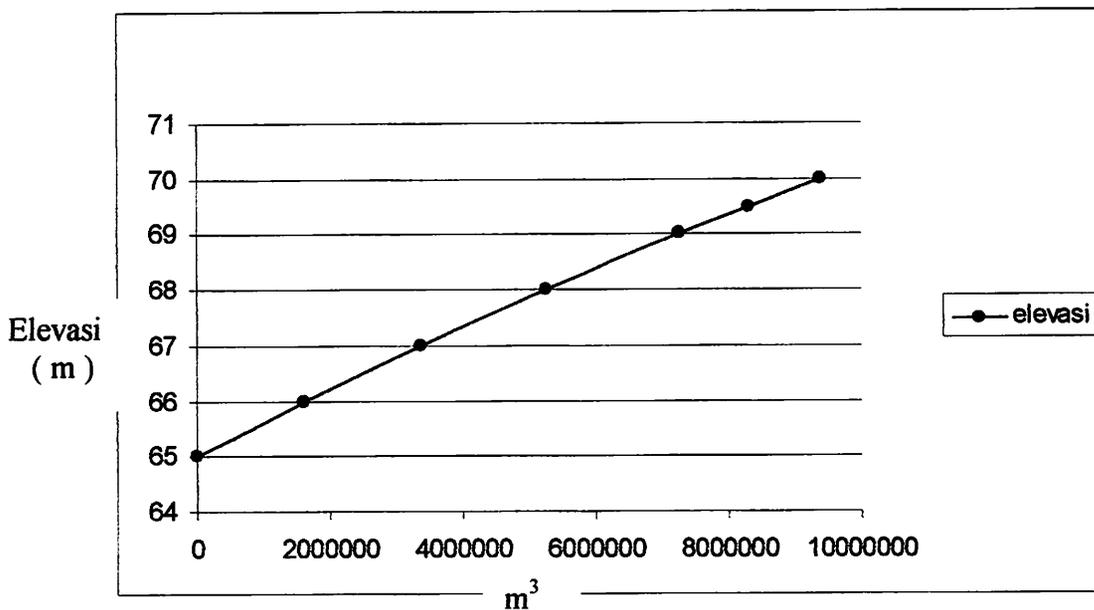
$$\begin{aligned} V &= A \times L \\ &= 132.75 \times 62500 \\ &= 8296875 \text{ m}^3. \end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel sebagai berikut :

No	Volume (m ³)	Elevasi (m)
1	0	65
2	1625000	66
3	3375000	67
4	5250000	68
5	7250000	69
6	8296875	69.5
7	9375000	70

Sumber : Hasil Perhitungan.

Dengan menggunakan data diatas maka dapat digambarkan grafik hubungan volume dan elevasi muka air pada Kali Widias :



Gambar 3-6. Grafik Hubungan Volume dan Muka Air

yang ditinjau pada studi ini sepanjang 22000 meter yang dimulai dari daerah tergenang menuju ke arah hulu. Untuk mendapatkan luas penampang sungai, maka juga dilakukan pelebaran dasar sungai menuju ke arah hulu. Dasar saluran dalam hal ini direncanakan ditambah 3 meter dari dasar saluran yang ada pada daerah hulu.

Untuk perhitungannya dapat dijabarkan sebagai berikut.

Diketahui dari data :

* lebar dasar sungai hilir = 25 meter.

* lebar dasar sungai hulu = 22 meter.

* tinggi tanggul rencana = 1.5 meter.

$$\begin{aligned} A &= (b + m \times h) \times h \\ &= (25 + 1 \times 1.5) \times 1.5 \\ &= 39.75 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= A \times L \\ &= 39.75 \times 22000 \\ &= 874500 \text{ m}^3. \end{aligned}$$

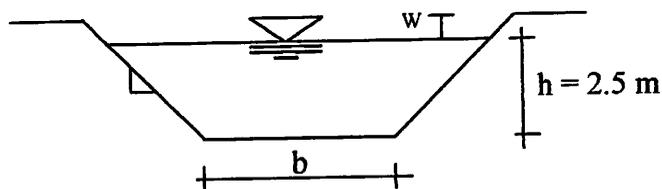
Jadi limpasan yang dapat ditampung pada sepanjang 22000 di alur sungai adalah 874500 m³.

3.4. PERENCANAAN RETARDING BASIN.

Retarding basin dalam studi ini berfungsi untuk menampung limpasan dari Kali Widias yang bersifat sementara, yang kemudian selanjutnya dilirkan kembali menuju kali Widias secara gravitasi. Untuk volume limpasan yang ditampung pada Retarding Basin ini sebesar 1625500 m³. Menentukan volume tampungan sementara dilakukan dengan merencanakan luasannya, kemudian luasan tersebut dicoba-coba

dengan hasil debit air atau volume limpasan yang harus ditampung pada retarding basin. Retarding basin yang direncanakan disini berbentuk persegi panjang, hal ini disebabkan karena terbatasnya lahan guna perencanaan retarding basin. maka direncanakan dimensi Retarding Basin (berbentuk persegi panjang) :

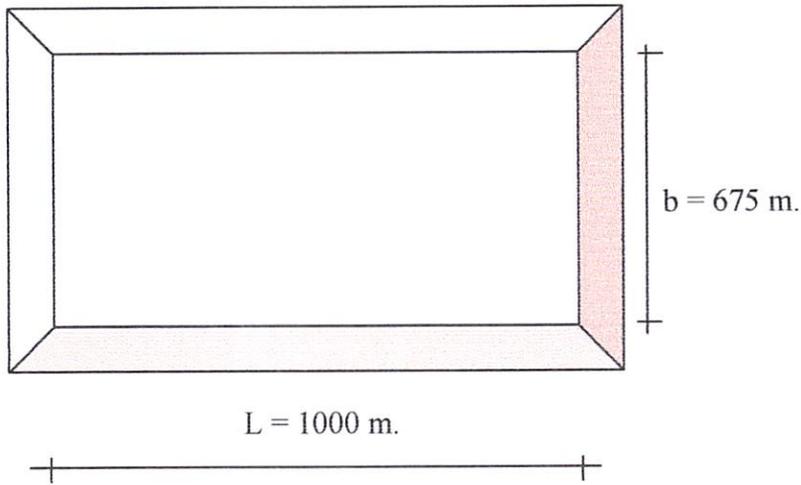
- * Lebar Dasar Kolam (b) = 1000 meter
- * Panjang Kolam (L) = 675 meter
- * Tinggi Muka Air (h) = 2.5 meter
- * Tinggi Jagaan (w) = 0.5 meter



Gambar 3-9. Potongan Melintang Retarding Basin

Pada pengendalian banjir, sisa debit limpasan yang harus ditampung pada retarding basin sebesar :5125500 m³.

$$\begin{aligned} V &= P \times L \times t \\ &= 1000 \times 675 \times 2.5 \\ &= 1687500 \text{ m}^3. \end{aligned}$$



Gambar 3-10. Penampang Equivalen Retarding Basin.

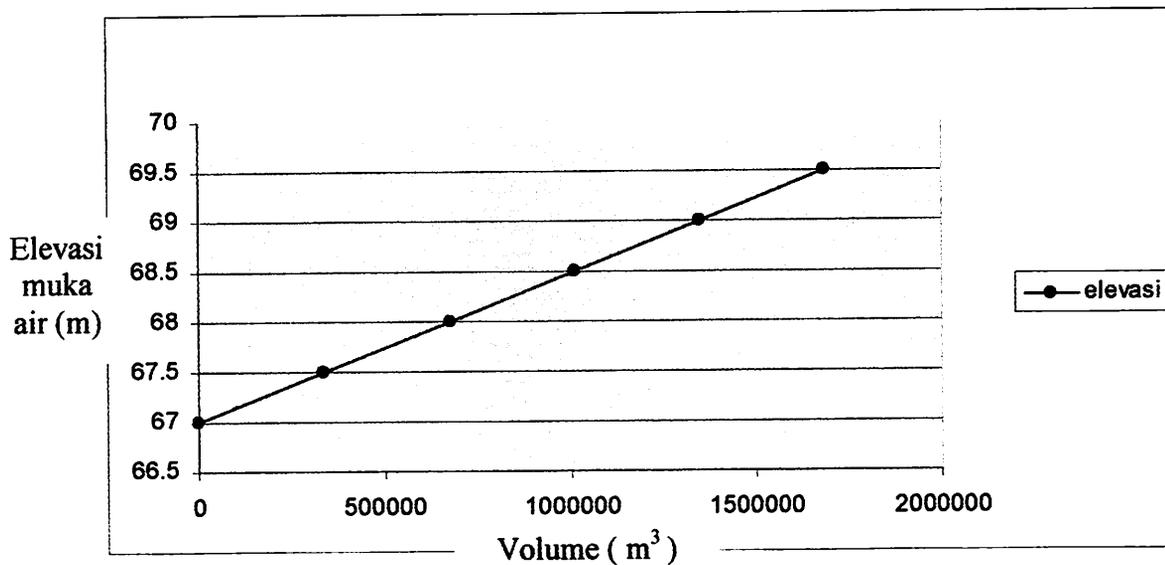
Untuk mengetahui kapasitas retarding basin dalam menampung limpasan dari Kali Widias dapat dicari dengan cara coba-coba, yaitu dengan cara $(P \times L \times t)$, yang kemudian disesuaikan dengan volume limpasan yang akan ditampung pada retarding basin. Hasil perhitungan akan disajikan pada tabel 3.13.

TABEL 3-13. HUBUNGAN VOLUME DAN ELEVASI MUKA AIR PADA RETARDING BASIN

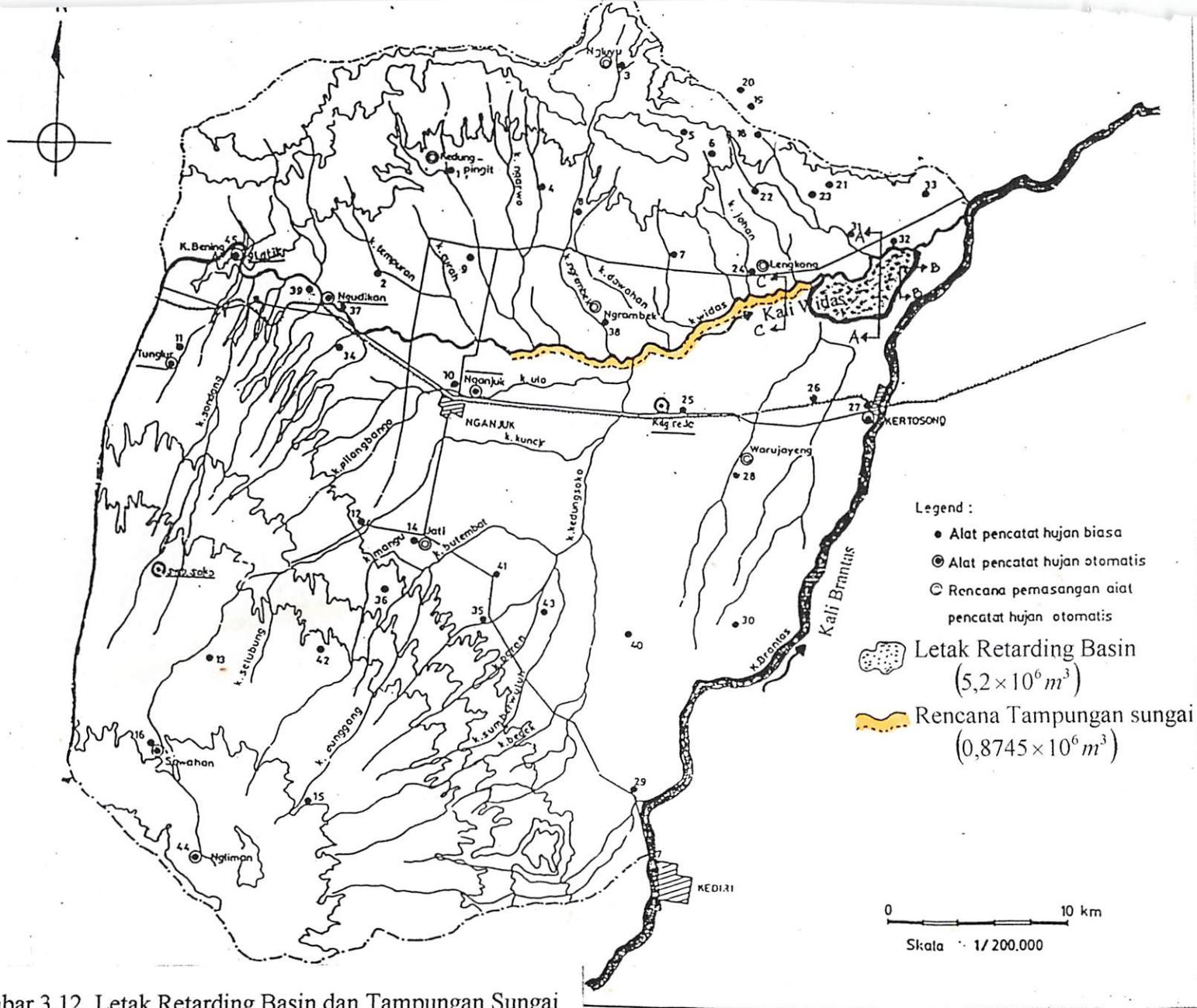
No	Volume (m ³)	Elevasi (m)
1	0	67
2	337500	67.5
3	67500	68
4	1012500	68.5
5	1350000	69
6	1687500	69.5

Sumber : Hasil Perhitungan.

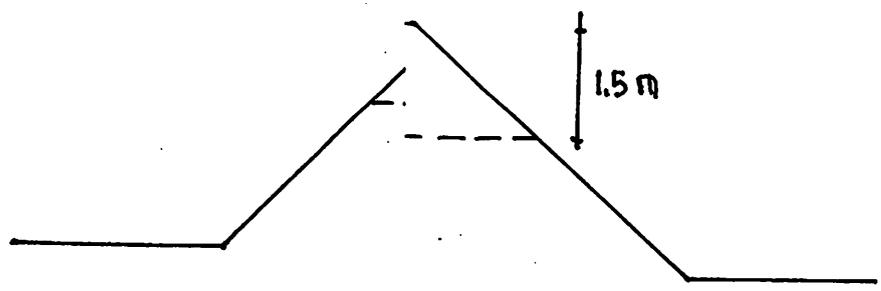
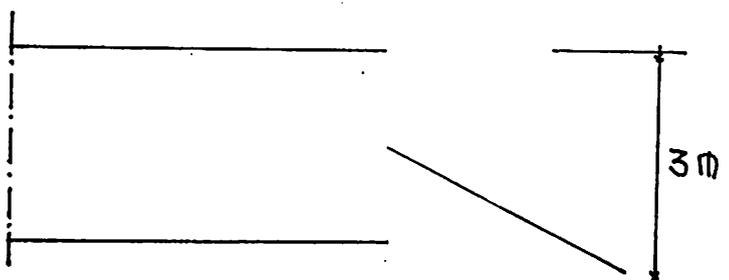
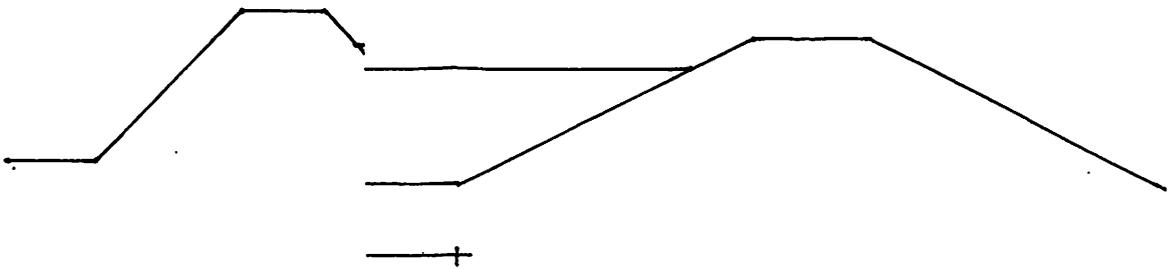
Dari hasil perhitungan diatas, maka dapat digambarkan grafik hubungan antara volume dan elevasi muka air pada Retarding Basin, yaitu sebagai berikut :



Gambar 3-11. Grafik Hubungan Volume dan Elevasi Muka Air



Gambar 3.12. Letak Retarding Basin dan Tampungan Sungai



BAB IV

KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. KESIMPULAN

Dari evaluasi yang dilakukan oleh penulis pada debit banjir Kali Widas, dapat disimpulkan bahwa :

- a. Data curah hujan yang tinggi pada daerah Kali Widas, sudah dapat menimbulkan banjir di Kali Widas yang menyebabkan genangan disekitar daerah Kali Widas.
- b. Kapasitas pada kali widas pada saat ini sudah tidak mampu menampung debit yang ada.
- c. Diketahui besarnya volume limpasan pada Kali Widas sebesar 2500000 m³.

4.2. SARAN-SARAN.

Memperhatikan hal-hal tersebut diatas, maka dalam penulisan tugas akhir ini penulis memberikan saran atau alternatif penanggulangan banjir pada Kali Widas sebagai berikut :

1. Peninggian tanggul pada alur sungai sepanjang 22000 meter, dengan penambahan ketinggian tanggul 1.5 meter, sehingga volume yang tertampung pada alur sungai sebesar 874500 m³, dan untuk sisa limpasan ditampung pada Retarding Basin.
2. Perencanaan retarding basin yang pada hal ini terletak dikanan sungai,hal ini disebabkan karena ketersediaan lahan yang ada pada daerah studi. Dan volume limpasan yang harus ditampung pada retarding basin sebesar

1625500 m³. retarding basin disini direncanakan berbentuk persegi panjang dengan ukuran 1000 meter kali 675 meter.

3. Untuk alternatif peninggian tanggul, juga dilakukan pelebaran dasar sungai yang dalam hal ini pada daerah yang ditinjau yaitu sepanjang 22000 meter menuju ke arah hulu.
4. Menghimbau kepada masyarakat disekitar Kali Widias untuk ikut serta dalam menjaga daerah sekitar dan memelihara instalasi / bangunan-bangunan air agar bertahan lama dalam menjalankan fungsinya yang dapat mencegah terjadinya banjir di daerah tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

1. C.D. Soemarto,1983, Hidrologi Teknik.
2. C.D. Soemarto,1986, Hidrologi Teknik.
3. Darmadi, Sigit S.A. dan Lilik S,1997, Deteksi Banjir Berdasarkan Pemodelan Aliran Sungai dan Pemodelan DAS.
4. Linsley,R,K,Kohler,M.A. AND Paulhus,J.L,1975,Hydrologi for Engineers,Mc Graw-Hill,United States Of America.
5. Subarkah.I,1978, Hidrologi Untuk Perencanaan Bangunan Air, Idea dharma, Bandung.
6. Sudjarwadi, 1987, Teknik Sumber Daya Air, Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil FT.UGM.
7. Ir. Suyono Sosrodarsono dan Kensaku Takeda,1993,Hidrologi Untuk Pengairan, PT Pradnya paramita, Jakarta.
8. E.M. Wilson, Hidrologi Teknik , edisi keempat, penerbit ITB Bandung.
9. Ir. Joesron Loebis. M . Eng.Banjir Rencana Untuk Bangunan Air, Departemen Pekerjaan Umum Jakarta.
10. Analisis Hidrologi, Sri Harto, Br, 1993.

FLO CHART
KAJIAN PENGENDALIAN BANJIR KALI WIDAS KABUPATEN
NGANJUK DENGAN TANGGUL DAN RETARDING BASIN

