

# ***SISTEM PERAMALAN BANJIR SECARA SPATIAL (STUDI KASUS PADA SUNGAI TUNTANG)***

Oleh : Suharyanto, Sumbogo Pranoto, Hari Nugroho, Priyo Nugroho<sup>\*)</sup>

## **Abstract**

*Flooding is a natural disaster which can not be prevented totally, Some countermeasures to alleviate the flooding's damaging effects have been implemented with some degree of succes and some with limited succes (fail). These countermeasures include normalizing the river courses, increasing its embankment, providing revetment, or providing with flood control structures. However, these countermeasures are not the only action to reduce flooding damage. An equally important action contributing to the success on reducing flood damaged is non-technical measures especially system information on flooding characteristics This non-technical measure requiring flood forecasting procedures (software, equipments, information exchange, procedures, and coordination). When the time, the places, and the magnitudes of the incoming floods can be predicted with better confidence then the affected regions and people can prepared to anticipate well before the flood occurrence. This will definitely reduce the possible flood damages. This paper presents the development of flood forecasting function in the Tuntang River, i.e., from Glapan weir to Gubug, and Buyaran bridges. Additioanlly, the flood forecasting functions along the river, i.e., at every potentially vulnerable embankments are also presented. These functions have also been calibrated by the floods occuring on 2001.*

**Keywords** : Flood forecasting, Tuntang river

## **Latar Belakang**

Banjir merupakan fenomena alam yang tidak dapat dicegah, tetapi dapat dikurangi akibat yang ditimbulkannya. Peristiwa banjir merupakan akibat dari berbagai sebab, seperti terjadinya hujan deras dan lama, serta ditambah dengan kondisi Daerah Pengaliran Sungai (DPS) yang tidak mampu menahan air hujan sehingga menimbulkan aliran permukaan

an/limpasan (*run off*) yang besar. Apabila palung sungai tidak mampu lagi menampung aliran limpasan tersebut, maka dapat terjadi banjir yang besar.

Meskipun tidak dapat dicegah, banjir dapat diusahakan untuk dikendalikan. Usaha pengendalian banjir (*flood control*) bertujuan untuk memperkecil kemungkinan terjadinya banjir sampai batas tertentu. Dalam pengelolaan resiko banjir terdapat beberapa kegiatan fisik (*technical measures*) maupun kegiatan non-fisik (*non-technical measures*).

---

<sup>\*)</sup> Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik  
UNDIP

Penanganan secara fisik dapat disebutkan kegiatan Pemetaan (*Cartography*), pengendalian banjir (*Flood Control Works*), dan penanggulangan banjir (*Flood Fighting*). Sedangkan penanganan secara non fisik dapat meliputi Flood Zone Management, pedoman penanggulangan banjir, Pedoman Evakuasi, serta sistem peramalan dan pemberitaan banjir (*Flood Forecasting and Early Warning System*).

Khusus mengenai peramalan dan pemberitaan dini banjir (*Flood Forecasting and Early Warning System*) berfungsi untuk dapat mengetahui dan meramalkan besar dan waktu terjadinya banjir beberapa waktu sebelum banjir itu datang. Hal demikian memungkinkan penduduk di daerah rawan banjir untuk menyelamatkan diri, harta-benda, dan permukiman mereka dari banjir yang akan datang. Sehingga sistem peramalan dan pemberitaan dini banjir ini sangat mendukung untuk penentuan penanganan dan evakuasi penduduk sekitar sungai. Selanjutnya, peramalan dan peringatan dini banjir memungkinkan untuk menyebarkan informasi banjir ke setiap lokasi rawan banjir dengan cepat dan akurat.

Dalam rangka meningkatkan efektivitas dan efisiensi untuk suatu pengelolaan banjir, dibutuhkan suatu informasi yang dapat diperoleh secara cepat dan akurat. Untuk dapat memperoleh informasi yang cepat dan akurat diperlukan adanya suatu perangkat keras dan perangkat lunak yang dapat digunakan untuk memberi informasi secara dini. Informasi secara tepat dan akurat merupakan hal yang sangat bermanfaat untuk berbagai tujuan seperti menginformasikan besar dan waktu terjadinya banjir. Selain itu, sistem informasi dini tersebut

dapat pula digunakan dalam menginformasikan potensi air dari suatu daerah pengaliran sungai pada suatu waktu.

Dengan meningkatnya teknologi komputer dan kemajuan teknologi bidang komunikasi maka dimungkinkan untuk mendapatkan informasi secara cepat dan tepat. Untuk dapat membuat suatu peringatan dini yang dapat digunakan untuk pengembangan dan pengelolaan suatu daerah pengaliran sungai diperlukan suatu analisis dan penyiapan perangkat lunak serta perangkat keras sistem peringatan dini di DPS yang mempunyai potensi banjir yang besar. Salah satu sungai yang hampir setiap tahun mengalami banjir adalah sungai Tuntang. Oleh karena itu, dalam paper ini disajikan sistem peramalan banjir di sungai Tuntang sebagai studi kasusnya.

## Deskripsi Sistem

### DPS Tuntang

Daerah Pengaliran Sungai (DPS) Tuntang terletak di Propinsi Jawa Tengah, membentang dari Rawa Pening ke arah Timur-laut melewati daerah-daerah Kedungjati, Gubug, Pulosari, dan akhirnya bermuara di Laut Jawa. Luas daerah tangkapan air (*catchment area*) DPS Tuntang sebesar 796 km<sup>2</sup>, termasuk daerah tangkapan di bagian hulu dari waduk Rawa Pening yang mempunyai area sebesar 282 km<sup>2</sup>.

DPS Tuntang dibatasi di sebelah Selatan oleh daerah pegunungan Merbabu, Telomoyo dan Ungaran, di sebelah Timur oleh Kabupaten Grobogan dan Kecamatan Telawa (Kabupaten Boyolali), dan di sebelah Barat oleh Kabupaten Semarang. Secara administratif

DPS Tuntang meliputi Kabupaten Semarang, Kota Salatiga, Kabupaten Grobogan dan Kabupaten Demak.

DPS Tuntang yang termasuk di dalam wilayah sungai Jratunseluna. DPS Tuntang merupakan salah satu DPS yang mempunyai potensi air banjir yang besar dan juga merupakan salah satu DPS yang mempunyai waduk alam di daerah hulunya yaitu Rawa Pening. Rawa Pening ini sekaligus dapat dikatakan sebagai salah satu sumber mata air utama Sungai Tuntang.

### Hidrologi

Musim hujan di daerah studi berlangsung mulai November sampai dengan bulan April sedangkan musim kemarau berlangsung dari bulan Mei sampai Oktober.

Curah Hujan daerah rerata tahunan untuk daerah pengaliran sungai Tuntang mulai dari Bendung Glapan ke arah hulu  $\pm$  2.588 mm, dengan curah hujan

bulanan rata-rata seperti yang terlihat pada Tabel 1. Berikut ini.

### Morfologi Sungai

Sungai Tuntang berawal dari mata air yang terletak di sebelah Timur dan Selatan dari Gunung Ungaran. Beberapa mata air yang menyumbang pada aliran sungai Tuntang sebagian juga berasal dari lereng Gunung Telomoyo dan Gunung Merbabu. Mata-mata air dan sisem aliran sungai-sungai di lereng gunung tersebut terkumpul di Waduk Rawa Pening. Air dari Rawa Pening ini juga digunakan untuk pembangkitan tenaga listrik serta juga untuk pengairan. Aliran *outflow* dari Rawa Pening kemudian mengalir ke arah Utara-Timur dan melewati kota Tuntang. Sehingga sungai ini lebih dikenal dengan nama Sungai Tuntang. Aliran Sungai Tuntang melingkari Lereng Gunung Ungaran yaitu mengalir ke arah Utara-Timur.

**Tabel 1. Curah Hujan Bulanan Rerata di DPS Tuntang**

Bulan	Curah Hujan Bulanan (mm)			Proporsi Hujan Bulanan (%)
	Maksimum	Minimum	Rerata	
Januari	600	163	353	14,29
Februari	534	178	330	13,36
Maret	579	177	340	13,76
April	456	128	274	11,09
Mei	428	39	188	7,61
Juni	286	1	109	4,42
Juli	321	0	64	2,58
Agustus	284	0	44	1,76
September	258	0	80	3,23
Oktober	405	17	155	6,29
November	441	104	242	9,79
Desember	537	137	293	11,84

Sumber : Perencanaan Pola Tata Air SWS Jratunseluna, 1995

Di Sepanjang alirannya, sungai Tuntang menerima masukan/ tambahan debit dari Sungai Senjoyo yang bertemu dengan Sungai Tuntang di sebelah hulu dari Kedungjati. Menjelang sampai di Gubug, di alur Sungai Tuntang dibangun Bendung Glapan, dimana air sungainya digunakan untuk pengairan. Setelah melewati Gubug, arah aliran cenderung berbelok arah ke arah Utara-Barat sampai di Muara di Laut Jawa. Di bagian Muara, Sungai Tuntang lama lebih dikenal dengan Sungai Kontrak.

### Debit Banjir

Dengan total daerah tangkapan yang cukup luas tersebut, maka daerah hilir yaitu yang dekat dengan muara sering mengalami banjir karena debit dari hulu sangat besar dengan membawa bahan angkutan sedimen. Dibagian muara yaitu di daerah sebelah hilir Gubug, Demak sampai di muara sering terjadi banjir.

Kejadian banjir di DPS Tuntang lebih banyak diakibatkan oleh longsornya tanggul yang tidak mampu menahan tekanan air pada waktu musim hujan.

Dari hasil survey dapat juga ditentukan beberapa lokasi yang rawan terhadap banjir yaitu terutama yang diakibatkan oleh tanggul kritis, elevasi tanggul rendah, tanggul longsor, dan bahan timbunan menganga.

### Daerah Rawan Banjir

Pada beberapa lokasi rawan banjir ini dipasang peilschal waking, yaitu peils chaal yang akan memonitor tentang tinggi tanggul yang tersisa (diukur dari tinggi muka air saat itu). Peilschaal waking ini dinilai lebih praktis bagi masyarakat dan bermanfaat untuk penanggulangan banjir. Dalam hal ini, peilschaal-peilschaal waking yang ada maupun yang akan dipasang sepenuhnya dikelola/ipantau oleh kelompok-kelompok masyarakat (POKMAS). Beberapa Lokasi rawan banjir tersebut dicantumkan pada Tabel 2.

**Tabel 2. Daerah Rawan Banjir di Sepanjang Sungai Tuntang**

No.	Desa	Kecamatan	Kabupaten	Penyebab Kritis
1.	Trimulyo	Guntur	Demak	Bahan Tanggul longsor sehingga lebar puncak tanggul tinggal $\pm 1$ m
2.	Grogol	Kr. Tengah	Demak	Tebing sungai longsor
3.	Pulosari	Kr. Tengah	Demak	Tebing sungai longsor
4.	Prigi	Dempet	Demak	Tanggul Kritis
5.	Karang Rejo	Wonosalam	Demak	Tanggul Kritis dan Pintu Afvoer Jebol
6.	Karang Sari	Kr. Tengah	Demak	Tanggul Kritis
7.	Jembatan Buyaran ke Muara	Kr. Tengah	Demak	Tanggul Belum di tinggikan
8.	Papanrejo	Gubug	Grobogan	Tanggul Kritis & Elv. Mercu Tanggul Rendah
9.	Pilang Wetan	Dempet II	Demak	Tanggul Kritis & Elv. Mercu Tanggul Rendah
10.	Pranten	Tegowanu	Grobogan	Tanggul Kritis & Elv. Mercu Tanggul Rendah
11.	Dorang	Wonosalam	Demak	Tanggul Kritis & Elv. Mercu Tanggul Rendah
12.	Ploso	Kr. Tengah	Demak	Tanggul Kritis & Elv. Mercu Tanggul Rendah

Sumber : Hasil Survey

## Kondisi Sistem Peringatan dan Penanggulangan Banjir yang ada

Sistem peringatan dini banjir di DPS Tuntang pertama-tama dilakukan pengamatan di beberapa stasiun pengamatan banjir terutama dari Bendung Glapan ke arah hilir/muara. Di tiap-tiap stasiun pengamatan ini, elevasi muka air banjir yang sampai pileschal dicatat. Di tiap stasiun pengamatan juga dilengkapi dengan radio komunikasi. Informasi dari petugas pengamatan tersebut diatas disampaikan melalui radio ke posko-posko di daerah rawan banjir yang meliputi Kabupaten Demak dan Kabupaten Grobogan. Perlu disampaikan bahwa seharusnya ada pos-pos pengamatan informasi banjir (seperti curah hujan) di bagian hulu DAS Tuntang yaitu di sebelah hulu dari Bendung Glapan.

Sistem komunikasi dilakukan dengan menggunakan radio dengan frekuensi : 160,935 MHz. Sistem komunikasi ini mencakup daerah-daerah rawan banjir di sistem sungai Tuntang serta intitusi di tingkat kabupaten yang terkait. Radio di pasang di Balai PSDA Jratun imur di Demak, Bendung Glapan di stasiun Kemiri, dan di stasiun Buyaran. Radio Mobile 1 (satu) buah terpasang pada Mobil Dinas Kepala Balai.

## Permasalahan

Walaupun telah diadakan sistem penanggulangan banjir, eksploitasi dan pemeliharaan sungai, pengendalian secara komprehensif, namun kondisi tersebut sampai saat ini belum memadai sehingga kemungkinan kerugian banjir akan besar, hal ini dikarenakan :

1. Belum ada sistem peramalan (*software*) dan peringatan bahaya banjir

(sistem komunikasi banjir) yang memadai.

2. Eksploitasi dan pemeliharaan bangunan-bangunan sungai belum memadai.
3. Pengelolaan DPS belum mngarah pada konservasi air dan tanah yang baik.
4. Volume angkutan sedimen di hulu cukup besar, yang dapat terendapkan di lokasi-lokasi yang relatif diam (*dead ccurrent*), hingga menyebabkan :
  - Perubahan sungai relatif cepat (*"Meandering River"*)
  - Sebagai akibatnya, penurunan kapasitas pengaliran sungai.
5. Daerah bawah merupakan daerah dataran (*Alluvial Plain*) yang rawan banjir.
6. Terbatasnya jumlah petugas, belum terpenuhinya kebutuhan bahan banjir-ran, dan terbatasnya kendaraan operasional. Untuk mengatasi hal tersebut di atas biasanya telah diupayakan pengadaan kendaraan operasional untuk pemantauan banjir selama musim hujan.

## Metodologi

Secara prinsip analisis penentuan fungsi peramalan yang diterapkan di DPS Tuntang ini adalah "level to level" yaitu berupa peramalan tinggi muka air banjir di suatu lokasi di hilir sebagai fungsi dari tinggi muka air banjir di hulu. Stasiun di Bendung Glapan digunakan sebagai stasiun pemantauan utama karena ketersediaan data serta kelengkapan peralatannya sudah memadai. Sementara itu, stasiun-stasiun di jembatan Gubug dan di jembatan Buyaran lebih difungsikan sebagai stasiun-stasiun pemantauan saja. Oleh karenanya, lokasi-lokasi tersebut (bendung Glapan,

jembatan Gubug dan jembatan Buyaran) disebut sebagai **Stasiun Pemantauan** yang pengoperasiannya dikelola oleh instansi pemerintah.

Lokasi-lokasi lain di antara bendung Glapan sampai muara yang merupakan daerah rawan banjir (tanggul kritis atau tanggul rendah) juga ditentukan fungsi peramalannya serta ditempatkan peil schaal untuk pemantauan waking. Oleh karenanya, di lokasi-lokasi rawan banjir ini disebut sebagai **Lokasi Pemantauan Rawan Banjir** yang pengoperasiannya dikelola oleh kelompok masyarakat setempat.

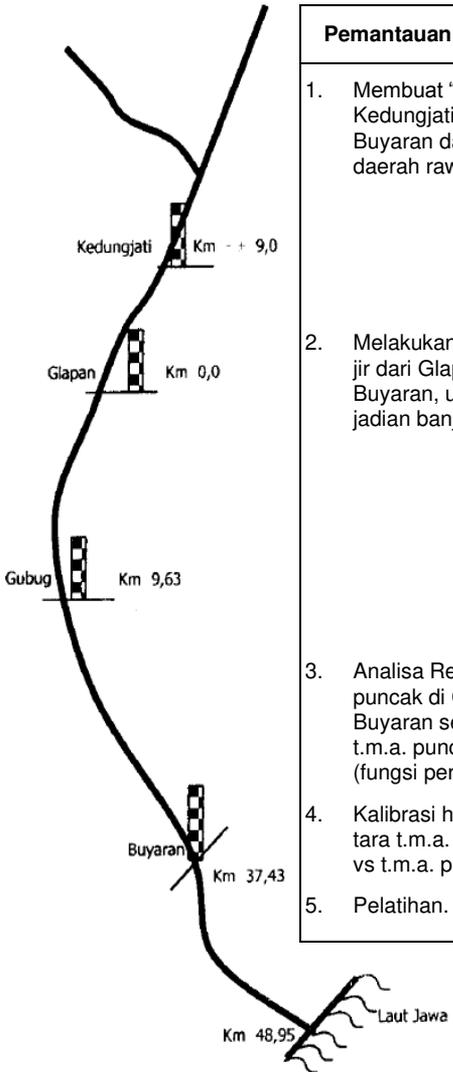
Untuk keperluan peramalan banjir di lokasi-lokasi pemantauan dan rawan banjir seperti tersebut diatas dan dengan mengingat ketersediaan data yang ada, maka diperlukan langkah-langkah seperti disajikan dalam Gambar 1.

Dari Gambar 1 tersebut dapat diuraikan bahwa kegiatan analisis penentuan fungsi peramalan ini meliputi beberapa kegiatan yaitu:

1. Pengamatan tinggi muka air di stasiun pemantauan yaitu di bendung Glapan, jembatan Gubug, dan jembatan Buyaran.

2. Penentuan fungsi liku kalibrasi debit (*rating curve*) di stasiun-stasiun pemantauan dan di lokasi rawan banjir.
3. Identifikasi dan kompilasi debit-debit banjir dan hasil pengamatan tinggi muka air saat-saat banjir.
4. Penelusuran banjir pada beberapa kali (*event*) kejadian banjir dari lokasi bendung Glapan sampai Buyaran.
5. Analisa tinggi muka air banjir pada beberapa kejadian banjir yang sudah routing yang dilanjutkan dengan analisa regresi fungsi peramalan.
6. Analisa waktu jalar banjir (*travel time*) dari lokasi bendung Glapan sampai di lokasi-lokasi hilirnya.
7. Melakukan kalibrasi *rating curve* debit di stasiun Buyara.
8. Melakukan kalibrasi fungsi peramalan

Dalam hal ini perlu disampaikan mengenai iktisar ketersediaan data di lapangan dan keperluan langkah analisisnya, karena hal ini mempengaruhi dan menentukan metodologi serta langkah-langkah yang diperlukan. Iktisar ketersediaan data dan keperluan analisa di lapangan disajikan pada Tabel 3. Berikut.



### Pemantauan Fungsi Peramalan

1. Membuat "Rating Curve" di Kedungjati, Glapan, Gubug, Buyaran dan di beberapa daerah rawan banjir.
2. Melakukan penelusuran Banjir dari Glapan, ke Gubug dan Buyaran, untuk beberapa kejadian banjir.
3. Analisa Regresi antara t.m.a. puncak di Glapan, Gubug dan Buyaran sebagai fungsi dari t.m.a. puncak di Kedungjati : (fungsi peramalan)
4. Kalibrasi hasil peramalan antara t.m.a. puncak perhitungan vs t.m.a. puncak pengamatan.
5. Pelatihan.

### Output/Hasil

1. Rating Curve di 4 lokasi pantau dan di beberapa daerah rawan banjir
2. a. Data t.m.a. dan debit puncak di 4 lokasi pantau dan daerah rawan banjir.  
b. **Travel time perkiraan**
3. Fungsi peramalan  
 $Q_{GL} = f(Q_k)$   
 $Q_{GB} = f(Q_k, Q_{GL})$   
 $Q_{GL} = f(Q_k, Q_{GL}, Q_{GB})$
4. Fungsi peramalan sudah teruji
5. Hand out pelatihan

### Data/Informasi yang diperlukan

1. a. Long Cross Section  
b. Karakteristik hidrolika.  
c. Bangunan-bangunan sungai yang berpengaruh  
d. "Rating Curve" lama  
e. Distribusi debit aliran di jaringan sungai  
f. Rencana perbaikan atau normalisasi sungai.
2. a. - ditto -  
b. - ditto -  
c. - ditto -  
d. - ditto -  
e. - ditto -  
f. - ditto -  
g. Program untuk penelusuran banjir  
h. Data banjir pengamatan di Glapan dan Buyaran (beberapa kejadian banjir)
3. Tinggi muka air di 4 lokasi pantau dari hasil penelusuran banjir.
4. Hasil Pengamatan Tinggi muka air dan hasil pengamatan

GAMBAR 1. INPUT - OUTPUT PENENTUAN FUNGSI PERAMALAN BANJIR

**Tabel 3. Ketersediaan Data dan Kebutuhan Analisis Peramalan Banjir di DPS Tuntang ( No 1 dari 2).**

Jenis data atau informasi	Lokasi Stasiun Pemantauan dan Daerah Rawan Banjir					Keterangan
	Kedungjati	Bendung GLAPAN	Jembatan GUBUG	Jembatan BUYARAN	Daerah Rawan Banjir	
<b>KETERSEDIAAN DATA</b>						
Long-Cross Section	Tidak Ada	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ada, dari hasil pengukuran SMEC (1999)</li> <li>Pengukuran Tambahan sepanjang total 20 km (Oktober 2000)</li> </ul>				Pengukuran tambahan diarahkan dari Buyaran - Muara + beberapa lokasi rawan banjir.
Rating curve	Tidak Ada	Ada, 1981	Tidak Ada	Tidak Ada	Tidak Ada	
Peilschaal	Peilschaalnya AWLR	Peilschaal	Tidak Ada	Peilschaal	Peilschaal Waking	Peilschaal waking dikelola oleh masyarakat untuk mengetahui sisa tinggi tanggul dari muka air banjir.
AWLR	Tidak berfungsi	<b>Berfungsi baik</b>	Tidak Ada	Dpasang Juni 200, Data tidak memadai	Tidak Ada	Pengoperasian AWLR perlu pengelolaan dan perawatan rutin terutama supply battery, tinta/ pena, dan kertas skala.
Pengamatan tma Banjir (Beberapa kejadian banjir)	Tidak Ada	<b>Ada</b>	Tidak Ada	<b>Ada</b>	Tidak Ada	Data pengamatan tma. banjir di Glapan dan di buyaran dapat digunakan sebagai acuan untuk penelusuran banjir di lokasi-lokasi lain.
<b>KEPERLUAN ANALISIS</b>						
Rating curve			Perlu dibuat rating curve di setiap cross-section, yaitu dengan menggunakan paket program HEC RAS			Parameter hidraulik : n Mannings dan koefisien kehilangan energi
Kalibrasi Rating curve				Pengukuran Debit di Buyaran terutama pada debit-debit besar.		Jika hasil pengukuran tidak sama dengan hasil rating curve, maka rating curvev perlu dimodifikasi yaitu dengan merubah parameter hidrauliknya
Hidrograp Banjir (Beberapa kejadian banjir)		Konversi dari pengamatan tma. Diandalkan sebagai Inflow di ruas Glapan-Buyaran		Konversi dari pengamatan tma. Diandalkan sebagai Outflow di ruas Glapan-Buyaran		

**Tabel 3. Ketersediaan Data dan Kebutuhan Analisis Peramalan Banjir di DPS Tuntang ( No 2 dari 2).**

Jenis data atau informasi	Lokasi Stasiun Pemantauan dan Daerah Rawan Banjir					Keterangan
	Kedungjati	Bendung GLAPAN	Jembatan GUBUG	Jembatan BUYARAN	Daerah Rawan Banjir	
Penelusuran Banjir dari beberapa kejadian Banjir		Penelusuran banjir dari ruas ke ruas di tiap lokasi cross-section dengan berpedoman supaya hasil penelusuran di Buyaran mendekati dengan hasil pengamatan hidrograp banjirnya				Hasil Penelusuran : Parameter K dan X di setiap ruas antara tiap cross section
Tma. pada beberapa kejadian banjir		Ada	Hasil Routing	Ada	Hasil Routing	Informasi tentang tma. pada beberapa kejadian banjir di tiap-tiap lokasi pantau dan lokasi rawan banjir dapat diketahui.
Fungsi Peramalan		Analisa regresi 'level to level' untuk meramalkan tma. di Gubug, Buyaran, dan lokasi rawan banjir lainnya sebagai fungsi dari tma. di Glapan.				
Time Travel		Dapat diperoleh dari hasil penelusuran banjir.				
<b>"LEVEL TO LEVEL" KEDUNGJATI KE GLAPAN</b>						
Pengamatan tma.	Pengamatan tma. periode Okt., Nov., Des. 2000					Pengamatan tma. banjir di Kedungjati dilakukan pada periode Okt., Nov., dan Des. 2000
Fungsi Peramalan	Level to level regression. Peramalan tma. di Glapan sebagai fungsi dari tma di Kedungjati					
Kalibrasi Peramalan	Pengamatan tma. di setiap lokasi pantau dan lokasi rawan banjir tetap dilakukan sampai bulan Desember 2000.					Fungsi peramalan tma banjir harus mampu meramalkan tma. banjir yang akan terjadi di lokasi-lokasi hilirnya dengan ketepatan yang baik Jika ketepatan yang diinginkan tidak tercapai, maka perlu modifikasi pada parameter persamaannya

## Analisis Peramalan Banjir

### Analisa Rating Curve

Untuk keperluan pembuatan "rating curve" di setiap lokasi tampang melintang yang ada, maka diperlukan data-data tampang melintang (*cross section*). Sementara itu, profil muka air pada kondisiniilai debit aliran tertentu di sepanjang sungai Tuntang dapat dianalisa dengan menggunakan paket program HEC-RAS. Sehingga, dengan mengeksekusi program paket HEC-RAS pada kondisi beberapa nilai debit dapat diperoleh profil muka air di sepanjang sungai Tuntang. Dalam hal ini, di setiap tampang melintang terdapat hubungan

antara tinggi muka air versus debit aliran.

### Paket Program HEC-RAS

Secara prinsip, data masukan untuk paket program HEC-RAS dapat dikelompokkan ke dalam beberapa kelompok yaitu a). data jaringan sungai, b). data tampang melintang, c). data mengenai bangunan sungai, d). data skenario debit aliran, dan e). data mengenai kondisi batas.

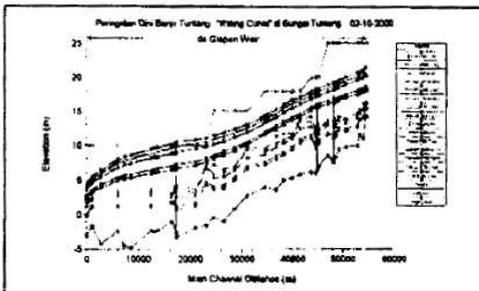
Keluaran dari program HEC-RAS meliputi a). Profil muka air di sepanjang sungai, b). Tinggi muka air di tiap-tiap tampang lintang, c). "rating curve" di tiap-tiap tampang lintang sungai, dan d)

tabulasi hasil 'running program yang meliputi aspek-aspek hidraulika yang komplit.

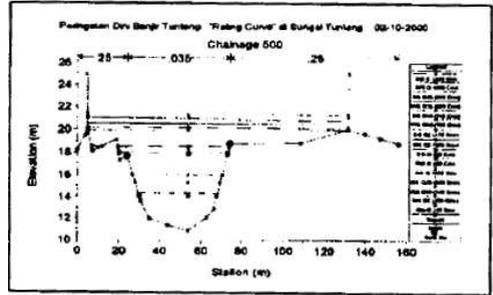
Parameter-parameter yang diperlukan untuk running program ini meliputi nilai kekasaran manning di palung sungai dan di bantaran, koefisien penyempitan, koefisien pelebaran, dan koefisien-koefisien yang berkaitan dengan kehilangan energi di bangunan-bangunan.

Dalam analisa rating curve ini, program HEC-RAS di-run untuk beberapa kondisi debit aliran yaitu dengan debit sebesar 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 470, 740, 880, dan 1000 m<sup>3</sup>/detik. Perlu disampaikan bahwa debit 470, 740 dan 880 m<sup>3</sup>/detik masing-masing setara dengan debit dengan kala ulang 2 tahun, 10 tahun dan 25 tahun (SMC, 1999).

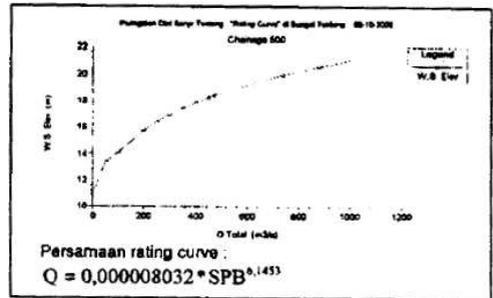
Sebagai contoh, hasil profil muka air sungai Tuntang pada kondisi debit seperti tersebut di atas dapat dilihat pada Gambar 2., tinggi muka air di salah satu tampang lintang sungai dapat dilihat pada Gambar 3., sedangkan rating curve di tampang tersebut disajikan pada Gambar 4. Persamaan rating curve di setiap lokasi tampang lintang disajikan pada Tabel 4.



**GAMBAR 2. Profil Muka Air di Sungai Tuntang pada Berbagai Kondisi Debit Aliran**



**GAMBAR 3. Salah Satu Kondisi Muka Air di Tampang Lintang Sungai Tuntang km 0,50.**



**GAMBAR 4. Salah Satu Rating Curve di Tampang Lintang Sungai Tuntang km 0,50.**

### Kalibrasi Rating Curve

Kalibrasi rating .curve dimaksudkan untuk melakukan evaluasi apakah rating curve hasil analisa dengan menggunakan HEC-RAS sudah dapat menggambarkan kondisi di lapangan dengan baik atau belum. Kalibrasi rating curve ini dilakukan pada lokasi tampang lintang yang sudah ada peil schaalnya dan pada kondisi tampang yang stabil. Lokasi untuk kalibrasi rating curve dipilih di jembatan Buyaran. Untuk itu dilakukan pengukuran debit di lokasi jembatan Buyaran.

Hasil kalibrasi yaitu perbandingan antara rating curve hasil analisa dan hasil pe-

ngukuran/pengamatan di lokasi jembatan Buyaran. Hasil kalibrasi ini disajikan pada Gambar 5. Dan dalam Tabel 5. Pada debit-debit rendah, hasil kalibrasi menunjukkan bahwa debit pengukuran

masih mendekati debit hasil perhitungan rating curve. Hal ini menunjukkan bahwa persamaan rating curve yang diperoleh di stasiun Buyaran dapat di gunakan untuk perhitungan selanjutnya.

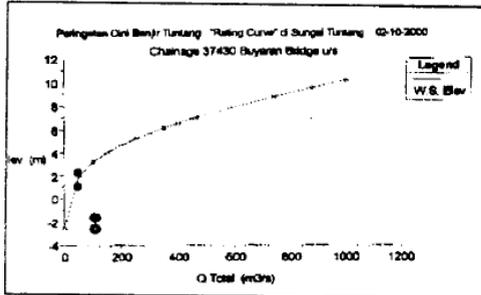
**Tabel 4. Hasil Analisa Regresi Persamaan Rating Curve di Tiap Tampang Lintang.**

Persamaan :  $Q = B' \times SPB \wedge A'$  (SPB = Elevasi Muka Air di Lokasi)

No.	Ruas No.	Km	Keterangan	Nilai B'	Niali A'	Nilai R^2
1	27.0	0,00		0,0000014	6,705	0,99466
2	26.0	0,50		0,0000080	6,145	0,99526
3	25.0	1,30		0,0000335	5,678	0,99571
4	24.0	1,75		0,0000372	5,661	0,99575
5	23.0	3,90		0,0000540	5,590	0,99587
6	22.0	5,34		0,0000867	5,473	0,99602
7	21.0	6,06		0,0001004	5,445	0,99607
8	20.6	6,21		0,0001107	5,413	0,99610
9	20.5	6,31	Gubug Rail u/s	0,0001131	5,407	0,99611
10	20.4	6,32	Gubug Rail d/s	0,0001052	5,435	0,99608
11	20.0	7,43		0,0001534	5,329	0,99620
12	19.0	9,38		0,0002296	5,235	0,99631
13	18.5	9,63	Gubug Road u/s	0,0002405	5,224	0,99633
14	18.4	9,64	Gubug Road d/s	0,0002292	5,244	0,99631
15	18.3	9,86		0,0002260	5,254	0,99630
16	18.0	10,91		0,0002507	5,255	0,99634
17	17.0	13,08		0,0012269	4,796	0,99699
18	16.0	14,53		0,0036894	4,445	0,99746
19	15.0	16,32		0,0095597	4,168	0,99792
20	14.0	17,72		0,0144423	4,090	0,99813
21	13.0	19,82		0,0222201	4,021	0,99834
22	12.0	23,35		0,1234644	3,516	0,99926
23	11.0	25,85		0,7334734	2,842	0,99988
24	10.0	27,95		1,4683006	2,609	0,99981
25	9.0	29,95		2,7215979	2,392	0,99942
26	8.0	31,82		6,5320675	2,053	0,99755
27	7.0	33,41		9,1809518	1,937	0,99603
28	6.0	37,15		12,7406602	1,831	0,99378
29	5.7	37,36		12,5541915	1,847	0,99390
30	5.6	37,43	Buyaran Bridge u/s	12,4994812	1,857	0,99393
31	5.5	37,44	Buyaran Bridge d/s	12,4296992	1,863	0,99398
32	5.4	37,63		12,7312923	1,857	0,99378
33	5.0	38,28		13,9047655	1,815	0,99298
34	4.2	39,43		21,4356294	1,638	0,98748
35	4.1	40,15		22,8019980	1,620	0,98641
36	4.0	40,85		24,7783775	1,596	0,98482
37	3.2	42,15		28,3660741	1,604	0,98181
38	3.1	43,42		29,4561939	1,609	0,98086
39	3.0	44,72		33,0515656	1,594	0,97762
40	2.1	46,22		56,8113014	1,467	0,95183
41	2.0	47,90		93,5126111	1,316	0,89478
42	1.0	48,95		141,1504621	1,229	0,78403

**Tabel 5. Hasil Kalibrasi Pengukuran Debit di Stasiun Buyaran.**

No	Hasil Pengukuran			Hasil dari Ratoing Curve	
	Tanggal Kalibrasi	t.m.a (SPB)	Debit (m <sup>3</sup> /dt)	t.m.a. (SPB)	Debit (m <sup>3</sup> /dt)
1.	30 Oktober 2000	+ 1,094	18,900	+ 1,094	14,6943
2.	30 Oktober 2000	+ 1,184	21,135	+ 1,184	17,0261

**GAMBAR 5. Hasil Kalibrasi Rating Curve di Lokasi Jembatan Buyaran**

### Penelusuran Banjir

Penelusuran banjir yang dilakukan adalah untuk dapat mengetahui hidrograf banjir di setiap lokasi tampang lintang jika diketahui (diamati) hidrograf banjir di Bendung Glapan. Dengan diketahui hidrograf banjir di setiap lokasi tampang lintang, maka dapat dilakukan :

- Analisa "time travel" debit banjir dari satu lokasi ke lokasi hilirnya.
- Tinggi muka air yang terjadi di beberapa/di setiap lokasi tampang lintang yaitu dengan menggunakan persamaan "rating curve yang berlaku.

Selanjutnya, jika penelusuran banjir ini dilakukan untuk beberapa peristiwa banjir, maka akan dapat diperoleh :

- Hubungan antara "time travel" dengan debit puncak banjir.
- Hubungan antara tinggi muka air di suatu lokasi di hilir sebagai fungsi dari tinggi muka air di lokasi hulu-nya.

Cara penelusuran banjir yang digunakan adalah cara Muskingum karena konsep dan penerapannya mudah dipahami, sederhana, dan parameter-parameter di lapangan seperti penyempitan sungai dan adanya pilar jembatan dapat tercermin dan disederhanakan pada dua parameter model yaitu K dan X.

Dalam melakukan penelusuran banjir ini, data pengamatan tinggi muka air yang ada adalah di lokasi bendung Glapan dan di lokasi jembatan Buyaran. Sehingga, data tinggi muka air dan hidrograf debit aliran di bendung Glapan dianggap sebagai inflow yang harus ditelusur di tiap-tiap lokasi tampang sedemikian hingga menghasilkan hidrograf debit outflow di lokasi jembatan Buyaran yang mendekati dengan hidrograf pengamatan di Buyaran. Hidrograf banjir hasil hitungan dikaatakan mendekati dengan hidrograf banjir hasil pengamatan jika memenuhi salah satu kriteria berikut :

- Selisih antara debit puncak hitungan dengan debit puncak pengamatan kecil.
- Selisih antara volume hidrograf hitungan dan volume hidrograf pengamatan kecil.
- Jumlah kuadrat kesaalahan minimal.

Dari uraian di atas, dapat diketahui bahwa penelusuran banjir yang akan dilakukan meliputi banyak ruas dan untuk berbagai peristiwa debit banjir. Untuk keperluan ini, maka perlu di buat

program untuk penelusuran banjir. Hasil dari penelusuran banjir ini berupa :

- Hidrograf banjir di masing-masing ruas sungai.
- Debit banjir maksimum di masing-masing ruas atau titik/ cross section yang telah ditentukan.
- Travel time ebit banjir yang dihitung dari Bendung Glapan sampai ke suatu titik/cross section.
- Ketinggian muka air banjir di masing-masing cross section (yang diperoleh dengan menggunakan persamaan rating curve di cross section yang bersangkutan)

Nilai Travel time dari hasil pengamatan antara Bendung Glapan dan Buyaran di cantumkan di Tabel 6.

### Persamaan Peramalan Tinggi Puncak Banjir

#### Program Peramalan Banjir

Konsep dasar program peramalan banjir yang akan dikembangkan adalah berdasarkan fungsi regresi dimana data masukannya merupakan data dari titik/lokasi yang berada lebih di hulu.

Sebagai ilustrasi untuk meramal ketinggian muka air dan waktu travel time di jembatan Gubug diperlukan informasi ketinggian muka air dan waktu kejadian yang berada di stasiun Glapan. Proses penelusuran yang diceritakan di muka meruakan bagian awal dari tahapan pencarian hubungan regresi antara dua titik /loksai ruas sungai yang akan diramal.

Dalam analisa penentuan persamaan/ fungsi peramalan ini digunakan paket prograam SPSS yait untuk melakukan analisa multiple regresi dengan prosedur Stepwise. Keuntungan dari prosedur ini adalah diperolehnya variabel-variabel multiple regresi yang benar-benar signifikan dan non-signifikan yang berpengaruh pada persamaan yang dicari. Fungsi peramalan di Gubug dan di Buyaran hasilnya adalah :

$$H_{Gubug\_Rail} = 4,89093 + 0,609577(H_{Glapan})$$

$$H_{Gubug\_Road} = 5,972935 + 0,504178(H_{Glapan})$$

$$H_{Buyaran} = -1,41910 + 0,319306(H_{Glapan})$$

**Tabel 6. Nilai "Travel Time" yang Diperoleh dari Hasil Pengamatan**

No	Kejadian Banjir (Hr/Bln/Thn)	Debit Puncak (m3/detik) di :		Travel Time (jam)
		Glapan	Buyaran	
1.	20/01/1995	374,743	196,377	21:00
2.	09/12/1996	164,541	166,736	28:30
3	14/04/1997	485,658	262,237	21:30
4	15/04/1998	678,736	239,974	18:30
5	26/12/1998	713,841	210,746	21:00
6	18/01/1999	578,436	229,143	22:00
7	24/01/1999	7311,707	226,147	18:00
8	30/01/1999	263,635	188,145	18:00
9	24/03/1999	805,260	253,839	18:00
10	16/03/1999	531,107	209,880	20:30
11	21/01/2000	962,394	277,747	18:00

Sumber : Data Lapangan

Hasil dari analisa keseluruhan dicantumkan pada Tabel 7 berikut.

**Tabel 7. Hasil Analisa Penentuan Fungsi Peramalan Banjir**

No.	Lokasi (Km)	Koefisien Fungsi Peramaln untuk Variabel			Koefisien Korelasi
		Konstanta	$H_{Glapan}$	$H_{Gubug\_Road}$	
1	Glapan	-	-	-	
2	0,50	1,176227	0,920068	0,00	0,97232
3	1,30	4,718956	0,711728	0,00	0,92805
4	1,75	4,266977	0,724927	0,00	0,93039
5	3,90	2,995603	0,758768	0,00	0,94145
6	5,34	4,817578	0,630477	0,00	0,92498
7	6,06	4,361080	0,641403	0,00	0,929
8	6,21	4,159864	0,650292	0,00	0,930
9	Gubug Rail	4,89093	0,609577	0,00	0,92271
10	7,43	4,49318	0,61578	0,00	0,92440
11	9,38	5,555875	0,53210	0,00	0,90754
12	Gubug Road	5,972935	0,609577	0,00	0,89961
13	9,86	2,12777	0,0	0,853961	0,98970
14	10,91	3,827601	0,0	0,719527	0,96955
15	13,08	1,751358	0,0	0,783595	0,98548
16	14,53	-0,209447	0,0	0,870511	0,99727
17	16,32	-1,533379	0,0	0,90611	0,99917
18	17,72	-1,97027	0,0	0,891229	0,99906
19	19,82	-2,035748	0,080039	0,745992	0,99883
20	23,35	-3,482473	0,115582	0,698616	0,99810
21	25,85	-5,97013	0,176059	0,728478	0,99668
22	27,95	-6,674354	0,216213	0,682916	0,99553
23	29,95	-3,457727	0,0	0,693088	0,98176
24	31,82	-5,111066	0,0	0,753669	0,98997
25	33,41	-5,903937	0,0	0,776621	0,99753
26	37,15	-3,806723	0,0	0,604403	0,97149
27	37,36	1,569442	0,0	0,231394	0,89527
28	Buyaran u/s	-1,418910	0,319306	0,0	0,85827

**Penentuan Fungsi Peramalan “Time Travel”**

Data-data yang digunakan untuk menentukan fungsi peramalan “time travel” adalah data “time travel” di setiap lokasi pantauan (stasiun pengamatan + daerah rawan banjir) yang diperoleh dari hasil penelusuran banjir.

Dari analisis dengan menggunakan program paket SPSS, model fungsi peramalan *travel time* adalah eksponensial yaitu dalam bentuk persamaan umumnya ;

$$TT_i = b_0 \cdot e^{b_1 \cdot H_{Glapan}}$$

- dimana :
- $TT_i$  : *time travel* puncak banjir dari stasiun Glapan ke lokasi i
- $b_0$  : konstanta
- $b_1$  : parameter untuk *independent variable*
- $H_{glapan}$  : Tinggi muka air banjir di stasiun Glapan

Dalam analisa data yang dilakukan penggunaan parameter  $b_0$  justru meng-

hasilkan persamaan yang kurang me-  
wakili. Oleh karenanya, dalam analisa ini  
hanya digunakan parameter  $b_1$ .  
Sehingga, fungsi peramalan *time travel*  
dalam kasus ini adalah dengan model

exponential tanpa memasukkan para-  
meter  $b_0$ . Hasil keseluruhan persa-  
maan peramalan "time trevel" disajikan  
pada Tabel 8.

**Tabel 8. Hasil Analisa Penentuan Fungsi Peramalan "Travel Time"**

No.	Ruasi No.	Km	$b_1$ dalam persamaan peramalan	Koefisien Korelasi, $R^2$	Keterangan
1	27	0,00	-	-	Bentuk Persamaan : $TT_i = b_0 \cdot e^{\wedge b_1 \cdot H_{Glapan}}$
2	26	0,50	-	-	
3	25	1,30	0,01917	0,7190	Nilai Parameter $b_0 = 1,0$
4	24	1,75	0,04199	0,9423	
5	23	3,90	0,05955	0,9911	
6	22	5,34	0,07096	0,9939	
7	21	6,06	0,07910	0,9961	
8	20.6	6,21	0,08235	0,9965	
9	20.5	6,31	0,08813	0,9960	
10	20.4	7,43	0,09254	0,9970	
11	20	9,38	0,09784	0,9973	
12	19	9,63	0,09783	0,9981	
13	18.6	9,86	0,10951	0,9981	
14	18.4	10,91	0,11312	0,9984	
15	18.3	13,08	0,11662	0,9991	
16	18	14,53	0,12141	0,9994	
17	17	16,32	0,12517	0,9996	
18	16	17,72	0,12759	0,9996	
19	15	19,82	0,13209	0,9995	
20	14	23,35	0,13608	0,9998	
21	13	25,85	0,13930	0,9998	
22	12	27,95	0,14274	0,9997	
23	11	29,95	0,14594	0,9997	
24	10	31,82	0,14914	0,9997	
25	9	33,41	0,15164	0,9996	
26	8	37,15	0,15371	0,9995	
27	7	37,36	0,15485	0,9996	
28	6	37,43	0,15554	0,9994	

**Kalibrasi Peramalan**

Kegiatan kalibrasi untuk fungsi peramalan dilakukan dengan menggunakan data-data pengamatan tinggi muka air dan waktu kejadian di lapangan. Dalam periode sampai Maret 2001, tercatat kejadian banjir yang cukup besar yaitu banjir pada 4 Maret 2001, 23 Maret 2001, dan 24 Maret 2001. Kalibrasi dari banjir-banjir ini disajikan pada Tabel 9 sampai Tabel 14.

Banjir pada tanggal 4 Maret 2001 yang tercatat di Stasiun Glapan ini mencapai ketinggian 18,9 m SPB (siaga II). Pada hari berikutnya, di stasiun Buyaran tercatat ketinggian muka air mencapai 5,01 m SPB. Hasil dari kalibrasi terhadap kinerja fungsi peramalan tinggi

muka air banjir dan travel time disajikan pada Tabel 10 dan 11 berikut. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa rasio perbedaan yang dihasilkan dari peramalan terhadap pengamatan cukup kecil (=3,932%), yaitu < 10%. Hal demikian mengindikasikan bahwa fungsi peramalan yang dihasilkan dapat berfungsi dengan baik. Namun demikian, perlu disadari bahwa data yang digunakan untuk pengkalibrasian masih sangat minim, dan belum sepenuhnya mewakili *regime* debit banjir yang mungkin terjadi. Oleh karenanya, dalam hal nanti tersedia data-data yang lebih banyak, maka langkah kalibrasi ini perlu dilakukan lagi guna mengakomodasikan setiap perubahan yang terjadi di lapangan.

**Tabel 9. Hasil Kalibrasi Peramalan Tinggi Muka Air Banjir (Kejadian 4 Maret 2001)**

No.	Ruas No.	Km	Koefisien Fungsi Peramalan unuk Variabel				Pengamatan Tma (m SPB)	Peramalan Tma (m SPB)	Rasio Perbedaan (%)
			Konstanta	H_Glapan	H_Gubug	R^2			
1	27	0,00	-	-	-	18.900			
2	6	37,43	-1.418910	0.319306	0.000000	0.858	5.010	4.616	7.865

**Tabel 10. Hasil Kalibrasi Peramalan “Time Travel” Puncak Banjir 4 Maret 2001**  
(Persamaan Umum  $TT_i = b_0 \cdot e^{b_1 \cdot H_{Glapan}}$ , dalam jam)

No.	Ruas No.	Km	Pengamatan Tma	Ramalan “Time Travel” (jam)	“Time Travel” Rerata (jam)	Rasio Perbedaan (%)	b1 dalam persamaan peramalan	Koefisien Korelasi, R^2
1	27	0,00	18.900	-	-	-		
2	6	37,43	5.010	18.910	21.063	10.218	0.15554	7.865

**Tabel 11. Hasil Kalibrasi Peramalan Tinggi Muka Air Banjir (Kejadian 23 Maret 2001)**

No.	Ruas No.	Km	Koefisien Fungsi Peramalan unuk Variabel				Pengamatan Tma (m SPB)	Peramalan Tma (m SPB)	Rasio Perbedaan (%)
			Konstanta	H_Glapan	H_Gubug	R^2			
1	27	0,00	-	-	-	18.900			
2	6	37,43	-1.418910	0.319306	0.000000	0.858	4.100	4.616	12.585

**Tabel 12. Hasil Kalibrasi Peramalan “Time Travel” Puncak Banjir 23 Maret 2001**

(Persamaan Umum :  $TT_i = b_0 \cdot e^{b_1 \cdot H_{Glapan}}$ , dalam jam)

No.	Ruas No.	Km	Pengamatan Tma	Ramalan “Time Travel” (jam)	“Time Travel” Rerata (jam)	Rasio Perbedaan (%)	b1 dalam persamaan peramalan	Koefisien Korelasi, R <sup>2</sup>
1	27	0,00	18.900	-	-	-		
2	26	0,50			0.813			
3	25	1,30		1.437	1.563	8.049	0.01917	
4	24	1,75		2.211	2.375	6.885	0.04199	0.7190
5	23	3,90		3.082	3.250	5.184	0.05955	0.9423
6	22	5,34		3.823	4.063	5.885	0.07096	0.9911
7	21	6,06		4.459	4.750	6.120	0.07910	0.9939
8	20.6	6,21		4.742	5.063	6.330	0.08235	0.9961
9	20.5	6,31		5.289	5.688	7.006	0.08813	0.9965
10	20.4	7,43		5.749	6.188	7.094	0.09254	0.9960
11	20	9,38		6.354	6.875	7.575	0.09784	0.9970
12	19	9,63		7.265	7.875	7.745	0.09783	0.9973
13	18.5	9,86		7.923	8.625	8.140	0.10951	0.9981
14	18.4	10,91		8.482	9.250	8.306	0.11312	0.9981
15	18.3	13,08		9.063	9.875	8.223	0.11662	0.9984
16	18	14,53		9.920	10.813	8.251	0.12141	0.9991
17	17	16,32		10.651	11.625	8.377	0.12517	0.9994
18	16	17,72		11.150	12.188	8.510	0.12759	0.9996
19	15	19,82		12.139	13.313	8.813	0.13209	0.9996
20	14	23,35		13.092	14.375	8.926	0.13608	0.9995
21	13	25,85		13.913	15.313	9.139	0.13930	0.9998
22	12	27,95		14.847	16.375	9.329	0.14274	0.9998
23	11	29,95		15.774	17.438	9.542	0.14594	0.9997
24	10	31,82		16.756	18.563	9.730	0.14914	0.9997
25	9	33,41		17.567	19.500	9.912	0.15164	0.9997
26	8	37,15		18.267	20.313	10.068	0.15371	0.9996
27	7	37,36		18.666	20.783	10.184	0.15485	0.9995
28	6	37,43	4.100	18.910	21.063	10.218	0.15554	0.9996

Perbedaan Rerata = 8.213%

**Tabel 13. Hasil Kalibrasi Peramalan Tinggi Muka Air Banjir 24 Maret 2001**

No.	Ruas No.	Km	Koefisien Fungsi Peramalan unuk Variabel				Pengamatan Tma (m SPB)	Peramalan Tma (m SPB)	Rasio Perbedaan (%)
			Konstanta	H_Glapan	H_Gubug	R <sup>2</sup>			
1	27	0,00	-	-	-		19.150		
2	6	37,43	-1.418910	0.319306	0.000000	0.858	5.100	4.696	7.925

**Tabel 14. Hasil Kalibrasi Peramalan “Time Travel” Puncak Banjir 24 Maret 2001**  
 (Persamaan Umum :  $TT_i = b_0 \cdot e^{b_1 \cdot H_{Gkapran}}$  , dalam jam)

No.	Ruas No.	Km	Pengamatan Tma	Ramalan “Time Travel” (jam)	“Time Travel” Rerata (jam)	Rasio Perbedaan (%)	b1 dalam persamaan peramalan	Koefisien Korelasi, R^2
1	27	0,00	19,150	-	-	-		
2	26	0,50			0.813			
3	25	1,30		1.437	1.563	7.607	0,01917	0,7190
4	24	1,75		2.211	2.375	5.902	0,04199	0,9423
5	23	3,90		3.082	3.250	3.762	0,05955	0,9911
6	22	5,34		3.823	4.063	4.201	0,07096	0,9939
7	21	6,06		4.459	4.750	4.245	0,07910	0,9961
8	20.6	6,21		4.742	5.063	4.381	0,08235	0,9965
9	20.5	6,31		5.289	5.688	4.934	0,08813	0,9960
10	20.4	7,43		5.749	6.188	4.920	0,09254	0,9970
11	20	9,38		6.354	6.875	5.286	0,09784	0,9973
12	19	9,63		7.265	7.875	5.293	0,09783	0,9981
13	18.5	9,86		7.923	8.625	5.591	0,10951	0,9981
14	18.4	10,91		8.482	9.250	5.676	0,11312	0,9984
15	18.3	13,08		9.063	9.875	5.508	0,11662	0,9991
16	18	14,53		9.920	10.813	5.423	0,12141	0,9994
17	17	16,32		10.651	11.625	5.464	0,12517	0,9996
18	16	17,72		11.150	12.188	5.545	0,12759	0,9996
19	15	19,82		12.139	13.313	5.752	0,13209	0,9995
20	14	23,35		13.092	14.375	5.775	0,13608	0,9998
21	13	25,85		13.913	15.313	5.919	0,13930	0,9998
22	12	27,95		14.847	16.375	6.035	0,14274	0,9997
23	11	29,95		15.774	17.438	6.180	0,14594	0,9997
24	10	31,82		16.756	18.563	6.300	0,14914	0,9997
25	9	33,41		17.567	19.500	6.431	0,15164	0,9996
26	8	37,15		18.267	20.313	6.545	0,15371	0,9995
27	7	37,36		18.666	20.783	6.639	0,15485	0,9996
28	6	37,43		18.910	21.063	6.658	0,15554	0,9994

Perbedaan Rerata = 5.614%

## Kesimpulan

1. Untuk dapat melakukan peramalan banjir pada setiap lokasi rawan banjir diperlukan ketersediaan data (kuantitas dan kualitas) yang memadai. Kuantitas dan kualitas data yang kurang memadai dapat mempengaruhi hasil peramalan.
2. Mengingat keterbatasan data yang sudah diperoleh, maka langkah-langkah kalibrasi pada beberapa kondisi banjir di lapangan masih sangat diperlukan.

## Daftar Pustaka

- Grigg, Neil, S., 1996. *Water Resources Management : Principles, Regulations, and Cases*. McGraw-Hill.
- Haryanto, 1981. *Flood Migration Methods*. Presented in "In Country Training on River Engineering".
- Haskoning and Associates, 1991. *Jratunseluna River Basin Development Project : Tuntang-Jragung Area Studies and Design*.
- Mestika, 1981. *Hidrologi dan Hidrometri*. Presented "In Country Training on River Engineering".
- Ministry of Construction, 1990. *Lecture Note on Flood Forecasting*. Presented at "River Engineering Course VI".
- Smec and Associates, 1999. *Final Report (Volume 4) : Flood Control for Tuntang-Jragung River System*.
- Soewarno, 1994. *Hidrologi : Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai*. Nova, Bandung.
- Sugiyanto. 1994 *Pengendalian Banjir (Bahan Kuliah)*, Jurusan Teknik Sipil, FT-UNDIP.
- Toshikatsu Imai, 1988. *Textbook of Flood Forecasting and Warning*. Presented at "River Engineering Course VI".