



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS SAM RATULANGI
FAKULTAS TEKNIK
UPT - PERPUSTAKAAN**

Jln. Kampus Unsrat Bahu, Manado 95115
Telp. (0431) 852959 ; Fax. (0431) 823705; e-Mail:fatek 02@ mdo.mega net.id

SURAT KETERANGAN

Nomor: **03** /PFT/2017

Yang bertanda tangan di bawah ini, Kepala UPT-Perpustakaan Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, menerangkan bahwa:

Nama : **Dr.Eng., Ir. Sukarno, MT.**
NIP : 19600621 199103 1 001
Pangkat / Golongan ruang : Pembina / IV/a
Jabatan : Lektor Kepala
Jurusan /Program Studi : Teknik Sipil /S1 Teknik Sipil

Telah menyerahkan Laporan Penelitian, sbb:

Laporan Hasil Riset Unggulan Perguruan Tinggi (RUPT) - Tahun 2015, berjudul Studi Penyebab Banjir Tahun 2014 di Kota Manado.

Untuk disimpan dan digunakan sebagai bahan bacaan pada UPT-Perpustakaan Fakultas Teknik Unsrat. Demikian surat keterangan ini untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Manado, 24 November 2016
a.n. Kepala UPT-Perpustakaan
Fakultas Teknik Unsrat,

Servie O. Dapas, ST., MT.
NIP. 19671003 199303 1 001

**LAPORAN HASIL
RISET UNGGULAN PERGURUAN TINGGI
(RUPT)**

*The development and upgrading of Seven Universities in Improving the Quality and
relevance of Higher Education in Indonesia*



JUDUL PENELITIAN :
STUDI PENYEBAB BANJIR TAHUN 2014
DI KOTA MANADO

Dr. Eng. Ir. SUKARNO, MT. (NIDN 0021066006)

Ir. Isri Ronald Mangangka, M. Eng., Ph. D. (NIDN 0024096505)

Ir. H. Fuad Halim, MT. (NIDN 0016055403)

Ir. Alex Binilang, MT. (NIDN0029015406)

**Dibiayai dari Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA)IBD
No. 023.04.1.673453/2015, Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi
Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi**

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SAM RATULANGI MANADO
2015**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : STUDI PENYEBAB BANJIR TAHUN 2014 DI KOTA MANADO

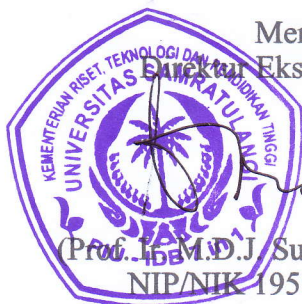
Peneliti/Pelaksana
Nama Lengkap : Ir. SUKARNO MT.
Perguruan Tinggi : Universitas Sam Ratulangi
NIDN : 0021066006
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
Program Studi : Teknik Sipil
Nomor HP : 08124495898
Alamat surel (e-mail) : sukarno091@yahoo.com

Anggota (1)
Nama Lengkap : Ir. ISRI RONALD MANGANGKA M.Eng., Ph.D.
NIDN : 0024096505
Perguruan Tinggi : Universitas Sam Ratulangi

Anggota (2)
Nama Lengkap : FUAD HALIM
NIDN : 0016055403
Perguruan Tinggi : Universitas Sam Ratulangi

Anggota (3)
Nama Lengkap : ALEX BINILANG
NIDN : 0029015406
Perguruan Tinggi : Universitas Sam Ratulangi

Institusi Mitra (jika ada)
Nama Institusi Mitra : -
Alamat : -
Penanggung Jawab : -
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 1 dari rencana 2 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp 75.000.000,00
Biaya Keseluruhan : Rp 200.000.000,00



Mengetahui,
Direktur Eksekutif PIU Unsrat

(Prof. I. M. D. J. Sumajouw, M.Eng, Ph.D.)
NIP/NIK 195812171988031002

Manado, 30 - 11 - 2015
Ketua,

(Ir. SUKARNO MT.)
NIP/NIK 196006211991031001

KATA PENGANTAR

Penelitian dengan judul Studi Penyebab Banjir Tahun 2014 di Kota Manado, telah dilaksanakan sesuai dengan Surat Tugas yang dikeluarkan oleh Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat Universitas Sam Ratulangi, No. 62 /UN 12.13/PL/2015, pelaksanaan penelitian akan dilaksanakan selama 1 Tahun, wilayah penelitian meliputi DAS Sungai Tondano dan DAS Tikala.

Variabel dan parameter penelitian disusun berdasarkan data sekunder dan data primer yang diperoleh dari hasil survei dan pengukuran di lapangan dan dari hasil survei di instansi teknis yang berkaitan dengan DAS Tondano dan DAS Tikala, variabel dan parameter juga disusun berdasarkan hasil analisis dengan dengan landasan teori yang telah ditentukan dalam penelitian ini.

Dari hasil survei data primer dan sekunder menunjukkan bahwa dari tahun ke tahun DAS Tondano dan DAS Tikala telah mengalami perubahan fungsi tata guna lahan, yaitu pada mulanya DAS Tondano sebagian besar berupa hutan, perkebunan dan perkampungan (rural), sekarang ini telah mengalami perubahan menjadi areal *rural*, permukiman, perkotaan dan hanya sedikit(tidak luas) yang berupa hutan. DAS Tondano dan DAS Tikala dikelilingi oleh Gunung Lokon, Gunung Mahawu dan Gunung Klabat, suhu udara rata-rata 25⁰C dan suhu maksimum 30⁰C, jumlah hari hujan tiap tahun antara (90-139)hari, kedalaman curah hujan tiap bulan antara (400-500)mm atau bervariasi antara 1500mm sampai dengan 2800mm tiap tahun, terdapat dua sungai, masing-masing Sungai Tondano dan Sungai Sawangan, kedua sungai tersebut bersifat *perrenial* (mengalirkan air sepanjang tahun) dan terdapat Danau Tondano dengan luas sekitar 4.680ha.

Hasil penelitian DAS Tondano dan DAS Tikala, masing-masing DAS tersebut memiliki potensi sumberdaya air relatif besar, akan tetapi pemberdayaan potensi sumberdaya air tersebut belum dikelola secara optimal, oleh karena pemanfaatan sumberdaya air DAS Tondano hingga kini hanya dimanfaatkan sebagai pembangkit tenaga listrik di Desa Tonsea Lama, di Desa Tenggari I dan di Desa Tenggari II, selain itu pemanfaatan air Sungai Tondano digunakan untuk memenuhi kebutuhan air bersih , seperti yang terdapat di Kelurahan PAL II, Kota Manado .

Disadari bahwa pelaksanaan penelitian ini masih diperlukan penyempurnaan-penyempurnaan, hal ini disebabkan belum ditemukan/belum ada data-data secara sistematis selama waktu 30 tahun, yaitu tentang data curah hujan, data perekaman tinggi muka air di sungai (AWLR), data perubahan tata guna lahan, data tentang upaya konservasi DAS

Tondano dan DAS Tikala, sehingga dari hasil penelitian ini dipandang perlu untuk didiskusikan dengan para pihak instansi terkait, dari hasil diskusi diharapkan para pihak instansi terkait dapat melakukan perekaman data-data yang dibutuhkan seperti yang disebutkan di atas.

Diucapkan terima kasih kepada Rektor Universitas Sam Ratulangi, kepada Pimpinan Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat Unsrat, kepada Dekan Fakultas Teknik Unsrat, kepada Ketua Jurusan Teknik Sipil Unsrat, atas diberikanya kesempatan pelaksanaan penelitian ini, semoga kiranya Tuhan Yang Maha Kuasa memberkati.

Ketua Peneliti,

Dr. Eng. Ir. SUKARNO, MT. Spt. GeLK
Nip. 19600621 199103 1 00 1

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Umum	1
1.2. Latar Belakang Penelitian	2
1.3. Permasalahan	4
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Lokasi Penelitian	5
1.6. Manfaat penelitian	6
BAB II LANDASAN TEORI	7
2.1. Umum	7
2.2. Iklim	8
2.3. Hujan	9
2.4. Daerah Aliran Sungai (DAS)	10
2.5. Koefisien Limpasan	11
2.6. Aliran Air di Sungai	12
BAB III METODE PENELITIAN	14
3.1. Skenario Jalanya Penelitian	14
3.2. Studi Pustaka	15
3.3. Inventarisai Permasalahan	16
3.4. Survei Data Sekunder	17
3.5. Survei Data Primer	20
3.6. Kompilasi Data Primer dan Data Sekunder	23
BAB IV ANALISIS	25
4.1. Iklim	25
4.2. Hujan	25
4.3. Gunung disekitar DAS Tondano	29
4.4. Kelandaian Muara Sungai Tondano	31

BAB V HASIL ANALISIS	33
5.1. Potensi Sumberdaya Air DAS Tondano	33
5.2. Jenis Hujan Penyebab Banjir di Kota Manado	
5.3. Stasiun Pencatat Curah Hujan Orografik	34
5.4. Perubahan Tata Guna Lahan	34
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	36
6.1. Kesimpulan	36.
6.2 Saran	37
Daftar Pustaka	Lampiran L-1

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Koefisien limpasan	12
Tabel 3.1 Topografi Kota Manado	18
Tabel 3.2. Ketinggian lahan Kota Manado dari muka air laut	18
Tabel 3.3. Nama dan tinggi gunung disekitar DAS Tondano	18
Tabel 3.4. Data kedalaman curah hujan menurut tahun banjir	19
Tabel 3.5. Data-data sekunder dan primer	21
Tabel 3.6. Kedalaman curah hujan Stasiun Kaleosan	24
Tabel 4.1 Tata guna lahan DAS Tondano	28
Tabel 4.2. Luas sub DAS Tondano	29
Tabel 4.3. Hasil analisis hidrologi	32

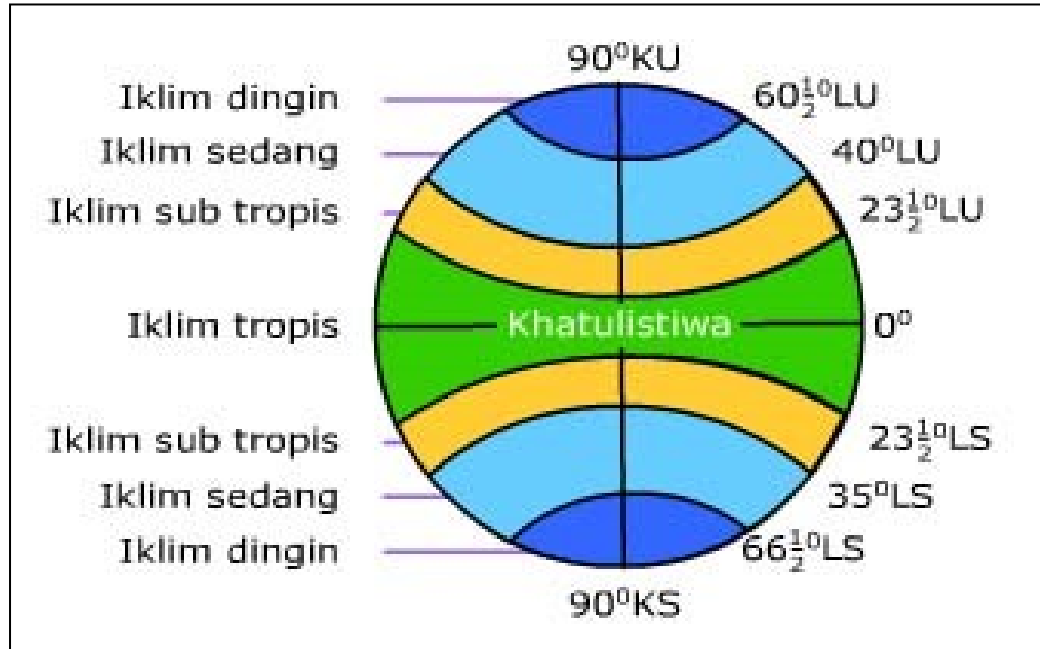
DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Pembagian zona iklim	1
Gambar 1.2. DAS Tondano	5
Gambar 2.1. Bentuk-bentuk DAS	11
Gambar 3.1. Bagan alur penelitian	14
Gambar 3.2 Distribusi tekanan udara ketiuka terjadi banjir Tahun 2014 di Kota Manado	19

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Umum

Unsur-unsur iklim seperti temperatur dalam satuan ($^{\circ}\text{C}$), kelembaban udara dalam satuan (%), lama penyinaran matahari dengan satuan(%), kecepatan angin dengan satuan(km/jam) dan penguapan adalah variabel-variabel asal-usul pembentuk adanya awan, yaitu awan menguap ke atmosfer oleh karena proses evaporasi dan evapotranspirasi, pertumbuhan partikel-partikel awan dari ukuran 1-100 mikron (1mikron= 10^{-3}mm) memerlukan waktu lebih kurang 30menit sejak pertumbuhan awan menjadi partikel hujan, dengan ukuran lebih dari 1000mikron (1mm) apabila awan mencapai ketinggian tertentu dengan temperatur tertentu, maka akan terjadi proses kondensasi yang merubah awan menjadi partikel-partikel hujan(Sri Harto Br, 1993). Proses seperti di atas membentuk sistem perikliman di permukaan bumi dibagi ke dalam empat bagian iklim, yaitu iklim tropis, iklim sub tropis, iklim sedang dan iklim dingin, iklim tropis terdapat pada jalur lintas garis katulistiwa dan daerah sekitarnya yaitu terletak pada 23.5°LU dan 23°LS , sehingga membentuk adanya musim penghujan dan musim kemarau.



Gambar 1.1. Pembagian zona iklim

Terangkatnya udara ke atas dapat terjadi dengan tiga macam cara, yaitu jenis yang pertama konvektif (conventive), bila terjadi ketidakseimbangan udara karena panas setempat, dan udara bergerak ke atas dan berlaku proses adiabatik. Hujan yang terjadi

disebut hujan konvektif, dan biasanya merupakan hujan dengan intensitas tinggi dan terjadi dalam waktu yang relatif singkat, di daerah yang relatif sempit, di Indonesia hujan jenis ini biasanya terjadi pada sore hari. Jenis ke-dua siklon (cyclonic), bila gerakan udara ke atas terjadi akibat adanya udara panas yang bergerak di atas lapisan udara yang lebih padat dan lebih dingin . Hujan jenis ini biasanya terjadi dengan intensitas sedang , mencakup daerah yang luas dan berlangsung lama. Jenis yang ke-tiga Orografik yaitu udara bergerak ke atas akibat udara menabrak pegunungan, sehingga terjadi dua daerah yang disebut daerah hujan dan daerah bayangan hujan, hujan yang terjadi disebut hujan orografik. Sifat hujan ini dipengaruhi oleh sifat dan ukuran pegunungan.

Air hujan yang jatuh ke permukaan tanah sebagian kecil akan menguap kembali ke atmosfer, sebagian menjadi limpasan langsung(runoff) dan sebagian lagi terinfiltrasi masuk kedalam tanah menjadi aliran antara(interflow) dan aliran dasar (baseflow), kemudian yang terperkolasi masuk kelapisan *unconfined* dan lapisan *confined* merupakan aliran air tanah (groundwater flow). Volume air hujan yang terinfiltrasi masuk ke dalam tanah tergantung pada jenis penutup permukaan lahan, (Chow V.T., 1988) menyatakan nilai koefisien limpasan ditentukan oleh jenis penutup permukaan tanah, kemiringan permukaan tanah dan ditentukan pula oleh kala ulang hujan(return period). Apabila permukaan lahan berupa beton, aspal, atap, maka air hujan sebagian besar akan menjadi limpasan langsung dan sedikit yang terinfiltrasi, kemudian lahan dengan permukaan tanah gundul, maka nilai koefisien limpasan lebih kecil bila dibandingkan dengan permukaan lahan berupa beton, aspal, atap dan apabila lahan dengan penutup permukaan berupa tumbuhan-tumbuhan hutan, maka jumlah volume air hujan yang masuk ke dalam tanah akan semakin banyak.

Air hujan yang menjadi limpasan langsung dan mengalir di sungai dapat menyebabkan banjir di alur sungai dan apabila kapasitas alur sungai lebih kecil dari volume debit banjir yang mengalir, maka selisih volume aliran air yang tertahan akan menyebabkan genangan air hujan. Air hujan yang meresap ke dalam tanah adalah air hujan yang terinfiltrasi dan terperkolasi ke dalam tanah, selanjutnya menjadi aliran antara (interflow) dan aliran dasar (baseflow), kemudian mengalir ke dalam sungai apabila proses ini berlangsung sepanjang tahun tiap tahun, maka aliran air di sungai tersebut bersifat *perrenial*.

Teori hidrologi di atas, menggambarkan dengan jelas bahwa air hujan yang menjadi *interflow* dan *baseflow* akan sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia, misalnya aliran *interflow* dan aliran *baseflow* yang berubah menjadi aliran air di sungai, maka aliran di sungai ini akan bermanfaat untuk berbagai macam keperluan, seperti untuk keperluan air irigasi, untuk keperluan industri, untuk kebutuhan air di hotel, air sungai untuk kebutuhan kota, dan lain sebagainya.

Sebaliknya apabila air hujan yang menjadi limpasan langsung tidak dilakukan pengelolaan secara baik, misalnya ditampung ke dalam waduk(reservoir) sebagai regulator untuk berbagai macam keperluan, misalnya untuk penyediaan air baku/air bersih dan lain-lain keperluan, maka aliran limpasan langsung tersebut dapat menyebabkan bencana banjir di sepanjang alur sungai. Permasalahan banjir akan menjadi serius bilamana terjadi hujan *cyclonic* dengan durasi panjang, atau hujan *convective* jatuh di atas lahan dengan penutup permukaan DAS ke arah air atau hujan *orographic* yang jatuh di daerah pegunungan seperti pegunungan yang terdapat di dalam DAS Tondano.

1.2. Latar Belakang Penelitian

Sejalan dengan fenomena perubahan iklim(*climate change*) yang disebabkan akibat pemanasan global (*global warming*), maka iklim di Sulawesi Utara juga terkena imbasnya, hal ini ditandai dengan terjadinya banjir dan genangan air secara berulang kali yang melanda Kota Manado dan sekitarnya, yaitu banjir Tahun 1996, banjir Tahun 2000, banjir Tahun 2006, banjir Tahun 2013 dan terakhir banjir yang terjadi pada awal Tahun 2014. Melihat permasalahan banjir di Kota Manado seperti banjir pada tahun-tahun yang disebutkan di atas, dipandang perlu untuk dilakukan studi secara detail guna mengetahui penyebab banjir yang melanda Kota Manado.

Perubahan tata guna lahan (*land use change*) yang menyebabkan nilai koefisien limpasan (*runoff*) semakin besar adalah bagian variabel yang perlu dikaji di dalam DAS Tondano, sebab perubahan tata guna lahan dalam suatu DAS akan dapat menimbulkan terjadinya banjir di sungai yang dapat mengakibatkan terjadinya erosi pada tebing sungai, degradasi dan aggradasi pada dasar sungai, erosi tebing sungai dan degradasi pada dasar sungai dapat menyebabkan sedimentasi di dasar sungai, bila proses seperti ini berlangsung dalam waktu relatif panjang, maka akan dapat menyebabkan terjadinya pendangkalan dasar sungai, sehingga menyebabkan semakin mengecilnya kapasitas

sungai untuk mengalirkan air banjir, hal ini akan menyebabkan naiknya tinggi muka air di sungai. Selain permasalahan di atas maka sampah juga merupakan permasalahan tersendiri yang perlu dievaluasi sebagai penyebab permasalahan banjir di Kota Manado.

Daerah aliran sungai (DAS) Tondano secara keseluruhan terbagi menjadi sub DAS Noongan, sub DAS Tondano, sub DAS Tikala dan sub DAS Airmadidi, pada 4 sub DAS tersebut selama ini telah mengalami perubahan-perubahan oleh karena perkembangan pembangunan, sehingga di dalam penelitian ini perlu dilakukan penelitian kemungkinan salah satu penyebab banjir yang melanda Kota Manado adalah perubahan-perubahan tata huna lahan yang terjadi di dalam ke 4 sub DAS di atas.

1.3. Permasalahan

Banjir di Kota Manado disebabkan oleh karena meluapnya aliran air di muara Sungai Tondano, dan meluapnya aliran air di muara Sungai Sawangan, wilayah yang terkena dampak banjir dari kedua sungai tersebut meliputi: Wilayah Kecamatan Tikala (banjir dari muara sungai Sawangan), Wilayah Kecamatan Pal Dua, Wilayah Kecamatan Wenang dan Wilayah Kecamatan Bunaken banjir dari muara Sungai Tonadano). Banjir pada wilayah-wilayah kecamatan di atas dapat menyebabkan genangan air sampai dengan ketinggian 3-4 meter, bahkan pada banjir Tahun 2014 yang lalu, tinggi genangan air di kampng “Tubir”, Kecamatan PAL II mencapai ketinggian 12 meter dari permukaan tanah..

Akibat banjir dan genangan air yang disebutkan di atas, telah menyebabkan korban harta benda, seperti hanyutnya rumah penduduk, rusaknya rumah-rumah milik penduduk, rusaknya infra struktur bangunan milik pemerintah dan swasta, bahkan banjir Tahun 2014 menyebabkan korban meninggal dunia sebanyak 13 orang (sumber Badan Nasional Penanggulangan Bencana, (BNPB)). Dampak lain akibat banjir yang terjadi di Kota Manado, antara lain kegiatan Pemerintahan di Kota Manado terhenti, kegiatan perdagangan dan bisnis perekonomian terganggu dan akibat banjir-banjir tersebut dapat menyebabkan timbulnya berbagai macam penyakit.

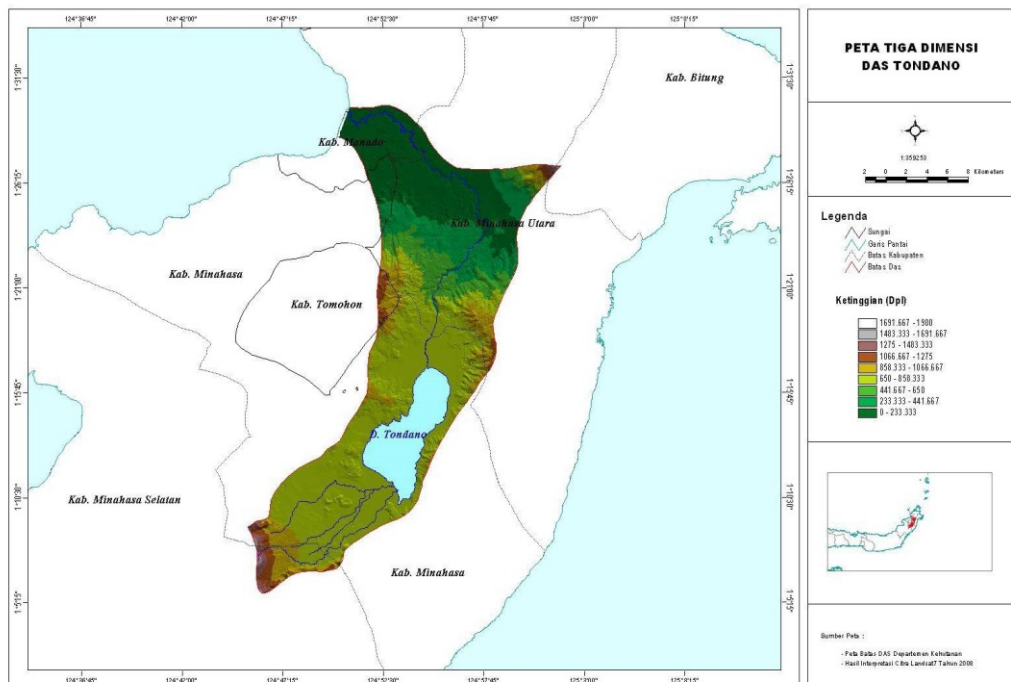
1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian dalam studi ini adalah untuk mengetahui penyebab banjir dan genangan air pada Tahun 2014 di Kota Manado.

1.5. Lokasi penelitian

Lokasi penelitian meliputi sub DAS Airmadidi, sub DAS Tikala, sub DAS Tondano, sub DAS Noongan, ke-empat sub DAS tersebut masing-masing terletak di Wilayah Kabupaten Minahasa induk dan di Wilayah Kota Manado. Daerah Aliran Sungai (DAS) Tondano ini meliputi daerah seluas sekitar 51 ribu hektar, yang terbentang antara 1°07' – 1°31' Lintang Utara dan 124°45' – 125°02' Bujur Timur. termasuk di dalamnya Danau Tondano dengan luas sekitar 4.680 ha atau sekitar 8% dari total luas DAS Tondano.

Daerahnya dicirikan perbukitan dan pegunungan, dengan sekitar 25% lahan memiliki kemiringan di atas 25%.



Gambar 1.2 DAS Tondano

dengan batas-batas:

- Sebelah Utara : DAS Likupang
- Sebelah selatan : DAS Ratahan
- Sebelah Barat : Wilayah Kota Tomohon
- Sebelah Timur : DAS Ratahan pantai

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Dapat mengetahui potensi sumberdaya air di DAS Tondano.
- b. Dapat mengetahui kemungkinan terjadinya bahaya banjir di Kota Manado dan dampak banjir yang mungkin terjadi bagi masyarakat Kota Manado.
- c. Hasil penelitian dapat digunakan untuk pengembangan pengetahuan dan ilmu pengetahuan bidang ilmu sumberdaya air.
- d. Hasil penelitian dapat dipublikasikan pada jurnal terakreditasi nasional ataupun internasional.
- e. Hasil penelitian dapat dijadikan sebagai data sekunder untuk keperluan penelitian selanjutnya di DAS Tondano.

BAB II. LANDASAN TEORI

2.1. Umum

Landasan teori yang dipakai dalam pelaksanaan penelitian ini adalah teori yang sudah baku dan diakui oleh dunia ilmu pengetahuan khususnya di bidang sumberdaya air (water resources), teori-teori dalam dunia ilmu pengetahuan memiliki riwayat dan disusun sedemikian rupa oleh para peneliti berdasarkan hasil riset yang dilakukan oleh para peneliti sebelumnya, sehingga para peneliti yang melakukan penelitian pada bidang ilmu yang sama dapat merujuk teori-teori yang didapat sebelumnya. Untuk maksud penelitian DAS Tondano ini juga tidak terlepas pada teori-teori yang sudah ada sebelumnya, secara rinci dan singkat teori-teori yang dipakai dalam penelitian ini diuraikan pada sub bab di bawah.

Sumber air bagi suatu bangsa/negara adalah sangat penting guna memenuhi kebutuhan kehidupan warga masyarakatnya untuk keperluan sehari-hari, tidak semua negara memiliki sumber air yang cukup untuk memenuhi kebutuhan warga masyarakatnya, negara-negara yang tidak memiliki sumber air yang cukup, antara lain Negara Singapore, Negara-Negara di kawasan Timur Tengah dan Negara Tibet (Nakgawa 2010), sehingga pilihan yang dapat mereka lakukan antara lain membeli air dari negara tetangga atau mengolah air hujan atau pilihan lain air laut dijadikan air tawar untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari bagi masyarakat dan bagi kebutuhan negaranya.

Sumber air di negara-negara tropis dan sub tropis tergantung pada datangnya hujan yang turun dari atmosfer kepermukaan tanah, sedangkan di negara-negara yang relatif kecil wilayahnya atau oleh karena lahan padang pasir, maka sumber air yang dimiliki oleh negara-negara tersebut relatif sedikit. Dapat dipahami bahwa variabel dan parameter berupa: iklim, frekuensi curah hujan, jenis penutup permukaan tanah dan struktur geologi jenis lapisan tanah akan sangat menentukan apakah suatu daerah memiliki sumberdaya air yang baik atautkah suatu daerah tidak memiliki sumberdaya air yang cukup untuk memenuhi kebutuhan masyarakatnya sehari-hari, permasalahan ini terjadi khususnya pada saat musim kemarau, di Indonesia daerah yang memiliki sumber air relatif sedikit pada saat musim kemarau berlangsung, antara lain Kabupaten Gunung Kidul Provinsi Yogyakarta, Pulau Madura di Provinsi Jawa Timur, di Provinsi Nusa Tenggara Timur dan di Provinsi Papua bagian utara dan pada bagian selatan oleh karena di wilayah tersebut merupakan wetland/lowland, sehingga diperlukan sumber air

yang memenuhi persyaratan untuk memenuhi kebutuhan hidup bagi masyarakat yang bermukim di wilayah-wilayah tersebut.

Sumber air dari atmosfer akan tidak bermanfaat banyak apabila lahan permukaan tanah yang menerima curahan air hujan berupa lahan-lahan kedap air, seperti aspal, beton, atap bangunan, demikian juga apabila lahan permukaan tanah berupa tanah gundul, maka air hujan dari atmosfer sebagian besar akan tereduksi menjadi limpasan langsung yang dapat menyebabkan banjir di sungai dan akhirnya akan terbuang ke laut. Apabila bagian dari air hujan tereduksi menjadi aliran antara (interflow) atau aliran dasar(baseflow) yang merupakan sumber utama aliran air tanah, maka sumber aliran air tanah tersebut akan dapat dimanfaatkan sebesar-besarnya untuk keperluan hidup manusia, sebaliknya apabila air hujan yang tereduksi menjadi limpasan langsung (runoff), kemudian tidak dikelola dengan penyediaan media penampungnya, misalnya waduk(reservoir) atau media-media lainnya, maka sumberdaya air dari atmosfer tersebut akan dapat menyebabkan bencana banjir.

Memperhatikan uraian di atas Indonesia adalah sebuah negara yang kaya dengan sumberdaya air, oleh karena Indonesia terletak di garis katulistiwa yang memiliki dua musim, yaitu musim penghujan mulai bulan Oktober sampai dengan bulan April dan musim kemarau mulai bulan Mei sampai dengan bulan September tiap tahun. Sampai dengan sekarang ini Negara Indonesia yang memiliki 90 Satuan Wilayah Sungai(Sudjarwadi, DRN, 1994), bahwa pengelolaan sumberdaya air belum dilakukan secara merata dan optimal hanya di Pulau Jawa dan Pulau Bali yang pengelolannya sudah dilakukan secara baik, seperti telah dibuat waduk (bendungan) untuk berbagai macam keperluan air baku, pembuatan bendung misalnya untuk keperluan air irigasi dan pemanfaatan air tanah untuk berbagai macam keperluan, sedangkan di luar Pulau Jawa pemberdayaan sumberdaya air belum dilakukan secara optimal pengelolannya, oleh karena berbagai macam penyebabnya dan juga alasan biaya.

2.2. Iklim

Sudjarwadi, 1990 dalam bukunya PAU ilmu Teknik UGM, watak utama iklim perlu dikenal sebagai kelengkapan latar belakang pemikiran tentang usaha pemanfaatan air dengan teknik irigasi atau untuk keperluan lain. Usaha yang tidak selaras dengan watak iklim akan dapat menyebabkan kerugian, dan bahkan tidak sedikit menimbulkan bencana, baik bencana kekeringan maupun bencana banjir.

Berbagai teori tentang iklim, seperti klasifikasi iklim menurut Mohr, Schmidt Ferguson, Oldeman, Koppen, Thornwaite juga pendapat tentang iklim menurut Douglas H. K. Lee, teori-teori tersebut adalah sumber pustaka yang dapat dirujuk untuk memahami tentang iklim. Kebutuhan data iklim untuk keperluan perencanaan bangunan-bangunan air antara lain, turunan data temperatur rerata harian, turunan data titik embun dan turunan data tekanan udara, masing-masing merupakan variabel-variabel yang diperlukan guna analisis untuk menentukan/perencanaan struktur bangunan air yang diperlukan pada suatu daerah.

2.3. Hujan

Sri Harto Br, 1993, dalam bukunya Analisis Hidrologi menyatakan, bahwa hujan yang turun dari atmosfer ke permukaan tanah terbagi menjadi tiga macam hujan, masing-masing, hujan konvektif (convective), yaitu hujan yang terbentuk oleh karena ketidak seimbangan udara panas setempat, kemudian udara bergerak naik ke atas dan berlaku proses *adiabatik* dan hujan jenis ini memiliki intensitas tinggi dengan durasi hujan relatif pendek dan meliputi wilayah yang sempit, biasanya hujan jenis ini turun pada sore hari. Hujan siklon (cyclonic) adalah hujan yang terbentuk oleh karena gerakan udara ke atas akibat adanya udara panas yang bergerak di atas lapisan udara yang lebih padat hujan jenis ini biasanya terjadi dengan intensitas sedang, mencakup daerah yang luas dan berlangsung lama. Jenis hujan yang ketiga adalah hujan orografik (orographic rainfall) yaitu hujan yang terjadi karena udara bergerak ke atas akibat adanya pegunungan, sifat jenis hujan ini dipengaruhi oleh sifat dan ukuran pegunungan.

Udara yang membawa awan dengan proses seperti yang diuraikan di atas, selanjutnya sampai dengan awan tersebut menjadi hujan diperlukan waktu, agar awan tumbuh menjadi awan hujan, pertumbuhan partikel-partikel awan dari ukuran 1-100mikron(1 mikron = 10^{-3} mm) menjadi partikel hujan, dengan ukuran dari 1000mikron(1mm), memerlukan waktu paling tidak 30menit sejak pembentukan awan(Sri Harto Br, 1993).

Terdapat berbagai macam bentuk dan jenis alat pencatat curah hujan, untuk mencatat kedalaman curah hujan (rainfall gauge), antara lain *automatic rainfall recorder* (ARR) buatan jepang, buatan Inggris buatan Amerika dan UGM pun membuat alat pencatat curah hujan otomatis sangat baik untuk digunakan pengukuran kedalaman curah hujan maupun alat pencatat tinggi muka air di sungai secara digital (Joko Legono,

Sukarno dan Rosikin, 2000), dari alat-alat pencatat curah hujan ini akan didapat informasi tentang kedalaman curah hujan yang selanjutnya data curah hujan tersebut dapat dianalisis guna mendapatkan informasi tentang debit air di sungai dan lain-lain data air di dalam tanah.

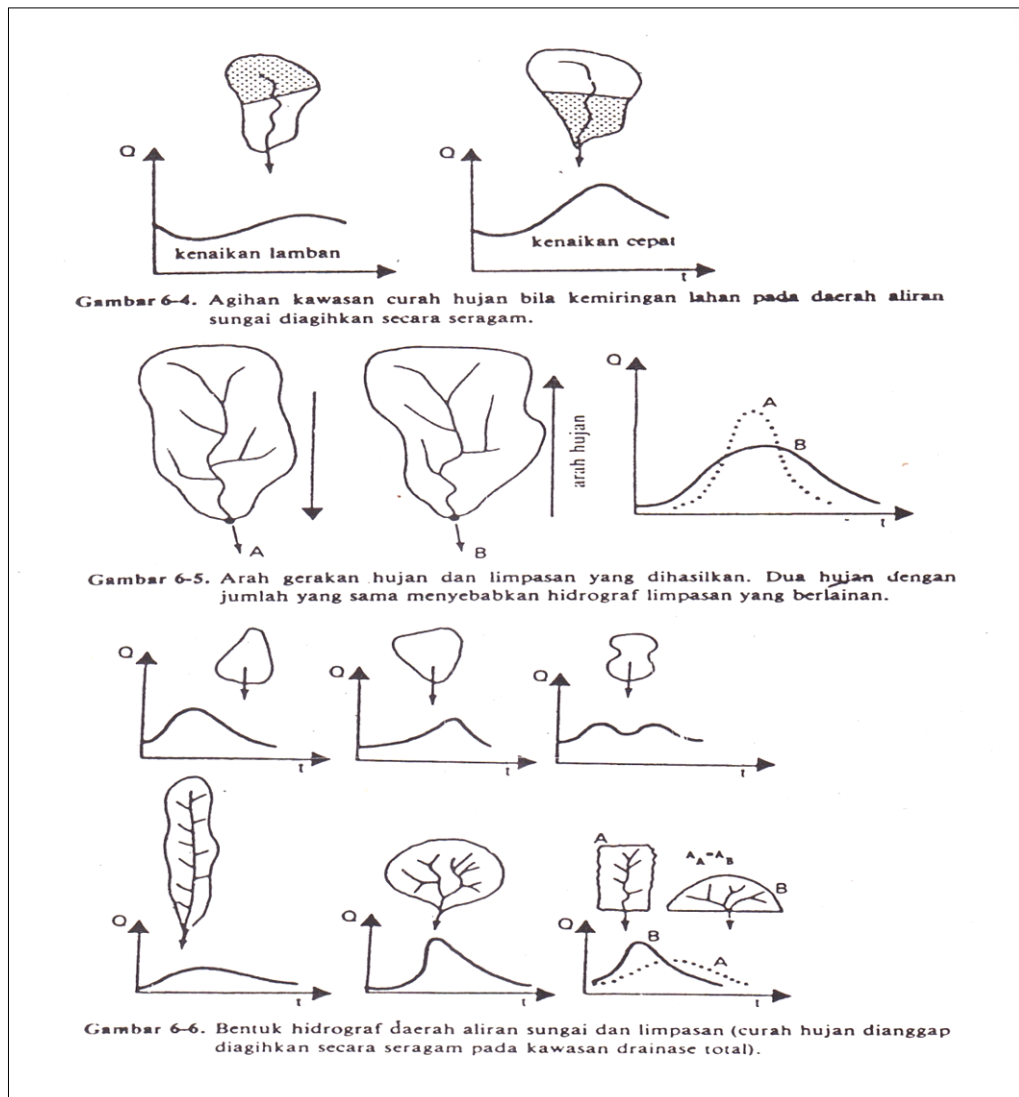
Hujan yang jatuh dari atmosfer ke permukaan tanah setelah diukur dengan alat pencatat curah hujan dalam suatu DAS selanjutnya dianalisis guna mendapatkan curah hujan rancangan yang akan digunakan untuk keperluan desain banjir dan lain-lain. Chow et al, 1988 dalam bukunya yang berjudul *Applied Hydrology*, menyatakan untuk mendapatkan hujan rancangan, maka dapat dilakukan dengan cara analisis parameter statistik (statistical parameters analysis), Sri Harto Br, 1998, dalam bukunya yang berjudul Analisis hidrologi juga menyatakan guna mendapatkan curah hujan rancangan dalam suatu DAS, maka salah satu metode yang terbaik sampai dengan sekarang adalah metode analisis parameter statistik, namun metode analisis frekuensi ini memerlukan data curah hujan atau data debit banjir, maka diperlukan data yang cukup memadai, misalnya minimum data curah hujan atau data debit banjir selama 10 tahun.

2.4. Daerah Aliran Sungai (DAS)

Ersin Seyhan, 1990, menyatakan dalam bukunya Dasar-Dasar Hidrologi bahwa bentuk DAS akan memberikan berbagai macam bentuk hidrograp banjir di sungai, seperti pada gambar di bawah. Faktor-faktor DAS meliputi

1. Topografi bentuk daerah aliran sungai, kemiringan daerah aliran sungai dan gatra daerah aliran sungai.
2. Geologi tanah dan kapasitas akifer di dalam tanah.
3. Tipe/jenis tanah.
4. Vegetasi/tumbuhan penutup permukaan tanah dan
5. Jaringan drainase.

Ke lima faktor-faktor DAS tersebut di atas akan menjadi unsur-unsur yang mempengaruhi koefisien limpasan (C), apabila DAS dengan permukaan penutupnya berupa material kedap air, maka nilai koefisien limpasan menjadi besar, sebaliknya apabila penutup permukaan DAS berupa hutan, maka air hujan dari atmosfer yang jatuh di atas DAS tersebut sebagian besar akan terinfiltrasi masuk kedalam tanah dan apabila DAS dengan permukaan air, misalnya seperti sungai atau danau, maka nilai koefisien hampir 100%, yang artinya semua curah hujan menjadi limpasan .



Gamar 2.1. Bentuk-bentuk DAS

2.5. Koefisien Limpasan

Chow V. T. et al, 1988, dalam bukunya *Applied Hydrology*, menyatakan (C) suatu DAS sangat dipengaruhi oleh jenis penutup permukaan tanah, dipengaruhi oleh kemiringan lahan pada DAS dan nilai koefisien limpasan tergantung juga pada kala ulang hujan (return period) menurut klasifikasinya, yaitu kala ulang hujan(2, 5, 10, 25, 50, 100 dan 500) tahunan. Dalam bukunya Chow membagi nilai koefisien limpasan pada daerah yang sudah dilakukan pengembangan lahan, meliputi lahan berupa aspal, beton, dan atap, penutup permukaan tanah rumput dengan presentase kurang dari 50%, antara 50% sampai dengan 75%, permukaan tanah berupa rumput lebih dari 75%,

kemudian lahan yang belum dikembangkan, antara lain: lahan yang dibudidayakan untuk lahan pertanian, rerumputan, hutan, masing-masing memiliki nilai koefisien yang berbeda-beda.

Tabel 2.1. Koefisien limpasan

Katagori lahan	Kala ulang hujan						
	2	5	10	15	15	100	500
Permukaan lahan berupa hutan							
Datar 0-2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Rata-rata 2-7%	0.31	0.34	0.40	0.40	0.43	0.47	0.56
Terjal lebih besar 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58
Rerumputan lebih besar 75%							
Datar 0-2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Rata-rata 2-7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Terjal lebih besar 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Rerumputan lebih besar 50%							
Datar 0-2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Rata-rata 2-7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Terjal lebih besar 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Permukaan tanah yang sudah menjadi areal pembangunan							
Asphaltic	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concrete/roof	0.75	0.80	0.83	0.88	0.97	0.97	1.00

Sumber: Chow 1988

Sukarno, 2000, dalam penelitiannya di Kota Simpang Lima Semarang, menyatakan di Kota Simpang Lima Semarang, nilai koefisien limpasan sangat dipengaruhi oleh hujan 3 hari, hujan 2 hari dan hujan 1 hari (H-3; H-2; H-1), yaitu dipengaruhi oleh hujan pada hari-hari sebelumnya. Penelitian dilakukan dengan menggunakan hasil pengembangan alat pencatat curah hujan ketika itu diberi nama hidrometri berbasis komputer.

2.6. Aliran Air di Sungai

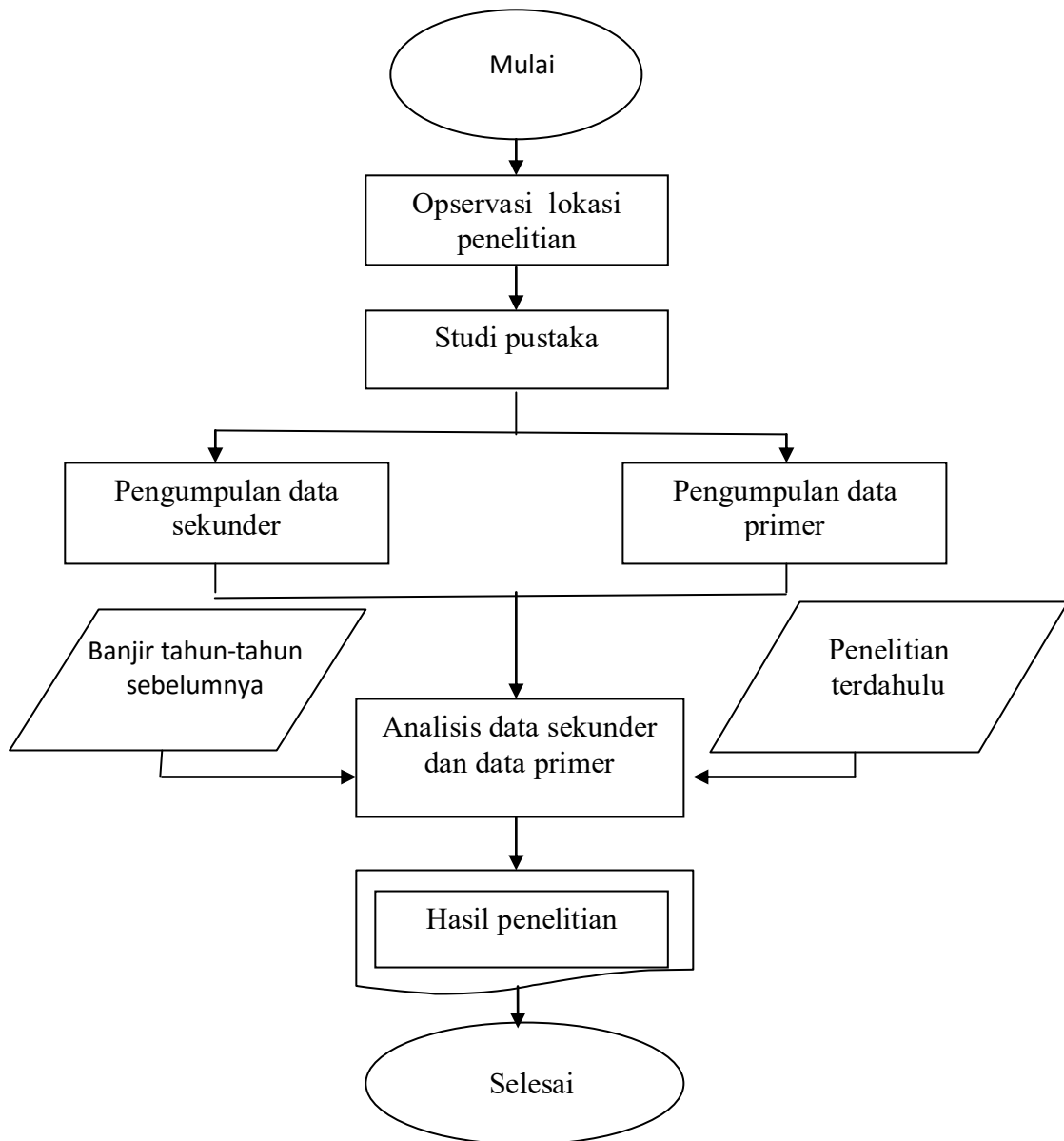
(Sri Harto Br, 1993) menyatakan dalam bukunya Analisis Hidrologi, aliran air di sungai dibedakan menjadi tiga macam, masing-masing aliran air di sungai bersifat *perrenial*, yaitu air mengalir di sungai sepanjang tahun, aliran air jenis *perrenial* ini berasal dari aliran *interflow* dan aliran *baseflow*, keduanya merupakan aliran air tanah, dua jenis aliran tanah ini sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia, oleh karena itu air di sungai yang berasal dari air tanah dapat dimanfaatkan untuk berbagai macam keperluan, kedua jenis aliran air tanah di sungai tersebut masing-masing, yaitu *interflow* dan *baseflow* membentuk aliran di sungai yang bersifat *perrenial*, yaitu walaupun musim panas berlangsung sungai mengalirkan air sepanjang tahun, sehingga dari

pengertian tersebut di atas, maka air banjir yang mengalir di sungai bukan berasal dari aliran *interflow* atau aliran *baseflow*, akan tetapi air banjir tersebut berasal dari *runoff* (limpasan langsung). Apabila permukaan air di sungai mengalami penurunan sampai dengan kedalaman tertentu, terutama ketika musim kemarau berlangsung, (tinggi muka air di sungai turun sampai di kedalaman tertentu), maka keadaan seperti ini akan menyebabkan aliran di sungai menjadi kering dan dinamakan sebagai sungai *intermittent*. Jenis yang ke tiga adalah jenis aliran air di sungai hanya terjadi sesaat apabila pada waktu terjadi hujan yang melebihi laju infiltrasi, jenis yang ke tiga ini terjadi oleh karena muka air dalam akuifer selalu di bawah dasar sungai.

Air yang mengalir di sungai berasal dari limpasan langsung dapat menyebabkan banjir yang dasyat, banjir akan menyebabkan terjadinya erosi tebing sungai, degradasi dasar sungai dan aggradasi. Kedua macam peristiwa tersebut merupakan penyebab terjadinya sedimentasi pada badan sungai yang membentuk *meandering* (delta sungai), atau membentuk endapan dibagian dalam tikungan sungai sehingga menyebabkan adanya bantaran sungai yang dapat mempersempit lebar badan sungai.

Apabila proses erosi, degradasi, aggradasi berlangsung dalam kurun waktu yang panjang dan banjir selalu terjadi, maka peristiwa tersebut akan dapat menyebabkan pendangkalan sungai, penyempitan sungai dan akan berdampak mengurangi kapasitas sungai untuk mengalirkan air menuju laut. Apabila perubahan tata guna lahan tidak terkontrol kemudian fenomena alam seperti beberapa dekade terakhir sebagai akibat pemanasan global yang menandatangani perubahan cuaca dan berujung mendatangkan banjir, kejadian-kejadian seperti inilah yang menjadi permasalahan besar khususnya di Indonesia yang memiliki iklim tropis, termasuk yang terjadi di DAS Tondano yang selalu menyebabkan banjir dan genangan air di Kota Manado.

BAB III METODE PENELITIAN



Gambar 3. 1. Bagan alur penelitian

3.1. Skenario Jalanya Penelitian

Sebelum penelitian dilaksanakan di lapangan, terlebih dahulu peneliti membuat perencanaan pelaksanaan penelitian, metode ini bertujuan agar supaya penelitian dapat dilaksanakan secara sistematis, terencana dan terjadwal, sehingga tujuan penelitian dicapai dengan hasil yang optimal.

Mula-mula peneliti melakukan pengamatan pada wilayah yang diteliti, yaitu pengamatan sungai Tondano dan Sungai Sawangan, kemudian dilanjutkan dengan melakukan pengamatan DAS Tondano dan DAS Sawangan, dari hasil pengamatan peneliti menginventarisir permasalahan yang dikeluhkan oleh banyak pihak, yaitu hal berkaitan dengan DAS Tondano yang berdampak pada kehidupan masyarakat di Kota Manado ketika banjir dan genangan air melanda wilayah Kota Manado. Dari hasil pengamatan Nampak bahwa belum dilakukannya upaya konservasi DAS secara menyeluruh(holistik), belum juga dilakukannya pemberdayaan potensi sumberdaya air secara optimal dan regulasi tentang pengamanan DAS dan Sungai Tondano juga belum berjalan sebagaimana yang diharapkan.

Dari hasil pengamatan kemudian dikonsultasikan dengan beberapa pihak terkait, antara lain pihak Bappeda Provinsi Sulawesi Utara, pihak Balai Wilayah Sungai 1 Sulawesi Utara, kepada para pihak peneliti sebelumnya hal berkaitan dengan DAS Tondano, dan kepada pihak-pihak yang lainnya, yaitu kepada para pejabat instansi teknik di lingkungan Pemerintah Daerah Sulawesi Utara baik yang sedang menjabat maupun yang sudah purna karya. Lebih lanjut peneliti mengikuti diskusi bersama Pemerintah Kota Manado dan pihak Balai Wilayah Sungai 1 Sulawesi Utara tentang banjir di Kota Manado yang diselenggarakan berturut-turut di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, kemudian diskusi juga dilakukan dalam bentuk FGD (fokus discussion group) tentang banjir Muara Sungai Tondano di Kantor Wali Kota Manado, dengan alur piker/skenario seperti di atas. Penelitian ini dilaksanakan dengan tahapan seperti di bawah.

3.2. Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan untuk mempelajari teori-teori yang berkaitan dengan iklim, hujan, DAS, tata guna lahan, koefisien limpasan dan banjir di sungai pada suatu DAS, langkah-langkah ini pandang penting, hal ini untuk mendapatkan kesesuaian antara teori yang sudah ada dengan kemungkinan terdapatnya potensi sumberdaya air maupun permasalahan yang terdapat di DAS Tondano. Dipahami bahwa setiap teori yang sudah diterbitkan sebelumnya berasal dari hasil eksperimen atau hasil dari riset para peneliti terdahulu dalam bidang ilmu yang sama, kemudian teori-teori tersebut ditetapkan sebagai pengetahuan atau ilmu pengetahuan dalam dunia ilmu pengetahuan. Setiap permasalahan dibutuhkan pemecahannya oleh karena itu pelaksanaan penelitian

yang merujuk dari teori-teori yang berlaku, juga merujuk dari hasil penelitian sebelumnya, maka penelitian tersebut dipandang sudah menggunakan metode yang sesuai dengan ketentuan ilmiah.

3.3. Inventarisasi Permasalahan

Sebagaimana yang sudah diuraikan pada latar belakang pemikiran, penelitian ini dilakukn pada muara Sungai Tondano dan muara Sungai Sawangan, oleh karena ketika musim penghujan tiba beberapa tahun terakhir telah mengalami luapan air banjir, seperti luapan air banjir pada Tahun 1996, 2006, 2013 dan banjir Tahun 2014, masing-masing banjir pada tahun-tahun tersebut telah menyebabkan timbulnya korban, antara lain korban harta benda maupun korban jiwa, bahkan nilai kerusakan pada banjir Tahun 2014 mencapai angka fantastis yaitu sampai dengan lebih dari 1 trilyun rupiah, sumber lain menyatakan bahwa sebelum adanya banjir-banjir seperti pada tahun – tahun di atas, Sungai Tondano belum pernah mengalami banjir besar seperti yang terjadi beberapa tahun terakhir ini. Dalam cerita masyarakat diantara mereka ada yang menyatakan bahwa Sungai Tondano pernah mengalami banjir dasyat sekitar Tahun 1930-an, terlepas apakah cerita itu benar atau tidak, peneliti merenung bahwa sampai dengan sekarang ini belum ada data atau dokumen yang dapat dijadikan berita yang pasti dan yang pasti pula pada Tahun 1930-an, ketika itu DAS Tondano sebagian besar berupa hutan, juga permukiman maupun pembangunan di Kota Manado pada saat itu tidak seperti sekarang ini, sehingga secara teknis dapat diprediksi kemungkinan kecil saat itu terjadi banjir seperti yang diceritakan oleh masyarakat, apalagi kejadian banjir seperti banjir pada Tahun 2014 yang baru lalu, pernyataan ini bertujuan untuk mendukung hipotesa bahwa permasalahan banjir di Kota Manado lebih disebabkan oleh karena fenomena alam akibat pemanasan global juga disebabkan oleh perkembangan aktifitas manusia di DAS Tondano yang secara teknis sudah tidak terkontrol lagi.

Permasalahan yang sangat serius hal berkaitan dengan DAS Tondano, yaitu banjir Tahun 2014 yang menyebabkan Wilayah Kecamatan Wanea, Wilayah Kecamatan Sario, Wilayah Kecamatan Tikala, Wilayah Kecamatan Pal Dua, Wilayah Kecamatan Wenang dan Wilayah Kecamatan Bunaken terjadi genangan air. Dari data Pemerintah Kota Manado Tahun 2014 dinyatakan: sekitar 25.103 KK mengalami permasalahan rumah tinggal oleh karena 840 rumah hanyut, 1.966 rumah rusak berat dan 4.789 rumah rusak sedang, selain rumah-rumah yang menjadi korban akibat banjir Tahun 2014 tersebut

terdapat pula bangunan masjid sebanyak 27 rusak, 29 gereja rusak dan 99 unit sekolah rusak. Bangunan infra struktur milik pemerintah dan swasta mengalami rusak berat dan bahkan korban jiwa di Kota Manado sebanyak 7 orang meninggal dunia, bangunan- infra struktur yang mengalami rusak berat antara lain: kerusakan ruas jalan sepanjang 31,6 km, jembatan 5 unit, saluran drainase 3,9km, tanggul anak sungai 1,6 km, MCK, air bersih, pipa PDAM, juga banyak yang mengalami kerusakan berat, Tanggul Sungai Tondano 6,2km rusak, Tanggul Sungai Sawangan 1km rusak berat dan Tanggul Sungai Sario sekitar 1km mengalami rusak berat.

. Dampak lain akibat banjir Tahun 2014 yaitu kegiatan Pemerintahan Kota Manado lumpuh total oleh karena Kantor Pemerintah Wali Kota Manado dan banyak kantor yang lainnya tergenangi oleh air dan lumpur, demikian juga banyak ruas jalan yang dipenuhi oleh endapan lumpur, sementara kegiatan masyarakat dan kegiatan perdagangan juga lumpuh total karena banyak barang-barang pertokoan yang rusak oleh karena tergenang air banjir.

Melihat permasalahan banjir di Kota Manado seperti di atas menggambarkan bahwa banjir dan genangan air hujan pada Tahun 2014 di Kota Manado disebabkan meluapnya air dari Muara Sungai Tondano dan meluapnya air banjir dari Muara Sungai Sawangan. Dari permasalahan inilah perlu dilakukan Studi DAS Tondano dengan harapan didapatkan data berupa variabel atau parameter penyebab banjir di Kota Manado.

3.4. Survei Data Sekunder

Data sekunder dari hasil studi sebelumnya dan data sekunder dari instansi terkait diperlukan pada pelaksanaan penelitian Studi DAS Tondano ini, kronologis yang panjang pelaksanaan penelitian tentang DAS Tondano sudah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya, data-data tersebut merupakan akumulasi data yang dapat dipakai sebagai masukan data pada penelitian-penelitian lanjutan termasuk penelitian yang sedang dilaksanakan sekarang ini.

Data-data sekunder yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian ini, antara lain:

- Data tentang iklim.
- Data curah hujan harian maksimum.
- Data DAS, yang meliputi topografi DAS, tumbuhan penutup DAS Tondano.
- Peta topografi skala 1: 50.000.

- Raster map
- Data tata guna lahan.
- Data banjir yang terjadi pada tahun-tahun sebelumnya..

Tabel 3.1. Topografi Kota Manado

No.	Bentuk Bentangan Alam	Kemiringan (%)	Luas	
			ha	%
1	Landai (terrain)	1-8	6.315,31	40,16
2	Berombak (undulating)	8-15	5.967,69	37,95
3	Berombak berbukit (hilly undulating)	15-40	1.554	9,88
4	Bergunung (mountaneous)	>40	1.889	12,01
Jumlah			15.726,00	100,00

Sumber : Manado dalam angka, 2010

Tabel 3.2. Ketinggian lahan Kota Manado dari muka air laut

No.	Ketinggian dari permukaan air laut	Luas	
		ha	%
1	0-240	14.494,50	92,15
2	240-560	1.158,50	7,37
3	560-1000	76,00	0,48
4	>1000	-	-
Jumlah		15.726,00	100

Sumber: Manado dalam angka, 2010

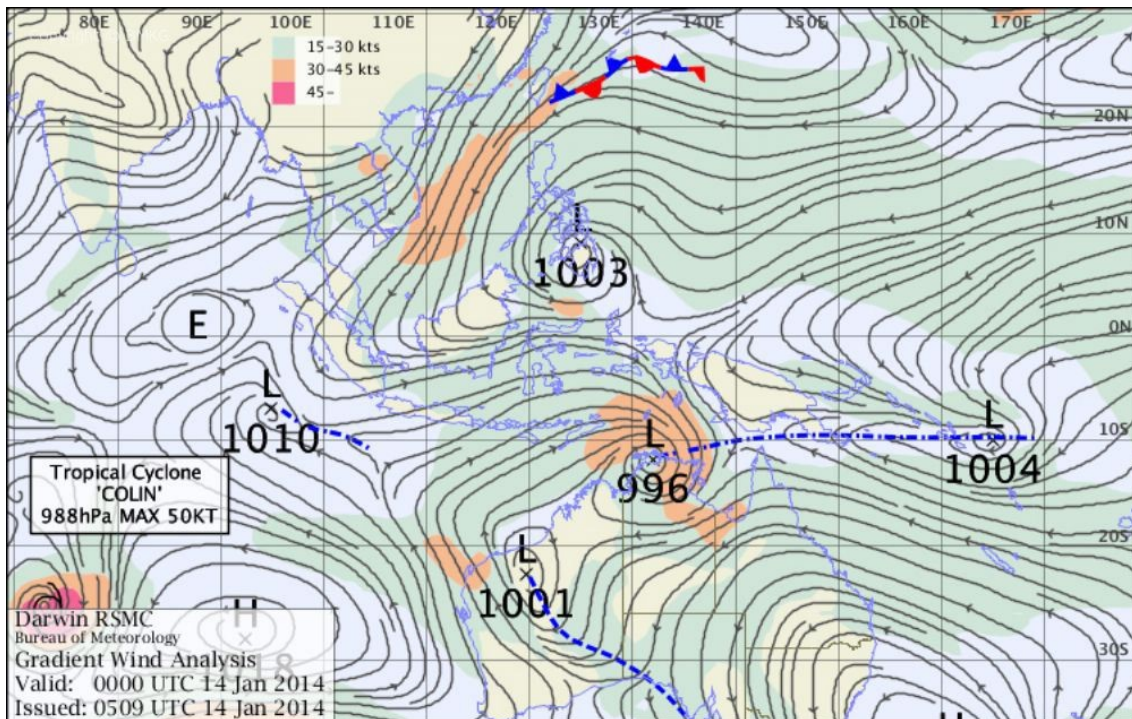
Tabel 3.3. Nama-nama gunung di sekitar Kota Manado

No.	Nama Gunung	Ketinggian (m)	Lokasi
1	Gunung api Klabat	1.895	Minahasa Utara
2	Gunung api Lokon	1.579	Tomohon
3	Gunung api Mahawu	1.331	Tomohon
4	Gunung api Soputan	1.789	Minahasa Tenggara
5	Gunung Dua Saudara	1.468	Bitung

Sumber: Kantor BPN Provinsi Sulawesi Utara, 2011

Tabel 3.4. Data kedalaman curah hujan menurut tahun banjir

NO	LOKASI		KEJADIAN BANJIR			
			03/12/2000	21/02/2006	17/02/2013	15/01/2014
			CH(mm)	CH(mm)	CH(mm)	CH(mm)
SEKITAR MANADO						
1	STAGEOF WINANGUN	H-3	80	30	20	1
		H-2	13	110	2	17
		H-1	4	134	187	88
2	STAKLIM KAYUWATU	H-3	149	28	22	5
		H-2	5	114	2	4
		H-1	4	26	182	87
3	STAMET SAMRAT	H-3	107	46	15	11
		H-2	3	92	3	0
		H-1	3	32	238	145
DAS SUNGAI						
4	BPP TOMOHON UTARA	H-3	X	25	30	27
		H-2	X	10	0	9
		H-1	X	20	109	211
5	DISTAN AIR MADIDI	H-3	15	129	18	3
		H-2	5	122	88	90
		H-1	6	143	90	235
HULU DAS TONDANO						
6	STAGEOF TONDANO	H-3	42	16	11	30
		H-2	9	5	0	0
		H-1	8	27	86	64



Gambar 3. 2. Distribusi tekanan udara ketika terjadi banjir Tahun 2014 di Kota Manado

3.5. Survei Data Primer

Data primer yang dimaksudkan dalam pelaksanaan penelitian ini, adalah data primer hasil survei langsung, yaitu data yang belum disurvei oleh para peneliti sebelumnya, data hasil analisis yang dilakukan oleh peneliti yang sedang berlangsung sekarang ini, data-data primer yang telah didapat, meliputi:

- Luas DAS Tondano.
- Luas sub DAS Airmadidi
- Luas sub DAS Tikala
- Luas sub DAS Noongan
- Luas sub DAS Tondano
- Jenis penutup tumbuhan masing-masing sub DAS.
- Data kemiringan dasar muara Sungai Tondano
- Data tata letak stasiun pencatat curah hujan
- Data Stasiun pencatat debit.
- Data bangunan air yang ada di dalam DAS Tondano

Data sekunder dan data primer seperti yang disebutkan di atas merupakan data yang diperlukan dalam pelaksanaan penelitian ini, oleh karena relevansi penelitian sebelumnya dan penelitian yang sedang dilaksanakan sekarang ini diharapkan merupakan satu-kesatuan penelitian tentang DAS Tondano, sehingga pada waktu kedepan hasil penelitian tentang DAS Tondano didapatkan hasil yang sesuai dengan realita di lapangan. Data sekunder dan data primer tersebut didasarkan hasil survei langsung di lapangan dan di instansi-instansi terkait, asal-usul data sekunder tentu berasal dari data primer yang didapat oleh para peneliti sebelumnya kemudian menjadi data sekunder bagi peneliti selanjutnya, sedangkan data primer yang dimaksudkan dalam penelitian ini adalah data yang bersifat baru dari hasil pengukuran langsung di lapangan atau dari analisis yang dilakukan oleh peneliti yang sedang melakukan penelitian, yaitu data yang belum didapat oleh peneliti sebelumnya.

3.6. Kompilasi Data Primer dan Sekunder

Data primer dan data sekunder hasil survei di lapangan selanjutnya di susun sedemikian rupa sehingga proses analisis dalam penelitian ini akan berdasarkan data-data yang sudah ada dan data-data yang didapat, sedangkan data yang belum ada yang diperlukan dalam penelitian ini akan dijadikan batasan masalah yang diteliti dalam

penelitian yang berlangsung sekarang ini diharapkan akan dapat dilanjutkan pada penelitian selanjutnya.

Adapun data-data primer dan data sekunder hasil survei dalam penelitian yang sedang berlangsung sekarang ini dapat dilihat seperti di dalam Tabel 3.5. atau lampiran pada laporan penelitian ini.

Tabel 3.5 Data-data sekunder dan primer

No.	Jenis data	Primer	Sekunder	Satuan	Kedalaman curah hujan
1	Data kedalaman curah hujan banjir Tahun 2000 Stamet Samrat	-	Sekunder	mm	3
2	Data kedalaman curah hujan banjir Tahun 2000, Staklim Kayu Watu	-	Sekunder	mm	4
3	Data kedalaman curah hujan banjir Tahun 2000, Stageof Winangun	-	Sekunder	mm	4
4	Data kedalaman curah hujan banjir, Tahun 2000, BPP Tomohon Utara	-	Sekunder	mm	6
5	Data kedalaman curah hujan Tahun 2000, Distan Airmadidi	-	Sekunder	mm	8
6	Data kedalaman curah hujan Tahun 2000, Stageof Tondano	-	Sekunder	mm	x
7	Data kedalaman curah hujan banjir Tahun 2006 Stamet Samrat	-	Sekunder	mm	32
8	Data kedalaman curah hujan banjir Tahun 2006, Staklim Kayu Watu	-	Sekunder	mm	26
9	Data kedalaman curah hujan banjir Tahun 2006, Stageof Winangun	-	Sekunder	mm	134
10	Data kedalaman curah hujan banjir, Tahun 2006, BPP Tomohon Utara	-	Sekunder	mm	20
11	Data kedalaman curah hujan Tahun 2006, Distan Airmadidi	-	Sekunder	mm	143

12	Data kedalaman curah hujan Tahun 2006, Stageof Tondano	-	Sekunder	mm	27
13	Data kedalaman curah hujan banjir Tahun 2013 Stamet Samrat	-	Sekunder	mm	187
14	Data kedalaman curah hujan banjir Tahun 2013, Staklim Kayu Watu	-	Sekunder	mm	182
15	Data kedalaman curah hujan banjir Tahun 2013, Stageof Winangun	-	Sekunder	mm	238
16	Data kedalaman curah hujan banjir, Tahun 2013, BPP Tomohon Utara	-	Sekunder	mm	109
17	Data kedalaman curah hujan Tahun 2013, Distan Airmadidi	-	Sekunder	mm	90
18	Data kedalaman curah hujan Tahun 2013, Stageof Tondano	-	Sekunder	mm	86
19	Data kedalaman curah hujan banjir Tahun 2014 Stamet Samrat	-	Sekunder	mm	88
20	Data kedalaman curah hujan banjir Tahun 2014, Staklim Kayu Watu	-	Sekunder	mm	87
21	Data kedalaman curah hujan banjir Tahun 2014, Stageof Winangun	-	Sekunder	mm	145
22	Data kedalaman curah hujan banjir, Tahun 2014, BPP Tomohon Utara	-	Sekunder	mm	211
23	Data kedalaman curah hujan Tahun 2014, Distan Airmadidi	-	Sekunder	mm	235
24	Data kedalaman curah hujan Tahun 2014, Stageof Tondano	-	Sekunder	mm	64
	Jenis data	Primer	Sekunder	Satuan	Luas
6	Luas sub DAS Noongan	Primer	-	km ²	22.87

7	Luas sub DAS Tondano	Primer	-	km ²	33.39
8	Luas sub DAS Tikala	Primer	-	km ²	21.47
9	Luas sub DAS Airmadidi	Primer	-	km ²	21.47
10	Luas Danau Tondano	-	Sekunder	ha	4.684
	Jenis data	Primer	Sekunder	Satuan	Jumlah
11	Data gunung	-	Sekunder	bh	5
12	Data sungai	-	sekunder	bh	6
13	Kelandaian muara Sungai Tondano	primer	-	m/km	0.0001667
14	Bangunan Air di alur sungai	-	sekunder	bh	3
	Data tata guna lahan				
15	Hutan alam atau semi alami	-	sekunder	ha	3.745
16	Hutan skunder	-	sekunder	ha	1.238
17	Hutan buatan (yang ditanam)	-	sekunder	ha	71
18	Perkebunan	-	sekunder	ha	22.267
19	Campuran kebun dan Belukar	-	sekunder	ha	8.067
20	Semak belukar	-	sekunder	ha	5.562
21	Padang (rumpun ilalang)	-	sekunder	ha	82
22	Sawah	-	sekunder	ha	5.960
23	Rawa tawar	-	sekunder	ha	267
24	Parairan danau, badan sungai)	-	sekunder	ha	4.684
25	Perumahan dll	-	sekunder	ha	2.812

Selain data-data tersebut di atas terdapat juga data sekunder berupa kedalaman curah hujan dari stasiun Kaleosan, stasiun pencatat curah hujan Kaleosan merupakan stasiun pencatat curah hujan yang terletak di sub- DAS Airmadidi, sehingga posisi stasiun tersebut dapat digunakan untuk memonitor adanya jenis hujan orografik disamping dapat juga digunakan untuk merekam jenis hujan siklonik.

Tabel 3.6. kedalaman curah hujan Stasiun Kaleosan

No.	Tahun	X	Rangking X
		(mm)	(mm)
1	2005	38.30	38.30
2	2006	74.00	50.30
3	2007	108.00	57.00
4	2008	70.00	70.00
5	2009	50.30	74.00
6	2010	76.10	76.10
7	2011	57.00	80.60
8	2012	90.20	90.20
9	2013	80.60	108.00
10	2014	170.00	170.00
Jumlah		814.50	814.50

BAB IV ANALISIS

Analisis data sekunder dan data primer merupakan tahapan dalam pelaksanaan penelitian ini, adapun variabel dan parameter yang didapat dari hasil analisis, digunakan untuk analisis lanjutan yang bertujuan untuk mendapatkan hasil penelitian sesuai dengan judul dan tujuan pada bab 1 dalam laporan penelitian ini.

Memperhatikan data-data primer dan data sekunder seperti yang dikompilasi dalam bab 3 di atas, selanjutnya dianalisis menurut tahapan dalam penelitian ini, analisis dilakukan secara berturut-turut seperti di bawah:

4.1. Iklim

Iklim, Iklim di wilayah penelitian, yang meliputi sub DAS Noongan, sub DAS Tondano, sub DAS Tikala dan sub DAS Airmadidi adalah sama, yaitu memiliki temperatur rata-rata 25⁰C, suhu maksimum 30⁰C dan suhu udara minimum 22.1⁰C, kelembaban udara rata-rata 73.4%, Curah hujan tidak merata dengan angka tahunan berkisar antara 2.000-3.000 mm. Dari data iklim ini dapat dinyatakan bahwa di wilayah penelitian DAS Tondano memiliki potensi sumberdaya air yang melimpah yaitu hujan turun menurut jadwal reguler, yaitu musim penghujan mulai bulan Oktober sampai dengan bulan April dan musim kemarau mulai bulan Mei sampai dengan bulan September tiap tahun. Dari analisis iklim ini, menunjukkan bahwa atmosfer di wilayah DAS Tondano memiliki potensi datangnya hujan sesuai jadwal regular sama seperti dengan iklim yang ada di daerah-daerah lain di Indonesia, berarti pula potensi sumberdaya air di DAS Tondano relatif besar, yaitu sumberdaya air atmosfer, sumberdaya air permukaan tanah dan sumberdaya air tanah.

- o Data topografi tanah menunjukkan bahwa di dalam DAS Tondano dan sekitarnya terdapat Gunung Klabat, Gunung Lokon, Gunung Mahawu, Gunung Sopotan dan Gunung Dua Saudara, sehingga selain iklim yang disebutkan di atas, maka di wilayah penelitian ini juga memungkinkan adanya turun hujan *orografik*(*orographic rainfall*).

4.2. Hujan

Hujan, seperti yang sudah diuraikan pada bab 2 landasan teori dalam penelitian ini, bahwa jenis-jenis hujan yang ada di atmosfer DAS Tondano, antara lain: hujan *convective*, hujan *cyclonic* dan hujan *orographic*, dari ketiga jenis hujan ini dua jenis hujan masing-masing, hujan *convective* dan hujan *cyclonic* dicirikan pada intensitas curah hujan dan luas wilayah curah hujan, indikasi lain tentang hujan *convective* dan

hujan *cyclonic* adalah durasi hujan dan kedalaman curah hujan, kedua jenis hujan tersebut selalu terjadi di wilayah penelitian, hal ini didasarkan pada data curah hujan yang terdapat di BMKG Provinsi Sulawesi Utara, seperti di dalam Tabel 3.4. di atas. Untuk jenis hujan *orographic* terjadi juga di wilayah penelitian, yang terakhir ini sesuai kondisi geografi dan topografi di wilayah penelitian, yaitu adanya pegunungan.

Curah hujan *convective*, *cyclonic* dan *orographic*, yang biasa turun di DAS Tondano dapat dilihat seperti pada data sekunder di dalam Tabel 3.4 dan Tabel 3.5. dari Tabel tersebut menunjukkan bahwa kedalaman curah hujan banjir Tahun 2000, pada 6 stasiun pencatat curah hujan, masing Stamet Samrat, Staklim Kayu Watu, Stageof Winangun, BPP Tomohon Utara, Distan Tondano dan Stageof Tondano secara umum relatif kecil, pada banjir ini menggambarkan pengaruh hujan H-3 dan H-2 relatif besar, namun bila dilihat berdasarkan data di dalam Tabel 3.4 dan 3.5, maka hujan yang turun pada Tahun 2000 tersebut lebih cenderung sebagai hujan *convective* oleh karena hanya Stakilm Kayu Watu dan Stamet Samrat saja terindikasi besaran kedalaman curah hujan menunjukkan besar pada H-3.

Dari Tabel 3.5. di atas nampak bahwa banjir Tahun 2006, merupakan banjir yang disebabkan oleh hujan *convective*, dalam Tabel 3.5. kemudian hanya curah hujan Distan Airmadidi dengan kedalaman 143 mm, sedangkan stasiun pencatat curah yang lainnya kedalaman curah hujan relatif kecil. Banjir Tahun 2013 merupakan banjir yang disebabkan oleh hujan *cyclonic* oleh karena dari 6 stasiun pencatat curah hujan memiliki kedalaman rata-rata relatif besar. Banjir Tahun 2014 merupakan curah hujan *orographic*, oleh karena hujan pada saat itu tidak merata dan hanya stasiun pencatat curah hujan yang berdekatan dengan Gunung Klabat, Gunung Lokon dan Gunung Mahawu menunjukkan kedalaman curah hujan relatif besar.

Dari ke 4 kejadian banjir seperti pada tahun-tahun di dalam Tabel 3.4. di atas, hanya banjir pada Tahun 2014 merupakan banjir yang paling dasyat, yang ditandai dengan kedalaman curah hujan pada ke 3 stasiun pencatat curah hujan, yaitu STAMET SAMRAT dengan kedalam curah hujan 145mm, BPP TOMOHON UTARA dengan kedalaman 211 DAN DISTAN AIRMADIDI dengan kedalaman curah hujan 235mm, masing-masing di 3 stasiun tersebut menunjukkan kedalaman curah hujan relatif besar, sebaliknya kedalaman curah hujan pada 3 stasiun pencatat curah hujan lainnya, yaitu STAKLIM KAYU WATU kedalaman curah hujan 87mmm, STAGEOF WINAGUN dengan kedalaman curah hujan 88mm dan STAGEOF TONDANO dengan kedalaman

curah hujan 64mm, ke tiga stasiun tersebut masing-masing menunjukkan kedalaman curah hujan relatif kecil.

Memperhatikan data sekunder seperti di dalam Tabel 3.4. dan Tabel 4.1. yaitu tentang tata guna lahan DAS Tondano, maka DAS Tondano yang di dalamnya terdapat Sungai Tondano dan Sungai Sawangan berpotensi akan selalu terjadi banjir, secara detail akan dianalisis pada pada sub-bab selanjutnya tentang koefisien limpasan.

- **(ARR)**, *automatic rainfall recorder* yang terdapat di DAS Tondano dan sekitarnya, sebagaimana yang sudah diuraikan pada sub bab sebelumnya bahwa masing-masingstasiun yang terdapat di dalam DAS Tondano dan sekitarnya, terletak di Bandara Sam Ratulangi (bernama, STAMET SAMRAT), terletak di Kayu Watu(bernama, STAKLIM KAYU WATU), terletak di Winangun (bernama, STAGEOF WINAGUN), terletak di Tomohon (bernama, BPP TOMOHON UTARA), terletak di Airmadidi (bernama, DISTAN AIRMADIDI), terletak di Tondano (bernama, STAGEOF TONDANO), alat-alat pencatat curah hujan tersebut lebih tepat dipakai untuk mengukur kedalaman curah hujan *convective* dan *cyclonic*, oleh karena ketika terjadi banjir besar di DAS Tondano pada Tanggal 15 Januari 2014 yang lalu, masing-masing alat pencatat curah hujan tersebut tidak menunjukkan rekaman kedalaman curah hujan dengan kedalaman yang signifikan, peristiwa ini berarti pula menggambarkan bahwa jenis curah hujan pada banjir Tahun 2014 adalah curah hujan jenis *orographic*, oleh karena itu di areal DAS Tondano, khususnya di areal pegunungan sampai dengan sekarang ini belum terdapat atau belum dipasang ARR yang diperuntukan mencatat hujan *orographic*, sehingga apabila terjadi curah hujan *orographic* maka sebagian besar data kedalaman curah hujan tidak terekam, sehingga masih diperlukan stasiun pencatat curah hujan yang diletakan pada lereng-lereng gunung Mahawu, Klabat dan lereng Gunung Lokon.
- **DAS** (daerah aliran sungai) Tondano yang terletak di Kabupaten Minahasa dan Kota Manado terbentang antara 1°07' – 1°31' **Lintang Utara** dan 124°45' – 125°02' Bujur Timur, terbagi menjadi 4 sub DAS, masing-masing: sub DAS Airmadidi, sub DAS Tikala, sub DAS Tondano dan sub DAS Noongan, sub DAS Tikala mengalirkan air hujan di Sungai Sawangan, sub DAS Tondano dan sub DAS Noongan mengalirkan air hujan masuk ke dalam Danau Tondano dan sub DAS Airmadidi mengalirkan air hujan pada bagian tengah dan hilir Sungai Tondano.

Secara keseluruhan tata guna lahan DAS Tondano dapat dilihat seperti pada Tabel 4.2 di bawah.

Tabel 4.1. Tata guna lahan DAS Tondano

No	Jenis Penggunaan Lahan	Luas (Ha)	Persentase (%)
1.	Hutan alam atau semi alami	3.745	6,8
2.	Hutan skunder	1.238	2,3
3.	Hutan buatan (yang ditanam)	71	0,1
4.	Perkebunan	22.267	40,6
5.	Campuran kebun dan Belukar	8.067	40,7
6.	Semak belukar	5.562	10,2
7.	Padang (rumput ilalang)	82	0,2
8.	Sawah	5.960	10,9
9.	Rawa tawar	267	0,5
10.	Parairan danau, badan sungai)	4.684	8,6
11.	Perumahan dll	2.812	5,1
Total		474.335	100

Memperhatikan ke 4 sub DAS tersebut di atas dengan berbagai manfaat lahan di dalam DAS Tondano, maka nilai koefisien limpasan pada masing-masing sub DAS tersebut menjadi berbeda-beda, yaitu besaran nilai koefisien limpasan ditentukan oleh jenis penutup permukaan masing-masing sub DAS.

Dari ke 4 sub DAS yang disebutkan di atas sub DAS Tondano memberikan nilai koefisien limpasan terbesar oleh karena di dalam sub DAS Tondano terdapat Danau Tondano dan areal perkotaan, demikian juga sub DAS Tikala, pada areal ini memberikan nilai koefisien limpasan relatif besar oleh karena lahan di sub DAS Tikala ini merupakan areal perkotaan Kota Mando, sedangkan sub DAS Noongan dan sub DAS Airmadidi, masing-masing sub DAS tersebut merupakan areal perkebunan, pemukiman (rural), sehingga memberikan nilai koefisien limpasan lebih kecil bila dibandingkan dengan 2 sub DAS sebelumnya hal ini dapat dipahami bahwa di kedua sub DAS yang terakhir ini air hujan tereduksi masuk ke dalam tanah melalui proses infiltrasi dan perkolasi.

Selain penjelasan di atas, nilai koefisien limpasan di dalam suatu DAS disamping ditentukan oleh kemiringan lahan juga ditentukan oleh kala ulang hujan. Nilai koefisien limpasan dipandang penting dalam penentuan besaran banjir pada suatu wilayah, termasuk pada wilayah penelitian yang sedang dilaksanakan sekarang ini. Memperhatikan tata guna lahan di DAS Tondano, dapat diprediksi bahwa sejalan dengan bertambahnya waktu, maka fungsi lahan di dalam DAS Tondano akan semakin berubah bertambah kepad air, misalnya semakin meluasnya lahan permukiman, semakin meluasnya Wilayah Perkotaan, perkembangan fungsi DAS tersebut akan memberikan konsekuensi semakin menambah besarnya nilai koefisien limpasan, hal ini akan menyebabkan semakin besar banjir di Wilayah Kota Manado.

Tabel 4.2. Luas sub DAS Tondano

No.	Sub DAS	Luas lahan (km ²)
1	Noongan	22.87
2	Tondano	33.39
3	Tikala	21.47
4	Airmadidi	39.97
Total		117.70

4.3. Gunung di sekitar DAS Tondano

Gunung yang terdapat di Wilayah DAS Tondano, merupakan indikator bahwa keberadaan gunung tersebut akan menyumbangkan atau akan memberi kontribusi tentang adanya sumberdaya air di wilayah gunung itu berada, seperti keberadaan Gunung Klabat, Gunung Mahawu, Gunung Lokon, masing-masing Gunung tersebut terletak di DAS Tondano dan terletak di sekitar DAS Tondano.

Gunung Klabat merupakan gunung tertinggi di Provinsi Sulawesi Utara dan terletak di sekitaran Kota Manado. Puncak ketinggiannya mencapai sekitar 2100 meter. Gunung ini oleh masyarakat Tonsea (Minahasa Utara) disebut juga Gunung Tamporok. Gunung ini merupakan obyek wisata alam dan dapat ditelusuri mulai dari Airmadidi (Ibu Kota Kabupaten Minahasa Utara). Gunung ini merupakan gunung api yang tidak aktif lagi. Puncak Gunung Klabat ini mempunyai kepundan berbentuk danau kecil dengan air yang sangat jernih. Kata Klabat diambil dari bahasa Minahasa "Kalawat" dialek Tonsea

"Kalabat". Kata ini disebutkan oleh para pelaut Portugis "Calabets" sebagai nama gunung di pulau Sulawesi, dari kata ini dinamakan sebagai nama pulau yang kemudian Calabes jadi Calabes = Celebes yang sekarang bernama Sulawesi akhirnya kata ini menjadi nama pulau Sulawesi. Ketinggian 1.995 m (6.545 ft). Ketinggian topografi 1.850 m (6.070 ft). Koordinat 1°27'12"N 125°01'51".

Gunung Kaweng merupakan gunung yang terletak di sekitar kawasan tepi Danau Tondano, letaknya di desa Kaweng, Kecamatan Kakas, Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara. Gunung ini mempunyai ketinggian sekitar 1000 meter. Menurut cerita rakyat gunung ini mempunyai kembaran, namun kembaran gunung ini tidak bisa disaksikan lagi karena telah meletus (pada zaman purba) dan menjadi Danau Tondano dengan luas 4.680 ha terletak di kecamatan Tondano Timur (Kelurahan Toulour dan Kiniar), Eris (Desa Touliang Oki, Ranomerut, Tandengan, Eris, Watumea dan Telap), Kakas (Toulumembet, Tasuka (bekas pelabuhan/pangkalan pesawat tempur tentara Jepang), Kaweng, Kakas Kota, Panasen, Paso), Remboken (Remboken Kota, Sinuijan, Parepey) dan Kecamatan Tondano Selatan (Kelurahan Paleloan, Urongo, Roong).

Gunung Lokon adalah sebuah gunung di dekat Kota Tomohon, puncak gunung Lokon berjarak sekitar 5.300 meter di sebelah barat laut dari Kota Tomohon dan sekitar 6.700 meter di sebelah barat daya dari kota kecamatan Pineleng. Dari ibukota provinsi Manado jaraknya hanya sekitar 20 kilometer di barat daya kota. Gunung ini memiliki ketinggian 1.580 m. Koordinat 1.358°LU 124.792°BT.

Gunung Mahawu adalah gunung berapi stratovolcano yang terletak di timur gunung berapi Gunung Lokon-Gunung Empung berbatasan langsung dengan DAS Tondano, Gunung Mahawu memiliki lebar 180 m dan kedalaman kawah 140 m dengan dua kerucut Piroklastik di lereng utara. Letusan kecil terjadi di tahun 1789. Tahun 1994 terjadi letupan lumpur fumarol dan aktivitas geysir yang terjadi sepanjang danau kawah yang berwarna kehijau-hijauan. Ketinggian 1,324 meter (4,344 kaki). Koordinat 1.358°LU 124.858°BT. Letusan terakhir 1977. Letusan terakhir 1977.

Lahan permukaan gunung pada umumnya berupa hutan dan sebagian lagi berupa *rural*, sehingga air hujan yang jatuh di atas permukaan gunung sebagian besar diantaranya tereduksi menjadi aliran air tanah (groundwater flow).

Dari ke 4 gunung-gunung yang disebutkan di atas merupakan gambaran bahwa di Wilayah DAS Tondano merupakan wilayah yang berkaitan langsung dengan gunung-gunung tersebut, sehingga dapat dinyatakan DAS Tondano berpotensi memiliki sumberdaya air relatif yang melimpah.

Sungai yang terdapat di dalam DAS Tondano, yaitu sungai Tondano dan Sungai Sawangan, keberadaan sungai-sungai ini merupakan indikator bahwa DAS Tondano memiliki jenis penutup lahan permukaan DAS relatif baik, demikian juga dengan terdapatnya sungai-sungai tersebut di atas menggambarkan bahwa struktur lapisan tanah di DAS Tondano relatif baik oleh karena ke 2 sungai yang disebutkan di atas masing-masing bersifat *perrenial*, indikator ini menunjukkan bahwa di bagian dalam tanah DAS Tondano terdapat *interflow*(aliran antara) dan *baseflow*(aliran dasar).

Memperhatikan DAS Tondano yang terbagi menjadi 4 sub DAS seperti yang disebutkan di atas juga dengan adanya 4 gunung, masing-masing Gunung Klabat, Gunung Mahawu, Gunung Kaweng dan Gunung Lokon kemudian terdapat juga 3 sungai, masing-masing Sungai Tondano Sungai Sawangan dan Sungai Sario(bukan di DAS Tondano), maka DAS Tondano dapat dinyatakan sebagai DAS yang memiliki potensi sumberdaya air relatif besar, akan tetapi sumberdaya air pada wilayah DAS Tondano ini belum dimanfaatkan secara teknis dan secara optimal, oleh karena itu DAS Tondano dengan kondisi seperti sekarang dapat menyebabkan bencana banjir, seperti banjir-banjir pada tahun-tahun yang disebutkan di atas. Pemanfaatan sumberdaya air di Sungai Tondano sampai dengan sekarang ini sudah antara lain untuk PLTA di Tonsea Lama dan PLTA di Desa Tenggari I dan II, selain itu di Kecamatan Pal dua air dari Sungai Tondano juga dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan air minum di Kota Manado, untuk memenuhi kebutuhan industri yang terdapat di Kota Manado dan manfaat lain-lain.

4.4. Kelandaian Muara Sungai Tondano

Kelandaian muara Sungai Tondano (I), ruas sungai dari Jembatan Sukarno sampai dengan Jembatan Beringin sebesar 0.0001667 (sumber dari Direktorat Jendral Sumberdaya Air), data slope Sungai Tondano tersebut menunjukkan bahwa kelandaian muara Sungai Tondano relatif rata, sehingga memungkinkan kecepatan air pada ruas muara Sungai Tondano ini menjadi kecil, apabila terjadi banjir kemudian bersamaan waktu dengan air pasang dari laut, maka Wilayah Kota manado berpotensi menerima genangan air.

Analisis hidrologi yang didasarkan dari data curah hujan di stasiun Kaleosan memberikan hasil perhitungan pada banjir dengan kala ulang 100 tahunan seperti pada tabel di bawah.

Tabel 4.3. Hasil analisis hidrologi

t	Qt	Q (m ³ /detIK)						
jam	m ³ /det	Tr = 2 Thn	Tr = 5 Thn	Tr = 10 Thn	Tr = 20 Thn	Tr = 25 Thn	Tr = 50 Thn	Tr = 100 Thn
0.0000	0.0000	3.2500	3.2500	3.2500	3.2500	3.2500	3.2500	3.2500
1.0000	0.2128	9.0697	12.4245	14.6457	16.7763	17.4522	19.5342	21.6008
3.4940	4.2854	121.9482	190.3732	235.6765	279.1325	292.9173	335.3818	377.5328
2.0000	5.4491	183.7783	287.8460	356.7479	422.8402	443.8056	508.3900	572.4975
3.0000	4.6397	191.0656	299.3341	371.0173	439.7776	461.5892	528.7806	595.4759
4.0000	3.9505	189.1468	296.3092	367.2600	435.3178	456.9066	523.4115	589.4254
10.9811	1.2856	126.2335	197.1288	244.0677	289.0926	303.3751	347.3727	391.0454
5.0000	2.4411	148.0728	231.5577	286.8319	339.8523	356.6710	408.4817	459.9098
6.0000	2.1929	134.1739	209.6465	259.6159	307.5478	322.7524	369.5907	416.0831
7.0000	1.9700	116.8159	182.2822	225.6267	267.2037	280.3925	321.0209	361.3494
8.0000	1.7697	102.1525	159.1660	196.9139	233.1227	244.6085	279.9911	315.1124
22.2119	0.3857	56.8504	87.7491	108.2066	127.8300	134.0548	153.2305	172.2646
9.0000	1.1157	67.6476	104.7703	129.3488	152.9251	160.4038	183.4421	206.3104
10.0000	1.0296	61.3097	94.7789	116.9385	138.1944	144.9371	165.7081	186.3257
11.0000	0.9500	55.3441	85.3743	105.2570	124.3289	130.3787	149.0155	167.5146
12.0000	0.8766	50.0139	76.9715	94.8198	111.9403	117.3712	134.1011	150.7074
13.0000	0.8089	45.2936	69.5301	85.5768	100.9692	105.8518	120.8930	135.8231
14.0000	0.7464	44.2718	67.9194	83.5761	98.5944	103.3584	118.0340	132.6013
15.0000	0.6887	41.1027	62.9233	77.3705	91.2285	95.6245	109.1664	122.6083
16.0000	0.6355	38.1784	58.3132	71.6443	84.4317	88.4881	100.9838	113.3872
17.0000	0.5864	35.4800	54.0593	66.3605	78.1600	81.9030	93.4333	104.8785
18.0000	0.5411	32.9900	50.1340	61.4848	72.3728	75.8266	86.4662	97.0272
19.0000	0.4993	30.6925	46.5120	56.9859	67.0327	70.2197	80.0373	89.7824
20.0000	0.4607	28.5724	43.1698	52.8345	62.1052	65.0459	74.1051	83.0973
21.0000	0.4252	26.6161	40.0857	49.0038	57.5583	60.2719	68.6311	76.9287
22.0000	0.3923	24.8109	37.2400	45.4691	53.3627	55.8666	63.5801	71.2366
23.0000	0.3620	23.1452	34.6141	42.2075	49.4912	51.8017	58.9193	65.9843
24.0000	0.3340	21.6082	32.1910	39.1978	45.9188	48.0508	54.6185	61.1377
25.0000	0.3082	20.1900	29.9552	36.4206	42.6224	44.5897	50.6500	56.6656
26.0000	0.2844	18.8813	27.8921	33.8580	39.5807	41.3960	46.9881	52.5389
27.0000	0.2624	17.6737	25.9883	31.4934	36.7740	38.4490	43.6091	48.7311
28.0000	0.2422	16.5594	24.2317	29.3114	34.1841	35.7297	40.4912	45.2175
29.0000	0.2235	15.5311	22.6107	27.2981	31.7942	33.2205	37.6141	41.9752
30.0000	0.2062	14.5824	21.1150	25.4402	29.5890	30.9051	34.9593	38.9835
31.0000	0.1903	13.7069	19.7349	23.7259	27.5542	28.7686	32.5096	36.2229
32.0000	0.1756	12.8990	18.4613	22.1440	25.6766	26.7972	30.2491	33.6756
33.0000	0.1620	12.1536	17.2862	20.6844	23.9440	24.9780	28.1633	31.3250
34.0000	0.1495	11.4657	16.2018	19.3375	22.3453	23.2994	26.2386	29.1561
35.0000	0.1379	10.8310	15.2012	18.0946	20.8701	21.7505	24.4626	27.1547
36.0000	0.1273	10.2453	14.2779	16.9478	19.5088	20.3212	22.8238	25.3079
37.0000	0.1174	9.7049	13.4259	15.8896	18.2528	19.0024	21.3116	23.6039
38.0000	0.1084	9.2062	12.6398	14.9131	17.0937	17.7854	19.9163	22.0314
39.0000	0.1000	8.7461	11.9144	14.0121	16.0242	16.6625	18.6287	20.5804
40.0000	0.0923	8.3215	11.2450	13.1806	15.0373	15.6263	17.4406	19.2416
Q_{MAKSIMUM}		191.0656	299.3341	371.0173	439.7776	461.5892	528.7806	595.4759

Sumber: dari hasil analisis.

Dalam Tabel 4.3 menunjukkan bahwa banjir kala ulang 100 tahun dengan menggunakan data dari stasiun Kaleosan, nilai debit banjir sebesar 459.9098m³/detik.

BAB V HASIL PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian yang berlangsung selama 8 bulan di DAS Tondano dengan data-data primer dan data sekunder seperti di dalam bab 2 dan seperti juga analisis di dalam bab 3, memberikan hasil sebagai berikut:

5.1. Potensi Sumberdaya air DAS Tondano

DAS Tondano yang terbagi menjadi 4 sub DAS, masing-masing sub DAS Noongan, sub DAS Tondano, sub DAS Tikala dan sub DAS Airmadidi, di dalamnya terdapat 2 sungai, masing-masing Sungai Tondano dan Sungai Sawangan yang bersifat *perrenial* kondisi seperti ini menggambarkan bahwa lapisan struktur tanah pada bagian dalam terdapat lapisan *unconfined* dan lapisan tanah *confined*, selain itu terdapat juga sebanyak 13 sungai di sekitar DAS Tondano dan ke 13 sungai tersebut mengalirkan airnya masuk ke dalam Danau Tondano, kemudian terdapat 4 gunung yang berada di dalam DAS Tondano maupun yang terdapat di sekitar DAS Tondano, indikator lain iklim dan curah hujan turun sesuai jadwal reguler, yaitu hujan turun mulai bulan Oktober sampai dengan bulan April dan musim kemarau berlangsung mulai bulan Mei sampai dengan bulan September tiap tahun, semua indikator tersebut merupakan jawaban bahwa DAS Tondano memiliki sumberdaya air relatif melimpah dengan volume relatif besar.

5.2. Jenis Hujan Penyebab Banjir di Kota Manado

Kedalaman curah hujan pada masing-masing tahun banjir seperti yang terdapat di dalam Tabel 3.4. antara lain banjir Tahun 2000, antara lain : Stageof Winangun kedalaman curah hujan pada H-3 = 30mm, H-2 = 110mm, H-1 = 134mm, Staklim Kayuwatu H-3 = 28mm, H-2 = 5mm, H-1 = 114mm, Stamet Samrat: H-3 = 26mm, H-2 = 3mm, H-1 = 3mm, BPP North Tomohon: H-3 = -mm, H-2 = -mm, H-1 = -mm, Distan Air Madidi: H-3 = 15mm, H-2 = 5mm, H-1 = 6mm dan Stageof Tondano: H-3 = 30mm, H-2 = 110mm, H-1 = 8mm.

Kedalaman curah hujan tersebar pada 6 stasiun pencatat curah hujan untuk banjir pada Tahun 2006, antara lain H-3 = 30mm, H-2 = 110mm, H-1 = 134mm, Staklim Kayuwatu: H-3 = 28mm, H-2 = 114mm, H-1 = 26mm, Stamet Samrat: H-3 = 467mm, H-2 = 92mm, H-1 = 32mm, BPP North Tomohon: H-3 = 25mm, H-2 = 10mm,

H-1 = 20 mm, standardized Air Madidi: H-3 = 129mm, H-2 = 122mm, H-1 = 143mm dan Stage of Tondano: H-3 = 16mm, H-2 = 5mm, H-1 = 27mm.

Banjir Tahun 2013 Stage of Winangun: kedalaman curah hujan H-3 = 20mm, H-2 = 2mm, H-1 = 137mm, Staklim Kayuwatu: H-3 = 22mm, H-2 = 2mm, H-1 = 182mm, Stamet Samrat: H-3 = 15mm, H-2 = 3mm, H-1 = 238mm, BPP North Tomohon: H-3 = 30mm, H-2 = 0mm, H-1 = 109mm, Distan Air Madidi: H-3 = 18mm, H-2 = 88mm, H-1 = 90mm dan Stage of Tondano: H-3 = 11mm, H-2 = 6mm, H-1 = 86mm.

Banjir Tahun 2014 Stage of Winangun: kedalaman curah hujan H-3 = 1mm, H-2 = 17mm, H-1 = 88mm, Staklim Kayuwatu rainfall depth: H-3 = 5mm, H-2 = 4mm, H-1 = 87mm, Stamet Samrat: H-3 = 11mm, H-2 = 6mm, H-1 = 145mm, BPP North Tomohon: H-3 = 27mm, H-2 = 9mm, H-1 = 211mm, Distan Air Madidi: H-3 = 3mm, H-2 = 90mm, H-1 = 235mm dan Stage of Tondano: H-3 = 30mm, H-2 = 0mm, H-1 = 64mm.

5.3. Stasiun Pencatat Curah Hujan Orografik

Berdasarkan sebaran curah hujan pada 6 buah stasiun pencatat curah hujan sesuai dengan tahun banjir, maka hujan yang selalu jatuh di wilayah DAS Tondano dapat dibedakan hujan *convective*, *cyclonic* dan hujan *orographic*, ketiga macam hujan tersebut merupakan indikator bahwa iklim di atmosfer DAS Tondano relatif baik untuk mendatangkan curah hujan tiap tahun, dengan demikian curah hujan di wilayah DAS Tondano merupakan petunjuk bahwa DAS Tondano kaya dengan sumberdaya air.

Letak stasiun pencatat curah hujan yang terdapat di dalam DAS Tondano belum representatif untuk merekam curah hujan *orographic* keadaan seperti ini ditandai ketika terjadi hujan orografik di DAS Tondano stasiun pencatat curah hujan yang ada tidak mencatat kedalaman curah hujan secara merata.

5.4. Perubahan Tata Guna Lahan

Tata guna lahan DAS Tondano seperti pada data sekunder menunjukkan bahwa dari tahun ke tahun selalu terus mengalami perubahan, sebelumnya lahan di dalam DAS Tondano berupa hutan sekarang ini berubah menjadi *rural*, sebelumnya lahan di dalam DAS berupa perkebunan dan pertanian sekarang ini telah berubah fungsi menjadi lahan permukiman dan lahan perkotaan, bahkan di beberapa tempat sebagian lahan telah berubah menjadi lahan yang kedap air, sehingga perubahan tata guna lahan

di dalam DAS Tondano tersebut dapat menyebabkan bahaya banjir yang sangat dasyat di Wilayah Kota Manado.

Banjir yang terjadi di Wilayah Kota Manado seperti banjir pada Tahun 2000, banjir Tahun 2006, Tahun 2013 dan Tahun 2014 disebabkan oleh karena meluapnya muara Sungai Tondano dan Sungai Sawangan. Air banjir merupakan air hujan yang tereduksi menjadi limpasan langsung (runoff) kemudian masuk ke dalam sungai dan menjadi musibah bagi masyarakat yang bermukim di Kota Manado. Dari sudut pandang teknik sipil terjadinya banjir secara berulang kali di DAS Tondano, merupakan indikator bahwa DAS Tondano terdapat sumberdaya air belum dikelola secara terpadu, sehingga belum dimanfaatkan secara optimal untuk berbagai macam keperluan.

Pemanfaatan sumberdaya air di Sungai Tondano antara lain untuk PLTA di Tonsea Lama, di Desa Tenggari I dan II, untuk air minum, air untuk kebutuhan kota dan air untuk kebutuhan lain-lain seperti yang terdapat di Kecamatan Pal II merupakan upaya yang sudah dilakukan oleh Pemerintah Pusat maupun Pemerintah Daerah, namun upaya tersebut belum optimal oleh karena sumberdaya air di DAS Tondano ini sebagian besar terbuang ke laut dan bahkan menjadi banjir yang mengakibatkan kerusakan besar di Wilayah Kota Manado. Usaha pemanfaatan air ini juga merupakan indikasi bahwa di DAS Tondano memiliki potensi sumberdaya air relatif baik dan berkelanjutan serta dapat dipebaharui.

Belum diberdayakan secara optimal potensi sumberdaya air di DAS Tondano merupakan pekerjaan rumah tersendiri bagi para peneliti di Sulawesi Utara, sebab ketika musim kemarau panjang, seperti musim Kemarau pada Tahun 1972 selama 9 bulan dan musim kemarau pada Tahun 1982 selama 6 bulan dan bahkan sampai dengan sekarang ini di Wilayah Kota Manado, khususnya bagi masyarakat yang bermukim di lahan perbukitan, umumnya kekurangan air untuk kebutuhan rumah tangga ketika musim panas berlangsung.

Upaya pemberdayaan air untuk mensuplai banyak kebutuhan masyarakat, misalnya untuk kebutuhan industri, untuk kebutuhan hotel, untuk kebutuhan kota, untuk kebutuhan air minum belum dilakukan secara optimal, kendati apabila potensi sumberdaya air di Danau Tondano diberdayakan sebagaimana untuk berbagai macam keperluan, maka akan memiliki multi fungsi termasuk memiliki manfaat untuk mereduksi bahaya banjir yang selama ini selalu menggenangi Wilayah Kota Manado.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian DAS Tondano dengan judul Studi Penyebab Banjir Tahun 2014 di Kota Manado yang dilaksanakan selama 8 bulan di dalam Tahun 2015, selanjutnya disimpulkan seperti di bawah.

6.1. Kesimpulan

- Daerah Aliran Sungai (DAS) Tondano yang terdiri 4 sub DAS, masing-masing sub DAS Noongan, sub DAS Tondano, sub DAS Tikala dan sub DAS Airmadidi memiliki iklim yang memungkinkan hujan turun sesuai jadwal regular, yaitu mulai bulan Oktober sampai dengan bulan April tiap tahun.
- Terdapat 3 jenis hujan di DAS Tondano, masing-masing jenis hujan *convective*, jenis hujan *cyclonic* dan jenis hujan *orographic*.
- Stasiun pencatat curah hujan yang terletak di DAS Tondano dan sekitarnya belum mewakili untuk seluruh wilayah DAS Tondano, khususnya di areal yang dapat merekam kedalaman curah hujan *orographic*.
- DAS Tondano memiliki potensi sumberdaya air cukup melimpah dengan volume relatif besar.
- Tata guna lahan DAS Tondano sebagian besar berupa *rural*, lahan permukiman dan wilayah perkotaan, berpotensi memberikan nilai koefisien limpasan semakin lama akan semakin bertambah besar (*development cathment area*).
- Pemberdayaan sumberdaya air DAS Tondano pada saat ini difungsikan untuk PLTA di Desa Tonsea Lama, Desa Tenggari I dan II dan untuk keperluan air minum yang terdapat di Pal Dua.
- Sebagian besar potensi sumberdaya air di DAS Tondano terbuang ke laut bahkan menjadi banjir dan genangan air di Wilayah Kota Manado.
- Banjir di Wilayah Kota Manado disebabkan oleh karena tata guna lahan di DAS Tondano telah berubah fungsi, disamping penyebab alam yaitu akibat perubahan cuaca.
- Banjir di Kota Manado disebabkan kapasitas muara sungai Tondano semakin mengecil akibat terjadinya erosi tebing sungai, degradasi dan agradasi dasar sungai

- Banjir di Kota Manado disebabkan sempadan sungai telah menjadi permukiman masyarakat.
- Banjir di Kota Manado bukan disebabkan oleh karena debit berasal dari danau Tondano.

6.2. Saran

- Perlu dilakukan konservasi DAS Tondano
- Perlu dipasang alat pencatat curah hujan (rainfall gauge) di areal yang dapat merekam hujan *orographic*.
- Perlu dilakukan pemberdayaan sumberdaya air secara optimal, yaitu pembuatan *reservoir* (waduk) sebagai regulator untuk mensuplai berbagai macam keperluan air untuk Wilayah Kota Manado dan sekitarnya, sekaligus sebagai media untuk mereduksi bahaya banjir yang melanda Kota Manado.
- Dsarankan studi DAS Tondano lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

1. Chow V. T. et al, 1988, Applied Hydrology, McGraw- Hill, Singapore.
2. Ersin Seyhan, 1990, Dasar-dasar Hidrologi, Universitas Gajah mada, Yogyakarta.
3. Joko Legono dkk, 2000, Hidrometri berbasis Komputer, Universitas gajah Mada, Yogyakarta.
4. Sri Harto Br, 1993, Analsis Hidrologi, PT. Gramedia, Jakarta.
5. Sri Harto Br, 2000, Hidrologi, Nafiri offset, Yogyakarta.
6. Sudjarwadi, 1990, Dewan Riset Nasional, Kebutuhan Riset dan Koordinasi Pengelolaan Sumberdaya Air di Indonesia, Jakarta.
7. Sudjarwadi, 1999-1990, Teori dan Praktek Irigasi, PAU Ilmu Teknik Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
8. Sukarno, 2000, Koefisien Limpasan DAS Simpang Lima Kota Semarang, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

LAMPIRAN



Gambar muara Sungai Sawangan



Gambar muara Sungai Sario



Gambar bagian dari ruas Sungai Tondano



Gambar rumah penduduk tenggelam



Gambar Sungai Sario



Gambar jembatan di jalan Boulevard

