

STUDI PENYEBAB BANJIR SUNGAI TONDANO DIANALISIS DARI JENIS HUJAN SIKLONIK, KONVEKTIF DAN HUJAN OROGRAFIK

Marlyn Marice Jane Bertan,
Cindy J Supit, Isri R Mangangka.

Prodi S2 Teknik Sipil Pascasarjana Universitas Sam Ratulangi Manado
e-mail : Orivilyn@yahoo.com

ABSTRAK

Banjir dan masalah genangan air di muara Sungai Tondano yang terletak di Wilayah Kota Manado, yaitu di Wilayah Kecamatan Tikala dan Kecamatan Bunaken, merupakan masalah berulang kali terjadi dan waktu kejadiannya pada musim penghujan. Akibat banjir dan genangan air menyebabkan rusaknya bangunan milik masyarakat, bangunan infra struktur milik Pemerintah dan milik Swasta bahkan menyebabkan korban jiwa.

Banjir dan genangan air di Kota Manado yang paling parah adalah banjir dan genangan air yang terjadi pada tanggal 15 Januari Tahun 2014. Banyak penelitian telah dilakukan oleh berbagai pihak tentang banjir di Kota Manado, dari hasil penelitian yang telah dipublikasi pada umumnya menyatakan bahwa penyebab banjir di Kota Manado, antara lain perubahan tata guna lahan daerah aliran sungai (DAS) Tondano telah berubah fungsi, terjadi erosi tebing sungai, degradasi dan agradasi dasar Sungai Tondano, permukiman di bantaran sungai, pembuangan sampah di alur sungai dan fungsi drainase perkotaan tidak optimal.

Studi yang dilakukan pada tesis ini untuk meneliti penyebab banjir di Kota Manado dianalisis dari jenis hujan siklonik, konvektif dan jenis hujan orografik yang didasarkan dari data klimatologi dan data curah hujan yang bersumber dari BMKG Kota Manado dan bursumber dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi I Manado.

Analisis hujan rancangan dari hujan siklonik, konvektif dan hujan orografik dari stasiun pencatat curah hujan yang terdapat di DAS Tondano akan dapat mengidentifikasi penyebab banjir yang selalu terjadi selama ini di Kota Manado.

Kata Kunci: *Hujan Siklonik, Konvektif, Orografik, banjir dan genangan air*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

DAS sungai Tondano yang bermuara di Wilayah Kota Manado umumnya cenderung berubah fungsi, misalnya sebelumnya lahan berupa hutan berubah menjadi lahan perkebunan dan perkampungan (rural), lahan di dalam DAS sebelumnya berupa rural kemudian berubah menjadi areal permukiman dan berubah menjadi wilayah perkotaan, lahan permukaan tanah sebelumnya berupa rerumputan, semak-semak atau perkebunan kemudian berubah menjadi atap bangunan, beton dan aspal, semua proses yang ini menyumbang semakin besarnya koefisien limpasan yang mengalirkan air masuk kedalam alur sungai dan berakhir melalui Wilayah Kota Manado sebagai muaranya.

Tahun 2010 bulan Desember (Tanggal 09,10,11) Tahun 2011 bulan April (Tanggal

25,26,27), Tahun 2012 bulan Maret (Tanggal 01,02,03), Tahun 2013 bulan Februari (Tanggal 16,17,18), dan Tahun 2014 bulan Januari (Tanggal 14,15,16) sungai Tondano menyebabkan banjir dan genangan air di Wilayah Kota Manado Disadari bahwa penyebab banjir tidak hanya disebabkan oleh parameter atau variabel-variabel yang terdapat di permukaan suatu DAS, akan tetapi ditentukan juga oleh variable dan parameter yang terdapat di atmosfer. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang penyebab banjir yang disebabkan jenis hujan yang turun dari atmosfer yang jatuh di DAS Tondano yang muaranya mengalir di Kota Manado.

Perumusan Masalah

Identifikasi banjir dan genangan air di Wilayah Kota Manado yang disebabkan oleh jenis hujan siklonik, hujan konvektive dan hujan orografik akan memberikan informasi

tentang karakteristik banjir dan genangan air yang selalu terjadi di Wilayah Kota Manado.

Pembatasan Masalah

Pelaksanaan penelitian ini dibatasi pada:

- 1) Data curah hujan harian di masing-masing stasiun curah hujan, sumber data curah hujan dari BMKG Sulawesi Utara dan dari BWSS I Manado.
- 2) Analisis hujan rancangan dari setiap stasiun pencatat curah hujan yang terdapat di DAS Tondano.
- 3) Analisis debit banjir dari hujan rancangan setiap tahun.
- 4) Mengidentifikasi tendensi banjir dan genangan air di Kota Manado berdasarkan curah hujan siklonik, konvektif dan hujan orografik.

Tujuan Penelitian

1. Meneliti tentang klimatologi dan curah hujan di DAS Tondano.
2. Analisis hujan rancangan dari data curah hujan dari DAS Tondano.
3. Mendapatkan hasil penelitian tentang penyebab banjir dan genangan air di Wilayah Kota Manado yang disebabkan oleh curah hujan siklonik, konvektif dan hujan orografik.

TINJAUAN PUSTAKA

Sudamara dkk (2012) melakukan penelitian Optimasi Penanggulangan Bencana Banjir di Kota Manado dengan Metode AHP (Analytical Hierarchy Process); Jenis penelitian ini adalah penelitian deskriptif eksploratif dengan menggunakan metode analisa data kualitatif. Penelitian ini bertujuan menentukan bobot prioritas dari setiap factor resiko dalam upaya meminimalkan resiko terjadinya bencana banjir di kota manado. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor resiko kebiasaan masyarakat memiliki bobot terbesar yaitu 52%, faktor resiko kedua yang perlu di seriusi adalah daerah resapan dengan bobot 17%, faktor resiko ketiga yang perlu menjadi perhatian adalah pengelolaan DAS dengan bobot 17% yang sama pentingnya dengan faktor resiko daerah resapan, faktor resiko keempat yaitu aliran permukaan dengan bobot 13%, dan faktor resiko ke lima yaitu pendangkalan sungai dengan bobot 4.

Sutopo Purwo Nugroho (2002); Evaluasi dan analisis curah hujan sebagai faktor penyebab banjir di Jakarta. Curah hujan yang terjadi sejak tanggal 26 januari hingga 1 february 2002 menyebabkan meluapnya sungai dan saluran drainase. Banjir yang terjadi menyebar hingga menggenangi beberapa daerah di Jakarta. Tinggi genangan mencapai 5 meter. Banjir tersebut menggenangi 42 kecamatan di Jakarta dengan 168 kelurahan (63,4%) dari seluruh kelurahan yang ada di Jakarta. Luas genangan mencapai 16.041 hektar atau 24,25% dari luas DKI Jakarta. Curah hujan yang tertinggi yang menyebabkan banjir tersebut tercatat di Bekasi sebesar 250mm per hari yang merupakan curah hujan harian maksimum dengan periode ulang 150 tahun.

Tommy, Tiny Mananoma, Lambertus Tanudjaja (2015) Analisis Debit Banjir Rencana di Sungai Tondano berdasarkan Simulasi Curah hujan Rencana; salah satu penyebab terjadi banjir yaitu intensitas curah hujan dengan durasi yang panjang. Mengingat intensitas curah hujan merupakan 76 imar alam yang tak dapat dihindari, maka diperlukan suatu analisis debit banjir berdasarkan simulasi data curah hujan yang ada. Penentuan debit banjir ini menggunakan metode rasional yang kemudian di buat suatu simulasi curah hujan rencana. Berdasarkan simulasi curah hujan rencana ini kemudian kombinasi periode ulang tertentu tiap-tiap stasiun. Tujuan penelitan ini adalah untuk memperoleh besaran debit banjir rencana dengan beberapa kombinasi periode ulang yang disesuaikan dengan pola hujan di DAS Tondano. Untuk menghitung debit banjir di sungai tondano digunakan data hujan harian maksimum selama 20 tahun dari 6 stasiun yaitu stasiun Rumengkor, stasiun Kaleosan, stasiun Sawangan, stasiun Noongan, stasiun Paleloan, dan stasiun Molompar. Dengan periode pencatatan tahun 1995 sampai dengan 2014 dan menggunakan peta Topografi skala 1:200 berdasarkan kombinasi yang ada diperoleh total 30 kombinasi debit rencana, dengan 22 alternatif berbeda. Hasil penilitan diperoleh bahwa dari data pola curah hujan yang ada (2010-2014) memberikan kombinasi terbesar pada tanggal 15 januari tahun 2014 dengan perolehan debit rencana terbesar adala 783,62891 m³/detik (alternative 20).

Sukarno, Isri Mangangka dkk, 2015, Studi penyebab Banjir Tahun 2014 di Kota

Manado Tahap I, dari hasil penelitian yang telah dilakukan menyatakan penyebab banjir di Wilayah Kota Manado antara lain oleh karena perubahan tata guna lahan DAS Tondano dan DAS Sawangan dan DAS Sario, Koefisien limpasan semakin besar, degradasi dan agradasi dasar sungai semakin tidak terkendali, erosi tebing sungai, permukiman di bantaran sungai, pembuangan sampah pada alur sungai dan fungsi drainase perkotaan yang tidak optimal.

Sukarno, Semual Rompis dkk, 2016, Studi Banjir Tahun 2014 di Kota Manado Tahap II, dari hasil penelitiannya menyatakan bahwa muara Sungai Tondano dan muara Sungai Sawangan tidak lagi memiliki palung sungai, bantaran sungai, sempadan sungai yang memadai, sehingga semakin besarnya aliran banjir yang melalui muara Sungai Tondano dan muara Sungai Sawangan sejalan dengan semakin besarnya nilai koefisien limpasan menyebabkan terjadi banjir dan genangan air di Wilayah Kota Manado semakin parah.

Dundu (2014), Banjir kota Manado tahun 2014 merupakan bencana yang disebabkan oleh alam yang memiliki dampak terbesar dari segi luas genangan dan kerusakan fasilitas dibandingkan dengan banjir-banjir sebelumnya. Periode ulang banjir berdasarkan data yang ada tidak melebihi 5 tahun. Hal ini berarti pemerintah dan masyarakat sudah harus sesegera mungkin dalam waktu yang tidak terlalu lama. Mitigasi dan kontijensi merupakan hal yang harus sesegera mungkin dilaksanakan oleh pemerintah dan masyarakat.

Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi merupakan proses kontinyu dimana air bergerak dari bumi ke atmosfer dan kemudian kembali ke bumi. Air di permukaan tanah dan laut menguap ke udara. Uap air tersebut bergerak dan naik ke atmosfer, yang kemudian mengalami kondensasi dan berubah menjadi 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 run off*) 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 disebut dengan siklus Hidrologi. (Bambang Triatmodjo, 2008).

Matahari merupakan sumber tenaga bagi alam. Dengan adanya tenaga tersebut, maka dari seluruh permukaan di bumi akan dapat terjadi penguapan, baik dari muka tanah, permukaan pohon-pohonan dan permukaan air. Penguapan yang terjadi dari permukaan air dikenal dengan pengupana (*free water exaporation, evaporation*), sedangkan penguapan yang terjadi dari permukaan pohon-pohon dikenal dengan Transpirasi. Sebagai akibat terjadinya penguapan, maka akan dapat terbentuk awan yang apabila keadaan klimatologik memungkinkan, awan dapat terbawa ke darat dan dapat terbentuk menjadi awan pembawa hujan (*rain cloud*). Hujan baru akan terjadi apabila berat butir-butir air hujan tersebut telah lebih besar dari gaya tekan udara ke atas. Dalam keadaan klimatologis tertentu maka air hujan yang masih melayang tersebut dapat teruapkan kembali menjadi awan. Air hujan yang sampai ke permukaan tanah yang disebut hujan, dapat diukur. Hujan yang terjadi tersebut juga akan tertahan oleh mahkota pohon-pohon dan bangunan yang selanjutnya akan diuapkan kembali. Bagian air ini tidak dapat diukur dan merupakan bagian air yang hilang (*interception*).

Presipitasi / Hujan

Presipitasi adalah turunnya air dari atmosfer ke permukaan bumi; yang bisa berupa hujan, hujan salju, kabut, embun dan hujan es. Di daerah tropis termasuk Indonesia, yang memberikan sumbangan paling besar adalah hujan. Hujan berasal dari uap air atmosfer, sehingga bentuk dan jumlahnya dipengaruhi oleh factor klimatologi seperti angin, temperatur dan tekanan atmosfer. Uap air tersebut akan naik ke atmosfer sehingga mendingin dan terjadi kondensasi menjadi butir-butir air dan kristal-kristal es yang akhirnya jatuh sebagai hujan.

- Tipe-Tipe Hujan

Dalam proses pembentukan hujan, maka ada 2 syarat yang dipenuhi yaitu tersedianya udara lembab dan tersedianya sarana, Berikut tipe-tipe hujan berdasarkan proses terjadinya:

1) Hujan Konvektif

Di daerah tropis pada musim kemarau udara yang berada di dekat permukaan tanah mengalami pemanasan yang intensif. Pemanasan tersebut menyebabkan rapat massa udara berkurang, sehingga udara basah naik ke atas dan mengalami pendinginan sehingga terjadi kondensasi dan hujan. Hujan yang terjadi karena proses ini disebut hujan konvektif, yang biasanya bersifat setempat, mempunyai intensitas tinggi dan durasi singkat.

2) Hujan Siklonik

Jika massa udara panas yang relatif ringan bertemu dengan massa udara dingin yang relative berat, maka udara panas tersebut akan bergerak di atas udara dingin. Udara yang bergerak ke atas tersebut mengalami pendinginan sehingga terjadi kondensasi dan terbentuk awan dan hujan. Hujan yang terjadi disebut hujan siklonik, yang mempunyai sifat tidak terlalu lebat dan berlangsung dalam waktu lebih lama.

3) Hujan Orografik

Udara lembab yang tertiup angin dan melintasi daerah pegunungan akan naik dan mengalami pendinginan, sehingga terbentuk awan dan hujan. Sisi gunung yang dilalui oleh udara tersebut banyak mendapatkan hujan dan disebut lereng hujan, sedang sisi belakangnya yang dilalui udara kering (uap air telah menjadi hujan di lereng hujan) disebut lereng bayangan hujan. Daerah tersebut tidak permanen dan dapat berubah tergantung musim (arah angin). Hujan ini terjadi di daerah pegunungan (hulu DAS), dan merupakan pemasok air tanah, danau, bendungan dan sungai.

• Penentuan Hujan kawasan

Stasiun penakar hujan hanya memberikan kedalaman hujan di titik dimana stasiun tersebut berada; sehingga hujan pada suatu luasan harus diperkirakan dari titik pengukuran tersebut. Apabila pada suatu daerah terdapat lebih dari satu stasiun pengukuran yang di tempatkan secara terpencar, hujan yang tercatat di masing – masing stasiun tidak sama. Dalam analisis hidrologi sering diperlukan untuk menentukan

hujan merata pada daerah tinjauan, ada tiga metode untuk menentukan hujan merata, antara lain:

1. Metode rata – rata aljabar
2. Metode Poligon Thiessen
3. Metode garis Isohiet

Tetapi dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah *Metode Isohyet*. Isohyet adalah garis yang menghubungkan titik-titik dengan kedalaman hujan yang sama. Pada metode Isohyet, dianggap bahwa hujan pada suatu daerah diantara dua garis adalah merata dan sama dengan nilai rerata dari kedua garis isohyets tersebut. Pembuatan garis isohyets di lakukan dengan prosedur berikut ini:

- a. Lokasi stasiun hujan dan kedalaman hujan digambarkan pada peta daerah ditinjau.
- b. Dari nilai kedalaman hujan di stasiun yang berdampingan dibuat interpolasi dengan pertambahan nilai yang ditetapkan.
- c. Dibuat kurva yang menghubungkan titik-titik interpolasi yang mempunyai kedalaman hujan yang sama. Ketelitian tergantung pada pembuatan garis Isohyet dan intervalnya.
- d. Diukur luas daerah antara dua Isohyet yang berurutan dan kemudian dikalikan dengan nilai rerata dari nilai kedua garis Isohyet.
- e. Jumlah dari hitungan pada butir *d* untuk seluruh garis Isohyet dibagi dengan luas daerah yang ditinjau menghasilkan kedalaman hujan merata daerah tersebut. Secara matematis hujan merata tersebut dapat ditulis:

$$\bar{P} = \frac{A_1 \frac{I_1 + I_2}{2} + A_2 \frac{I_2 + I_3}{2} + \dots + A_n \frac{I_n + I_{n+1}}{2}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

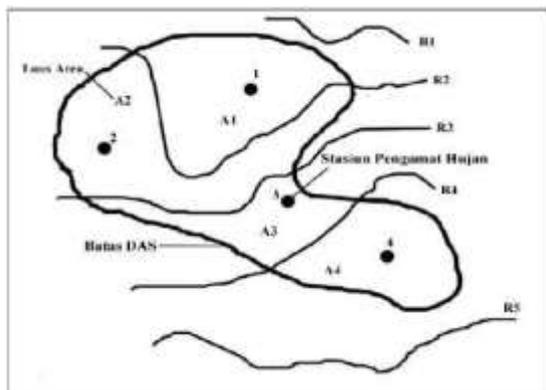
atau
$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \frac{I_i + I_{i+1}}{2}}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

dengan :

\bar{P} : hujan merata kawasan

I_1, I_2, \dots, I_n : garis isohyets ke 1, 2, 3 ... , n, n+1

A_1, A_2, \dots, A_n : luas daerah yang dibatasi oleh garis 78 ke 1 dan 2, 2 dan 3, ..., n dan n+1.



Gambar 1. Segmen Daerah Aliran Sungai
Sumber : Soemarto, 1987

Untuk mendapatkan curah hujan rata-rata digunakan metode Isohyet yang merupakan cara paling teliti untuk menghitung kedalaman hujan rata-rata di DAS Tondano. Dan dalam penulisan Tesis ini menggunakan Software ARC-GIS.

Elevasi model dari Satelit ASTER-GDEM dan dianalisis menggunakan Software ARC-GIS, dimana pemilihan pencatat stasiun curah hujan mengacu pada ketersediaan data curah hujan harian pada stasiun di daerah aliran sungai Tondano.

Langkah – langkah menghitung hujan rata-rata metode Isohyet dengan ArcGis:

1. Membuat Interpolasi dengan metode Natural Neighbor
2. Membuat garis Isohyet
3. Menghitung hujan rata-rata dengan metode Isohyet

Titik stasiun pengamatan curah hujan di pilih dengan metode GIS yang diperlukan sebagai referensi stasiun-stasiun pencatat curah hujan apa yang paling berpengaruh langsung pada DAS Tondano

Metode Hidrograf Satuan Sintetis Gama I

Perhitungan debit dilakukan dengan metode Hidrograf Satuan Sintetik Gamma 1 (HSS Gamma 1). Hidrograf aliran menggambarkan suatu distribusi waktu dari aliran atau debit di sungai dalam suatu DAS pada suatu lokasi tertentu. Ada hubungan erat antara hidrograf dengan karakteristik suatu DAS dimana hidrograf banjir dapat menunjukkan respon DAS terhadap limpasan air hujan. Menurut definisi hidrograf satuan sintetis adalah hidrograf limpasan langsung (tanpa aliran dasar) yang tercatat di ujung hilir DAS yang ditimbulkan oleh hujan efektif

sebesar satu satuan (1 mm, 1 cm, atau 1 inchi) yang terjadi secara merata di seluruh DAS dengan intensitas tetap dalam suatu satuan waktu tertentu (Subramanya, 1984; Ramirez, 2000, Triatmojo, 2008).

Parameter DAS yang diperlukan dalam perhitungan hidrograf satuan sintesis Gama I adalah sebagai berikut:

- Panjang alur sungai utama (L)
- Jarak antara titik berat DAS dengan outlet yang di ukur di sepanjang aliran utama (L_c)
- Kemiringan memanjang dasar sungai (S)
- Kerapatan jaringan (D), perbandingan antara panjang total aliran sungai (jumlah panjang sungai semua tingkat) dengan luas DAS.
- Faktor sumber (SF) yaitu perbandingan antara jumlah panjang sungai tingkat 1 dengan jumlah panjang sungai semua tingkat.

Rumus-rumus yang dipergunakan dalam menurunkan HSS Gama I (I Made Kamiana, 2010) adalah sebagai berikut :

- $T_r = 0,43 \left(\frac{L}{100SF} \right)^3 + 1,0665SIM + 1,2775$
- $T_b = 27,4132T_r^{0,1457} S^{-0,0986} SN^{0,7344} RUA^{0,2574}$
- $Q_p = 0,1836 A^{0,5886} T_r^{-0,4008} JN^{0,2381}$
- $K = 0,56 A^{0,1793} S^{-0,1446} SF^{-1,0897} D^{0,0452}$
- $Q_t = Q_p e^{(-t/k)}$

dimana:

- T_r = waktu puncak (jam)
- T_b = waktu dasar (jam)
- Q_p = debit puncak hidrograf (m^3/dtk)
- Q_t = debit pada bagian turun hidrograf (m^3/dtk)
- K = tampungan (jam)
- JN = jumlah pertemuan sungai

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi penelitian secara administrasi terletak di DAS Tondano dan DAS Tikala meliputi wilayah Kabupaten Minahasa induk, Kabupaten Minahasa Utara dan wilayah Kota Manado. Secara geografi DAS Tondano terletak di antara $1^{\circ} 07' 131''$ LU dan terletak di antara $124^{\circ} 02' 125''$ BT memanjang dari selatan ke utara yaitu kota Manado. Luas kawasan ini sekitar $544,13 \text{ km}^2$ termasuk di dalamnya Danau Tondano seluas 8% total luas DAS Tondano. Daerahnya bercirikan perbukitan dan pegunungan dengan sekitar 25% lahan memiliki kemiringan. Danau

terletak di sebelah selatan (hulu) DAS Tondano. Sungai Tondano mengalir melewati lembah sebelah barat Gunung Klabat Kota Manado dan bermuara di Teluk Manado yang berdekatan dengan Taman Nasional Bunaken.

Pengumpulan Data

Tahapan awal dalam memulai penelitian ini adalah pengumpulan data yang dilakukan dengan cara mengunjungi lembaga atau instansi terkait sebagai sumber data untuk dimintai keterangan mengenai data-data yang berhubungan dengan penelitian ini. Data yang dibutuhkan berupa:

1. Data curah hujan harian yang diambil dari masing-masing stasiun pencatat curah hujan, di tahun-tahun banjir 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 dan Data iklim yang

diperoleh dari BMKG Sulawesi Utara dan dari BWSS I Manado.

2. Peta Daerah Aliran Sungai Tondano yang di peroleh dari BPDAS Tondano.
3. Data dari penanggulangan bencana: Banjir, yang disebabkan dari DAS Tondano.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Curah Hujan Rencana

Data curah hujan yang dianalisis adalah data sekunder yaitu data curah hujan harian (mm) dengan pencatat hujan otomatis yang terletak di dalam DAS Tondano dan sekitarnya. Data curah hujan yang digunakan dalam penulisan ini adalah data curah hujan harian H-1 Sebelum banjir, disaat banjir dan H=1 sesudah banjir di bulan Desember 2010, April 2011, Maret 2012, Februari 2013, Januari 2014.

Tabel 1. Curah Hujan Harian Semua Stasiun Tahun 2010

Stasiun	Lintang	Bujur	9 Des	10 Des	11 Des
BMKG Minut	1.498333	124.8983	21	65	11
BP3K Tondano Barat	1.300000	124.9042	7	66	2
BMKG Tondano	1.295000	124.9250	7	41	1
UPTD Kombi	1.240000	124.9731	59	0	6
UPTD Kawangkoan	1.201111	124.7900	22	2	39
SPP Kalasey	1.446389	124.7683	118	1	0
KD Tambala	1.400278	124.6853	18	75	48
BP3K Langowan	1.176944	124.8619	16	43	0
BMKG Winangun	1.450000	124.8400	12	100	0
KP Pandu	1.575833	124.8786	2	27	3
Kkel Kairagi	1.500000	124.9000	22	63	11
KC Tuminting	1.509444	124.8483	23	37	0
BWS Noongan	1.149557	124.8472	1	14.8	1.8
BWS Rumengkor	1.387022	124.9026	1	1	10
BWS Pentu	1.201907	124.6106	49.1	39.3	26.5
BWS Tara-tara	1.325953	124.7753	156	1	65.1
BWS Tinoor	1.390933	124.8234	101.7	12.9	37.8
BWS Kakaskasen	1.343403	124.8404	60	45	40
BWS Kaleosan	1.426884	124.9191	1	1	1
BWS Sawangan	1.448222	124.8882	9.6	123	1.6
BWS Molompar	1.038054	124.7750	0	0	0
BWS Pinenek	1.585585	125.1249	2.8	47.7	0.8
BWS Paleloan	1.247729	124.8961	11.4	45.4	0.6
BWS Talawaan	1.530710	124.9607	1	1	1

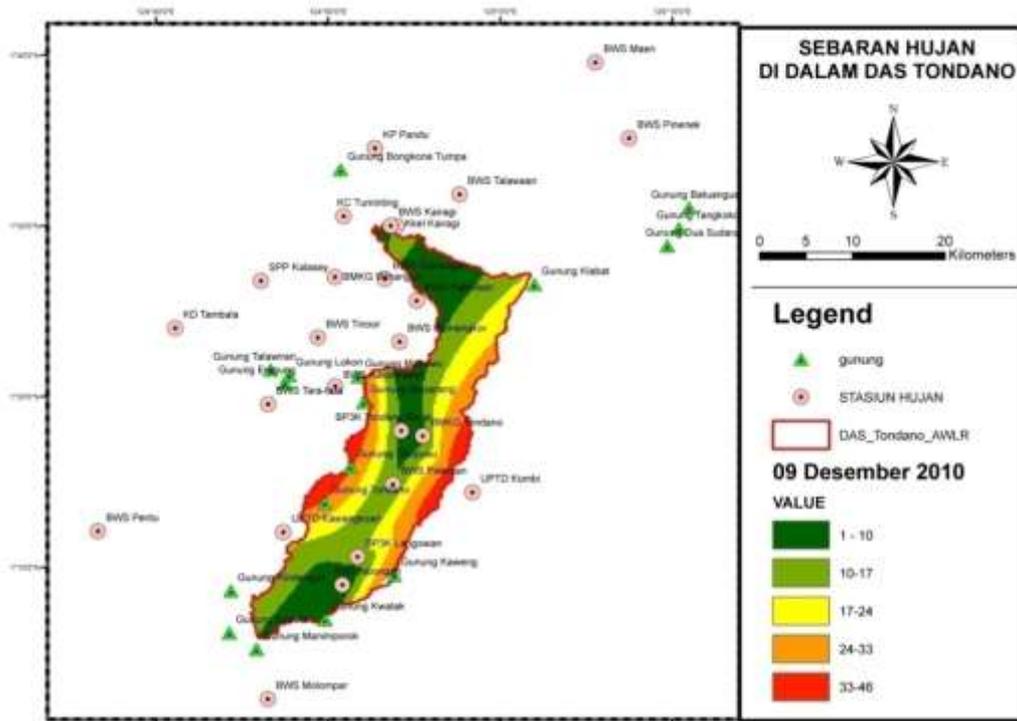
Sumber: BWSS 1

Analisis Curah Hujan Rata-Rata

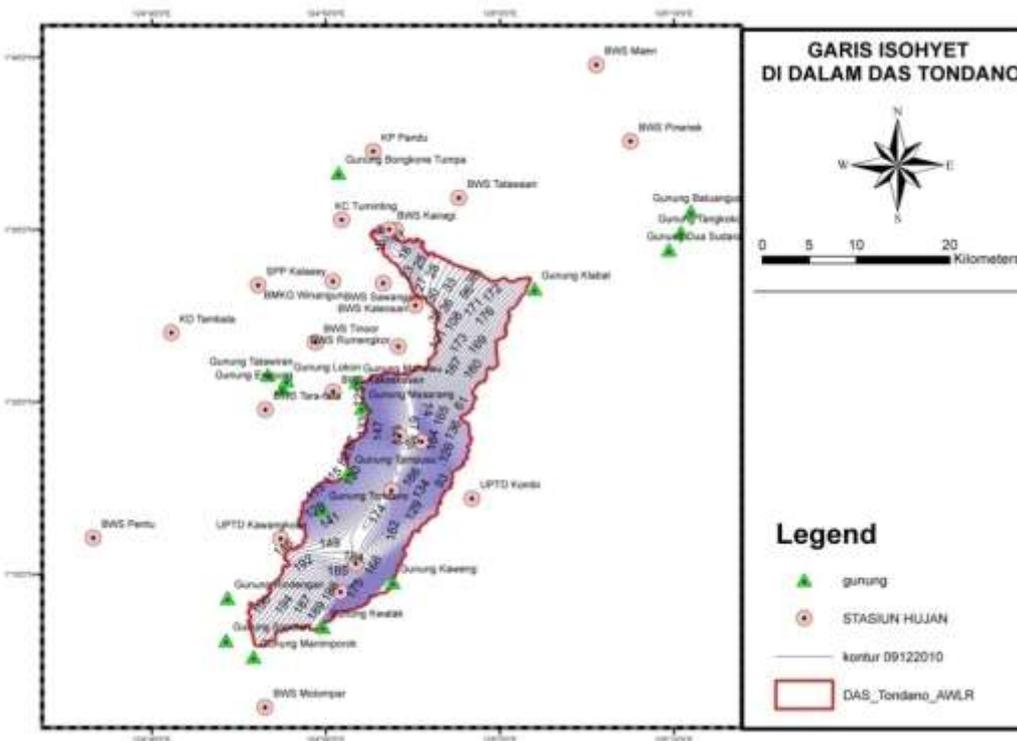
Metode Isohyet

Titik stasiun pengamatan curah hujan di pilih dengan metode GIS yang diperlukan

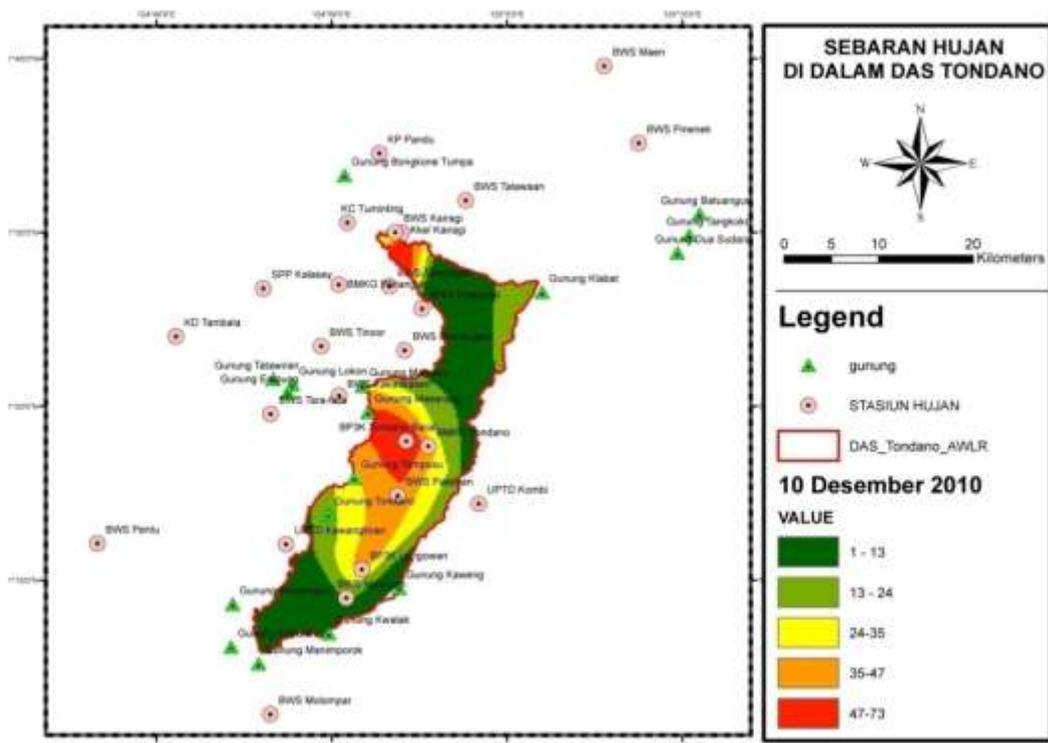
sebagai referensi stasiun-stasiun pencatat curah hujan apa yang paling berpengaruh langsung pada DAS Tondano.



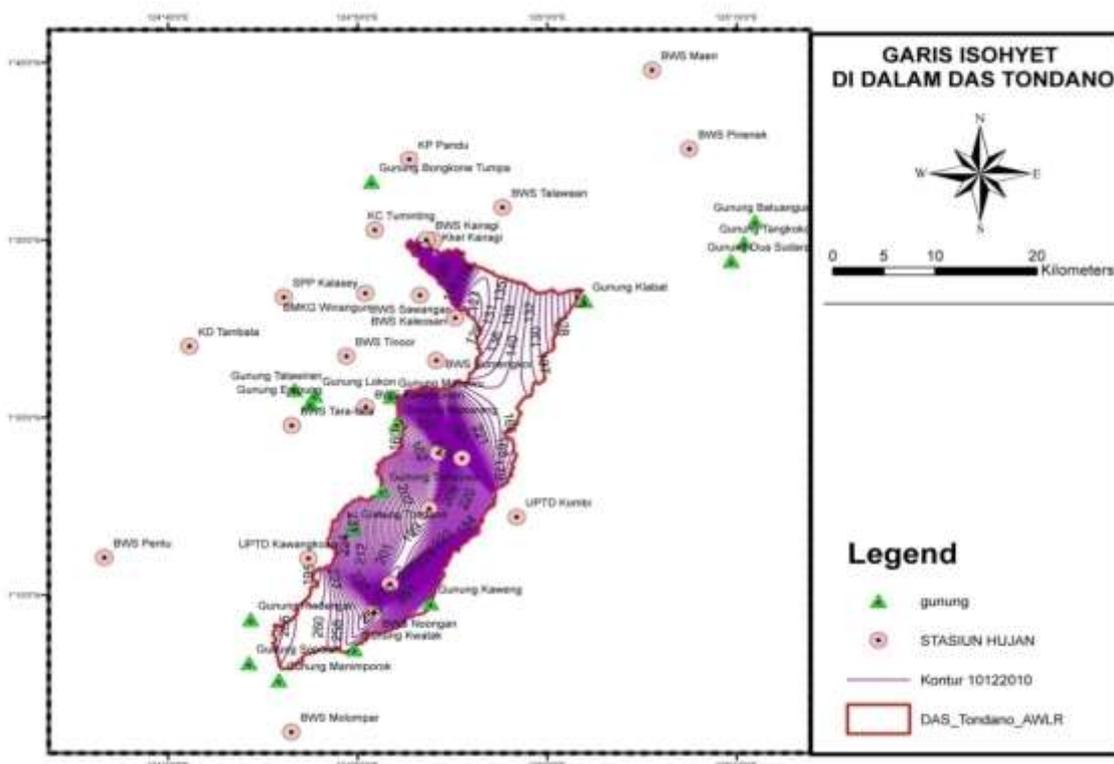
Gambar 2. Sebaran Hujan DAS Tondano Tanggal 9 Desember 2010



Gambar 3. Garis Isohyet DAS Tondano Tanggal 9 Desember 2010



Gambar 4. Sebaran Hujan DAS Tondano Tanggal 10 Desember 2010



Gambar 5. Garis Isohyet DAS Tondano Tanggal 10 Desember 2010

Tabel 2. Kedalaman Curah Hujan 2010

Tanggal	Kedalaman Hujan (mm)	Luas (Km2)
09 Desember 2010	1-10	136,34
	11-17	171,52
	18-24	109,36
	25-33	86,52
	34-46	37,34
10 Desember 2010	1-13	213,70
	14-24	118,97
	25-35	81,62
	36-47	86,20
	48-73	40,59
11 Desember 2010	1-5	349,26
	6-11	56,87
	12-17	62,60
	18-24	50,00
	25-34	22,33

Sumber: Hasil perhitungan

Pemilihan Tipe Distribusi

Jenis Distribusi	Persyaratan
Normal	$C_s \approx 0$ $C_k \approx 3$
Log Normal	$C_s = Cv^3 + 3Cv$ $C_k = Cv^8 + 6Cv^6 + 15Cv^4 + 16Cv^2 + 3$
Gumbel	$C_s \approx 1.14$ $C_k \approx 5.4$
Log Pearson III	Selain dari nilai di atas

Dari hasil tinjauan parameter statistik, untuk jenis distribusi digunakan log person III yang memenuhi syarat batas.

Analisis Debit Banjir Rencana

Dalam menghitung debit banjir rencana dengan menggunakan Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) GAMA I, dengan data-data yang tersedia sebagai berikut:

- Luas DAS : 444,48 km²
- Panjang Sungai Utama: 45 km
- SF : 0,542
- SN : 0,525
- WF : 1,441
- RUA : 0,451
- SIM : 0,65
- S : 0,0177
- D : 1,205

Kemudian diperoleh variable-variabel HSS AMA I sebagai berikut:

$T(\text{Waktu Naik}) = 2.22 \text{ jam}$

Qp (Debit Puncak) = 17.56 m³/det
 TB (Waktu Dasar) = 29.92 jam
 K (Koefisien Tampung) = 5.90
 QB (Base Flow) = 28.80 m³/det
 JN : 226

Hujan Efektif (Re) di peroleh $\Phi = 9.8151$ m³/det

Perhitungan Debit Jam-Jaman menggunakan persamaan debit jam jam-an yaitu dihitung nilai Qt . t yang digunakan sampai 30 jam,
 $Qt = Qp.e^{-tk}$

Tabel 3. Perhitungan Debit Jam-jaman 2010

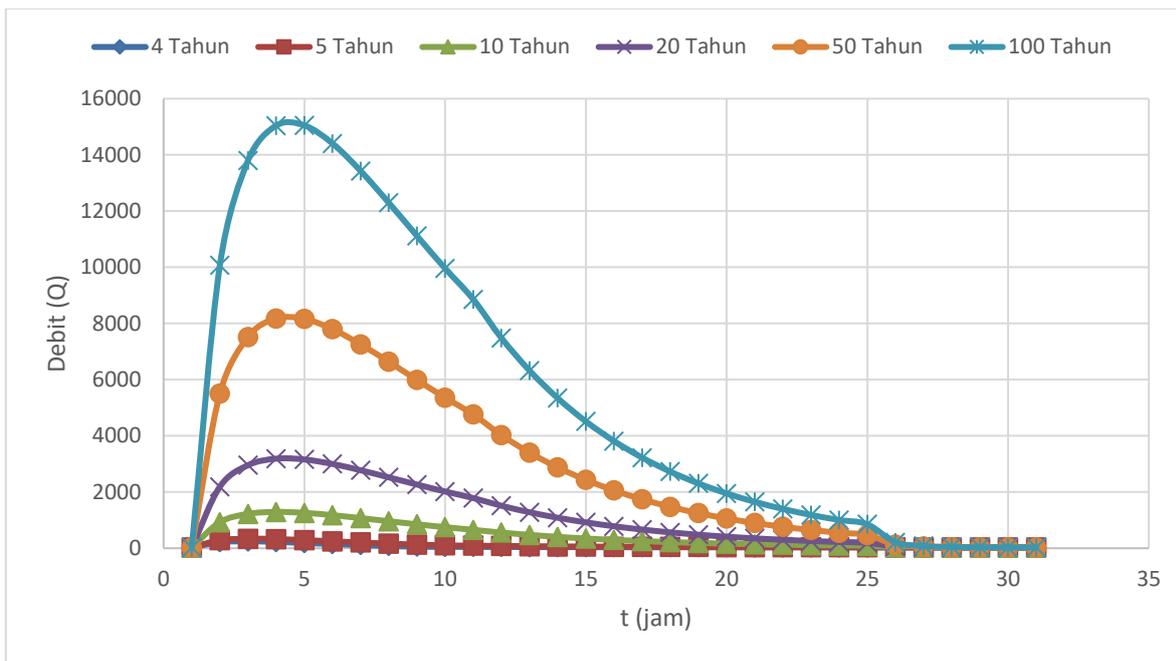
t	Qp	k	t/k	e	Qt
(jam)	(m3/det)	(jam)			(m3/det)
1	17.553	5.904	0.169	2.718	14.81767
2	17.553	5.904	0.339	2.718	12.50884
3	17.553	5.904	0.508	2.718	10.55977
4	17.553	5.904	0.678	2.718	8.91439
5	17.553	5.904	0.847	2.718	7.52539
6	17.553	5.904	1.016	2.718	6.35281
7	17.553	5.904	1.186	2.718	5.36294
8	17.553	5.904	1.355	2.718	4.52731
9	17.553	5.904	1.524	2.718	3.82188
10	17.553	5.904	1.694	2.718	3.22637
11	17.553	5.904	1.863	2.718	2.72365
12	17.553	5.904	2.033	2.718	2.29927
13	17.553	5.904	2.202	2.718	1.94100
14	17.553	5.904	2.371	2.718	1.63856
15	17.553	5.904	2.541	2.718	1.38325
16	17.553	5.904	2.710	2.718	1.16772
17	17.553	5.904	2.880	2.718	0.98577
18	17.553	5.904	3.049	2.718	0.83217
19	17.553	5.904	3.218	2.718	0.70251
20	17.553	5.904	3.388	2.718	0.59304
21	17.553	5.904	3.557	2.718	0.50064
22	17.553	5.904	3.726	2.718	0.42263
23	17.553	5.904	3.896	2.718	0.35678
24	17.553	5.904	4.065	2.718	0.30119
25	17.553	5.904	4.235	3.718	0.06748
26	17.553	5.904	4.404	4.718	0.01892
27	17.553	5.904	4.573	5.718	0604
28	17.553	5.904	4.743	6.718	0209
29	17.553	5.904	4.912	7.718	077
30	17.553	5.904	5.082	8.718	029

Sumber: Hasil perhitungan

Debit maksimum dihitung berdasarkan Periode Ulang meliputi 4 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 20 tahun, 50 tahun, hingga 100 tahun. Berikut perhitungannya dalam bentuk tabel.

Tabel 4. Debit Banjir rencana HSS GAMA I Untuk Berbagai periode ulang.10 desember 2010

t (jam)	Debit Maksimum (m ³ /det)					
	4 thn	5 thn	10 thn	20 thn	50 thn	100 thn
0	28.802606	28.8026	28.80261	28.80261	28.8026	28.8026
1	219.11366	285.738	928.4682	2188.528	5504.57	10069.8
2	246.50044	338.174	1222.563	2956.389	7519.22	13801
3	225.46085	325.676	1292.466	3187.837	8175.8	15042.8
4	188.95004	289.457	1259.055	3159.933	8162.39	15049.4
5	149.80171	246.22	1176.373	2999.921	7798.87	14405.7
6	113.39869	203.444	1072.119	2775.139	7256.91	13427
7	81.851473	164.456	961.3478	2523.638	6635.05	12295.3
8	55.722571	130.545	852.3625	2267.471	5991.55	11118.6
9	51.528015	101.968	749.6301	2019.358	5360.85	9961.13
10	47.987036	90.568	655.364	1786.358	4762.75	8860.39
11	44.997798	80.944	557.7358	1512.503	4025.12	7484.29
12	42.474331	72.8195	475.3196	1281.319	3402.43	6322.6
13	40.34406	65.961	405.7452	1086.157	2876.77	5341.93
14	38.545719	60.1711	347.0116	921.4044	2433.01	4514.06
15	37.027588	55.2834	297.4296	782.3229	2058.4	3815.19
16	35.746005	51.1573	255.5733	664.9125	1742.15	3225.21
17	34.664114	47.6741	220.2388	565.7965	1475.19	2727.16
18	33.750798	44.7336	190.41	482.1244	1249.82	2306.71
19	32.979792	42.2513	165.229	411.4897	1059.56	1951.78
20	32.32892	40.1558	143.9716	351.861	898.955	1652.15
21	31.779464	38.3868	126.0265	301.5234	763.371	1399.2
22	31.315623	36.8934	110.8774	259.0291	648.914	1185.67
23	30.924055	35.6327	98.08889	223.1562	552.291	1005.42
24	30.5935	34.5685	87.29299	192.8728	470.723	853.243
25	29.203846	30.0944	41.90705	65.56163	127.812	213.514
26	28.91513	29.1649	32.47763	39.11134	56.569	80.6033
27	28.838526	28.9183	29.97573	32.0933	37.666	45.3381
28	28.815054	28.8427	29.20916	29.94302	31.8743	34.5331
29	28.807166	28.8173	28.95153	29.22036	29.9278	30.9018
30	28.804343	28.8082	28.85933	28.96173	29.2312	29.6022



Gambar 6. Hidrograf Debit Maksimum Dengan Periode Ulang Tertentu Tahun 2010

Tabel 5. Identifikasi Jenis Hujan berdasarkan Peristiwa Banjir

Peristiwa Banjir	Kedalaman Hujan (mm)	Durasi Hujan (Jam)	Luas (Km ²)	Data AWLR (m ³ /det)	Jenis Hujan
2010	H-1	24	541.080	328,836	Siklonik
	H				
	H+1				
2011	H-1	24	541.080	367,873	Konvektif
	H				
	H+1				
2012	H-1	24	541.080	416,812	Konvektif
	H				
	H+1				
2013	H-1	24	541.080	104,354	Konvektif
	H				
	H+1				
2014	H-1	24	541.080	360,380	Siklonik
	H				
	H+1				

PEMBAHASAN

1. Banjir yang terjadi Desember 2010 :
 - ✓ Bila dilihat berdasarkan data di dalam Tabel diatas, Besaran kedalaman curah hujan pada H-1, hari H dan H+1 sangat besar dengan waktu hujan 72 jam. Curah hujan yang paling tinggi terdapat di Stasiun dibagian hilir DAS Tondano.
 - ✓ Adanya pengaruh angin siklon yang terjadi di tahun ini.
 - ✓ Sesuai dengan data AWLR debit yang terjadi saat itu 328,836 m³/det, dan berdasarkan hasil analisis di dapati debit maksimum 325,676 m³/det pada hujan dengan kala ulang 5 tahun.
 - ✓ Jenis Hujan pada tahun tersebut lebih cenderung sebagai hujan Siklonik
2. Banjir yang terjadi April 2011 :
 - ✓ Sesuai dengan data AWLR debit yang terjadi saat itu 367,873 m³/det, berdasarkan hasil analisis di dapati debit maksimum 388,369 m³/det pada hujan dengan kala ulang 5 tahun.
 - ✓ Berdasarkan data sebaran hujan terjadi curah hujan yang tinggi di stasiun di BWS Kairagi dan pada waktu itu tidak terjadi siklon, maka jenis hujan terjadinya banjir di tahun 2011 adalah hujan Konvektif.
3. Banjir yang terjadi Maret 2012 :
 - ✓ Sesuai dengan data AWLR debit yang terjadi saat itu 416,812 m³/det, berdasarkan hasil analisis di dapati debit maksimum 406,789 m³/det pada hujan dengan kala ulang 5 tahun.
 - ✓ Berdasarkan data sebaran hujan terjadi curah hujan yang tinggi di stasiun di BWS Kairagi, BMKG Tondano, BWS Paleloan, BP3K Tondano Barat dan pada waktu itu tidak terjadi siklon, maka jenis hujan terjadinya banjir tahun 2012 adalah jenis hujan Konvektif.
4. Banjir yang terjadi Februari 2013 :
 - ✓ Sesuai dengan data AWLR debit yang terjadi saat itu 104,354 m³/det, berdasarkan hasil analisis di dapati debit maksimum 111,543 m³/det pada hujan dengan kala ulang 5 tahun.
 - ✓ Berdasarkan data sebaran hujan terjadi curah hujan yang tinggi di stasiun di BWS Kairagi dan pada waktu itu tidak terjadi siklon, maka jenis hujan

terjadinya banjir di tahun 2013 adalah hujan Konvektif.

5. Banjir yang terjadi Januari 2014 :
 - ✓ Sesuai dengan data AWLR debit yang terjadi di saat itu 360,380 m³/det, berdasarkan hasil analisis di dapati debit maksimum 475,490 m³/det pada hujan dengan kala ulang 5 tahun.
 - ✓ Adanya pengaruh angin siklonik
 - ✓ Bila dilihat berdasarkan data sebaran hujan terjadi curah hujan yang tinggi di stasiun di BWS Noongan, UPTD Kawangkoan, BP3K Langowan, BWS Paleloan, BMKG Tondano, BP3K Tondano Barat, BWS Sawangan, BWS Kairagi, maka jenis hujan terjadinya banjir di januari 2014 adalah jenis hujan Siklonik.

PENUTUP

Kesimpulan

- 1) Iklim tropis Indonesia menyebabkan terjadinya 2 musim, yaitu musim kemarau dan musim hujan. Bulan terjadinya banjir di sepanjang tahun 2010 sampai 2014 adalah bulan dengan musim penghujan, yaitu bulan Oktober sampai dengan bulan April. Maka data curah hujan yang dikumpulkan adalah data curah hujan harian di bulan terjadinya banjir.
- 2) Dengan dianalisisnya hujan rancangan dari data curah hujan di DAS Tondano maka didapatkan debit banjir rencana sesuai dengan data debit AWLR lapangan dengan kala ulang 5 tahun. Tahun 2010 data AWLR debit 328,836 m³/det, dan debit maksimum 325,676 m³/det. Tahun 2011 data AWLR debit 367,873 m³/det, dan debit maksimum 388,369 m³/det. Tahun 2012 data AWLR debit 416,812 m³/det, dan debit maksimum 406,789 m³/det. Tahun 2013 data AWLR debit 104,354 m³/det, dan debit maksimum 111,543 m³/det. Tahun 2014 data AWLR debit 360,380 m³/det, dan debit maksimum 475,490 m³/det.
- 3) Berdasarkan hasil penelitian, penyebab banjir dan genangan air di Wilayah Kota Manado yang disebabkan oleh curah hujan Konvektif dan Orografik. Hujan Konvektif di banjir tahun 2011, 2012, 2013 dan hujan Siklonik di banjir tahun 2010 dan 2014.

Saran

1. Perlu adanya data klimatologi lengkap yang bisa di publikasikan untuk pengkajian jenis- jenis hujan berdasarkan proses terjadinya.
2. Untuk Area pegunungan sampai dengan sekarang ini belum terdapat atau belum dipasang ARR yang diperuntukan mencatat hujan orografik, sehingga apabila terjadi curah hujan jenis Orografik maka sebagian besar data kedalaman curah hujan dan durasi hujan tidak terekam, sehingga masih diperlukan stasiun pencatat curah hujan yang diletakan pada lereng-lereng gunung Mahawu, Klabat, lereng Gunung Lokon dan gunung-gunung yang ada di Daerah Aliran Sungai Tondano.
3. Bagi yang akan melakukan penelitian berhubungan dengan jenis hujan, disarankan agar menggunakan data curah hujan jam-jaman yang lebih komprehensif dan lengkap dengan waktu hujan dan intensitas kedalaman hujannya.
4. Berdasarkan informasi dari penelitian ini dapat dikembangkan kajian ilmiah penanganan banjir di sungai Tondano.

DAFTAR PUSTAKA

- Triatmodjo, Bambang., 2008. *Hidrologi Terapan*, Beta Offset Yogyakarta
- Soemarto, C. D., 1987. *Hidrologi Teknik*. Usaha Nasional, Surabaya.
- Sukarno, dkk. 2015, Studi Penyebab Banjir Tahun 2014 di Kota Manado Tahap I, Penelitian DIKTI/LPPM Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Sukarno, dkk. 2016, Studi Penyebab Banjir Tahun 2014 di Kota Manado Tahap II, Penelitian DIKTI/LPPM Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Tommy, Mananoma, T., Tanudjaja, L., 2015. *Analisis Debit Banjir di Sungai Tondano Berdasarkan Simulasi Curah Hujan Rencana*. Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado.
- Sudamara, Yoktan., Sompie, B. F., Mandagi, R. J. M., 2012. Optimasi Penanggulangan Bencana Banjir di Kota Manado dengan Metode AHP, *Jurnal Ilmiah Media Engineering Vol. 2, No. 4, November 2012 ISSN 2087-9334 (232-237)*
- Sutopo Purwo Nugroho, 2002. Evaluasi dan Analisis Curah Hujan sebagai Faktor Penyebab Bencana Banjir Jakarta, *Jurnal Sains Teknologi dan Modifikasi Cuaca Vol. 3 No 2 2002*.

Halaman ini sengaja dikosongkan