

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

1. Danau

Danau merupakan salah satu sumber air permukaan yang sangat penting untuk dijaga kelestariannya. Melihat perkembangan tersebut, diperlukan perencanaan yang berwawasan lingkungan, supaya keberlanjutan ekosistem danau ke depan tetap lestari. Untuk itu, pemahaman tentang karakteristik danau menjadi sangat penting.

Danau menurut Martopo (1982) dan Wetzel (2003) adalah kumpulan air yang berada dalam cekungan tertentu. Secara hidrologis terdapat massa air yang tergenang, dan secara morfologis merupakan daerah yang berbentuk cekung, terisi oleh massa air yang terkumpul. Definisi danau juga diungkapkan oleh Forel (1982), Wetzel (2003), mendefinisikan danau sebagai tubuh perairan yang tergenang menempati suatu basin dan sangat kecil kontinuitasnya dengan laut dan terpisah dari lautan. Menurut Monk 1997 (dalam Susiani 2005), perbedaan utama antara danau dengan sungai terletak pada alirannya. Danau memiliki air yang tenang, sedangkan sungai mempunyai aliran air yang relatif lebih cepat. Selain itu, danau memiliki karakteristik tersendiri, yaitu memiliki vegetasi, sumber air serta *outline*, air tawar, serta terbentuknya bisa secara tektonik, kawah, gletser maupun buatan manusia.

Dengan demikian, danau bisa diartikan sebagai salah satu tubuh perairan tergenang yang menempati suatu cekungan dalam, dikelilingi oleh daratan dan memiliki karakteristik tersendiri bila dibandingkan dengan air permukaan lainnya.

a. Syarat-syarat Danau.

Sebagai suatu tubuh perairan yang tergenang di daratan, ada beberapa syarat dari perairan ini untuk dapat disebut sebagai danau. Martopo (1982). menyatakan bahwa suatu genangan air dikatakan danau apabila mempunyai 3 persyaratan pokok, yaitu:

- 1). Cukup dalam dan menunjukkan adanya strata temperatur pada kedalaman tertentu.
- 2). Dapat vegetasi yang berdaun mengapung yang tidak cukup untuk menutupi seluruh permukaan air dan hanya berada di pinggirnya saja.

- 3). Sudah menunjukkan adanya gelombang yang sudah mampu membentuk mandul (*barren*), gelombang tersapu (*wave-swept*)

b. Mintakat Danau

Menurut Elizabeth dan Robert (1987), Ward, *et al.*, (1990), Priyono (1993), danau secara umum mempunyai tiga katagori mintakat utama, yaitu:

- 1). Mintakat litoral merupakan bagian tepi danau yang dangkal, sehingga penetrasi cahaya matahari dapat mencapai dasar dan banyak dijumpai vegetasi mikrofit berakar.
- 2). Mintakat pelagic, merupakan wilayah perairan terbuka dengan batas vertikal dari permukaan danau hingga kedalaman cahaya efektif.
- 3). Mintakat profundal, merupakan bagian dasar perairan danau dan lapisan air atasnya tidak lagi mengalami penetrasi cahaya matahari yang efektif.

Ketiga parameter yang dikemukakan oleh Ward, Priyono dan Elizabeth ini secara ekologis membedakan danau dengan perairan lainnya. Danau terbentuk berdasarkan berbagai kejadian alam yang dapat dijadikan sebagai dasar klasifikasi lembah danau, mengingat berbagai danau di suatu wilayah biasanya terbentuk menurut cara yang sama. Arthur dan Alan (1987) menyatakan berbagai kejadian alam juga dapat menyebabkan perubahan lembah danau sedemikian rupa sehingga daya simpan airnya hilang dan danaunya sendiri lenyap.

c. Terjadinya Danau

Menurut Verstappen (1983) dan Deborah (1996), berdasarkan kejadiannya, danau dapat dikelompokkan menjadi tujuh, yaitu:

- 1). Danau Tektonik, terjadinya karena lipatan, dislokasi, patahan dan pergerakan dari lapisan kulit bumi.
- 2). Danau Vulkanis, terjadi karena mengkerutnya bagian dalam dari suatu gunung berapi atau terjadi kaldera yang membentuk lembah vulkanis yang besar.
- 3). Danau Karst, lembah danau berasal dari pelarutan batuan gamping yang sudah mengalami perkembangan ke arah karst.

- 4). Danau Bendung Alam, terjadi berbagai bahan seperti batuan, tanah dan lumpur yang kurang terkonsolidasi runtuh atau longsor dan membendung aliran sungai.
- 5). Danau Tanggul Alam, terjadi karena perpindahan sedimen oleh aliran air di dekat pantai dapat menyebabkan bagian hulu sungai terpisah dari pantai dan menyebabkan terbentuknya lembah danau.
- 6). Danau gletser, terjadi karena es atau salju yang meluncur dari tempat yang tinggi ke lembah dan membawa material batuan, tanah dan menutupi lembah akhirnya terjadi genangan.
- 7). Danau di Pedalaman Benua, terjadi lembah danau berasal dari proses jatuhnya meteor, bekas pertambangan membentuk genangan air.

Berdasarkan kejadiannya danau yang dikelompokkan oleh Verstapen, maka menurut Bemmelen (1949) danau Beratan termasuk katagori danau vulkanis, karena proses terbentuknya akibat aktivitas gunung api yang membentuk kaldera raksasa di dataran tinggi Bedugul.

Bentuk danau sulit untuk diklasifikasikan, tetapi pada dasarnya bentuk danau tergantung dari asal mula proses pembentukkannya, kecuali kalau terjadi perubahan bentuk karena gaya lain (Jorgensen, 1980; Arthur dan Alan, 1987). Selanjutnya Jorgensen membagi bentuk permukaan danau menjadi dua, yaitu: bentuk teratur (geometris) dan tak teratur. Bentuk danau yang teratur misalnya bentuk bulat, eliptis, segi empat (danau tektonis), dendritis (danau asal aliran air), segi tiga (danau pantai). Bentuk danau tak teratur pada umumnya danau tua karena pengaruh berbagai proses alam, seperti aliran air, sedimentasi, dan pertumbuhan vegetasi.

Menurut Soerjani (1978), bentuk danau juga sangat di pengaruhi oleh kagiatan manusia seperti: pengembangan pemukiman, perkotaan dan sebagainya karena seringkali bagian yang dangkal dari danau diisi tanah untuk menambah luas daerah pemukiman.

Sampai sekarang para ahli-ahli menganggap danau itu memiliki sifat-sifat yang sama, Jorgensen (1980) dan Deborah (1996) mengemukakan bahwa secara umum danau ada perbedaannya, terutama pada warna, rasa air, kekeruhan, binatang-binatang aquatic, tumbuh-tumbuhan aquatic dan unsur-unsur kimia yang dikandung. Selanjutnya danau dapat dibedakan berdasarkan sifat fisis, kimia dan biologinya.

Menurut Arthur dan Alan (1987), proses pengisian danau maupun dalam memelihara fluktuasi volume air danau tergantung erat dalam daur hidrologi wilayah yang mempengaruhinya. Dalam daur ini air menguap dari permukaan air maupun dari permukaan tumbuhan dalam proses transpirasi dan akhirnya kembali ke bumi. Menurut Reid dan Wood (1976), di Amerika Utara air hujan, salju bentuk presipitasi yang turun 50% sampai 97% diantaranya menguap kembali ke atmosfer melalui penguapan air dan transpirasi tumbuhan, 2% sampai 27% mengalir melalui permukaan bumi ke laut, dan 1% sampai 20% mengalami infiltrasi ke dalam tanah. Menurut Martopo (1982), Elizabeth dan Robert (1987) mengemukakan bahwa danau mendapatkan suplai air dari berbagai sumber, yaitu: sungai, spring atau seepage, air hujan, pencairan salju/es dan air tanah.

Menurut Arthur dan Alan (1987), Deborah (1996), dan Omondi, *et al.*, (2014) perubahan fluktuasi air danau tergantung dari input dan output pada danau itu sendiri. Input yang dimaksud dalam hal ini adalah dari mana saja sumber air yang mengisi danau, sedangkan output yang dimaksud adalah air yang ke luar dari danau bisa berupa penguapan (evaporasi), penggunaan air untuk keperluan domestik, pertanian, industri, pengaliran ke luar danau dan rembesan.

Danau merupakan suatu ekosistem perairan, terdapat sistem kehidupan yang didukung oleh adanya interaksi antara faktor biotik dan faktor abiotik. Faktor ini secara dinamis mengalami perubahan fluktuasi, baik harian maupun musiman. Indonesia memiliki dua musim yaitu musim kemarau dan musim penghujan, secara pasti memberi pengaruh pada sistem hidrologi danau. Danau-danau alam yang terdapat di permukaan bumi mendapat suplai air dari hujan, maka pengaruh musim sangat mencolok. Perbedaan kedalaman air dan luas danau dapat berpengaruh pada kualitas dan kuantitas air danau (Arthur dan Alan, 1987).

Jamie dan Richard (1996) mengemukakan bahwa temperatur berpengaruh terhadap kualitas air danau. Meningkatnya temperatur air danau menyebabkan laju reaksi kimia meningkat mengikuti hukum-hukum kinetik kimia. Daya larut oksigen berkurang seiring dengan meningkatnya temperatur, kemudian laju konsumsi oksigen melalui oksidasi kimia dan biologi senyawa-senyawa organikpun meningkat.

d. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Danau

Engelen (1972), Arthur dan Alan (1987), Ward, *et al.*, (1990) menyatakan kualitas air danau dipengaruhi oleh lima faktor, yaitu:

- 1). Iklim, meliputi temperatur dan curah hujan, temperatur berpengaruh terhadap pelarutan gas dalam air. Semakin rendah temperatur semakin banyak gas-gas yang tertinggal sebagai larutan. Hujan yang jatuh ke tanah akan melarutkan beberapa unsur kimia seperti: O₂, CO₂, Cl, SO₄, dan Nitrogen.
- 2). Vegetasi, jenis maupun banyaknya suatu vegetasi juga mempengaruhi kualitas air danau.
- 3). Litologi, batuan merupakan sumber material yang dilarutkan oleh air sewaktu melaluinya, seperti CaCO₃
- 4). Waktu, lamanya air tinggal dalam danau akan mempengaruhi kualitasnya.
- 5). Aktivitas manusia, pengolahan lahan, limbah industri, limbah rumah tangga dan *speedboat* akan mempengaruhi kualitas air danau.

e. Kelayakan Danau

Menurut Deborah (1996), dan Sudarmadji (1997) kelayakan air bagi peruntukan tertentu seperti: air minum, irigasi dan industri harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- 1). Fisika, air harus Jernih, tidak berbau, tidak berwarna, tidak ada rasa segar oleh adanya oksigen.
- 2). Kimia, tidak boleh ada zat-zat kimia yang merugikan tubuh dan merugikan dalam pengaliran pipa-pipa bangunan air.
- 3). Bakteriologis, bakteri yang harus dihindarkan adalah bakteri yang menyebabkan sakit perut.
- 4). Radioaktif, air tidak mengandung zat-zat radioaktif.

2. Air

Sumberdaya alam merupakan modal dasar bagi pembangunan, sehingga dalam memanfaatkan sumberdaya alam harus diketahui karakteristiknya terlebih dahulu, seperti distribusinya yang tidak merata, saling berinteraksi dan ketergantungan dan dapat dibedakan menjadi sumberdaya alam yang terbarukan maupun yang tak terbarukan (Katili, 1983). Kompleksnya interaksi antar komponen sumberdaya alam tidak dapat dianggap secara terpisah-pisah, tetapi membentuk suatu system yang komprehensif dan menyeluruh (Dietz,

1995). Kajian tentang hubungan antar penduduk dengan sumberdaya alam dan lingkungan mempunyai arti penting, karena pemanfaatan sumberdaya alam dan lingkungan oleh penduduk apabila kurang memperhatikan karakteristiknya akan mengakibatkan penurunan kualitas sumberdaya dan lingkungan (Dietz, 1995).

Penelitian ini mengkaji potensi sumberdaya air danau pada ekosistem gunungapi Beratan yang dikaitkan dengan daya dukung wilayahnya. Oleh karena itu perlu pembahasan sumberdaya air yang akan dikaji, kualitas dan kuantitas karakteristik ekosistem danau. Unsur-unsur alam yang termasuk dalam sumberdaya alam meliputi: lahan, bahan galian tambang, tumbuhan dan satwa, air, udara, dan sumberdaya energy (Katili, 1983). Sumberdaya alam dan lingkungan bersifat dinamis, mengalami perubahan dari waktu ke waktu baik jumlah maupun mutunya, dan perubahan sumberdaya dan lingkungan mengalami transisional yang semula didominasi oleh alam kemudian didominasi oleh manusia (Messerli, 2000; Omondi, *et al.*, 2014).

Potensi sumberdaya air danau dalam hal ini dapat ditinjau dari segi kualitas dan kuantitasnya. Untuk kualitas air danau dapat ditinjau dari sifat fisika, sifat kimia dan sifat biologinya. Sedangkan kuantitasnya bisa dilihat dari imbalanced airnya atau storage-nya. Variabel dari imbalanced air terdiri dari: air hujan, limpasan, air tanah dari DAS lain, Sungai, evaporasi, penggunaan air, air keluar dari DAS lewat rembesan, dan simpanan. Ketersediaan sumberdaya air danau yang melimpah menyebabkan timbulnya daya tarik bagi penduduk, sehingga kawasan kaldera gunungapi Beratan menjadi konsentrasi penduduk. Ketersediaan sumberdaya air yang melimpah dimanfaatkan oleh penduduk untuk berbagai keperluan seperti: perikanan, pertanian, domestik use, industry dan kepariwisataan.

a. Kualitas Air

Kualitas air sangat penting , karena merupakan dasar dan pedoman untuk mencapai tujuan pengelolaan air sesuai dengan peruntukannya. Masalah air pada dasarnya menyangkut dua hal, yaitu kuantitas dan kualitasnya. Hal ini penting untuk menentukan permasalahan berada dimana, dalam lingkungan apa, kualitas air yang bagaimana, sehingga dapat dengan tepat menentukan strategi pengelolaannya.

Air adalah bagian terpenting dalam kehidupan manusia. Untuk itu diperlukan pengkajian yang mendalam terhadap mutu dan sifat air yang banyak dipengaruhi oleh unsur-

unsur fisik dan nonfisik (Richard, *et al.*, 2013). Penelitian kualitas air adalah salah satu cara untuk mengetahui mutu air yang sesuai dengan peruntukannya.

Kualitas air menurut Effendi (2003), adalah kondisi kualitatif air yang dicerminkan oleh beberapa parameter, seperti: parameter organik, anorganik, fisika, biologi, radioaktif dalam hubungannya dengan kehidupan. Parameter tersebut menunjukkan mutu kualitas air untuk kehidupan.

Wardana (2001), menyatakan kualitas air sebagai mutu air yang ditentukan oleh banyak faktor, yaitu: zat terlarut, tersuspensi, dan makhluk hidup dalam air. Apabila kualitas air tidak sesuai dengan peruntukannya, maka air tersebut dikategorikan air tercemar.

Lebih jauh lagi, mengenai kualitas air dapat dilihat juga dalam Peraturan Pemerintah No. 20 tahun 1990 Tentang Pengendalian Pencemaran Air, dalam Herlina (2005) yang mendefinisikan kualitas air sebagai sifat dan kandungan makhluk hidup, energi, atau komponen yang lain di dalam air. Kualitas air dinyatakan dengan beberapa parameter, yaitu fisika (suhu, kekeruhan dan lain sebagainya), kimia (pH, oksigen terlarut, BOD, kadar logam) dan parameter biologi (keberadaan plankton, bakteri dan sebagainya). Dari ketiga definisi tersebut, dapat disimpulkan bahwa kualitas air adalah tinggi rendahnya mutu suatu perairan, yang dapat diukur dan ditentukan oleh zat terlarut maupun tersuspensi dalam air, dengan parameter fisika, kimia dan biologis.

Menurut Sudarmadji (2004), masalah yang mempercepat penurunan kualitas air adalah sebagai berikut:

- 1) Pertambahan penduduk dengan akibat yang ditimbulkannya, termasuk pembuangan limbah, pengadaan sarana sanitasi, dan pengembangan permukiman dengan segala kelengkapannya.
- 2) Pengembangan teknologi beserta kelengkapannya, sebagai contoh adalah penggunaan teknologi baru yang kurang baik penerapannya terutama ditinjau dari kelestarian lingkungan.
- 3) Perkembangan industri, baik jumlah maupun macamnya, terutama industri yang menghasilkan limbah yang berasal dari pabrik.

Lebih jauh mengenai kualitas air ditegaskan dalam Peraturan Gubernur Bali Nomor 8 Tahun 2007 Tentang Baku Mutu Lingkungan Hidup dan Kriteria Baku Kerusakan Lingkungan Hidup yang menggolongkan kualitas air menjadi 4 kelas, yaitu:

- 1). Kelas satu: air yang diperuntukannya dapat digunakan untuk air baku, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- 2). Kelas dua: air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.
- 3). Kelas tiga: air yang diperuntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan.
- 4). Kelas empat: air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanaman dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Sedangkan menurut Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 416/Menkes/Per/IX/1990, mengklasifikasikan jenis kualitas air sebagai berikut.

- 1). Golongan A adalah air untuk air minum tanpa pengolahan terlebih dahulu.
- 2). Golongan B adalah air yang dipakai sebagai bahan baku air minum melalui suatu pengolahan.
- 3). Golongan C adalah air untuk perikanan dan peternakan.
- 4). Golongan D adalah air untuk pertanian dan usaha perkotaan, industri dan PLTA

Dalam Keputusan Menteri Kesehatan RI No. 907/Menkes/SK/VII/2002, untuk menjamin kualitas air minum yang diproduksi memenuhi persyaratan, air minum yang dialirkan melalui sistem distribusi perpipaan wajib mengadakan pengawasan internal terhadap kualitas air yang diproduksi.

Dari paparan di atas jelas bahwa kualitas air adalah kondisi kualitatif air yang tidak terkontaminasi oleh bakteri maupun zat pencemar lainnya sehingga tidak menimbulkan gangguan penyakit apabila dikonsumsi oleh masyarakat. Air menurut kualitasnya ada yang mempunyai kualitas tinggi, sedang, maupun rendah.

1) Parameter Fisik

Berdasarkan KEPMENKES NO. 907/MENKES/SK/VII/2002 secara garis besar parameter fisik air adalah sebagai berikut.

a). Suhu

Suhu air akan menentukan penerimaan (*acceptance*) masyarakat akan air tersebut dan dapat mempengaruhi pula reaksi kimia dalam pengelolaan, terutama apabila suhu tersebut sangat tinggi. Suhu tertentu dalam air dapat menguntungkan bagi mikroorganisme dan virus dalam air, yang berakibat pada pencemaran air. Untuk standar kualitas air golongan A khususnya parameter fisik, suhu air yang baik adalah mengikuti suhu udara minimum suatu daerah (Effendi, 2003; Riddhi *et al.*, 2008).

b). Warna

Warna air dicantumkan dalam standar persyaratan kualitas air bersih dengan pertimbangan bahwa air yang berwarna akan mengurangi segi estetika dan tidak diterima oleh masyarakat

c). Rasa

Air yang mempunyai kualitas baik tentunya air yang apabila ditinjau dari rasanya adalah tidak mempunyai rasa. Secara fisik air bisa dirasakan dengan lidah. Air yang berasa asam, manis, pahit atau asin menunjukkan bahwa kualitas air tersebut tidak baik sebagai air minum (Dewi, 2008). Timbulnya rasa yang menyimpang pada air biasanya disebabkan oleh adanya polusi pada air tanah baik yang disebabkan oleh bahan organik maupun senyawa kimia seperti phenol (Eloy, 2006).

d). Bau

Bau pada air dapat disebabkan oleh bahan-bahan kimia, ganggang, plankton atau tumbuhan, dan hewan air, baik yang hidup maupun mati. Air yang mempunyai kualitas baik adalah air yang tidak berbau (Raini, dkk 2004; Eloy, 2006). Lebih jauh dikemukakan bahwa air yang mempunyai kualitas baik memiliki ciri yang tidak berbau bila diciumi dari jauh maupun dekat. Apabila air yang berbau busuk mengandung bahan-bahan organik yang sedang mengalami dekomposisi oleh mikroorganisme.

e). Kekeruhan

Menurut Sutrisno (1994), Riddhi, *et al.*, (2008) air akan mengalami kekeruhan, apabila air tersebut mengandung begitu banyak partikel bahan yang tersuspensi sehingga memberikan

warna atau rupa yang berlumpur dan kotor. Kekeruhan pada air disebabkan oleh adanya butiran-butiran koloid dari tanah liat, lumpur, bahan-bahan organik yang tersebar secara baik dan partikel-partikel kecil yang tersuspensi lainnya. Semakin banyak kandungan koloidnya atau partikel-partikel lainnya, maka air tersebut akan semakin keruh.

2) Parameter Kimia

Menurut Raini, dkk (2004) dan KEPMENKES NO. 907/MENKES/SK/VII/2002 mengemukakan bahwa kualitas air yang baik ditinjau dari parameter kimia adalah sebagai berikut.

a). pH

pH merupakan gambaran jumlah atau aktivitas ion hidrogen dalam perairan. Secara umum nilai pH menggambarkan seberapa besar tingkat keasaman atau kebebasan suatu perairan. Air yang mempunyai nilai $\text{pH}=7$ adalah netral, $\text{pH}<7$ dikatakan kondisi air bersifat asam, sedangkan $\text{pH}>7$ dikatakan kondisi air bersifat basa.

b). Kesadahan

Kesadahan ada dua macam yaitu kesadahan sementara dan kesadahan nonkarbonat (permanen). Kesadahan sementara akibat keberadaan kalsium dan magnesium bikarbonat yang dihilangkan dengan memanaskan air hingga mendidih atau menambahkan kapur dalam air (Richard, *et al.*, 2013).

c). Besi

Air yang mengandung banyak besi akan berwarna kuning dan menyebabkan rasa logam besi dalam air, serta menimbulkan korosi pada bahan yang terbuat dari metal. Besi merupakan salah satu unsur yang merupakan hasil pelapukan batuan induk yang banyak ditemukan diperairan umum. Batas maksimal yang terkandung di dalam air adalah 0,3 mg/l

d). Aluminium

Batas maksimal yang terkandung didalam air menurut Peraturan Menteri Kesehatan No 82/2001 yaitu 0,2 mg/l. Air yang mengandung banyak aluminium menyebabkan rasa yang tidak enak apabila dikonsumsi.

e). Sulfat

Kandungan sulfat yang berlebihan dalam air dapat mengakibatkan kerak air yang keras pada alat merebus air (panci/ketel) selain mengakibatkan bau dan korosi pada pipa.

f). Nitrat dan nitrit

Pencemaran air dari nitrat dan nitrit bersumber dari tanah dan tanaman. Nitrat dapat terjadi baik dari NO₂ atmosfer maupun dari pupuk-pupuk yang digunakan dan dari oksidasi NO₂ oleh bakteri dari kelompok Nitrobacter (Riddhi, *et al.*, 2008; Omond,i *et al.*, 2014). Jumlah nitrat yang lebih besar dalam usus cenderung untuk berubah menjadi nitrit yang dapat bereaksi langsung dengan hemoglobine dalam darah membentuk methaemoglobine yang dapat menghalangi perjalanan oksigen di dalam tubuh.

g). Klorida

Klorida dalam konsentrasi yang layak, tidak berbahaya bagi manusia. Klorida dalam jumlah kecil dibutuhkan untuk desinfektan namun apabila berlebihan dan berinteraksi dengan ion Na⁺ dapat menyebabkan rasa asin dan korosi pada pipa air.

h). Zink atau Zn

Batas maksimal zink yang terkandung dalam air untuk air minum adalah 3 mg/l. Penyimpangan terhadap standar kualitas ini menimbulkan rasa pahit, sepet, dan rasa mual. Dalam jumlah kecil, zink merupakan unsur yang penting untuk metabolisme, karena kekurangan zink dapat menyebabkan hambatan pada pertumbuhan anak.

3) Parameter Biologis

a). *Escherichia coli*

Menurut Riddhi, *et al.*, (2008), Idowu (2012) *Escherichia coli* adalah kuman oportunistik yang banyak ditemukan di dalam usus besar manusia sebagai flora normal. Sifatnya unik karena dapat menyebabkan infeksi primer pada usus, misalnya diare pada anak, seperti juga kemampuannya menimbulkan infeksi pada jaringan tubuh lain di luar usus. *Escherichia coli* sebagai salah satu contoh terkenal mempunyai beberapa spesies hidup di dalam saluran pencernaan makanan manusia dan hewan berdarah panas. *Escherichia coli* mula-mula diisolasi oleh *Escherich* dari tinja bayi. Sejak diketahui bahwa jasad tersebut tersebar pada semua individu, maka analisis bakteriologi air minum ditujukan pada semua individu, maka analisis bakteriologi air minum ditujukan kepada kehadiran jasad tersebut.

b). Total Bakteri Koliform

Golongan bakteri coli, merupakan jasad indikator di dalam substrat air, bahan makanan dan sebagainya untuk kehadiran jasad berbahaya yang mempunyai persamaan sifat. Menurut

Riddhi, *et al.*, (2008), Idowu (2012), bakteri coliform berdasarkan asal dan sifatnya dibagi menjadi dua golongan, yaitu:

- (1). Coliform fekal, seperti *Escherichia Coli* yang betul-betul berasal dari tinja manusia.
- (2). Coliform non fekal, seperti *Aerobacter* dan *Klebsiella* yang bukan berasal dari tinja manusia tetapi biasanya berasal dari hewan atau tanaman

Di Indonesia syarat-syarat dan pengawasan kualitas air minum harus sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor: 907/MENKES/SK/VII/2002, yang besarnya total *coliform* per 100 ml air minum adalah 0.

b. Kuantitas Air

Keseimbangan air merupakan suatu sistem yang diberi batasan sebagai kumpulan objek dan subsistem yang disatukan dengan beberapa bentuk interaksi yang beraturan, bila sistem tersebut dipandang sebagai salah satu yang mengalir dapat diterapkan pada suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) khususnya berupa ekosistem danau, maka akan nampak tiga komponen yang saling terkait yakni: masukan, struktur sistem, dan keluaran (Mohan, *et al.*, 2007). Keseimbangan air atau neraca khususnya untuk danau dipengaruhi oleh tujuh parameter, yakni: curah hujan, limpasan, air tanah, evaporasi air permukaan, pemakaian air, rembesan ke luar, dan simpanan air (Austin, *et al.*, 2010; Zetland, *et al.*, 2013).

Ada 3 persyaratan mutlak untuk terjadinya hujan, antara lain: cukup tersedianya uap air, adanya inti pembekuan atau inti kondensasi, dan adanya tenaga pengangkutan ke atas (Mohan, *et al.*, 2007; Horne, *et al.*, 1994). Dalam mengkaji curah hujan ada tujuh faktor yang mempengaruhi lebat tidaknya curah hujan tersebut antara lain: garis lintang, ketinggian tempat, jarak dari sumber-sumber air, posisi di dalam ukuran massa tanah daratan, arah angin, hubungannya dengan deretan gunung dan suhu nisbi tanah.

Curah hujan jatuh tidak merata menurut wilayah dan waktu. Untuk mengatasi masalah tersebut perlu mempelajari jaring stasiun hujan, makin banyak stasiun hujan yang terdapat di daerah maka akan lebih teliti angka hujan yang diperoleh.

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu

titik tertentu, curah hujan yang demikian itu disebut curah hujan wilayah atau daerah (Mock, 1973).

Aliran air permukaan yang berupa limpasan (*runoff*) dipengaruhi oleh dua kelompok yaitu: elemen meteorologi yang diwakili oleh curah hujan, dan elemen daerah pengaliran. Parameter curah hujan yang mempengaruhi limpasan antara lain : jenis curah hujan, intensitas hujan, lama curah hujan, distribusi curah hujan, arah pergerakan curah hujan, dan curah hujan terdahulu serta kelembaban tanah. Faktor-faktor iklim yang mempengaruhi limpasan dengan banyaknya curah hujan dan tebal evapotranspirasi (Engelen, 1972; Wu, *et al.*, 1998).

Menurut Neil (2014), faktor-faktor iklim yang mempengaruhi limpasan yang masuk ke sistem danau terdiri dari : faktor meteorologi (curah hujan, radiasi, suhu, kelembaban, kecepatan angin, tekanan atmosfer), faktor daerah aliran sungai (topografi, geologi, tipe tanah, vegetasi, dan jaringan drainase), dan faktor daerah aliran sungai (topografi, geologi, tipe tanah, vegetasi, dan jaringan drainase), faktor manusia (struktur hidrolik, pengolahan pertanian, urbanisasi).

Panjang durasi hujan akan semakin kecil intensitasnya. Karena terdapat elemen daerah pengaliran yang mempengaruhi limpasan (*runoff*) dapat berlangsung kondisi penggunaan tanah daerah pengaliran dilihat dari keadaan topografi dan karakteristik jaringan sungai. Hubungan limpasan yang didasarkan pada kondisi daerah yang dapat dipakai untuk menghitung limpasan pada daerah lingkungan yang lebih dekat limpasan yang diamati dari daerah aliran pada saat hujan (Dylan, 2005).

Keberadaan hujan semakin pendek durasi hujan akan semakin besar intensitasnya dan semakin panjang durasi hujan akan semakin kecil intensitasnya. Karena terdapat elemen daerah pengaliran yang mempengaruhi limpasan (*runoff*) dapat berlangsung kondisi penggunaan tanah daerah pengaliran dilihat dari keadaan topografi dan karakteristik jaringan sungai. Hubungan limpasan yang didasarkan pada kondisi daerah yang dapat dipakai untuk menghitung limpasan pada daerah lingkungan yang lebih dekat limpasan yang diamati dari daerah aliran pada saat hujan.

Evaporasi merupakan proses berubahnya wujud air ke dalam bentuk lain menjadi uap. Air akan menguap dari tanah, baik tanah terbuka atau tanah ditutup oleh tanaman, dan

pepohonan, dan dari tubuh air itu sendiri (Atau, *et al.*, 2011). Kecepatan proses evaporasi atau penguapan akan berubah – ubah menurut warna dan sifat pemantulan, kemudian masalah tersebut juga akan berbeda pada permukaan yang langsung disinari oleh matahari dan yang terlindung oleh sinar matahari.

Evaporasi merupakan proses fisis perubahan cairan menjadi uap ini terjadi bilamana air berhubungan dengan atmosfer yang tidak jenuh, baik secara internal pada daun-daun tanaman (transpirasi) maupun secara eksternal pada permukaan basah (Pandey, *et al.*, 2012).

Di daerah yang beriklim sedang dan lembab, kehilangan air lewat evaporasi air bebas dapat mencapai 60 cm per tahun kemudian kira-kira 45 cm per tahun lewat evaporasi permukaan tanah. Sedangkan daerah yang beriklim kering dengan proses evaporasi sangat besar 200 cm per tahun. Perbedaan yang sangat menyolok ini disebabkan karena antara bulan basah dengan bulan kering perbedaannya yang jauh atau boleh dikatakan bulan kering lebih panjang dari pada bulan basah atau tidak ada curah hujan dalam waktu lama (ILRI, 1974).

Evaporasi merupakan indikasi perubahan-perubahan dalam defisiensi kandungan air suatu aliran dan dalam kapasitas tertentu kadang-kadang digunakan untuk menentukan limpasan (*runoff*) air hujan (Wu, *et al.*, 1998). Berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhi evaporasi dari variabel iklim di suatu daerah antara lain: radiasi matahari, angin, kelembaban dan suhu. Proses evaporasi yang berjalan terus hampir sepanjang hari dibawah pengaruh parameter meteorologi.

Kualitas air yang di evaporasi ini semakin bertambah besar akibat jumlah air yang ditranspirasikan akan lebih banyak dibandingkan dengan air langsung dievaporasi sebagai air bebas. Dimana *spring* merupakan rembesan air tanah yang terpusat pada satu titik sedangkan *seepage* merupakan rembesan air yang terpecah. Biasanya *spring* dan *seepage* yang muncul pada daerah patahan, selain terdapat lokasi yang munculnya mata air *spring* dan *seepage* ini bisa muncul pada kaki gunungapi.

Faktor –faktor yang mempengaruhi air tanah mengalir lebih besar atau kecil rembesan air adalah batuan, tebal dan kedalaman akuifer, kondisi patahan, dan sumber air dan luas DAS (Omar, 2014) . Disebabkan bagian aliran tanah menuju muka air tanah, biasanya muka air tanahnya terletak pada suatu kedalaman tertentu sedangkan rembesan air yang ke luar

danau yang mempengaruhi adanya jenis batuan dan arah batuan yang menutupi danau bersangkutan.

Rembesan air yang ke luar dari tubuh danau vulkanik yang menyebar ke segala arah lereng dan masuk dalam pola aliran sungai. Karena dalam perhitungan keseimbangan air danau ini terjadi parameter rembesan air merupakan parameter yang akan dicari dalam formula imbangan air (Pandey, *et al.*, 2012; Omar, 2014).

Pemakaian air permukaan khususnya di danau terdiri dari: pertanian, dosmetik maupun industri sangat perlu mengetahui besar kecilnya dalam penggunaan air yang tergantung dari kebutuhan dilihat dari pemakaian air dengan memperhatikan debit pemakaian maupun debit pengisian yang kembali pada tubuh air tersebut. Seandainya tidak diperhitungkan nanti akan menimbulkan kerusakan pada lingkungan tubuh air (Neil, 2014).

Danau vulkanik merupakan danau tertutup (tidak memiliki *inlet* dan *oulet*) sehingga sumber air yang hanya berasal dari air hujan perlu perhatian dalam pemakain.. Jika permasalahan tersebut tidak mendapatkan perhatian yang akan berdampak pada kelangsungan dari sumber air tersebut.

Perubahan timbunan air merupakan bagian dari sistem imbangan air, air hujan yang jatuh di daerah tangkapan hujan akan mengalami berbagai peristiwa seperti: penguapan, meresap ke dalam tanah dan sisanya menjadi aliran di atas permukaan tanah malalui saluran-saluran kecil. Aliran tersebut akhirnya masuk ke danau dan merupakan fungsi sebagai pengaliran masuk danau. Sedangkan air yang ada di danau mengalami penguapan dan pengambilan oleh masyarakat, proses ini merupakan fungsi sebagai pengeluaran. Peristiwa perbedaan volume air yang tertampung di danau setelah mengalami peristiwa di atas dari suatu waktu ke waktu berikutnya disebut dengan perubahan timbunan air Welch 1952 (dalam Atmaja 2004). Nilai dari perubahan timbunan air dapat positif dan dapat negatif, perubahan timbunan air positif apabila volume suatu waktu lebih kecil dari volume berikutnya. Perubahan timbunan air dikatakan negatif apabila volume suatu waktu lebih besar dari volume berikutnya. Perubahan simpanan air atau perubahan timbunan air dapat dipengaruhi oleh perubahan iklim (*climate change*) seperti: curah hujan, suhu udara, radiasi matahari dan evapotranspirasi (Irfan, 2012; dan Austin, *et al.*, 2010).

3. Sedimen

Sedimen baik dalam bentuk terlarut atau tidak terlarut adalah merupakan produk pelapukan batuan yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan terutama perubahan iklim. Oleh tenaga kinetik hujan dan aliran permukaan, partikel tanah dapat terkelupas dan terangkut ke tempat yang lebih rendah. Transpor sedimen dapat menyebabkan terjadinya pendangkalan danau, waduk, sungai dan dermaga (Asit, 1990; Walter, *et al.*, 2014).

Tenaga erosi yang berupa air mengalir merupakan tenaga transpor sedimen yang paling umum terjadi di daerah tropis. Pada kondisi yang tenang, sedimen yang terbawa bersama aliran akan diendapkan. Pengendapan adalah proses pengangkutan dan peletakan material hasil proses pengikisan dan pengangkutan oleh tenaga erosi (Chamley, 1990; dan Ismail, 2008). Sedimen sebelum diendapkan akan mengalami perlakuan yang berbeda-beda. Sedimen diendapkan dalam lingkungan berbeda-beda berdasarkan kekuatan tenaga pengangkut dan ukuran butir sedimen. Sedimen dengan ukuran butir yang besar akan diendapkan dekat dengan sumbernya, sedangkan sedimen dengan ukuran butir yang lebih kecil dapat terangkut lebih jauh walaupun kekuatan tenaga pengangkutnya sama (Aidin, *et al.*, 2014; Walter, *et al.*, 2014).

Pengangkutan sedimen dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu: sedimen yang bergerak selalu dekat dengan dasar aliran dan melayang pada badan air. Kedua cara tersebut dinamakan muatan sedimen (Chow, 1974; Aidin, *et al.*, 2014). Sedimen yang bergerak dekat dengan dasar aliran terjadi jika tenaga kinetik dari luar yang bekerja lebih besar daripada tenaga resisten yang bekerja padanya. Sedimen yang melayang bergerak bersama aliran air (Aloyce, 2014). Menurut Nagle dan Spencer (1997), muatan sedimen yang terangkut melalui sungai atau aliran dibedakan menjadi 3, yaitu: (a) muatan sedimen tersuspensi, (b) muatan dasar, dan (c) muatan terlarut. Muatan sedimen tersuspensi terjadi apabila ukuran partikel lebih kecil dari 0,0625 mm seperti lempung dan debu dibawa oleh arus sungai sebagai *wash load*. Muatan dasar seperti kerikil (*gravel*) dan yang lebih besar bergerak dengan cara menggelinding atau merayap sebagai *bed load*. Muatan terlarut akan terbawa bersama aliran dalam bentuk larutan terutama berasal dari pelapukan khemis atau pelarutan (*solution*).

Hasil sedimen adalah besarnya sedimen yang berasal dari erosi yang terjadi di daerah tangkapan air yang diukur pada periode waktu dan tempat tertentu (Asdak, 2001). Hasil

sedimen biasanya diperoleh dari pengukuran sedimen terlarut dalam sungai atau dengan pengukuran langsung di danau atau waduk.

Pengukuran sedimen dalam danau atau waduk dapat dilakukan dengan berbagai cara diantaranya dengan mengukur muatan sedimen yang terbawa oleh sungai yang masuk danau atau waduk, *plotting drum* di daerah penampungan hujan atau dengan pendugaan langsung di danau atau waduk (Asit, 1990). Pendugaan langsung di danau atau waduk dapat dilakukan dengan menggunakan *echo sounding*, jika ketebalan air danau tebal atau dengan pengukuran langsung menggunakan tali yang dibawahnya diberi beban.

Kapasitas angkutan sedimen pada penampang memanjang sungai adalah besaran sedimen yang lewat penampang tersebut dalam satuan waktu tertentu. Terjadinya penggerusan, pengendapan atau mengalami angkutan seimbang perlu diketahui kuantitas sedimen yang terangkut dalam proses tersebut. Sungai dalam keadaan seimbang jika kapasitas sedimen yang masuk pada suatu penampang memanjang sungai sama dengan kapasitas sedimen yang ke luar dalam satuan waktu tertentu (Ismail, 2008).

4. Potensi Sumberdaya Air

Sumberdaya air merupakan modal dasar bagi pembangunan, sehingga dalam memanfaatkan sumberdaya air harus diketahui karakteristiknya terlebih dahulu, seperti: distribusinya yang tidak merata, keberadaannya, kuantitasnya, saling berinteraksi dan ketergantungan serta dapat dibedakan menjadi sumberdaya alam yang terbarukan maupun yang tak terbarukan (Dietz, 2000). Kompleksnya interaksi antar komponen sumberdaya air tidak dapat dianggap secara terpisah-pisah, tetapi membentuk suatu sistem yang komprehensif dan menyeluruh (Mustapha, 2011). Kajian tentang hubungan antara sumberdaya air dengan penduduk dan lingkungan mempunyai arti penting, karena pemanfaatan sumberdaya air dan lingkungan oleh penduduk apabila tidak memperhatikan karakteristiknya akan mengakibatkan penurunan kualitas sumberdaya dan lingkungan (Dietz, 2000; Omondi, *et al.*, 2014).

Penelitian ini mengkaji potensi sumberdaya air pada ekosistem Danau Beratan yang dikaitkan dengan sosial ekonomi masyarakat adat. Oleh karena itu, perlu pembahasan sumberdaya air yang akan dikaji, karakteristik ekosistem dan daya dukung lingkungannya.

Sumberdaya air dan lingkungan bersifat dinamis, mengalami perubahan dari waktu ke waktu baik jumlah maupun mutunya dan perubahan sumberdaya dan lingkungan mengalami transisional yang semula didominasi oleh alam selanjutnya didominasi oleh manusia (Katili, 1983; Pandey, *et al.*, 2012).

Data sumberdaya air yang dapat dikaitkan dengan daya dukung lingkungan adalah data spasial dan data temporal. Data spasial dan temporal dari sumberdaya air dapat diperoleh dari pengukuran langsung atau dari teknik penginderaan jauh melalui interpretasi foto udara, citra satelit atau citra penginderaan jauh yang lain (Lillesand, 1995). Setiap jenis citra penginderaan jauh mempunyai kemampuan yang berbeda untuk perolehan data sumberdaya air.

Air danau sebagai sumberdaya yang potensial untuk dikelola demi kesejahteraan masyarakat adat sekitar. Ketersediaan sumberdaya air yang melimpah ternyata mempunyai daya tarik bagi penduduk, sehingga kawasan Danau Beratan menjadi konsentrasi penduduk, yang ditunjukkan oleh kepadatan penduduk tinggi. Ketersediaan sumberdaya air yang melimpah di kawasan Danau Beratan yang dimanfaatkan oleh banyak penduduk, maka perlu dipertanyakan daya dukung lingkungannya.

5. Konservasi

Konsep pembangunan yang berkelanjutan menjadikan konservasi sumber daya alam sebagai pusat perhatian. Hampir dari kita semua setuju konsep dasar konservasi adalah “jangan membuang-buang sumber daya alam”. Konsep dasar konservasi air adalah jangan membuang-buang air. Pada awalnya konservasi air diartikan menyimpan air dan menggunakannya untuk keperluan yang produktif dikemudian hari. Konsep ini disebut konservasi segi suplai. Konsep di atas merupakan konsep lama dan seiring perkembangan jaman konsep tersebut perlahan-lahan tergusur oleh konsep baru yang dikenal dengan istilah *manajemen of change*. Perkembangan selanjutnya konservasi lebih mengarah kepada pengurangan atau pengefisien penggunaan air dan dikenal sebagai konservasi air sisi kebutuhan. Konservasi air yang baik merupakan gabungan dari dua konsep tersebut yaitu menyimpan air dikala berlebihan-menggunakannya sesedikit mungkin untuk keperluan yang produktif (Suripin, 2004).

Konsep konservasi *manajemen of change* di Indonesia dikembangkan oleh Basuni (2012) yaitu perubahan kearah positif dan dapat dilakukan secara kreatif dan inovatif untuk menjadikan bumi ini lebih produktif dalam rangka mencapai kondisi masyarakat Indonesia yang berdaulat, adil, makmur dan sejahtera secara berkelanjutan.

Konservasi air pada dasarnya adalah upaya untuk memanen hujan (*water harverting*) dengan cara menampung air hujan dan limpasan dalam suatu wadah sebagai cadangan air di musim kemarau. Penelitian yang dilakukan oleh Susilokarti 2007 (dalam Khoirul, 2009) menyebutkan bahwa, penampungan air hujan ini juga bermanfaat untuk mengurangi volume aliran permukaan, laju erosi sehingga secara simultan dapat menurunkan laju degradasi lahan.

Sehubungan dengan konsep di atas, maka prinsip konservasi air adalah memanfaatkan air hujan yang jatuh ke tanah seefisien mungkin, mengendalikan kelebihan air di musim hujan dan menyediakan air yang cukup di musim kemarau. Menurut Erwin (2008) konservasi dapat dilakukan secara teknis yang mempunyai fungsi:

- a. Memperlambat aliran permukaan.
- b. Menampung dan mengalirkan aliran permukaan sehingga tidak merusak.
- c. Memperbesar kapasitas infiltrasi ke dalam tanah dan memperbaiki aerasi tanah.
- d. Menyediakan air bagi tanaman.

Arsyad (1989) menyatakan bahwa, konservasi air pada prinsipnya adalah penggunaan air yang jatuh ke tanah seefisien mungkin dan pengaturan waktu aliran sehingga tidak terjadi banjir yang merusak pada musim penghujan dan terdapat cukup air pada waktu musim kemarau. Oleh karena itu tanggung jawab sektor pertanian dalam kaitannya dengan konservasi air ada dua, yaitu:

- a. Memelihara jumlah dan kualitas air sejauh mungkin melalui cara pengelolaan dan penggunaan tanah yang baik,
- b. Memaksimalkan manfaat air melalui penerepan cara-cara yang efisien.

Permasalahan sumberdaya air merupakan permasalahan yang kompleks. Oleh karena itu untuk memecahkan permasalahan yang ada juga perlu adanya integrasi dan partisipasi aktif dari berbagai pihak maupun berbagai disiplin ilmu yang terkait. Konservasi

air dapat dilakukan mulai dari pengelolaan air, pemakaian air: di daerah aliran sungai, di bendungan, di sistem distribusi, maupun di sistem pembuangan (Kartasapoetra, dkk, 2005).

Mengingat ada hubungan yang sangat erat antara tanah dan air bahwa setiap perlakuan yang diberikan pada sebidang tanah akan mempengaruhi tata air di tempat itu dan di hilirnya, maka masalah konservasi tanah dan air merupakan dua hal yang berhubungan sangat erat. Berbagai tindakan konservasi tanah secara otomatis juga merupakan tindakan konservasi air. Dua mekanisme proses yang berkaitan erat dengan strategi konservasi tanah dan air adalah terjadinya erosi tanah oleh hujan dan aliran permukaan (Morgan, 1995; Ananto, 1987; dan Kartasapoetra, dkk, 2005). Oleh karena itu menurut Ananto (1987) upaya untuk melindungi tanah dan air sebagai satu kesatuan, bentuk-bentuk konservasi harus diarahkan kepada:

- a. Melindungi tanah dari hantaman air hujan dengan penutup permukaan tanah.
- b. Mengurangi aliran permukaan dengan meningkatkan kapasitas infiltrasi.
- c. Meningkatkan stabilitas agregat tanah.
- d. Mengurangi kecepatan aliran permukaan dengan meningkatkan kekasaran permukaan tanah.

Menurut Morgan (1995), Ananto (1987) dan Kartasapoetra, dkk (2005) secara umum metode konservasi tanah dan air dapat dikelompokkan menjadi tiga golongan utama, yaitu:

a. Konservasi secara agronomis (vegetasi)

Konservasi tanah dan air secara vegetatif merupakan metode konservasi dengan penggunaan tanaman atau tumbuhan dan sisa tanaman sehingga dapat mengurangi laju erosi dengan cara mengurangi daya rusak hujan yang jatuh dan jumlah daya rusak aliran permukaan. Konservasi tanah dan air secara vegetatif ini memiliki fungsi seperti:

- 1). Pengurangan daya perusak butiran hujan yang jatuh akibat intersepsi butiran hujan oleh dedaunan tanaman atau tajuk tanaman.
- 2). Pengurangan volume aliran permukaan akibat meningkatkan kapasitas infiltrasi oleh aktivitas perakaran tanaman dan penambahan bahan organik.
- 3). Peningkatan kehilangan air tanah akibat meningkatnya evapotranspirasi sehingga tanah cepat lapar air.

- 4). Memperlambat aliran permukaan akibat meningkatnya panjang lintasan aliran permukaan oleh keberadaan batang-batang tanaman.
- 5). Pengurangan daya rusak aliran permukaan sebagai akibat pengurangan volume aliran permukaan, dan kecepatan aliran permukaan akibat meningkatnya panjang lintasan dan kekasaran permukaan.

Konservasi tanah dan air secara vegetatif dapat dilakukan dengan berbagai cara, yaitu:

- 1). Pertanaman tanaman atau tumbuhan penutup tanah secara terus-menerus (*permanent plant cover*).
- 2). Pertanaman dalam strip (*strip cropping*).
- 3). Pertanaman berganda (*multiple cropping*).
- 4). Pertanaman bergilir (*rotation cropping*).
- 5). Pemanfaatan mulsa (*residue management*).
- 6). Sistem pertanian hutan (*agroforestry*).

b. konservasi secara mekanik

Prinsip dasar konservasi tanah adalah mengurangi banyaknya tanah yang hilang akibat erosi, sedangkan prinsip konservasi air adalah memanfaatkan air hujan yang jatuh ke tanah seefisien mungkin, mengendalikan kelebihan air di musim hujan dan menyediakan air yang cukup di musim kemarau. Dalam hal ini konservasi secara mekanis mempunyai fungsi:

- 1). Memperlambat aliran permukaan.
- 2). Menampung dan mengalirkan aliran permukaan sehingga tidak merusak.
- 3). Memperbesar kapasitas infiltrasi air ke dalam tanah dan memperbaiki aerasi tanah.
- 4). Menyediakan air bagi tanaman.

Usaha konservasi tanah dan air yang termasuk dalam metode mekanis antara lain meliputi:

- 1). Pengolahan tanah.
- 2). Pengolahan tanah menurut garis kontur.
- 3). Pembuatan teras.

- 4). Pembuatan saluran air (*waterways*).
- 5). Pembuatan dam pengendali (*check dam*).

c. Konservasi secara kimia.

Struktur tanah merupakan salah satu sifat tanah yang sangat menentukan kepekaan tanah terhadap ancaman erosi. Oleh karena itu sejak tahun 1950-an telah dimulai adanya usaha-usaha untuk memperbaiki kemantapan struktur tanah melalui pemberian preparat-preparat kimia yang secara umum disebut pemantap tanah (*soil conditioner*). Penggunaan pemantap tanah tidak hanya mampu meningkatkan kemantapan agregat tanah, tetapi juga mampu meningkatkan hasil tanaman. Bahan pemantap tanah yang baik harus mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

- 1). Mempunyai sifat yang adhesif serta dapat bercampur dengan tanah secara merata.
- 2). Dapat merubah sifat hidrophobik atau hidrophilik tanah yang dengan demikian dapat merubah kurva penahan air tanah.
- 3). Dapat meningkatkan kapasitas tukar kation tanah yang berarti mempengaruhi kemampuan tanah dalam menahan air.
- 4). Daya tahan sebagai pemantap tanah cukup memadai, tidak terlalu singkat dan tidak terlalu lama.
- 5). Tidak bersifat racun (*phytotoxix*) dan harganya terjangkau.

Untuk kepentingan ekonomi biasanya kita menggolongkan sumber daya alam tersebut berdasarkan potensi penggunaannya. Menurut Erwin (2008), bila dilihat cara penerapan konservasi itu, maka konservasi dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu:

- 1). Konservasi *ex-situ* adalah konservasi komponen-komponen keanekaragaman hayati di luar habitat alaminya.
- 2). Konservasi *in-situ* adalah konservasi ekosistem dan habitat alami serta pemeliharaan dan pemukiman populasi jenis-jenis berdaya hidup dalam lingkungan alaminya dan dalam hal jenis-jenis terdomestikasi atau budidaya.

Konservasi sumber daya air dapat dilakukan dalam beberapa strata dan tahapan, berupa landasan hukum, landasan idiil, cita-cita dan harapan global, peran agama, budaya dan tradisi (Hehanussa, 2005). Sebagai landasan hukum telah ada acuan utama yaitu Undang-Undang Nomor 7 tahun 2004 tentang Sumber Daya Air. Undang-undang dilengkapi dengan peraturan

daerah yang secara spesifik nenata dan mengatur sumber daya alam, instansi pemakai dan masyarakat di daerah tersebut. Dengan landasan idiil dimaksudkan cita-cita luhur dan kearifan yang berkehendak menata keberlanjutan fungsi alam dalam kaitannya dengan kehidupan manusia agar bahagia. Cita-cita dan harapan global adalah kesepakatan regional dan internasional yang merupakan konsensus bersama para pemimpin untuk mengatur dan mengendalikan arah serta tingkat eksploitasi manusia kepada alam ekosistem tempat hidupnya.

Peran agama untuk menata kehidupan yang harmonis antara manusia dengan alam tempat hidupnya adalah nyata dan untuk itu perlu lebih digali dan dijabarkan kedalam pengertian yang jelas agar dapat dimengerti oleh kehidupan orang yang menamakan dirinya modern. Tradisi dan budaya lahir dari kebiasaan baik yang dilakukan berulang-ulang turun temurun oleh masyarakat sehingga menjadi bagian dari pola kehidupannya. Kearifan tradisional di berbagai daerah terutama di daerah urban dan perkotaan telah tersisihkan oleh apa yang oleh sebagian orang dianggap sebagai modernisasi dan oleh karena itu secara mudah mereka bertransformasi dalam perilaku hidup sambil beralih memakai simbol-simbol dunia glamor dan meninggalkan tradisi dan budaya dari orang tua. Konservasi dan kearifan tradisional (Tri Hita Karana) sesungguhnya berangkat dari akar dan alam pikiran yang mirip bahkan sama.

6. Sistem Informasi Geografi

Perkembangan ilmu dan teknologi dewasa ini sangat pesat, terutama bidang sistem informasi. Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) telah menjadi segmen tersendiri bagi setiap masyarakat dalam membangun integritas bangsanya. TIK merupakan salah satu teknologi yang berkembang dengan sangat cepat. Pesatnya perkembangan TIK akan membuka peluang dan tantangan untuk menciptakan (*to create*), mengakses (*to access*), mengolah (*to process*), dan memanfaatkan (*to utilize*) informasi secara tepat dan akurat (Denny, 2004). Informasi merupakan suatu komoditi yang sangat berharga di era globalisasi untuk dikuasai dalam rangka meningkatkan daya saing suatu organisasi secara terencana dan berkelanjutan.

Untuk menjawab tantangan tersebut, Pemerintah Republik Indonesia telah berinisiatif membuat kebijakan untuk memanfaatkan TIK untuk membangun *Electronic Government for Good Governance* yang terintegrasi, mulai dari tingkat pemerintahan daerah hingga ke pusat. Tujuannya adalah agar infrastruktur TIK yang akan dibangun dapat dimanfaatkan secara bersama oleh seluruh instansi, baik di pusat maupun di daerah (Barandi, 2011). Kebijakan pemerintah tersebut antara lain telah dituangkan dalam bentuk Inpres No.3 Tahun 2003 dan Keputusan Menteri Komunikasi Dan Informasi tentang Pengembangan *e-gov* yang merupakan wujud keinginan pemerintah dalam upaya mendorong bangsa Indonesia menuju masyarakat yang berbasis pengetahuan (*Knowledge-based Society*). Berangkat dari Inpres No. 3 Tahun 2003 tersebut, kebutuhan akan tersedianya informasi untuk pengetahuan sekurang-kurangnya akan memiliki sifat-sifat sebagai berikut: cakupannya luas, mudah digunakan, terkini, aman, serta murah.

Kemudian, pada tahun 2009 hukum lingkungan Indonesia diperbaharui dengan Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (UUPPLH). Lahirnya undang-undang ini menjadi angin segar bagi pegiat atau aktivis lingkungan, undang-undang ini memang lebih konkrit dalam perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup, namun tidak sedikit kalangan yang meragukan efektivitas undang-undang ini. Undang-undang baru ini harus diakui lebih baik daripada undang-undang yang sebelumnya, berbagai konsep baru lahir dari undang-undang ini, mengadopsi dari berbagai negara yang diharapkan bisa diterapkan dalam praktek hukum lingkungan Indonesia. Pengembangan sistem informasi merupakan konsep baru dalam undang-undang ini, yang dicantumkan dalam Pasal 62, berbunyi :

- ayat (1). Pemerintah dan pemerintah daerah mengembangkan sistem informasi lingkungan hidup untuk mendukung pelaksanaan dan pengembangan kebijakan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup.
- ayat (2). Sistem informasi lingkungan hidup dilakukan secara terpadu dan terkoordinasi dan wajib dipublikasikan kepada masyarakat.
- ayat (3). Sistem informasi lingkungan hidup paling sedikit memuat informasi mengenai status lingkungan hidup, peta rawan lingkungan hidup, dan informasi lingkungan hidup lain.
- ayat (4). Ketentuan lebih lanjut mengenai sistem informasi lingkungan hidup diatur dengan Peraturan Menteri.

Berlakunya UUPPLH menjadi angin segar bagi pegiat atau pemerhati lingkungan, proteksi terhadap lingkungan dalam undang-undang ini memang harus diakui lebih berkembang, pengelolaan terhadap lingkungan sudah memasuki ranah konkrit, lahir beberapa konsep baru yang tidak ditemukan dalam undang-undang sebelumnya. Termasuk didalamnya pengaturan terhadap sistem informasi lingkungan hidup, tetapi sangat disayangkan peraturan pemerintah tentang sistem informasi lingkungan hidup ini belum terealisasi sehingga pemerintah daerah masih belum memprioritaskan pengembangan sistem informasi, di era globalisasi yang menjadikan teknologi sebagai media informasi sekaligus menjadi bagian hidup masyarakat era modern memang sangat perlu sistem informasi yang dibangun secara komprehensif agar masyarakat mendapatkan hak sebagai warga negara yang sudah dijamin oleh konstitusi, hak untuk mendapatkan lingkungan hidup yang baik dan sehat (Tricahyo, 2012).

Sistem informasi lingkungan mempunyai kemampuan analisis keruangan (*spatial analysis*) maupun waktu (*temporal analysis*) yang baik (Prahasta, 2005; Priyono dan Handayani, 2011). Kemampuan sistem informasi lingkungan dapat dimanfaatkan dalam perencanaan apapun karena pada dasarnya semua perencanaan akan terkait dengan dimensi ruang dan waktu. Setiap perubahan yang terjadi dalam pelaksanaan rencana akan terpantau dan terkontrol secara baik. Sistem informasi lingkungan mengadopsi sistem informasi geografi (SIG), merupakan sistem berbasis komputer yang digunakan untuk menyimpan dan memanipulasi informasi-informasi geografis. Sistem informasi geografi diciptakan untuk mengumpulkan, menyimpan dan menganalisis obyek atau fenomena dalam hal ini lokasi geografis menjadi karakteristik penting untuk analisis. Sistem informasi geografi adalah sistem berbasis komputer yang memiliki kemampuan dalam menangani data bereferensi geografi dalam masukan data, manajemen data, manipulasi, analisis dan keluaran (Aronoff, 1989).

Definisi sistem informasi geografi (SIG) sering difokuskan pada dua aspek sistem yaitu teknologi dan atau pemecahan masalah. Pendekatan teknologi mendefinisikan sistem informasi geografi sebagai kumpulan alat untuk masukan, penyimpanan dan pemanggilan, manipulasi dan analisis, keluaran data spasial (Malczewski, 1999). Sistem informasi geografi atau sistem informasi lingkungan dapat memainkan peranan penting dalam proses

pengambilan keputusan konprehensif. Sistem informasi geografi mempunyai kemampuan untuk melakukan pemrosesan dan penyimpanan data spasial dan data atribut.

Sistem informasi geografi atau sistem informasi lingkungan merupakan teknologi informasi, hal ini memungkinkan untuk mengintegrasikan dengan teknologi geografi yang bervariasi seperti penginderaan jauh (PJ), *global positioning system* (GPS) *computer aided design* (CAD), kartografi digital dan fasilitas manajemen. Teknologi geografi ini dapat diintegrasikan dengan teknik analitik dan pengambilan keputusan. Sistem informasi geografi dapat dikatakan sebagai suatu sistem pendukung yang pengambilan keputusannya melibatkan data spasial bereferensi dalam pemecahan masalah lingkungan. Cara yang ditempuh adalah memasukkan, menyimpan dan menganalisis data dalam sistem informasi geografi yang harus mencerminkan bahwa informasi akan digunakan untuk analisis khusus atau pengambilan keputusan.

Malczewski (1999) membagi kemampuan sistem informasi geografi menjadi empat sub-sistem yaitu: masukan data, penyimpanan dan manajemen data, manipulasi dan analisis data, serta keluaran data. Masukan data merupakan proses identifikasi dan pengumpulan data yang dibutuhkan untuk aplikasi tertentu. Proses ini terdiri dari pengumpulan data, pemformatan ulang, georeferensi, kompilasi dan dokumentasi data.

Menurut Hartono (2012), sistem informasi geografi mampu menyajikan sistem informasi spasial yang mampu menghasilkan informasi baru, melalui derivasi informasi dasar, transformasi, buffering, analisis, dan pemodelan spasial dasar. Sistem informasi tidak hanya dapat digunakan untuk menghasilkan peta secara otomatis, tetapi sistem informasi mempunyai peranan khusus dalam integrasi dan analisis spasial dari data multi sumber, misalnya data populasi, topografi, hidrologi, iklim, vegetasi, jaringan transportasi, prasarana umum. Sistem informasi geografi kebanyakan berorientasi pada basis data. Basis data dapat didefinisikan sebagai pengumpulan data yang tidak berlebihan dalam komputer terorganisasi sehingga dapat dilakukan pengembangan, pembaharuan, pemanggilan dan dapat digunakan secara bersama oleh beberapa pengguna. Bila ditelusuri lebih cermat maka tampak bahwa didalam konsep sistem informasi geografi tercermin adanya pemrosesan data keruangan dalam bentuk pemrosesan data numerik. Data sebagai masukan harus bersifat numerik

artinya data masukan apapun bentuknya harus dirubah menjadi angka digital, data lain adalah data atribut (Deanna, 2001).

Hadirnya teknologi sistem informasi menjawab permasalahan banyak kalangan dalam mengambil keputusan, tidak hanya dalam bidang *landscape*, namun bidang-bidang yang sama sekali tidak berkait langsung dengan analisis kebumian seperti lembaga keuangan, telekomunikasi, kelistrikan, kesehatan serta pendidikan. Bidang lingkungan yang merupakan bagian dari kebumian atau *landscape* juga memanfaatkan teknologi informasi yang dikenal dengan nama Sistem Informasi Lingkungan (SIL).

Data dan informasi dalam bidang lingkungan menjadi semakin penting untuk menunjang upaya pembangunan secara berkelanjutan serta mengurangi atau mencegah upaya peningkatan mutu lingkungan. Namun demikian dalam kaitannya dengan peningkatan kualitas lingkungan peran pendayagunaan data dan informasi lingkungan untuk mengambil keputusan, perumusan kebijaksanaan, penyusunan perencanaan, pelaksanaan serta monitoring dan evaluasi ternyata masih sangat terbatas. Kondisi ini akan menjadi salah satu faktor penghambat dalam mewujudkan kualitas lingkungan yang berkelanjutan untuk jangka panjang.

Sistem informasi lingkungan yang dikembangkan bersifat dinamis, sehingga aplikasi ini bisa ditambah, edite dan hapus kapan saja oleh administrator tanpa membuat ulang sistem. Data yang dapat disajikan berupa data spasial dan non spasial.

Peranan sistem informasi lingkungan dalam peta konservasi fungsi danau adalah menampilkan informasi atau penjelasan tentang fenomena-fenomena lingkungan dan solusi pemecahannya yang terjadi di daerah penelitian terkait dengan pembangunan berkelanjutan.

7. Pendekatan Geografi

Pendekatan utama bidang keilmuan dalam penelitian ini adalah pendekatan keruangan dengan penekanan pada pola keruangan, dan pendekatan ekologis yang fokusnya pada interaksi antara lingkungan dengan perilaku manusia. Menurut Yunus (2010) pola keruangan merupakan sebaran elemen pembentuk ruang yang berpengaruh dalam mewujudkan tatanan karakteristik, dalam hal ini karakteristik degradasi air danau. Elemen pembentuk ruang terkait tatanan karakteristik risiko degradasi air danau terbagi dalam elemen bahaya,

kerentanan, dan kapasitas penduduk. Sementara pendekatan ekologis berupa interaksi antara lingkungan dengan perilaku manusia, menekankan pada sikap batiniah dan tindakan manusia dalam memanfaatkan lahan perairan pada aras persepsi serta faktor-faktor yang menentukannya terhadap pemahaman risiko

B. Kerangka Berpikir

Lingkungan wilayah dataran tinggi Bedugul tidak dapat terlepas dari tiga unsur rona lingkungan yaitu: lingkungan Abiotik, lingkungan biotik, dan lingkungan sosial. Rona lingkungan tersebut memberi warna dan corak terhadap fenomena alam seperti perubahan penggunaan lahan, kondisi fisik dan lain-lain. Tiga unsur lingkungan tersebut berhubungan dengan degradasi lingkungan seperti perubahan penggunaan lahan, degradasi air danau, degradasi morfologi danau.

Lahan merupakan daerah di permukaan bumi yang mencakup keseluruhan yang ada di atas permukaan bumi maupun di bawah permukaan bumi serta adanya pengaruh aktivitas manusia berupa penggunaan lahan. Adanya faktor aktivitas manusia tidak terlepas dari kondisi lahan. Aktivitas manusia dalam mengolah lahan saat ini akan mempengaruhi kondisi lahan pada saat sekarang dan di masa mendatang serta berdampak terhadap keadaan lingkungannya.

Maraknya kegiatan masyarakat yang baik secara langsung maupun tidak langsung memanfaatkan tubuh danau dan daerah tangkapannya (*catchment area*) sebagai sumber atau obyek kegiatan telah mengakibatkan tekanan lingkungan yang berakibat pada penurunan kualitasnya. Dampak dari berbagai kegiatan usaha masyarakat telah mempengaruhi agen-agen lingkungan, baik air, udara, kimia dan fisik tanah, flora dan fauna, iklim maupun sosial budaya dan ekonomi masyarakat. Dampak dari berbagai kegiatan masyarakat akan semakin besar kualitas dan intensitasnya sejalan dengan berkembangnya jumlah penduduk dan jumlah kunjungan pariwisata.

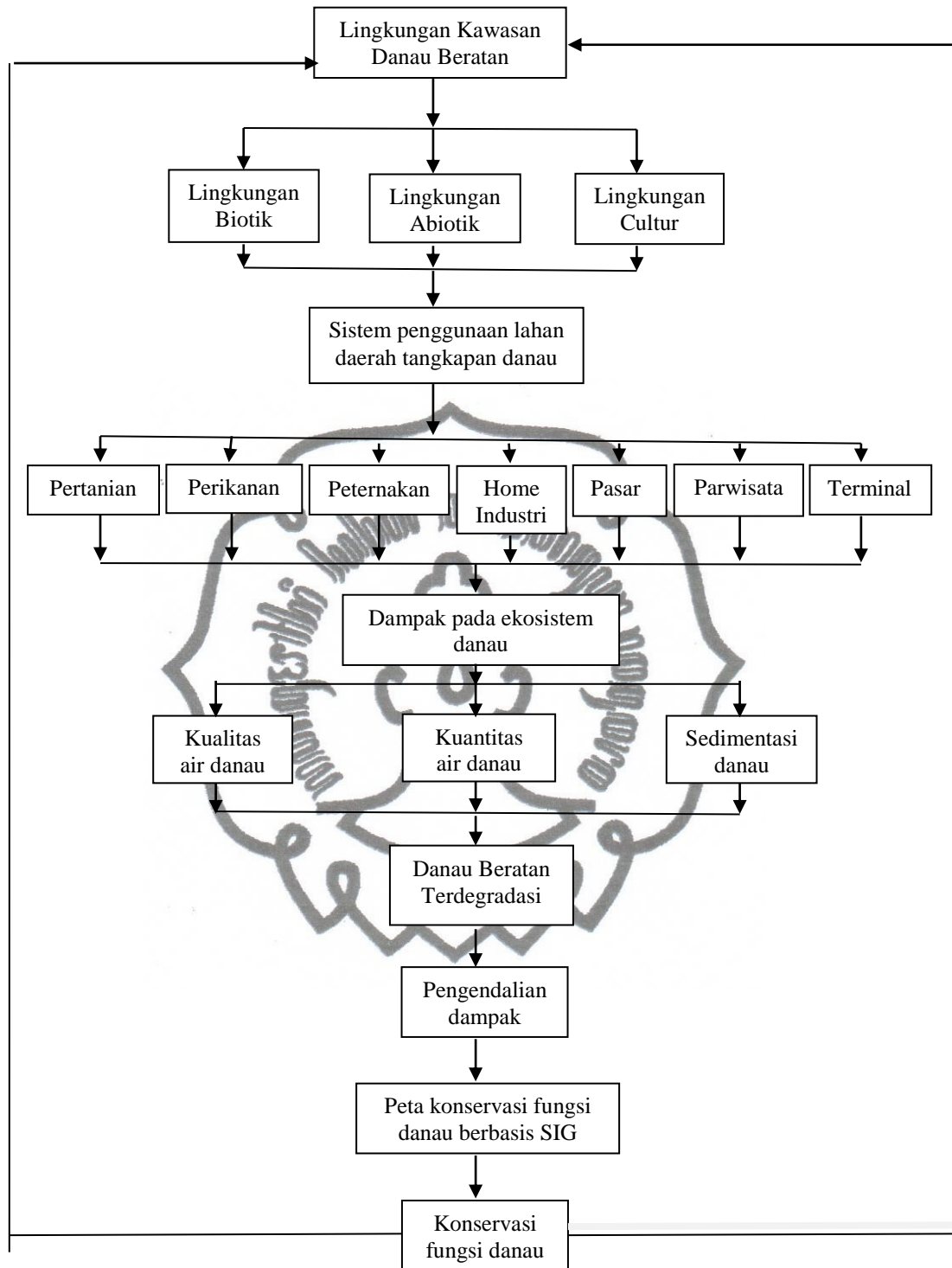
Meningkatnya aktivitas penggunaan lahan oleh penduduk atau perubahan lahan yang tidak terkendali dan tanpa menerapkan teknik konservasi tanah dan air yang memadai dapat menyebabkan terjadinya degradasi lingkungan di sekitar sumber air danau Beratan, seperti pertanian, pariwisata, perikanan, permukiman dan aktivitas lainnya, maka dapat dipastikan

bahwa hal tersebut dapat menyebabkan penurunan kualitas airnya. Aktivitas pertanian dengan menggunakan pestisida (fungisida, insektisida, dan herbisida) secara intensif, akan meningkatkan residu pestisida dalam tubuh air yang terbawa melalui aliran permukaan dan air hujan. Begitu pula meningkatnya aktivitas pariwisata yang menggunakan fasilitas pendukung pariwisata menyebabkan meningkatnya konsentrasi Plumbum, minyak/lemak bahkan bakteri coli.

Pemanfaatan danau Beratan yang beraneka ragam membuat konsekuensi atas kualitas air menjadi faktor penting yang dapat mempengaruhi kelangsungan pemanfaatan danau tersebut. Di lain pihak, keanekaragaman pemanfaatan danau Beratan memberikan dampak pencemaran terhadap perairan. Seluruh aktivitas masyarakat yang berhubungan dengan perairan danau, baik yang berlangsung di dalam danau maupun di daerah-daerah tangkapan airnya dapat memberikan kontribusi pencemaran bagi perairan.

Pengambilan air danau Beratan oleh PDAM Kabupaten Tabanan untuk masyarakat sekitar dan di bawah danau tersebut tanpa memperhitungkan storage-nya dapat menyebabkan penurunan kuantitas airnya. Mengingat danau Beratan ini merupakan danau tertutup artinya airnya hanya tergantung dari curah hujan.

Kawasan danau Beratan merupakan bentuklahan vulkanis dengan curah hujan yang cukup tinggi menyebabkan proses erosi. Apabila hujan berlangsung terus, dimana kapasitas infiltrasi tanah tersebut telah terpenuhi maka kelebihan air hujan akan menjadi aliran permukaan. Aliran permukaan merupakan salah satu media alami yang menyebabkan terjadinya erosi lembar. Material atau partikel tanah yang telah terlepas akan dengan mudah terbawa atau terangkut bersama aliran menuju danau sehingga danau terjadi pendangkalan akibat sedimen terjebak di lembah danau. Untuk mengatasi degradasi air danau perlu dilaksanakan konservasi agar ekosistem danau berkelanjutan. Secara ringkas kerangka pemikiran tersebut dapat dilihat pada Gambar 1. berikut ini.



Gambar 1. Diagram alir kerangka Pemikiran

A. Hipotesis

1. Penyebaran kualitas dan kuantitas air danau Beratan mengalami degradasi.
2. Hasil suspensi yang terakumulasi dan laju sedimentasi di danau Beratan termasuk katagori sedang.
3. Kontribusi potensi ekonomi danau Beratan dapat meningkatkan pendapatan asli daerah (PAD) Kabupaten Tabanan.
4. Sedimentasi yang masuk ke tubuh danau merupakan faktor penyebab turunnya fungsi danau Beratan sehingga dampaknya ekosistem danau mengalami degradasi.
5. Konservasi fungsi danau Beratan dapat diwujudkan dalam bentuk peta konservasi berbasis SIG.

