

## ANALISIS KAPASITAS SUNGAI MAKALU KABUPATEN MINAHASA TENGGARA TERHADAP DEBIT BANJIR KALA ULANG TERTENTU

Atika Chatrina Siwi

Fuad Halim, Alex Binilang

Universitas Sam Ratulangi Fakultas Teknik Jurusan Sipil Manado

Email: [siwic8@gmail.com](mailto:siwic8@gmail.com)

### ABSTRAK

Permasalahan banjir yang terjadi pada suatu daerah aliran sungai pada umumnya menyebabkan kerusakan ekosistem dan bisa merugikan penduduk yang tinggal didekat sungai. Di desa Makalu pernah terjadi banjir pada tahun 2011 karena meluapnya air di sungai Makalu. Dengan terjadinya peristiwa tersebut, dirasakan perlu adanya analisa debit banjir dan tinggi muka air yang merupakan informasi penting, yang bisa dijadikan bahan pertimbangan untuk pencegahan atau penanggulangan banjir di daerah aliran sungai Makalu.

Dalam menganalisis debit banjir dan tinggi muka air digunakan Metode Hidrograf Satuan Sintetik : Snyder dan Gamma I, dengan kala ulang 5 tahun, 10 tahun, 20 tahun, 50 tahun, 75 tahun dan 100 tahun. Untuk pengambilan data fisik dilakukan pengukuran di 10 titik tinjauan sepanjang 200 m dengan jarak tiap titik 20 m. Untuk data curah hujan harian maksimum diperoleh dari 2 stasiun, yaitu stasiun Noongan dan stasiun Ratahan dengan durasi pengamatan 10 tahun dan menggunakan peta 1:50.000.

Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan metode HSS Snyder dan Gamma I, diperoleh debit dan tinggi muka air terbesar pada HSS Gamma I yaitu dengan  $Q_{100} = 204,131 \text{ m}^3/\text{det}$ , dan  $y_{100} = 1,853 \text{ m}$ , yang apabila dibandingkan dengan kapasitas daya tampung sungai Makalu  $Y = 2,75 \text{ m}$ , dapat disimpulkan bahwa hingga kala ulang 100 tahun, sungai tersebut belum terjadi banjir atau luapan air. Penampang sungai disepanjang titik tinjauan dengan tinggi rata-rata 2,75 mampu menampung debit maksimum  $Q = 529,263 \text{ m}^3/\text{det}$ .

**Kata kunci :** Debit banjir, tinggi muka air, Hidrograf Satuan Sintetik, kapasitas sungai

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Sungai merupakan suatu aliran yang terbentuk secara alami dipermukaan bumi yang mengalir dari tempat yang lebih tinggi (hulu) ke tempat yang lebih rendah (hilir). Karena sungai terbentuk secara alami dan memiliki fungsi untuk mengalirkan air, maka sungai sering di sebut drainase alam.

Sungai memiliki peran penting bagi kehidupan manusia untuk dimanfaatkan dalam berbagai kebutuhan seperti MCK, penyediaan air bersih, pertanian, industri, peternakan, sumber energi dan berbagai kebutuhan lainnya. Khususnya di bidang pertanian, sungai sangat bermanfaat sebagai sumber air untuk irigasi. Namun disisi lain, sungai juga bisa memberikan dampak yang negatif bagi manusia yaitu ketika curah hujan tinggi dan hujan berlangsung dalam waktu yang cukup lama maka debit air di sungai

akan naik hingga menyebabkan banjir. Bencana banjir yang terjadi selain mengakibatkan kerusakan ekosistem pada daerah aliran sungai juga dapat merugikan masyarakat yang berada di sekitar sungai, sehingga perlu adanya penanggulangan dengan cara menganalisa kondisi sungai dengan periode tertentu. Banyak cara yang biasanya digunakan, salah satunya dengan menggunakan metode rasional.

Sungai Makalu yang berada di kecamatan Pusomaen kabupaten Minahasa Tenggara provinsi Sulawesi Utara, pernah mengalami banjir terakhir sekitar pada tahun 2011 yang menyebabkan tempat tinggal penduduk yang ada disekitar sungai terendam air yang membuat penduduk terpaksa mengungsi ke daerah yang lebih tinggi. Hal ini mengakibatkan kerusakan ekosistem serta sangat merugikan penduduk, khususnya yang tinggal di pinggiran sungai. Banjir tersebut pernah terjadi sebelum adanya pembangunan tanggul di sungai, namun saat ini

bagian sungai di sekitar desa Makalu sudah ditanggul. Untuk mengetahui kondisi sungai setelah ditanggul, dilakukan analisa debit banjir dan tinggi muka air dengan kala ulang tertentu, yang bisa menjadi pertimbangan untuk melakukan pecegahan atau penanggulangan terjadinya banjir dengan kondisi sungai seperti saat ini.

### **Rumusan Masalah**

Permasalahan yang dihadapi adalah belum adanya informasi mengenai debit banjir serta database dari sungai Makalu yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan, pencegahan dan penanggulangan banjir, sehingga perlu dilakukan analisa debit banjir dengan menggunakan metode – metode yang sesuai agar dapat diketahui kapasitas sungai tersebut.

### **Batasan Masalah**

Mengingat luasnya berbagai masalah yang di tinjau dalam penelitian ini, maka dilakukan pembatasan masalah, yaitu sebagai berikut :

1. Kala ulang rencana di batasi 5, 10, 20, 50, 75 dan 100 tahun.
2. Penelitian ini dibatasi hanya untuk menghitung debit banjir maksimum yang di akibatkan oleh curah hujan di daerah aliran sungai Makalu.
3. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetik Snyder dan Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I.

### **Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui kapasitas/daya tampung dari sungai Makalu dengan kondisi sungai yang sudah ditanggul, dengan menggunakan metode–metode tertentu.

### **Manfaat Penelitian**

Dengan adanya penelitian ini sangat diharapkan bisa memberikan manfaat antara lain:

- a. Memberikan informasi atau sebagai dasar pemikiran/pertimbangan bagi instansi/pihak yang berwenang untuk merencanakan atau melakukan penanggulangan atau pencegahan masalah banjir setelah diketahui debit banjir maksimum berdasarkan kala ulang tertentu.
- b. Sebagai informasi kepada penduduk yang ada di sekitar sungai Makalu yang rawan banjir mengenai kondisi sungai.

## **LANDASAN TEORI**

### **Siklus Hidrologi**

Siklus hidrologi merupakan proses kontinyu dimana air bergerak dari bumi ke atmosfer dan kemudian kembali ke bumi lagi. Air di permukaan tanah, sungai, danau dan laut menguap ke udara. Uap air tersebut bergerak dan naik ke atmosfer, dan kemudian mengalami kondensasi dan berubah menjadi titik-titik air yang berbentuk awan. Selanjutnya titik-titik air tersebut jatuh sebagai hujan ke permukaan laut dan daratan. Hujan yang jatuh sebagian tertahan oleh tumbuh-tumbuhan (intersepsi) dan selebihnya sampai ke permukaan tanah. Sebagian air hujan yang sampai ke permukaan tanah akan meresap ke dalam tanah (infiltrasi) dan sebagian lainnya mengalir di atas permukaan tanah (aliran permukaan atau surface runoff) mengisi cekungan tanah, danau, dan masuk ke sungai dan akhirnya mengalir ke laut. Air yang meresap ke dalam tanah sebagian mengalir di dalam tanah (perkolasi) mengisi air tanah yang kemudian keluar sebagai mata air atau mengalir ke sungai. Akhirnya aliran air di sungai akan sampai ke laut. Proses tersebut berlangsung terus menerus yang di sebut dengan siklus hidrologi. (Triatmodjo, 2008)

### **Karakteristik sungai dan Daerah Aliran Sungai**

Aliran permukaan pada daerah tangkapan air (daerah aliran sungai, DAS) terjadi dalam beberapa bentuk yaitu aliran lintasan pada permukaan tanah, aliran melalui parit/selokan, aliran melalui sungai-sungai kecil, dan aliran melalui sungai utama. Aliran limpasan pada permukaan tanah terjadi selama atau setelah hujan dalam bentuk lapisan air yang mengalir pada permukaan tanah. Aliran tersebut masuk ke parit/selokan yang kemudian mengalir ke sungai-sungai kecil dan selanjutnya menjadi aliran di sungai utama. Karakteristik hidrologis dari daerah tangkapan air di pengaruhi oleh luas, bentuk, relief, panjang sungai, dan pola drainasi daerah tangkapan.

### **Analisis curah hujan**

Hujan merupakan sumber dari semua air yang mengalir di sungai dan di dalam tampungan baik diatas, maupun di bawah permukaan tanah. Jumlah dan variasi debit sungai tergantung pada jumlah, intensitas dan distribusi hujan. Terdapat hubungan antara debit sungai dan curah hujan yang jatuh di DAS yang bersangkutan. Apabila

data pencatatan debit tidak ada, data pencatatan hujan dapat digunakan untuk memperkirakan debit aliran. (Triatmodjo, 2016).

Dalam analisis hidrologi sering diperlukan untuk menentukan hujan rerata pada daerah tersebut, yang dapat dilakukan dengan beberapa metode, yaitu metode rerata aritmatik, metode polygon Thiessen dan metode Isohiet. Namun pada skripsi ini akan digunakan Metode Poligon Thiessen. Curah hujan rata-rata dengan menggunakan polygon Thiessen dihitung dengan persamaan:

$$\bar{R} = \frac{A1.R1+A2.R2+A3.R3+...+An.Rn}{A1+A2+...+An} \quad (1)$$

### Analisis data outlier

Data outlier adalah data yang menyimpang terlalu tinggi maupun terlalu rendah dari sekumpulan data yang ada untuk dianalisis, sehingga baik digunakan.

Uji outlier mempunyai 3 syarat, yaitu :

1. Jika  $Cs_{log} > 0,4$  maka : uji outlier tinggi, koreksi data, uji outlier rendah, koreksi data.
2. Jika  $Cs_{log} < 0,4$  maka: uji outlier rendah, koreksi data, uji outlier tinggi koreksi data.
3. Jika  $-0,4 \leq Cs_{log} \leq 0,4$  maka : uji outlier tinggi atau rendah, koreksi data.

Uji data outlier tinggi dan uji data outlier rendah menggunakan persamaan:

$$\text{Outlier tinggi : } \log X_h = \log \bar{X} + Kn * S_{log} \quad (2)$$

$$\text{Outlier rendah : } \log X_l = \log \bar{X} - Kn * S_{log} \quad (3)$$

### Parameter statistik

Parameter statistik yang digunakan dalam analisis data hidrologi yaitu rata-rata hitung, simpangan baku (standard deviasi), koefisien variasi, koefisien kemencengan (*Skewness*), koefisien *kurtosis*.

### Distribusi peluang

Salah satu tujuan dari analisis distribusi peluang adalah menentukan periode ulang. Fungsi distribusi peluang yang digunakan dalam penulisan ini adalah:

- a. Distribusi Log Normal, dengan mempunyai dua parameter yaitu koefisien kurtosis ( $Ck \approx 3$  koefisien *Skewness* ( $Cs \approx 0$  Persamaan distribusi normal yaitu :

$$X = \bar{X} + k.S \quad (4)$$

- b. Distribusi Gumbel, mempunyai parameter yaitu koefisien kemencengan ( $Cs \approx 1,139$  koefisien *Kurtosis* ( $Ck \approx 5,4$

Persamaan Distribusi Gumbel adalah :

$$X = \bar{X} + \frac{S}{Sn}(Y - Y_n) \quad (5)$$

- c. Distribusi Person III, dengan persamaan :

$$X = \bar{X} + k.S \quad (6)$$

- d. Distribusi Log Pearson III yang merupakan hasil transformasi dari distribusi Pearson Tipe III, yaitu yang mengubah nilai varian menjadi nilai logaritmatik, dengan persamaan:

$$\log X = \overline{\log X} + k.S_{log}X \quad (7)$$

### HSS Snyder

Unsur-unsur yang ada dalam HSS Snyder adalah :

- a. Debit puncak ( $qp, m^3/det$ )
- b. Waktu capai puncak ( $Tp, jam$ )
- c. Waktu dasar ( $Tb, jam$ )

Parameter DAS yang digunakan antara lain :

- Luas DAS ( $A, km^2$ )
- Panjang aliran utama ( $L, km$ )
- Jarak antara titik berat DAS dengan outlet ( $Lc, km$ )

Dalam HSS Snyder digunakan persamaan :

- Debit puncak hidrograf satuan ( $qp$ )
- $$qp = 0,278 \frac{Cp}{Tp} \quad (8)$$

dengan :

$qp$  = Debit puncak hidrograf satuan

$Cp$  = Koefisien kapasitas tampungan Snyder : 0,15 – 0,19

$Tp$  =  $Ct (Lc.L)^n$

$Lc$  = Panjang sungai ke titik berat DAS(km)

$L$  = Panjang sungai (km)

$n$  = Koefisien yang bersifat proposional terhadap  $Ct$

$Ct$  = Koefisien kelandaian DAS dari Snyder : 1,4 – 1,7

- Waktu capai puncak ( $Tp$  – Time Rise to Peak) Lama Hujan efektif ( $tr'$ )

$$Tr' = \frac{tp}{5,5} \quad (9)$$

Jika  $tr' \geq tr$  (asumsi) maka dilakukan koreksi terhadap  $tp$ .

$$tp' = tp + 0,25 (tr - tr') \quad (10)$$

maka :

$$Tp = tp' + 0,5.tr \quad (11)$$

Jika  $tr' \leq tr$  (asumsi), maka :

$$Tp = tp + tr/2 \quad (12)$$

- Debit puncak (Qp)  

$$Q_p = q_p \cdot A \quad (13)$$

dengan:

$Q_p = \text{Debit Puncak (m}^3\text{)}$

$Q_p = \text{Debit puncak hidrograf satuan (m}^3\text{/det/km}^2\text{)}$

$A = \text{Luas DAS (km}^2\text{)}$

- Menentukan grafik hubungan antara Qp dan t berdasarkan persamaan Alexeyev :

$$Y = 10^{-a} \left[ \frac{(1-x)^2}{x} \right] \quad (14)$$

$$X = \frac{t}{T_p} \quad (15)$$

$$a = 1,32 \times \lambda^2 + 0,15 \times \lambda + 0,045 \quad (16)$$

$$\lambda = \frac{(Q_p \cdot T_p)}{(h \cdot A)} \quad (17)$$

dengan:

$Q = \text{Debit hidrograf satuan (m}^3\text{/det)}$

$Q_p = \text{Debit Puncak (m}^3\text{/det)}$

$X = \text{Fungsi waktu}$

$Y = \text{Fungsi debit}$

**HSS Gamma I**

Beberapa parameter DAS yang digunakan dalam Hidrograf Satuan Sintetik Gamma 1 adalah Faktor sumber (SF), Frekuensi sumber (SN), Luas DAS sebelah hulu (RUA), Faktor simetri (SIM), Jumlah pertemuan sungai (JN), dan kerapatan jaringan kuras (D) .

HSS Gamma 1 terdiri dari empat variable pokok yaitu :

1. Waktu naik (TR):  

$$T_R = 0,43 \left[ \frac{L}{100 \cdot SF} \right]^3 + 1,0665 \cdot SIM + 1,2775 \quad (18)$$

2. Debit puncak banjir (QP)  

$$Q_P = 0,1836 \cdot A^{0,5886} \cdot T_R^{-0,4008} \cdot JN^{0,2381} \quad (19)$$

3. Waktu dasar (TB)  

$$T_B = 27,432 \cdot T_R^{0,1457} \cdot S^{-0,0986} \cdot SN^{0,7344} \cdot RUA^{0,2574} \quad (20)$$

4. Koefisien resesi (K)  

$$K = 0,5617 \cdot A^{0,1798} \cdot S^{-0,1446} \cdot SF^{-1,0897} \cdot D^{0,0452} \quad (21)$$

5. Aliran dasar (QB)  

$$Q_B = 0,4715 \cdot A^{0,6444} \cdot D^{0,943} \quad (22)$$

**Hubungan tinggi muka air dan debit**

Untuk menentukan debit sungai secara tidak langsung dapat dilakukan dengan cara mengukur luas penampang palung sungai sedangkan kecepatan air dihitung secara analitis. Rumus yang sering digunakan untuk menghitung kecepatan air digunakan koefisien manning dengan persamaan :

$$A = (B + 0,5 \cdot m_1 \cdot y + 0,5 \cdot m_2 \cdot y) \cdot y \quad (23)$$

$$P = B + h \sqrt{1+m_1^2} + h \sqrt{1+m_2^2} \quad (24)$$

$$R = \frac{A}{P} \quad (25)$$

$$V = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \quad (26)$$

$$AR^{2/3} = \frac{n \cdot Q_r}{\sqrt{S}} \quad (27)$$

$$Q = V \cdot A \quad (28)$$

dengan :

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

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

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

$AR^{2/3} = \text{Faktor penampang}$

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

$m = \text{Kemiringan dasar saluran}$

$y = \text{Kedalaman normal (m)}$

$n = \text{Koef. manning}$

$S = \text{Kemiringan sungai}$

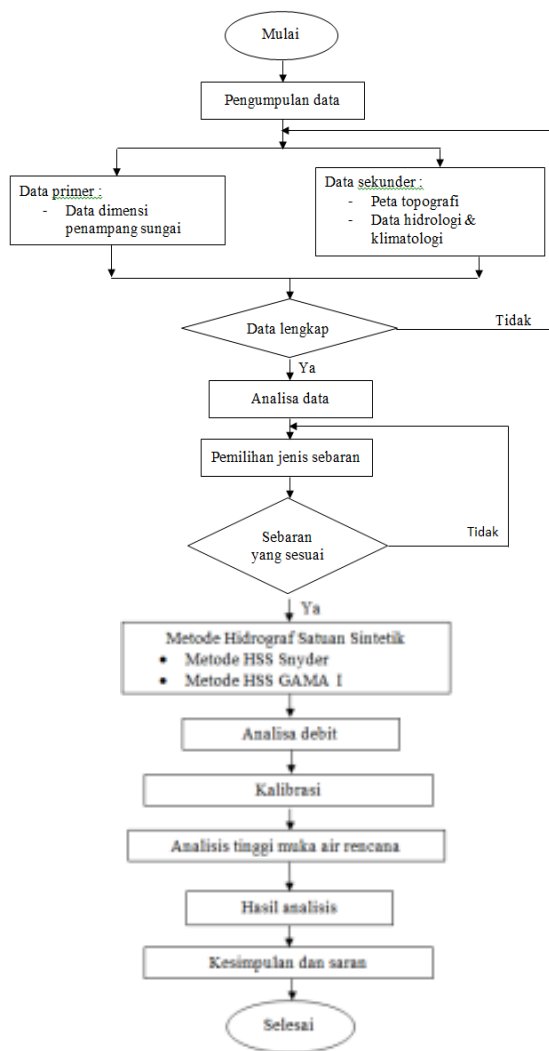
**METODOLOGI PENELITIAN**

Sungai Makalu terletak di Desa Makalu kecamatan Pusomaen di kabupaten Minahasa Tenggara, yang penghasilan utama penduduknya yaitu di sektor pertanian. Desa Makalu terletak pada 1° 0' 44" Lintang Utara dan 124° 51' 34" Bujur Timur dan berbatasan dengan :

- Desa Wiau, di sebelah Utara
- Desa Makalu Selatan, di sebelah Selatan
- Desa Minanga Satu di sebelah Barat
- Desa Tatengesan Satu di sebelah Timur

**Prosedur penelitian**

Prosedur dalam penelitian ini dimulai dengan persiapan penelitian yaitu dengan menentukan judul proposal, melakukan studi literatur yang bisa memberikan gambaran awal yang kuat untuk penyusunan proposal, serta studi lapangan agar bisa mengetahui kondisi lokasi penelitian secara langsung, akan dilakukan pengumpulan data-data sekunder seperti peta topografi dan data curah hujan yang akan menjadi acuan dalam pengolahan data. Ketika data-data berhasil dikumpulkan, data-data tersebut akan digunakan pada metode-metode yang akan dipakai dalam penelitian ini.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Analisis curah hujan rencana

Dalam analisa ini, digunakan data curah hujan harian maksimum yang bersumber dari dua stasiun pencatat yang dekat dengan daerah sungai yang ditinjau yaitu, stasiun Noongan dan Stasiun Ratahan dengan periode pencatatan dari tahun 2007 s/d 2016.

#### Curah hujan rata-rata

Cara menghitung curah hujan rata-rata dengan metode Polygon Thiessen, sebagai berikut :

$$\bar{R} = \frac{A_1R_1 + A_2R_2 + \dots + A_nR_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Diperoleh dari hasil analisis pada peta topografi dengan skala 1 : 50.000, yaitu :

$$A_1 = 20,687 \text{ km}^2$$

$$A_2 = 17,875 \text{ km}^2$$

Untuk tahun 2007, data curah hujan harian maksimumnya, adalah :

$$R_1 = 191$$

$$R_2 = 273$$

Maka :

$$\bar{R} = \frac{(20,687*191)+(17,875*273)}{(20,687+17,875)} = 228,778\text{mm}$$

Untuk hasil perhitungan curah hujan harian rata-rata dari tahun 2008 s/d 2016 dengan menggunakan metode Polygon Thiessen, dapat dilihat dalam Tabel 2.

Tabel 1. Data curah hujan

TAHUN	CURAH HUJAN HARIAN MAKSIMUM (mm)	
	STASIUN NOONGAN	STASIUN UPP RATAHAN
2007	191	273
2008	182	262
2009	136	192
2010	243	256
2011	210	226
2012	174	209
2013	195	198
2014	166	148
2015	135	187
2016	177	168

Sumber : Balai Wilayah Sungai Sulawesi I Provinsi Sulut, BMKG Kayuwatu

Tabel 2 Hasil perhitungan curah hujan rata-rata dengan menggunakan metode Poligon Thiessen

TAHUN	CURAH HUJAN HARIAN MAKSIMUM (mm)		CURAH HUJAN RATA - RATA (mm)
	STASIUN NOONGAN	STASIUN UPP RATAHAN	
2007	191	273	228.778
2008	181	262	218.547
2009	136	192	162.030
2010	243	256	248.840
2011	210	226	217.381
2012	174	209	190.136
2013	195	198	196.282
2014	166	148	157.510
2015	135	187	159.225
2016	177	168	173.202

**Analisis Kualitas data**

Untuk menganalisa kualitas data dilakukan uji outlier data. Perhitungan uji data outlier pada data curah hujan harian maksimum di stasiun Noongan adalah :

Tabel 3. Perhitungan uji outlier curah hujan harian maksimum stasiun Noongan

NO	TAHUN	X	log X	(log X - log X̄)	(log X - log X̄) <sup>2</sup>	(log X - log X̄) <sup>3</sup>
1	2007	191	2.281242	0.029981	0.000899	0.000027
2	2008	182	2.259594	0.008333	0.000069	0.000001
3	2009	136	2.134655	-0.116606	0.013597	-0.001585
4	2010	243	2.385115	0.133853	0.017917	0.002398
5	2011	210	2.322529	0.071268	0.005079	0.000362
6	2012	174	2.240320	-0.010941	0.000120	-0.000001
7	2013	195	2.289422	0.038161	0.001456	0.000056
8	2014	166	2.219017	-0.032245	0.001040	-0.000034
9	2015	135	2.131565	-0.119696	0.014327	-0.001715
10	2016	177	2.249153	-0.002108	0.000004	0.000000
Jumlah		1809	22.512612	0.000000	0.054508	-0.000492

- Nilai rata-rata

$$\overline{\log X} = \frac{\sum \log X}{n} = \frac{22,512612}{10} = 2,2512$$

- Standard deviasi

$$S_{\log} = \sqrt{\frac{(\log x - \log x)^2}{n-1}} = 0,07782$$

- Koefisien kemencengan

$$C_{slog} = \frac{n}{(n-1)(n-2) * S_{log}^3} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3$$

$$= \frac{10 * (-0,000492)}{(10-1) * (10-2) * 0,07782339^3}$$

$$= -0,1449780$$

Karena Cslog mempunyai nilai -0.144978023 < 0.4 maka di gunakan uji outlier dengan harga Kn 2.306 (n=10). (Harga Kn diambil dari tabel nilai Kn Value Test untuk uji data outlier)

- Menghitung Uji Outlier rendah

$$\log X_l = \overline{\log X} - Kn * S_{\log}$$

$$= 2,2512 - 2,036 * 0,07782339$$

$$= 2,09281$$

$$X_l = 123,825 \text{ mm} < 135 \text{ m} \dots \dots \dots \text{ok}$$

- Menghitung Uji Outlier tinggi

$$\log X_h = \overline{\log X} + Kn * S_{\log}$$

$$= 2,2512 + 2,036 * 0,07782339$$

$$= 2,40971$$

$$X_h = 256,868 \text{ mm} > 243 \text{ mm} \dots \dots \dots \text{ok}$$

Untuk perhitungan uji data outlier pada data curah hujan harian maksimum di stasiun Ratahan adalah :

Tabel 4. Perhitungan uji outlier curah hujan harian maksimum stasiun Ratahan

NO	TAHUN	X	Log X	(log X - log X̄)	(log x - log X̄) <sup>2</sup>	(log x - log X̄) <sup>3</sup>
1	2007	273	2.435367	0.117114	0.013716	0.001606
2	2008	262	2.417748	0.099496	0.009899	0.000985
3	2009	192	2.282735	-0.035517	0.001261	-0.000045
4	2010	256	2.408099	0.089846	0.008072	0.000725
5	2011	226	2.353628	0.035376	0.001251	0.000044
6	2012	209	2.319973	0.001721	0.000003	0.000000
7	2013	198	2.296848	-0.021404	0.000458	-0.000010
8	2014	148	2.170751	-0.147502	0.021757	-0.003209
9	2015	187	2.271419	-0.046833	0.002193	-0.000103
10	2016	168	2.225955	-0.092297	0.008519	-0.000786
Jumlah		2118	23.182522	0.000000	0.067130	-0.000792

- Nilai rata-rata

$$\overline{\log X} = \frac{\sum \log X}{n} = \frac{23,182522}{10} = 2,318252$$

- Standard deviasi

$$S_{\log} = \sqrt{\frac{(\log x - \log x)^2}{n-1}} = 0,09298$$

- Koefisien kemencengan

$$C_{slog} = \frac{n}{(n-1)(n-2) * S_{log}^3} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3$$

$$= \frac{10 * (-0,000792)}{(10-1) * (10-2) * 0,08636515^3}$$

$$= -0,17075644$$

Karena Cs mempunyai nilai -0.17075644 < 0.4 maka dilakukan koreksi uji outlier rendah dan tinggi dengan harga Kn 2.306 (n=10). (Harga Kn diambil dari tabel nilai Kn Value Test untuk uji data outlier)

- Menghitung Uji Outlier rendah

$$\log X_l = \overline{\log X} - Kn * S_{\log}$$

$$= 2,318252 - 2,036 * 0,09298$$

$$= 2,31825224 - 0,19915803$$

$$= 2,11909$$

$$X_l = 131,5497 \text{ mm} < 148 \text{ mm} \dots \dots \dots \text{ok}$$

- Menghitung Uji Outlier tinggi

$$\log X_h = \overline{\log X} + Kn * S_{\log}$$

$$= 2,318252 + 2,036 * 0,09298$$

$$= 2,50756$$

$$X = 321,781 \text{ mm} > 273 \text{ mm} \dots \dots \dots \text{ok}$$

Berdasarkan data uji outlier diatas, dapat disimpulkan bahwa untuk data curah hujan di Stasiun Ratahan tidak ada data outlier.

**Parameter statistik**

Dari data pengamatan dilakukan perhitungan parameter statistik untuk mengetahui tipe distribusi yang akan di gunakan. Nilai parameter statistic adalah :

a. Rata – rata hitung

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n X_i = \frac{1951,932}{10} = 195,193$$

$$\overline{\log X} = \sum_{i=1}^n \log X_i = \frac{22,852}{10} = 2,285$$

b. Simpangan baku (standard deviasi)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{9367,476}{10-1}} = 32,262$$

$$S_{\log} = \sqrt{\frac{(\log X - \overline{\log X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,04606}{10-1}} = 0,07154$$

c. Koefisien Skewness

$$C_s = \frac{n}{(n-1)(n-2) * S^3} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3 = \frac{10 * (68701,418)}{(10-1)(10-2) * 32,262^3} = 0,284$$

$$C_{S_{\log}} = \frac{n}{(n-1)(n-2) * S_{\log}^3} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3 \dots \dots \dots (\text{digunakan pers. 2.4}) = \frac{10}{(10-1)(10-2) * 0,07154^3} * 0,000286 = 0,1084892$$

d. Koefisien variasi

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}} = \frac{32,262}{195,147} = 0,165$$

$$C_{v_{\log}} = \frac{S_{\log}}{X_{\log}} = \frac{0,07154}{2,31825224} = 0,031$$

e. Koefisien kurtosis

$$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3) * S^4} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 = \frac{10^2}{(10-1)(10-2)(10-3) * 32,248^4} * 15224219,689 = 2,79$$

**Analisis distribusi peluang**

Berdasarkan hasil peninjauan kesesuaian tipe distribusi parameter statistik, diambil kesimpulan bahwa tipe distribusi Normal merupakan tipe distribusi yang cocok digunakan sesuai dengan data pengamatan.

**Tabel 5 Kriteria pemilihan tipe distribusi berdasarkan parameter statistik**

No	Tipe Distribusi	Syarat Parameter Statistik	Parameter Statistik Data Pengamatan	Keterangan
1	Normal	C <sub>s</sub> ≈ 0	C <sub>s</sub> = 0.2	Mendekati
		C <sub>k</sub> ≈ 3	C <sub>k</sub> = 2.8	
2	Log Normal	C <sub>slog</sub> ≈ 3 C <sub>v</sub>	C <sub>slog</sub> = 0.108	Tidak Mendekati
			3 C <sub>v</sub> = 0.5	
3	Gumbel	C <sub>s</sub> ≈ 1.139	C <sub>s</sub> = 0.284	Tidak Mendekati
		C <sub>k</sub> ≈ 5.4	C <sub>k</sub> = 2.789	

**Penentuan curah hujan rencana**

Berdasarkan analisa distribusi peluang diatas, dapat disimpulkan bahwa jenis sebaran yang sesuai untuk perhitungan curah hujan rencana yaitu dengan menggunakan Tipe Distribusi Normal, dengan persamaan :

$$X = \bar{X} + k * S = 195,147 + k * 32,248 \text{ (nilai k diambil dari tabel nilai variasi reduksi Gauss)}$$

Untuk periode ulang 5 tahun, diperoleh nilai k = 0,84

$$X = 195,147 + 0,84 * 32,248 = 222,235$$

Hasil perhitungan curah hujan dalam beberapa periode ulang dengan Tipe Distribusi Normal, terlampir pada Tabel 4.8 :

Tabel 6. Hasil perhitungan curah hujan dalam periode ulang tertentu dengan menggunakan tipe distribusi Normal

Periode Ulang	$\bar{X}$	k	S	X
5	195.193	0.84	32.2481	222.281
10	195.193	1.28	32.2481	236.471
20	195.193	1.64	32.2481	248.080
50	195.193	2.05	32.2481	261.302
75	195.193	2.19	32.2481	265.816
100	195.193	2.33	32.2481	270.331

**Analisis debit banjir**

Untuk menganalisa debit banjir pada sungai Makalu dilakukan dengan menggunakan dua metode yaitu metode HSS Snyder dan HSS Gama I. Metode perhitungannya berdasarkan parameter-parameter DAS.

**HSS Snyder**

- Variable pokok dalam HSS Snyder

- h = 1mm
- h = 1 jam
- Ct = 1,4
- Cp = 0,19
- tp = 7,116 jam
- tr<sup>2</sup> = 1,11 jam
- Tp = 7,542 jam
- Qp = 7,003 m<sup>3</sup>/det

- Grafik hubungan antara Q dan t berdasarkan persamaan Alexeyev:

$$\lambda = \frac{(0,270 \cdot 7,542)}{(1 \cdot 38,562)} = 0,000221$$

$$a = (1,32 \cdot 0,000221^2) + (0,15 \cdot 0,000221) + 0,045 = 0,045$$

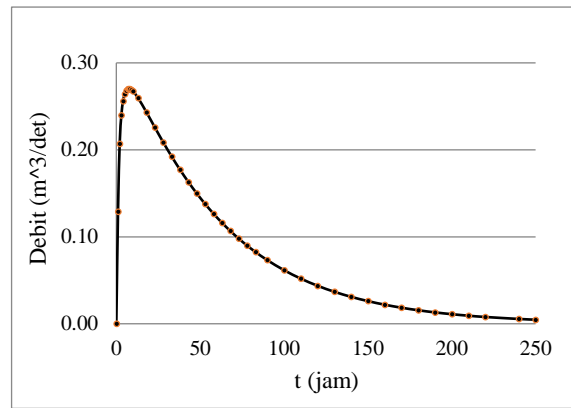
Setelah nilai a diketahui maka diperoleh :

$$Y = 10^{-a \left[ \frac{(1-x)^{0.2}}{x} \right]}$$

$$X = \frac{t}{T_p}$$

$$Q = (y) \cdot (Q_p) ; t = X \cdot T_p$$

$$Q = (y) \cdot (0,270); t = (x) \cdot (7,542)$$



Gambar 2 Grafik hubungan antara Q dan t ordinat HSS Snyder

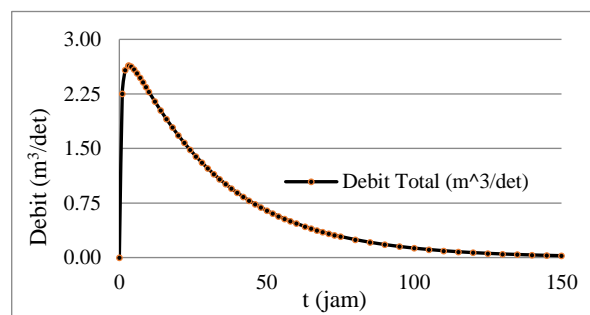
**HSS Gamma I**

- Parameter DAS :

- a. Luas DAS = 38,562 km<sup>2</sup>
- b. Panjang sungai utama = 21 km
- c. Ketinggian sungai dihilir = 950 mdpl
- d. Ketinggian sungai dihilir = 35 mdpl
- e. Jumlah sungai semua tingkat = 133 buah
- f. Jumlah panjang sungai = 86 km
- g. Luas DAS sebelah hulu = 19,281 km
- h. Faktor sumber (SF) = 0,5
- i. Frekuensi Sumber (SN) = 0,481
- j. Faktor lebar (WF) = 3,6
- k. Factor simetri (SIM) = 1,8
- l. Jumlah pertemuan sungai = 63
- m. Kerapatan jaringan kurus (D) = 2,230

- Variabel pokok HSS Gamma I

- a. Waktu naik (TR) 3,23 jam
- b. Debit puncak (Qp) = 2,641 m<sup>3</sup>/det
- c. Debit aliran dasar (QB) = 10,57 jam
- d. Koefisien resesi (K) = 3,767



Gambar 3 Grafik hubungan antara Q dan t ordinat HSS Gamma I

**Analisa debit banjir berdasarkan hujan jam-jaman**

➤ Menentukan Re (hujan efektif)



Tabel 7. Distribusi hujan jam-jaman selama 4 jam

Periode Ulang	R24 (mm)	Distribusi hujan jam - jaman			
		Jam ke 1	Jam ke 2	Jam ke 3	Jam ke 4
5	222.281	27.785	116.698	40.011	37.788
10	236.471	29.559	124.147	42.565	40.200
20	248.080	31.010	130.242	44.654	42.174
50	261.302	32.663	137.184	47.034	44.421
75	265.816	33.227	139.553	47.847	45.189
100	270.331	33.791	141.924	48.660	45.956

$$\Phi = 10,490 - 3,859 \cdot 10^{-6} \cdot A^2 + 1,6985 \cdot 10^{-13} \left[ \frac{A}{SN} \right]^4$$

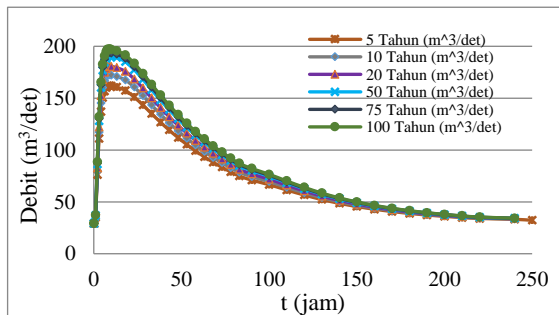
$$\Phi = 10,482$$

$$Re = R - \Phi$$

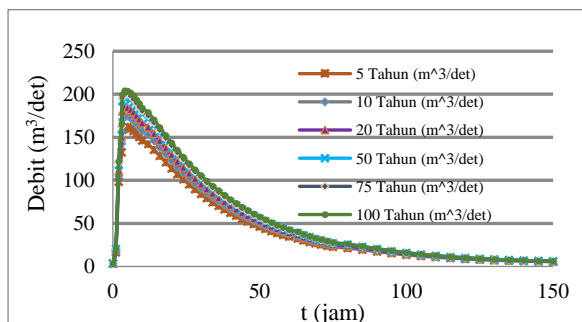
Tabel 8. Hujan efektif jam-jaman

Φ (mm)	Hujan Efektif (mm)			
	Jam ke 1	Jam ke 2	Jam ke 3	Jam ke 4
10.486	17.299	106.211	29.524	27.302
10.486	19.073	113.661	32.079	29.714
10.486	20.524	119.756	34.168	31.687
10.486	22.177	126.697	36.548	33.935
10.486	22.741	129.067	37.361	34.702
10.486	23.305	131.438	38.173	35.470

Dari hasil analisa menggunakan metode HSS Snyder dan HSS Gamma I dengan data hujan efektif yang terjadi selama 4 jam, diperoleh besaran debit untuk berbagai kala ulang.



Gambar 4 Grafik hubungan antara Q dan t ordinat hidrograf banjir metode HSS Snyder untuk semua periode ulang setelah kalibrasi

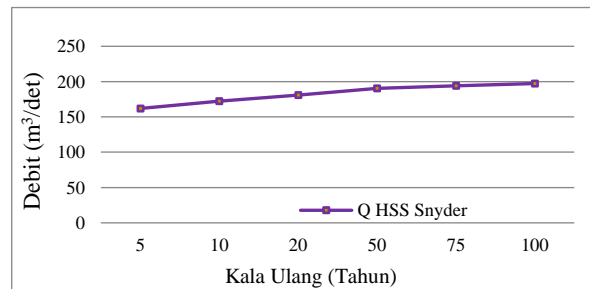


Gambar 5 Grafik hubungan antara Q dan t ordinat hidrograf banjir metode HSS Gamma I untuk semua periode ulang setelah kalibrasi

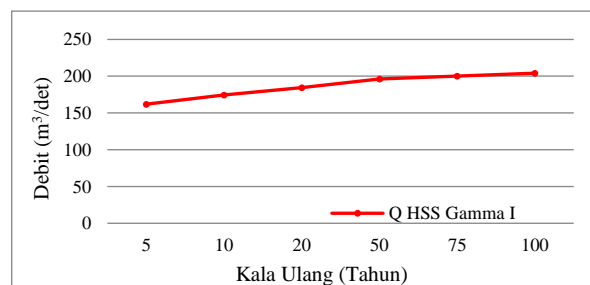
Diperoleh debit maksimum dari HSS Snyder dan HSS Gamma I, yang ditunjukkan dalam Tabel 9.

Tabel 9 Debit banjir maksimum HSS Snyder dan HSS Gamma I

Kala Ulang (Tahun)	Debit Banjir Maksimum (m³/detik)	
	Q HSS Snyder	Q HSS Gamma I
5	161.985	161.985
10	172.344	174.402
20	180.895	184.595
50	190.633	196.204
75	193.958	200.167
100	197.283	204.131



Gambar 6. Grafik hubungan antara Q maksimum dan Tr (HSS Snyder)



Gambar 7. Grafik hubungan antara Q maksimum dan Tr (HSS Gamma I)

**Perhitungan tinggi muka air maksimum**

Tinggi muka air di sungai Makalu didapat dengan melakukan pengukuran kedalaman langsung. Sedangkan untuk mendapatkan tinggi muka air maksimum digunakan perhitungan trial and error (cara coba-coba) sesuai dengan debit (Q) yang ada. Hasil perhitungan tinggi muka air dengan debit maksimum pada seluruh titik tinjauan untuk semua kala ulang metode HSS Snyder dan HSS Gamma I, dilampirkan dalam Tabel 10 dan Tabel 11.

Tabel 10. Hubungan debit dan tinggi muka air untuk semua periode ulang pada titik tinjauan (Q HSS Snyder)

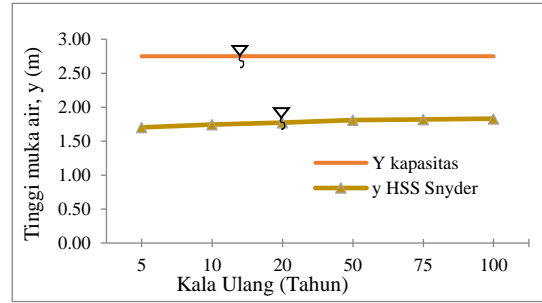
Titik Tinjauan	y HSS Snyder						Pengukuran langsung di Sungai Makalu	
	Q5	Q10	Q20	Q50	Q75	Q100	Tinggi muka air (y)	Lebar sungai (b)
1	1.391	1.422	1.447	1.474	1.483	1.492	0.46	25
2	1.607	1.643	1.671	1.703	1.713	1.724	0.49	26.8
3	1.639	1.676	1.706	1.739	1.75	1.761	0.57	21
4	1.547	1.582	1.611	1.643	1.653	1.663	0.45	19
5	1.835	1.88	1.914	1.953	1.966	1.979	0.5	14
6	1.747	1.789	1.822	1.858	1.87	1.882	0.51	16
7	1.73	1.770	1.802	1.837	1.849	1.86	0.55	16
8	1.737	1.778	1.811	1.846	1.858	1.87	0.38	16
9	1.697	1.736	1.768	1.802	1.815	1.826	0.41	16
10	2.097	2.146	2.184	2.228	2.243	2.257	0.49	16
Rata - rata	1.703	1.742	1.774	1.808	1.820	1.831	0.481	18.58

Tabel 11. Hubungan debit dan tinggi muka air untuk semua periode ulang pada titik tinjauan (Q HSS Gamma I)

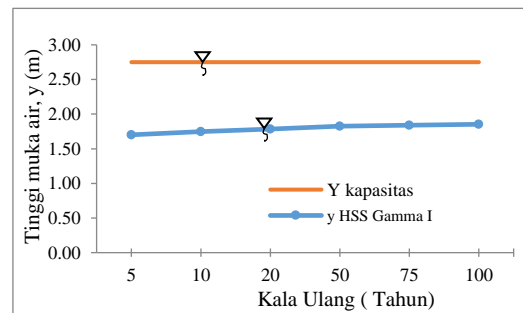
Titik Tinjauan	y HSS Gamma I						Pengukuran langsung di Sungai Makalu	
	Q5	Q10	Q20	Q50	Q75	Q100	Tinggi muka air (y)	Lebar sungai (b)
1	1.386	1.422	1.451	1.483	1.493	1.504	0.62	25
2	1.6	1.643	1.676	1.713	1.725	1.737	0.64	26.8
3	1.639	1.683	1.719	1.757	1.77	1.783	0.62	21
4	1.544	1.586	1.62	1.657	1.668	1.681	0.53	19
5	1.835	1.887	1.929	1.975	1.99	2.005	0.5	14
6	1.748	1.796	1.835	1.877	1.892	1.906	0.51	16
7	1.729	1.778	1.815	1.856	1.871	1.884	0.55	16
8	1.737	1.786	1.824	1.866	1.88	1.894	0.6	16
9	1.697	1.744	1.781	1.822	1.835	1.849	0.62	16
10	2.097	2.155	2.201	2.252	2.269	2.286	0.68	16
Rata - rata	1.701	1.748	1.785	1.826	1.839	1.853	0.587	18.58

Dengan memperhatikan Y penampang sungai dan berdasarkan hasil perhitungan y dengan metode HSS Snyder ( $Q_{100} = 197,283 \text{ m}^3/\text{detik}$  ; rata – rata  $y_{100} = 1,831 \text{ m}$ ) dan Gamma I ( $Q_{100} = 204,131 \text{ m}^3/\text{detik}$  ; rata – rata  $y_{100} = 1,853$ ) yang apabila dibandingkan dengan

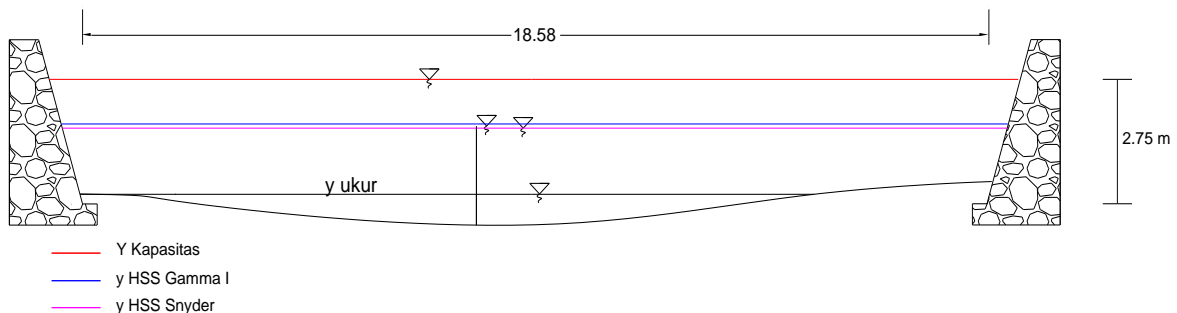
tinggi muka air ( $y_{\text{rata-rata}}$ ) dan Y penampang hasil pengukuran di sungai Makalu, yaitu dengan  $y_{\text{rata-rata}} = 0,587 \text{ m}$  dan Y penampang =  $2,75 \text{ m}$  menunjukkan bahwa kapasitas penampang sungai Makalu khususnya disepanjang titik tinjauan masih mampu menampung besarnya debit atau belum terjadi banjir sampai pada kala ulang 100 tahun.



Gambar 8. Tinggi muka air (y kapasitas dan y HSS Snyder) pada semua Kala Ulang



Gambar 9. Tinggi muka air (y kapasitas dan y HSS Gamma I) pada semua Kala Ulang



Gambar 10 Tinggi muka air ( y ukur,  $y_{100}$  HSS Snyder,  $y_{100}$  HSS Gamma I, y kapasitas) di Sungai

## PENUTUP

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan metode HSS Snyder dan HSS Gamma I, diperoleh debit dan tinggi muka air terbesar pada HSS Gamma I yaitu dengan  $Q_{100} = 204,131 \text{ m}^3/\text{det}$ , dan  $y_{100} = 1,853 \text{ m}$ , dengan kapasitas daya tampung sungai Makalu dalam kondisi

sungai yang sudah ditanggul,  $Y = 2,75 \text{ m}$ . Dapat disimpulkan bahwa hingga kala ulang 100 tahun, belum terjadi banjir atau luapan air pada daerah tinjauan di sungai Makalu. Penampang sungai disepanjang titik tinjauan dengan tinggi rata-rata 2,75m mampu menampung debit maksimum  $Q = 529,263 \text{ m}^3/\text{det}$ .

## DAFTAR PUSTAKA

- Chow, V. T., 1964. *Hidrolika Saluran Terbuka (Open Channel Hydraulics)*, Erlangga, Jakarta.
- Harto Sri, 1993. *Analisis Hidrologi*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Hermawan Yandi, 1986. *Hidrologi untuk Insinyur*, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Pemerintah Desa, 2016. *Review RPJMDes 2016-2021*, Desa Makalu, Kecamatan Pusomaen, Minahasa Tenggara.
- Soemarto, C. D, 1987. *Hidrologi Teknik*, Usaha Nasional, Surabaya.
- Soewarno, 1991, *Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri)*, Nova, Bandung.
- Soewarno, 1995, *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data*, Nova, Bandung.
- Subarkah, Iman., 1980. *Hidrologi untuk Perencanaan Bangunan Air*, Penerbit Idea Dharma, Bandung.
- Triatmodjo, Bambang., 2006. *Hidrologi Terapan*, Beta Offset, Yogyakarta.

Halaman ini sengaja dikosongkan