

ANALISIS DEBIT DAN TINGGI MUKA AIR SUNGAI TONDANO DI JEMBATAN DESA KUWIL KECAMATAN KALAWAT

Malinda Kamase

Liany Amelia Hendratta, Jeffry Swingly F. Sumarauw

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi

Email: malinda.kamase@gmail.com

ABSTRAK

Sungai Tondano merupakan salah satu sungai terbesar di Kota Manado dan memiliki banyak anak sungai sebagai penyumbang debit. Salah satu daerah yang dilewati aliran dari Sungai Tondano yaitu Desa Kawangkoan Baru dan Desa Kuwil Kecamatan Kalawat. Sungai Tondano pernah mengalami banjir besar, yang mengakibatkan jembatan penghubung Desa Kawangkoan Baru dengan Desa Kuwil terputus alhasil beberapa desa di Kecamatan Kalawat dan Airmadidi terisolir. Permasalahan tersebut cukup serius dan memerlukan perhatian khusus dari berbagai pihak yang bertanggung jawab untuk segera dicarikan jalan keluar dan penyelesaiannya.

Analisis curah hujan rencana dengan metode Log Pearson III digunakan untuk menghitung debit banjir dan tinggi muka air. Pada perhitungan debit banjir di sungai Tondano ini digunakan curah hujan di stasiun Winangun, Rumengkor, Paleloan dan Noongan dengan periode tahun 2003 s/d 2015. Perhitungan debit banjir juga menggunakan program HEC-HMS dan untuk perhitungan tinggi muka air digunakan program HEC-RAS.

Hasil analisis untuk debit banjir rencana dengan program HEC-HMS memperoleh hasil yang beragam yaitu pada kala ulang 5 thn didapat debit 123,3 m^3/dtk , 25 thn 139,5 m^3/dtk , 50 thn 146,7 m^3/dtk , 100 thn 154,4 m^3/dtk , dan 200 thn 164,0 m^3/dtk . Sedangkan pada program HEC-RAS didapat tinggi muka air pada sta 0 hingga pada sta 500 dengan debit banjir rencana kala ulang 5 thn, 25 thn, 50 thn, 100 thn, 200 thn tidak terjadi luapan.

Kata kunci : Debit banjir rencana, tinggi muka air, HEC-HMS, HEC-RAS

PENDAHULUAN

Latar belakang

Sungai memegang peranan yang sangat penting bagi perkembangan peradaban manusia di seluruh dunia. Manfaat sungai antara lain sebagai sumber air, sarana transportasi, pembangkit tenaga listrik, air untuk kebutuhan irigasi, penyediaan air minum, kebutuhan industri, pariwisata, pengembangan perikanan, dan juga sebagai saluran pembuangan untuk menampung air selokan dan air buangan dari areal pertanian, dan lain-lain.

Sungai terbentuk secara alamiah dan berfungsi untuk menampung air hujan yang turun di atas permukaan bumi dan mengalirkannya ke laut atau ke danau-danau. Namun saat terjadi hujan lebat, sungai-sungai dan saluran pembuangan tersebut mungkin saja tidak dapat menahan atau menampung volume air yang besar sehingga meluap ke luar dari sungai dan mengakibatkan banjir. Apabila banjir yang terjadi tidak begitu besar, maka tidak terlalu menjadi ancaman bagi manusia, tetapi bila banjir

besar yang terjadi maka dapat menimbulkan kerusakan terhadap harta benda dan juga nyawa manusia.

Sungai Tondano merupakan salah satu sungai terbesar di Kota Manado dan memiliki banyak anak sungai sebagai penyumbang debit. Salah satu daerah yang dilewati aliran dari Sungai Tondano yaitu pada Desa Kawangkoan Baru dan Desa Kuwil Kecamatan Kalawat dan posisinya tepat di bawah jembatan penghubung dua Desa tersebut. Pada tahun 2014 Sungai Tondano mengalami banjir besar, sehingga arus sungai yang deras menghanyutkan jembatan penghubung Desa Kawangkoan Baru dengan Desa Kuwil. Akibat terputusnya Jembatan Kuwil beberapa desa di Kecamatan Kalawat dan Airmadidi terisolir. Hal itu merupakan permasalahan yang cukup serius dan memerlukan perhatian khusus dari berbagai pihak yang bertanggung jawab untuk segera dicarikan jalan keluar dan penyelesaiannya.

Berdasarkan permasalahan di atas maka dibutuhkan penelitian berupa studi kasus tentang analisis debit banjir untuk menghitung besarnya

debit dan tinggi muka air banjir dari sungai ini. Dengan adanya studi analisis debit banjir ini diharapkan bisa menjadi salah satu alternatif penyelesaian masalah banjir di lokasi penelitian. Sebagai tindak lanjut dari hal ini maka dilakukan kajian dan analisis debit banjir dalam suatu Penelitian dengan judul: "Analisis Debit Banjir Sungai Tondano Di Jembatan Desa Kuwil Kecamatan Kalawat Dengan Menggunakan HEC-HMS dan HEC-RAS".

Batasan Masalah

Masalah yang akan diteliti dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian adalah sungai tondano pada Jembatan penghubung antar Desa Kawangkoan Baru dan Desa Kuwil.
2. Analisis hidrologi dibantu dengan menggunakan program HEC-HMS.
3. Analisis hidrolik dibantu dengan menggunakan program HEC-RAS.
4. DAS Danau Tondano dijadikan sebagai subbasin yang mengalirkan debit pada sungai Tondano.
5. Keterbatasan data menjadikan aliran sungai pada sungai Tondano dianggap sebagai aliran tetap atau *steady flow*.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan debit banjir dan tinggi muka air banjir pada sungai Tondano titik jembatan penghubung Desa Kawangkoan Baru dan Desa Kuwil Kecamatan Kalawat.

Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat berguna sebagai informasi bagi penduduk yang ada disekitar DAS Tondano tentang kondisi sungai pada saat banjir dan juga diharapkan penelitian ini dapat berguna dalam penanggulangan permasalahan banjir pada lokasi penelitian tersebut.

LANDASAN TEORI

Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi terjadi karena adanya terik matahari yang mengakibatkan air di permukaan bumi menguap (evaporasi) kemudian jatuh lagi ke permukaan laut dan daratan sebagai presipitasi dalam bentuk hujan, salju, hujan es,

dan kabut. Setelah mencapai daratan hujan akan tertahan beberapa saat oleh tumbuh-tumbuhan dan yang kemudian jatuh ke permukaan tanah. Kemudian sebagian air akan bergerak ke dalam tanah melalui celah-celah bebatuan (infiltrasi) dan sebagiannya lagi akan mengalir di atas permukaan tanah (aliran permukaan surface run off). Air permukaan yang mengalir maupun tergenang (danau, waduk dan rawa) dan sebagian air di bawah permukaan akan terkumpul dan mengalir dan membentuk sungai dan mengalir ke laut. Proses ini akan terus-menerus terjadi yang dinamakan siklus hidrologi (Novia Ros Rante, 2012).

Banjir

Banjir merupakan suatu keadaan sungai dimana aliran airnya tidak tertampung oleh palung sungai, karena debit banjir lebih besar dari kapasitas sungai yang ada.

Penyebab terjadinya banjir antara lain:

1. Hujan
Ketika intensitas hujan meningkat maka akan terjadi pula peningkatan debit air. Apabila suatu daerah tidak memiliki sistem pengairan atau resapan air yang baik, maka potensi terjadinya banjir di tempat tersebut lebih besar.
2. Membuang sampah tidak pada tempatnya
Di daerah perkotaan, inilah salah satu kontributor terbesar dalam hal penyumbatan saluran air seperti gorong-gorong atau got membuat aliran air terhambat sehingga tidak dapat mengalir ke tempat lain. Kesadaran masyarakat sekitar untuk tidak membuang sampah ke sungai atau selokan diperlukan untuk mengurangi banjir yang disebabkan oleh hal seperti ini.
3. Kurangnya daerah resapan air
Tata ruang buruk seperti tidak adanya taman kota atau pembangunan pada tanah olahan kosong mengakibatkan hilangnya daerah yang seharusnya menjadi daerah untuk resapan air. Pengaturan tempat pemukiman sebaiknya berada pada tanah yang memang memiliki resapan air rendah bukan pada tanah terbuka berdaya serap tinggi.

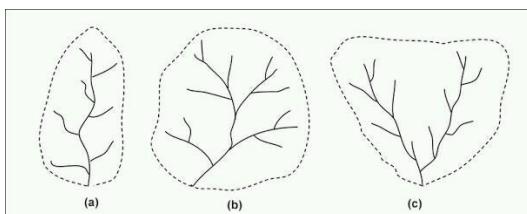
Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah daerah dimana semua airnya mengalir ke dalam suatu sungai yang dimaksudkan. Daerah ini umumnya dibatasi oleh batas topografi, berarti ditetapkan

berdasarkan pada aliran permukaan, dan bukan ditetapkan berdasarkan pada aliran permukaan, dan bukan ditetapkan berdasarkan pada air bawah tanah karena permukaan air tanah selalu berubah sesuai dengan musim dan tingkat kegiatan pemakaian. Menurut Sosrodarsono dan Takeda (2003), berdasarkan perbedaan debit banjir yang terjadi, bentuk DAS dapat dibedakan menjadi tiga bentuk, yaitu:

- a) Bulu Burung
 - b) Radial
 - c) Paralel

Sungai merupakan fungsi untuk mengumpulkan curah hujan dalam suatu daerah tertentu dan mengalirkannya ke laut. Daerah pengaliran sebuah sungai adalah daerah yang mengalirkan airnya ke sungai tersebut. Luas daerah pengaliran diperkirakan dengan pengukuran daerah itu pada peta topografi. Luas daerah pengaliran berpengaruh terhadap besarnya debit yang terjadi. Semakin besar daerah pengaliran maka debit pengaliran akan semakin besar.



Gambar 1 : Berbagai macam bentuk DAS

Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi bertujuan untuk mencari hubungan antara besarnya suatu kejadian ekstrim (maksimum atau minimum) dan frekuensinya berdasarkan distribusi probabilitas. Data yang digunakan adalah data debit atau hujan maksimum tahunan, yaitu data terbesar yang terjadi selama satu tahun, yang terukur selama beberapa tahun (Triatmodjo,2008). Tujuan dari analisis frekuensi data hidrologi adalah mencari hubungan antara besarnya kejadian ekstrim terhadap frekuensi kejadian dengan menggunakan distribusi probabilitas.

Parameter Statistik

Dalam analisis statistik data, terdapat parameter-parameter yang akan membantu dalam menentukan jenis sebaran yang tepat dalam menghitung besarnya hujan rencana. Analisis parameter statistik yang digunakan

dalam analisis data hidrologi yaitu: *central tendency (mean)*, simpangan baku (standar deviasi), koefisien variasi, kemencengan (*skewness*) dan koefisien puncak (*kurtosis*).

Pengukuran *Central Tendency (Mean)*

Pengukuran central tendency adalah pengukuran yang mencari nilai rata-rata kumpulan variabel (mean).

Untuk perhitungan nilai Log maka persamaan diatas harus diubah dahulu ke dalam bentuk logaritmik

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

Simpangan Baku (Standar Deviasi)

Simpangan deviasi atau simpangan baku adalah suatu nilai pengukuran dispersi terhadap data yang dikumpulkan.

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\log X_i - \bar{\log X})^2} \quad \dots(4)$$

Koefisien Variasi (Cv)

Koefisien variasi (*Coefficient Of Variation*) adalah nilai perbandingan antara deviasi standar dengan nilai rata-rata hitung dari suatu distribusi. Semakin besar nilai variasi berarti datanya kurang merata dan kurang heterogen. Semakin kecil berarti data pengamatan semakin merata (homogen).

$$C_v = \frac{s}{\bar{x}} \dots \quad \dots(5)$$

Koefisien Skewness (Cs)

Kemencenggan (*skewness*) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidak simetrisan (*asymmetry*) dari suatu bentuk distribusi.

$$C_s = \frac{n}{(n-1)(n-2)s^3} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3 \dots \dots (6)$$

$$C_{slog} = \frac{n}{(n-1)(n-2)S_{log}^3} \sum_{i=1}^n (\log X_i - \overline{\log X})^3 \dots .(7)$$

Koefisien Kurtosis (Ck)

Pengukuran kurtosis dimaksudkan untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal. Koefisien kurtosis digunakan untuk menentukan keruncingan kurva distribusi.

$$C_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{S^4} \dots \quad \dots (8)$$

Pemilihan Tipe Distribusi Berdasarkan Parameter Statistik

Tabel 1 : Penentuan Jenis Distribusi Berdasarkan Syarat-Syarat

Jenis Sebaran	Persyaratan
Normal	$C_s \approx 0$
	$C_k \approx 3$
Log Normal	$C_s \approx Cv^3 + 3Cv$
	$C_k \approx Cv^8 + 6Cv^6 + 15Cv^4 + 16Cv^2 + 3$
Gumbel	$C_s \approx 1,14$
	$C_k \approx 5,4$
Log Pearson Type III	Selain dari nilai diatas
	Selain dari nilai diatas

Sumber : Bambang Triadmodjo, 2008

Distribusi Frekuensi

Tujuan teori statistik tentang distribusi harga ekstrim antara lain untuk menganalisis hasil pengamatan harga-harga ekstrim untuk meramal harga-harga ekstrim berikutnya. Analisis frekuensi dapat dilakukan dengan seri data yang diperoleh dari rekaman data (data historik) baik data hujan maupun data debit. (Limantara, 2010)

Dalam statistik dikenal beberapa jenis distribusi frekuensi. Yang banyak dikenal dalam hidrologi antara lain :

1. Distribusi Gumbel

Tipe distribusi ini umumnya digunakan untuk analisis data maksimum.

$$X_{TR} = \bar{X} + S \cdot K_{TR} \dots \quad \dots (9)$$

$$K_{TR} = 0,78 \left[-\ln \left\{ -\ln \left(1 - \frac{1}{T_p} \right) \right\} \right] - 0,45 \dots \quad \dots (10)$$

2. Distribusi Normal

Distribusi normal disebut juga dengan distribusi Gauss. Distribusi ini dirumuskan sebagai berikut:

$$X_{TR} = \bar{X} + S \cdot K \dots \quad \dots (11)$$

3. Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal merupakan hasil transformasi dari distribusi normal dengan merubah variant x menjadi log variant x.

$$\log X_{TR} = \overline{\log X} + S_{log} \cdot K \dots \dots (12)$$

4. Distribusi Log Pearson III

Distribusi ini merupakan hasil transformasi dari distribusi Pearson tipe III dengan merubah variant x menjadi nilai log variant x dengan rumus:

$$\log X_{TR} = \overline{\log X} + S_{log} \cdot K_{TR,CS} \dots \quad \dots (13)$$

Hujan rencana kala ulang T (tahun) dihitung dengan menggunakan antilog dari Log XT atau bisa ditulis dengan persamaan:

$$X_{TR} = (10^{\log X_{TR}}) \dots \dots \dots (14)$$

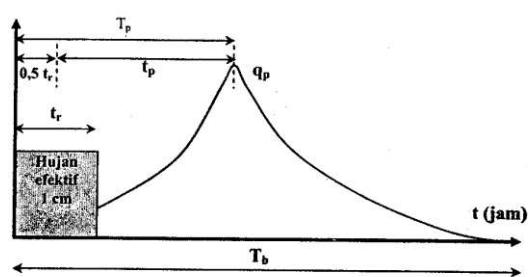
Analisis Hidrologi

Dalam analisis hidrologi yang dihitung adalah debit banjir rencana. Debit banjir rencana adalah debit dengan periode kala ulang tertentu yang diperkirakan akan melalui sungai atau bangunan air tersebut. Dalam menganalisis debit banjir rencana akan digunakan program/software HEC-HMS.

Software HEC-HMS dirancang untuk menghitung proses hujan aliran suatu sistem DAS. Model ini dapat digunakan untuk menghitung volume *runoff*, *direct runoff*, *baseflow*, dan *channel flow*. Software ini dikembangkan oleh *Hydrologic Engineering Center* (HEC) dan *USArmy Corps Of Engineers*.

Hidrograf Satuan Sintesis (HSS)

Jika tidak cukup tersedia data hujan dan data debit maka penurunan hidrograf satuan suatu DAS dilakukan dengan cara sintesis. Hasilnya disebut dengan Hidrograf Satuan Sintesis (HSS). Terdapat beberapa model HSS, diantaranya: HSS Snyder, HSS Nakayasu, HSS SCS, HSS Gama.



Gambar 2 : Skema Model HSS Snyder Standar
($T_p = 5,5 t_r$)

(Sumber : I Made Kamiana, 2011)

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintesis Snyder. Menurut Snyder bahwa karakteristik DAS yang mempunyai pengaruh terhadap hidrograf satuan antara lain: luas DAS, bentuk DAS, topografi, kemiringan saluran, kerapatan sungai, dan daya tampung saluran.

Analisis Hidrolik

Dalam analisis hidrolik, penulis menghitung profil muka air dengan menggunakan beberapa data dari analisis hidrologi untuk mendapatkan profil muka air. Di dalam analisis ini juga digunakan program/software HEC-RAS.

HEC-RAS merupakan program aplikasi untuk memodelkan aliran di sungai, *River Analysis System* (RAS), yang dibuat oleh *Hydrologic Engineering Center* (HEC) yang merupakan satu divisi di dalam *Institute of Water Resources* (IWR), di bawah *US Army Corps of Engineers* (USACE). HEC-RAS merupakan model satu dimensi aliran langgeng maupun tidak langgeng (*steady and unsteady one-dimensional flow model*).

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan-tahapan seperti ditunjukkan pada gambar 3. Diagram Alir Penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kualitas Data

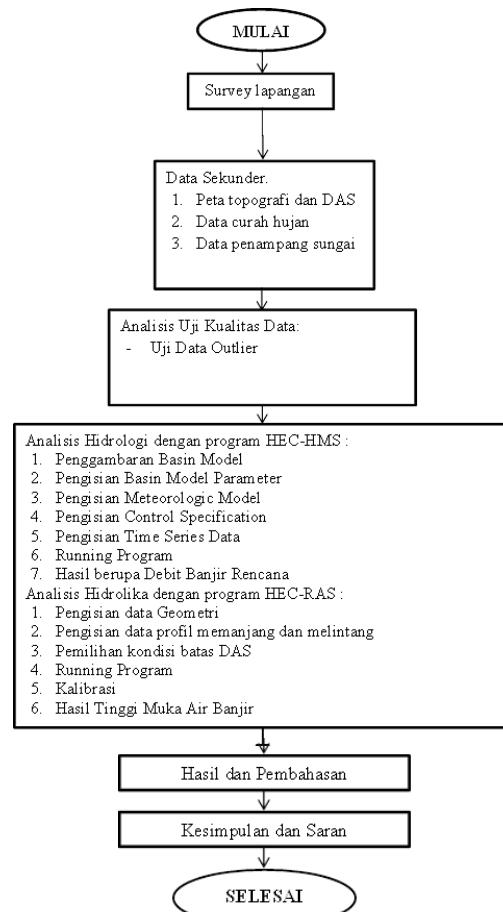
Data curah hujan yang digunakan dalam analisis ini adalah data curah hujan harian maksimum yang bersumber dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi dengan periode pencacatan tahun 2003 s/d 2015. Stasiun pengamatan yang digunakan adalah stasiun Paleoloan, stasiun Rumengkor, stasiun Winangun dan stasiun Noongan. Data curah hujan disajikan dalam tabel 2.

Uji Data Outlier

Uji data *outlier* bertujuan untuk mencari data curah hujan yang menyimpang dari kumpulan datanya serta mengkoreksi data tersebut ke batas tertinggi ataupun terendahnya. Berikut ini adalah syarat serta

cara pengujian data outlier berdasarkan Koefisien *Skewness* (Cslog).

- Jika $Cs \log \geq 0,4$ maka : Uji data *outlier* tinggi, koreksi data, uji outlier rendah, koreksi data.
- Jika $Cs \log \leq -0,4$ maka : Uji *outlier* rendah, koreksi data, uji outlier tinggi, koreksi data.



Gambar 3 : Bagan Alir Penelitian

Tabel 2 : Data Curah Hujan Harian Maksimum

Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum (mm)			
	Sta. Paleoloan	Sta. Rumengkor	Sta. Winangun	Sta. Noongan
2003	46,3	105,4	171	112
2004	58	79	105	100
2005	99	117,3	135,5	97
2006	50,2	72,6	124	88,1
2007	37,7	55,4	176,6	75,4
2008	45,1	82,1	162,3	57,6
2009	40	118,4	124,8	98,2
2010	67,2	104,5	137,3	10,8
2011	90,9	87,8	143	116,4
2012	69,8	111,5	155,9	94,8
2013	66,5	68	93,6	84,6
2014	110,5	183	186,6	100
2015	64,9	74,2	140	95

- Jika $-0,4 \leq Cs \log \leq 0,4$ maka :
Uji *outlier* tinggi atau rendah secara bersama-sama, koreksi data.

Berikut ini adalah persamaan untuk menentukan batas tertinggi dan batas terendah untuk pengujian data outlier :

- Uji *outlier* tinggi untuk menentukan batas tertinggi dari kumpulan data :

$$Xh = 10^{\log Xh}$$

- Uji *outlier* rendah untuk menentukan batas terendah dari kumpulan data :

$$Xl = 10^{\log Xl}$$

Data selanjutnya digunakan dalam analisis selanjutnya yaitu penentuan nilai K_n , sebagai berikut:

$$Kn = (-3,62201 + (6,28446 n^{1/4}) - (2,49835 n^{1/2}) + (0,491436 n^{3/4}) - (0,037911 n))$$

Kemudian dilakukan uji *outlier* pada data curah hujan stasiun Winangun, Rumengkor, Paleloan dan Noongan. Hasil uji *outlier* mendapatkan bahwa data-data curah hujan tersebut tidak menyimpang.

Analisis Curah Hujan Rata-Rata

Untuk mendapatkan curah hujan rata-rata pada DAS digunakan metode Poligon Thiessen. Perhitungan curah hujan rata-rata dengan metode ini memberikan koreksi terhadap kedalaman hujan sebagai fungsi luas daerah yang mewakili.

Setelah melakukan poligon thiessen terhadap DAS penelitian maka didapat curah hujan yang mempengaruhi DAS tersebut berasal dari sta Paleloan, sta Noongan, dan sta Rumengkor.

Dari hasil analisis peta topografi dengan skala 1:50.000 diperoleh:

A1 = Luas daerah yang mewakili Stasiun Rumengkor = 115,261 km²

A2 = Luas daerah yang mewakili Stasiun Paleoloan = 153,334 km²

A₃ = Luas daerah yang mewakili Stasiun
Noongan = 108,302 km²

Data curah hujan harian maksimum untuk tahun 2003 :

$$\begin{aligned} R_1 &= 105,4 \text{ mm} \\ R_2 &= 46,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

R3 = 112 mm

R5 = 112 mm

Untuk menghitung curah hujan rata-rata dengan Poligon Thiessen digunakan persamaan:

Sehingga,

$$\bar{R} = \frac{(115,261 * 105,4) + (153,334 * 46,3) + (108,302 * 112)}{(115,261 + 153,334 + 108,302)} = 83,253 \text{ mm}$$

Hasil selengkapnya dari perhitungan curah hujan rata-rata pada DAS dari tahun 2003 s/d 2015 dengan cara Poligon Thiessen dibuat dalam tabel berikut ini:

Tabel 3 : Curah hujan rata-rata DAS dengan cara Poligon Thiessen

Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum (mm)			rata - rata DAS
	Sta.Rumengkor	Sta. Paleloan	Sta.Noonagan	
2003	105.4	46.3	112	83.253
2004	79	58	100	76.491
2005	117.3	99	97	104.022
2006	72.6	50.2	88.1	67.941
2007	55.4	37.7	75.4	53.946
2008	82.1	45.1	57.6	60.007
2009	118.4	40	98.2	80.700
2010	104.5	67.2	54.4	74.929
2011	87.8	90.9	116.4	97.279
2012	111.5	69.8	94.8	89.736
2013	68	66.5	84.6	72.160
2014	183	110.5	100	129.654
2015	74.2	64.9	95	76.393

Penentuan Jenis Sebaran

Dalam penentuan jenis sebaran terdapat beberapa parameter statistik yang harus dihitung diantaranya Mean, Standar Deviasi (S), Koefisien Skewness (Cs), Koefisien Kurtosis (Ck), dan Koefisien Variasi (Cv). Perhitungan parameter-parameter statistik penentuan jenis sebaran untuk DAS Sungai Tondano di Jembatan Desa Kuwil disajikan dalam tabel berikut ini:

Tabel 4 : Perhitungan Parameter Penentuan Jenis Sebaran

No.	X_i	$(X_i - \bar{X})$	$(X_i - \bar{X})^2$	$(X_i - \bar{X})^3$	$(X_i - \bar{X})^4$
1	54	-28.0932415	789.2302164	-22172.035	622884.334
2	60	-22.0322627	485.4206015	-10694.914	235633.160
3	68	-14.0984376	198.7659424	-2802.289	39507.900
4	72	-9.8795486	97.6054806	-964.298	9526.830
5	75	-7.1105165	50.5594447	-359.504	2556.257
6	76	-5.6459660	31.8769316	-179.976	1016.139
7	76	-5.5484375	30.7851582	-170.810	947.726
8	81	-1.3395215	1.7943178	-2.404	3.220
9	83	1.2133744	1.4722774	1.786	2.168
10	90	7.6969673	59.2433050	455.994	3509.769
11	97	15.2401021	232.2607127	3539.677	53945.039
12	104	21.9823848	483.2252398	10622.443	233506.632
13	130	47.6151032	2267.1980574	107952.870	5140187.032
Jumlah	1066.511	0.0000000	4729.4376854	85226.5404	6343226.2056
rata-rata	82.0393				

Tabel 5 : Perhitungan Parameter Penentuan Jenis Sebaran (dalam Log)

No.	X_i	($\log X_i$)	($\log X_i - \bar{\log X}$)	($\log X_i - \bar{\log X}$) ²	($\log X_i - \bar{\log X}$) ³	($\log X_i - \bar{\log X}$) ⁴
1	54	1.731960	-0.171122669	0.029282968	-0.005010980	0.000857492
2	60	1.778202	-0.124880234	0.015595073	-0.001947516	0.000243206
3	68	1.832131	-0.070951396	0.005034101	-0.000357176	0.000025342
4	72	1.858295	-0.044787437	0.002005915	-0.000089840	0.000004024
5	75	1.874649	-0.028433792	0.000808481	-0.000022988	0.000000654
6	76	1.883056	-0.020027014	0.000401081	-0.000008032	0.000000161
7	76	1.883610	-0.019472920	0.000379195	-0.000007384	0.000000144
8	81	1.906873	0.003789853	0.000014363	0.000000054	0.000000000
9	83	1.920398	0.017315698	0.000299833	0.000005192	0.000000090
10	90	1.952968	0.049885490	0.002488562	0.000124143	0.000006193
11	97	1.988021	0.084938368	0.007214526	0.000612790	0.000052049
12	104	2.017124	0.114041348	0.013005429	0.001483157	0.000169141
13	130	2.112787	0.209704704	0.043976063	0.009221987	0.001933894
Jumlah	1067	24.740075	0.000000000	0.120505589	0.004003407	0.003292390
rata-rata	82,039	1,903083				

Mean

Perhitungan Mean (Rata-rata) menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{1}{13} (1067) = 82,077$$

$$\begin{aligned} \bar{\log X} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log X_i \\ &= \frac{1}{13} (24.740075) = 1,903 \end{aligned}$$

Standar Deviasi dalam log (S_{\log})

Perhitungan standar deviasi dalam log menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} S &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \\ &= \sqrt{\frac{1}{13-1} (4729.4376854)} = 19,852 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\log} &= \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\log X_i - \bar{\log X})^2} \\ &= \sqrt{\frac{1}{13-1} (0.120505589)} = 0,100 \end{aligned}$$

Koefisian Skewness dalam log (C_{slog})

Perhitungan koefisien skewness menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)(S^3)}$$

$$C_s = \frac{(13)(85226.5404)}{(13-1)(13-2)(19,852^3)} = 1,073$$

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

$$C_{slog} = \frac{(13)(0.004003407)}{(13-1)(13-2)(0,100^3)} = 0,392$$

Pengukuran Kurtosis (C_k)

Perhitungan pengukuran Kurtosis menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_k &= \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)(S^4)} \\ &= \frac{13^2 (6343226.2056)}{(13-1)(13-2)(13-3)(19,852^4)} = 5,228 \end{aligned}$$

Koefisien Variasi (Cv)

Perhitungan Koefisien Variasi menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}} = \frac{19,852}{82,077} = 0,242$$

Penentuan jenis sebaran data dalam penelitian ini akan disajikan dalam tabel 6. berikut:

Tabel 6 : Penentuan Jenis Sebaran Data

Jenis Sebaran	Persyaratan	Hasil Perhitungan	Keterangan
Normal	$C_s \approx 0$	1,073	Tidak Memenuhi
	$C_k \approx 3$	5,228	Tidak Memenuhi
Log Normal	$C_s = Cv^3 + 3Cv = 0,129$	0,740	Tidak Memenuhi
	$C_k = Cv^8 + 6Cv^6 + 15Cv^4 + 16Cv^2 + 3 = 3,03$	3,989	Tidak Memenuhi
Gumbel	$C_s \approx 1,14$	1,073	Tidak Memenuhi
	$C_k \approx 5,4$	5,228	Tidak Memenuhi

bila kriteria 3(tiga) sebaran di atas tidak memenuhi, dianggap tipe sebaran yang cocok adalah **Tipe Distribusi Log Pearson Type III.

Karena dari hasil perhitungan Cs dan Ck tidak memenuhi persyaratan maka digunakan jenis sebaran **Log Pearson Type III**.

Tabel 7 : Curah Hujan Rencana DAS Sungai Tondano Menggunakan Log Pearson Tipe III

Tr(thn)	Ktr	Log Xtr(mm)	Xtr(mm)
5	0,7485	1,978094	95,08114
25	2,0597	2,109490	128,67364
50	2,5733	2,160953	144,86145
100	3,0693	2,210658	162,42687
200	3,5516	2,258987	181,54626

Menghitung Debit Puncak Menggunakan Metode Snyder

Diketahui (Parameter DAS) sebagai berikut:

$$\text{Luas DAS (A)} = 348,62875 \text{ km}^2$$

$$L = 23,01 \text{ km}$$

$$L_c = 11,505 \text{ km}$$

Tetapan Snyder :

$$C_t = 0,75$$

$$C_p = 0,9$$

$$n = 0,3$$

Rumus Snyder :

$$t_p = 0,75 * C_t (L * L_c)^n$$

$$t_p = 0,75 * 0,75 (23,01 * 11,505)^{0,3}$$

$$t_p = 2,998$$

$$t_r = \frac{t_p}{5,5} = \frac{2,998}{5,5} = 0,545$$

$$Q_p = 2,75 * \frac{C_p * A}{t_p}$$

$$Q_p = 2,75 * \frac{0,9 * 348,62875}{2,998} = 287,811$$

$$T_b = 72 + 3 * t_p$$

$$T_b = 72 + 3 * 2,998 = 80,994$$

Kalibrasi Data Debit terukur dan Debit Terhitung dengan Perbandingan Luas DAS

Tabel 8 : Hasil Data Debit Terukur dari Perhitungan Perbandingan Luas, Sungai Tondano Di Titik Jembatan Kairagi

Januari		Februari		Maret		April	
Tgl	Debit Terukur (m³/dtk)	Tgl	Debit Terukur (m³/dtk)	Tgl	Debit Terukur (m³/dtk)	Tgl	Debit Terukur (m³/dtk)
1	23.8	1	19.3	1	19.0	1	18.5
2	23.8	2	18.3	2	19.0	2	19.8
3	23.8	3	18.3	3	21.1	3	19.8
4	25.2	4	18.5	4	21.3	4	18.5
5	26.7	5	18.5	5	18.5	5	18.3
6	28.2	6	18.8	6	19.0	6	18.5
7	31.3	7	18.5	7	19.0	7	19.0
8	30.4	8	18.5	8	19.0	8	19.8
9	33.0	9	18.8	9	19.0	9	21.1
10	39.5	10	18.0	10	19.0	10	22.4
11	36.3	11	18.3	11	18.5	11	18.5
12	33.0	12	18.5	12	18.5	12	18.5
13	32.0	13	18.8	13	18.5	13	18.5
14	33.9	14	21.1	14	19.3	14	19.8
15	208.0	15	20.8	15	21.1	15	21.1
16	83.1	16	18.5	16	22.4	16	18.5
17	51.4	17	21.3	17	22.4	17	18.8
18	33.0	18	21.1	18	18.5	18	19.3
19	26.7	19	22.4	19	21.1	19	19.8
20	26.7	20	22.4	20	19.8	20	18.5
21	26.7	21	18.5	21	18.5	21	18.5
22	27.0	22	18.8	22	23.8	22	23.2
23	23.8	23	19.0	23	23.8	23	23.2
24	23.8	24	18.5	24	19.8	24	22.4
25	23.8	25	21.1	25	19.8	25	21.1
26	23.8	26	19.8	26	18.5	26	21.1
27	23.8	27	18.5	27	18.5	27	22.4
28	23.8	28	18.5	28	19.0	28	21.1
29	25.2			29	19.8	29	18.5
30	23.8			30	19.8	30	19.8
31	23.8			31	19.0		

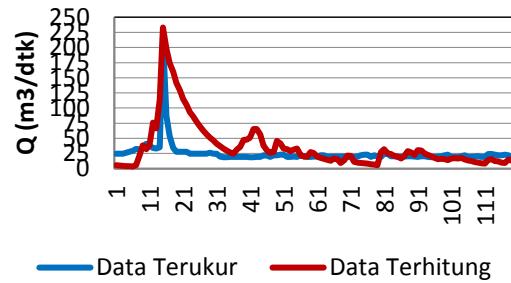
Hubungan Data Debit Terukur dan Terhitung Dengan Metode Nash and Sutcliffe

$$E_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{Si} - Q_{Mi})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{Si} - \bar{Q}_M)^2}$$

$$E_{NS} = 1 - \frac{120 \times (4271,95 - 2983,48)^2}{120 \times (4271,95 - (\frac{2983,48}{120}))^2}$$

$$E_{NS} = 0,90796$$

Hasil perhitungan dengan kedua metode diatas menyatakan bahwa korelasi atau hubungan data debit terukur dan debit terhitung adalah baik, sehingga kedua data tersebut boleh digunakan untuk analisis selanjutnya.



Gambar 4 : Grafik Perbandingan Debit Terukur dan Debit Hitung

Dari hasil-hasil kalibrasi yang sudah dihitung dengan program HEC-HMS dengan data terukur di lapangan di dapatkan:

- ✓ *Loss Method*
Curve Number : 75
Impervious : 0,0 %
- ✓ *Transform Method*
Standar Lag (HR) : 2,998
Peaking Coefficient: 0,85
- ✓ *Baseflow Method*
Initial Discharge(m³/dtk): 3,0
Recession Constant: 0,9
Ratio : 0,9

Hasil Simulasi HEC-HMS dalam Berbagai Kala Ulang dengan Pola Hujan Jam-Jaman

Tabel 9 : Pola Distribusi Jam-Jaman Kala Ulang 5 tahun

Jam ke-	1	2	3	4	5	6	7	8
% Distribusi Hujan	54	22	8	6	3	1	3	3
Hujan kala ulang	95.0811	95.0811	95.0811	95.0811	95.0811	95.0811	95.0811	95.0811
Hasil	51.3438	20.9178	7.60649	5.70487	2.85243	0.950811	2.85243	2.85243

Tabel 10 : Pola Distribusi Jam-Jaman Kala Ulang 25 tahun

Jam ke-	1	2	3	4	5	6	7	8
% Distribusi Hujan	54	22	8	6	3	1	3	3
Hujan kala ulang	128.674	128.674	128.674	128.674	128.674	128.674	128.674	128.674
Hasil	69.4838	28.3082	10.2939	7.72042	3.86021	1.28674	3.86021	3.86021

Tabel 11 : Pola Distribusi Jam-Jaman Kala Ulang 50 tahun

Jam ke-	1	2	3	4	5	6	7	8
% Distribusi Hujan	54	22	8	6	3	1	3	3
Hujan kala ulang	144.861	144.861	144.861	144.861	144.861	144.861	144.861	144.861
Hasil	78.2252	31.8695	11.5889	8.69169	4.34584	1.44861	4.34584	4.34584

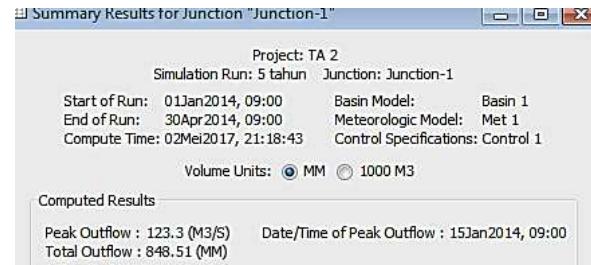
Tabel 12 : Pola Distribusi Jam-Jaman Kala Ulang 100 tahun

Jam ke-	1	2	3	4	5	6	7	8
% Distribusi Hujan	54	22	8	6	3	1	3	3
Hujan kala ulang	162.427	162.427	162.427	162.427	162.427	162.427	162.427	162.427
Hasil	87.7105	35.7339	12.9941	9.74561	4.87281	1.62427	4.87281	4.87281

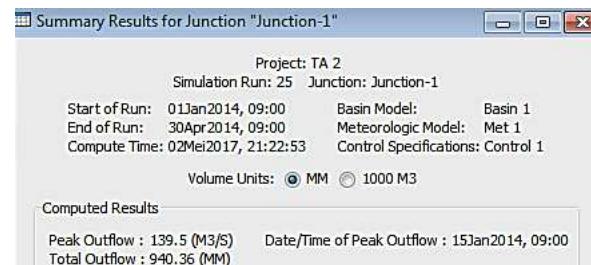
Tabel 13 : Pola Distribusi Jam-Jaman Kala Ulang 200 tahun

Jam ke-	1	2	3	4	5	6	7	8
% Distribusi Hujan	54	22	8	6	3	1	3	3
Hujan kala ulang	181.546	181.546	181.546	181.546	181.546	181.546	181.546	181.546
Hasil	98.035	39.9402	14.5237	10.8928	5.44639	1.81546	5.44639	5.44639

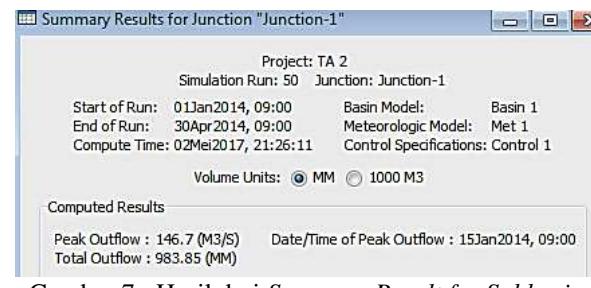
Dengan data hujan rencana jam-jaman tersebut maka diperoleh hasil simulasi program HEC-HMS, sebagai berikut:



Gambar 5 : Hasil dari *Summary Result for Subbasin* kala ulang 5 tahun



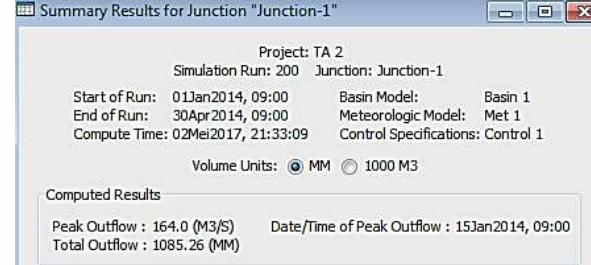
Gambar 6 : Hasil dari *Summary Result for Subbasin* kala ulang 25 tahun



Gambar 7 : Hasil dari *Summary Result for Subbasin* kala ulang 50 tahun



Gambar 8 : Hasil dari *Summary Result for Subbasin* kala ulang 100 tahun



Gambar 9 : Hasil dari *Summary Result for Subbasin* kala ulang 200 tahun

Simulasi HEC-RAS

Perhitungan dan pembacaan untuk data-data dasar yang diperlukan program sudah selesai. Diketahui bahwa debit masuk yang mengalir pada kala ulang 5 thn, 25 thn, 50 thn, 100 thn, 200 thn adalah sebagai berikut.

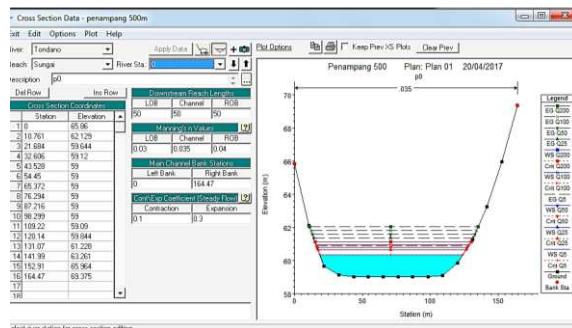
Tabel 14 : Nilai Debit pada Kala Ulang tertentu

Tr (thn)	Debit (m ³ /dtk)
5	123,3
25	139,5
50	146,7
100	154,4
200	164,0

Kemudian debit yang sudah didapat dimasukkan ke dalam program pada jendela masukan data aliran langgeng.



Gambar 10 : Memasukan debit kala ulang tertentu



Gambar 11 : Memasukkan Data Potongan Melintang

Hasil Simulasi untuk Profil Aliran

Sebagian hasil yang ditampilkan, dapat dengan mudah dibuka kembali oleh karena semua data, metode perhitungan, dan hasil-hasil yang disimpan oleh program dalam bentuk file-file. Hal ini juga untuk memudahkan agar data-data tersebut bias dibuka menggunakan komputer yang berbeda.

Tabel 15 : Nilai Tinggi Muka Air pada Debit Kala Ulang

No	No. Sta	Elevasi Dasar(m)	Elevasi Muka Air(m)					Elevasi Tebing Kiri	Elevasi Tebing Kanan
			Q5	Q25	Q50	Q100	Q200		
1	0+0.00	59	59.64	59.69	59.71	59.73	59.76	65.86	69.376
2	0+0.50	59.192	60.11	60.17	60.2	60.23	60.27	63.594	64.382
3	0+0.100	59.203	60.24	60.31	60.34	60.37	60.41	74.29	68.931
4	0+0.150	60.657	60.87	60.92	60.93	60.95	60.98	86.27	86.285
5	0+0.200	61.24	61.74	61.78	61.8	61.82	61.84	80.578	67.445
6	0+0.250	61.282	62.15	62.21	62.24	62.26	62.3	65.97	64.711
7	0+0.300	62.29	62.84	62.89	62.92	62.95	62.98	75.594	72.822
8	0+0.350	62.865	63.51	63.55	63.57	63.59	63.61	75.471	72.822
9	0+0.400	64.166	64.71	64.76	64.78	64.8	64.82	73.841	76.729
10	0+0.450	64.78	65.34	65.38	65.4	65.42	65.45	77.94	79.107
11	0+0.500	66.93	67.41	67.44	67.46	67.48	67.5	78.85	76.677

PENUTUP

Kesimpulan

1. Hujan rencana dengan kala ulang 5 tahun sebesar 95,08 mm/jam, 25 tahun sebesar 128,67 mm/jam, 50 tahun sebesar 144,86 mm/jam, 100 tahun sebesar 162,43 mm/jam, 200 tahun sebesar 181,55 mm/jam.
2. Debit banjir rencana dengan model HEC-HMS 3.5 diperoleh debit banjir untuk kala ulang 5 tahun sebesar 123,3 m³/dtk, 25 tahun 139,5 m³/dtk, 50 tahun 146,7 m³/dtk, 100 tahun 154,4 m³/dtk, dan 200 tahun 164,0 m³/dtk.
3. Tinggi muka air dari hasil run model HEC-RAS terhadap debit banjir kala ulang 5, 25, 50, 100 dan 200 tahun tidak mengakibatkan luapan pada elevasi dititik jembatan yaitu pada sta 0+00 di elevasi 65,85 sehingga keberadaan jembatan tersebut aman.
4. Pada model HEC-RAS 4.1.0 didapat tinggi muka air pada sta 0 hingga sta 500 dengan debit banjir rencana kala ulang 5 tahun, 25 tahun, 50 tahun, 100 tahun, dan 200 tahun tidak terjadi luapan.

Saran

- Bentuk penampang sungai yang masih alami sebaiknya tetap dijaga dan dipelihara dengan memperhatikan kebersihan disekitar sungai dengan tidak membuang sampah pada sungai tersebut.
- Perencanaan pembangunan waduk di daerah tersebut juga kiranya membawa dampak positif pada debit dan tinggi muka air yang terjadi di sungai tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- _____, 2010. *HEC-RAS 4.1.0 River Analysis System*. Hydrologic Engineering Center U.S. Army Corps of Engineers, USA.
- _____, 2013. *HEC-HMS 4.0 Hydrologic Modeling System*. Hydrologic Engineer Center U.S Army Corps of Engineer, USA.
- _____, *Data Hujan Harian Stasiun Winangun*, Balai Wilayah Sungai Sulawesi I, Manado.
- _____, *Data Hujan Harian Stasiun Rumengkor*, Balai Wilayah Sungai Sulawesi I, Manado.
- _____, *Data Hujan Harian Stasiun Paleloan*, Balai Wilayah Sungai Sulawesi I, Manado.
- _____, *Data Hujan Harian Stasiun Noongan*, Balai Wilayah Sungai Sulawesi I, Manado.
- Triatmodjo, Bambang., 2008. *Hidrologi Terapan*, Betta Offset, Yogyakarta. Hal 182, 186, 250
- Sumarauw, Jeffry., 2015. *Analasis Frekuensi Hujan (bahan ajar Irigasi 2)*
- Sumarauw, Jeffry., 2015. *Hidrograf Satuan (bahan ajar Irigasi 2)*
- Ilhamsyah Yopi, 2012. *Nash dan Sutcliffe*