

PENENTUAN KOEFISIEN IMBUHAN (RC) AIR TANAH SUNGAI CISADANE HULU – SUB DAS CISADANE

Oleh :

Muhammad Agus Karmadi

ABSTRAK

Imbuhan air tanah alami yang dimanifestasikan oleh lengkung penyusutan (*recession curve*) aliran dasar (*base flow*) adalah komponen yang sangat penting dari aliran sungai yang dihasilkan oleh aliran masuk melalui proses infiltrasi curah hujan menjadi perkolasi dan akhirnya menyumbang ke simpanan air tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besaran tentatif **Koefisien Imbuhan Air Tanah Alami** Sub DAS Cisadane hulu dengan luas 842.69 Km², di mana besaran imbuhan ini bisa dipakai sebagai dasar untuk penetapan pengambilan air tanah yang diizinkan pada daerah yang bersangkutan berbasis lingkungan yang bersifat sustainable/berkelanjutan, agar pemanfaatan air tanah tetap lestari. Selain itu nilai koefisien imbuhan ini juga dapat dipakai untuk menetapkan secara tak langsung besarnya imbuhan air tanah di DAS sekitarnya dalam proses regionalisasi. Karakteristik DAS yang paling umum yang mempengaruhi besar imbuhan yang meliputi curah hujan, variabel geologi, tingkat infiltrasi tanah, faktor aliran dasar, dan tutupan lahan. Kajian yang dilaksanakan untuk mendapatkan estimasi rata-rata nilai imbuhan menggunakan **Kurva Resesif** (lengkung penyusutan/*recession curve*) dari data debit harian periode tahun 1980 – 2015 yang diperoleh dari Pusat Litbang Sumber Daya Air, Bandung. Nilai curah hujan rata-rata dicari dengan metode Isohyet kemudian dapat ditentukan nilai koefisien imbuhan (**Recharge Coefficient**) yakni besar nilai imbuhan dibagi dengan curah hujan rata-rata serta di bagi luas wilayah DAS maka diperoleh **Nilai Koefisien Imbuhan (RC) yang di peroleh berdasarkan perhitungan sebesar 0.14 %**. Sedangkan berdasarkan perhitungan Imbuhan yang terjadi pada Formasi Batuan di dapatkan **Nilai Koefisien Imbuhan (RC) sebesar : 742.11 x 10⁶ m³/tahun**. Besarnya tampungan air tanah yang dapat dilepaskan atau dialirkan selama musim kering/kemarau sebesar : **172.70 x 10⁶ m³/tahun, atau sekitar 98.27 %**. Penurunan kontribusi imbuhan di daerah aliran sungai Cisadane Hulu dapat berdampak pada berkurangnya sumber air pada musim kemarau. Oleh karena itu, perlu pengelolaan sumber daya air dan upaya konservasi DAS terpadu dan berkelanjutan sebagai solusi penurunan imbuhan, sehingga kualitas, kuantitas, dan kontinuitas sumber daya air pada Sub DAS Cisadane Hulu dapat terjaga.

Kata kunci: imbuhan, koefisien imbuhan, kurva resesif, sub DAS Cisadane Hulu

ABSTRACT

*Recharge groundwater naturally manifested by curved shrinkage (recession curve) elementary streams (base flow) is a very important component of the flow stream produced by the inflow through the process of rainfall infiltration into percolation and finally donated to soil water deposits. This research aims to know the quantity of groundwater Coefficient Recharge tentative Natural Cisadane River Watershed with an area of 842.69 Km², where the magnitude of the suffixes can be used as the basis for the determination of soil water uptake in the region allow question-based environment that is sustainable, so that sustainable utilization/groundwater remain sustainable. In addition the value of the coefficient of the term can also be used to indirectly set the magnitude of the numerical groundwater in surrounding watershed in the process of regionalization. The most common watershed characteristics affecting large affixes which include variable rainfall, geology, soil infiltration rates, factor flow base, and land cover. The study was carried out to obtain the estimated average value of affix using **Recessive Curves** (curvilinear depreciation/*recession curve*) of the daily discharge data for the period 1980 – 2015 acquired from Water Resources R & D Center in Bandung. The average rainfall value is sought by the Isohyet method and then the value of the additive coefficient (**Recharge Coefficient**) can be determined, by dividing recharge value and rainfall average of the watershed area. The Value of the **Recharge Coefficient (RC)** obtained based on a calculation of **0.14 %**. While based on the calculation of the benefits that occur in rock formations get the value of the **Recharge***

Coefficient (R_c) of: 742.11 x 10⁶ m³/year. The amount of groundwater that can be released or flowed during the dry/dry season is: 172.70 x 10⁶ m³/year, or about 98.27 %. The decline in the contribution of the suffixes in the Cisadane River Watershed can impact on the depletion of water sources during the dry season. Therefore, the need to management of water resources and integrated watershed conservation efforts and sustainable as a solution decrease the suffixes, so that quality, quantity, and continuity of water resources on a watershed Cisadane can awake.

Key words : *recharge, coefficient recharge, curve is recessive, Cisadane River Watershed*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Aliran sungai merupakan hasil dari proses alami yang kompleks dan berlangsung pada skala Daerah Aliran Sungai (DAS). Secara konseptual DAS dapat dipergunakan sebagai suatu reservoir yang meliputi beberapa komponen antara lain resapan/inbuan, simpanan dan aliran keluar. Resapan (*recharge*) merupakan suatu sistem yang bergantung atas curah hujan, sedangkan simpanan dan aliran keluar merupakan fungsi kompleks dari karakteristik sifat fisik DAS. Selama musim kemarau, proses ini mempengaruhi keluaran air dari simpanan dan mempengaruhi debit aliran. Proses aliran dasar (*baseflow*) tidak dapat diabaikan sebagai mengontrol kemampuan suatu DAS menyerap dan menyimpan aliran selama musim hujan hingga terjadi pelepasan akhir sebagai aliran dasar.

Karakteristik aliran sungai banyak dipergunakan dalam beberapa penelitian terkini sebagai akibat akan kebutuhan air yang terus meningkat. Pemahaman mengenai proses keluaran air tanah atau sumber-sumber aliran lambat lainnya penting dalam studi tentang neraca air dan respon daerah aliran sungai. Informasi karakteristik aliran dasar berguna untuk berbagai macam kegiatan pengelolaan neraca sumberdaya air, seperti masalah kualitas air bersih, irigasi dan estimasi ketersediaan air di suatu kawasan sungai. Untuk itu perlu untuk mengetahui koefisien imbuhan sehingga ketersediaan air saat musim kemarau dapat terjaga, perkiraan koefisien imbuhan (*Recharge Coefisient*) menjadi salah satu cara dalam menjaga ketersediaan serta pengembangan sumber daya air (SDA) pada daerah aliran sungai. Dengan diketahuinya nilai koefisien imbuhan diharapkan dapat mengatur jumlah air yang dibutuhkan, sehingga pasokan air tetap tersedia dan pembagian air pada saat musim kering dapat tepat sasaran.

1.2. Identifikasi masalah

Resapan air atau imbuhan air ke dalam batuan merupakan proses siklus air, air hujan yang turun ke permukaan bumi, sebagian mengalir di permukaan sebagai aliran permukaan (*run off*) dan sebagian lagi akan meresap ke dalam tanah, mengisi lapisan akuifer yang kemudian disebut air tanah atau air bawah permukaan. Resapan air merupakan faktor yang sangat penting dalam proses terbentuknya air bawah permukaan yang berfungsi sebagai penyeimbang atau penentu terjaganya keberadaan air tanah yang secara tidak langsung menjamin keberlangsungan hidup kita. Besarnya air hujan yang meresap ke dalam lapisan batuan akan menentukan tercapai atau tidaknya keseimbangan kondisi air bawah permukaan.

Imbuhan merupakan faktor yang perlu diperhatikan dalam penelitian yang berkaitan dengan potensi air bawah permukaan. Dalam proses pembentukan air tanah, imbuhan merupakan salah satu bagian penentu terjaganya kelestarian air tanah yang secara tidak langsung menjamin kelangsungan hidup manusia. Besarnya volume air hujan yang masuk ke dalam tanah sangat menentukan tercapai atau tidaknya keseimbangan kondisi air tanah (Igboekwe and Ruth, 2011). Imbuhan air tanah yaitu masuknya air melalui zona jenuh di dalam tanah yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi dan juga kondisi hidrauliknya (Simmers, 1987).

Imbuhan air tanah dapat juga disebut sebagai parameter yang dapat memperlihatkan berapa banyak air yang meresap ke dalam tampungan air tanah (*groundwater storage*), dan menjaga keberlanjutan air tanah di dalam lapisan akuifer (*sustainable groundwater*). Kapasitas resapan sangat dipengaruhi oleh keadaan lingkungannya untuk meresapkan air ke dalam tanah. Siebert et al. (2010) menyatakan imbuhan air tanah dipengaruhi oleh tiga faktor, yaitu :

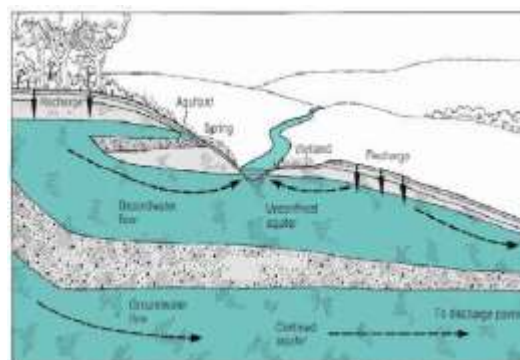
1. Kondisi hidrometeorologi : meliputi intensitas, durasi, volume curah hujan, dan kondisi atmosfer.

2. Kondisi hidrogeologi terdiri dari bentang alam/geomorfologi, geologi, dan pedologi dari permukaan lokasi terjadinya hujan atau air yang melimpas.
3. Kondisi tutupan vegetasi serta penggunaan lahan.

Daerah Aliran Sungai (DAS) sering diartikan sebagai suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan antara sungai dan anak-anak sungainya, berfungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, batas di darat merupakan pemisah punggung dan di laut hingga daerah perairan yang masih terpengaruh oleh aktivitas daratan. Suatu DAS memiliki fungsi hidrologis, yang berpengaruh dalam kualitas dan kuantitas air yang masuk ke aliran sungai. Daerah aliran sungai memiliki fungsi hidrologis yang baik akan menampung air hujan disaat musim penghujan (saat curah hujan tinggi) dan tidak kekeringan di saat musim kemarau.

DAS sendiri membentuk anak-anak sungai yang bercabang lagi membentuk anak sungai. Dalam rangka menghindari dua kejadian ekstrim di suatu sungai, yaitu banjir dan kekeringan, maka perlu dilakukan pengendalian terhadap komponen-komponen yang menjadi parameter dalam fungsi hidrologis suatu wilayah sungai. Dalam pembahasan mengenai fluktuasi debit, memiliki dua komponen yang berpengaruh pada kondisi aliran sungai, yaitu limpasan permukaan (*surface run off*) dan aliran dasar (*base flow*). Berdasarkan hal tersebut, salah satu parameter yang perlu diketahui adalah nilai koefisien imbuhan (*Recharge Coefisient*). RC dapat dianggap sebagai ambang batas sumber air tanah yang tersimpan.

Aliran dasar merupakan komponen aliran sungai yang teraji akibat pelepasan air tanah dan menentukan besar debit sungai di musim kemarau. Keadaan aliran dasar dipengaruhi oleh kuantitas presipitasi yang meresap menjadi imbuhan air tanah. Dengan mengetahui Koefisien Imbuhan daerah aliran sungai dapat diketahui tingkat kontribusi aliran dasar terhadap aliran sungai. Hal tersebut membantu dalam penilaian karakteristik dan kapasitas suatu DAS, sehingga penentuan solusi dan pengendalian fungsi hidrologis dapat dilakukan.



Gambar 1.1. Aliran Air Bawah Tanah

1.3. Pembatasan masalah

Ruang lingkup pembahasan meliputi **Penentuan Koefisien Imbuhan / Recharge Coefisient (RC)** menjadi salah satu pilihan untuk menilai karakteristik DAS. Dengan mengetahui Koefisien Imbuhan DAS Cisadane Hulu, dapat dilakukan analisis variabilitas kontribusi base flow terhadap keandalan debit sungai, sehingga kapasitas DAS Cisadane Hulu dalam memenuhi fungsi hidrologis dapat terkuantifikasi dan teridentifikasi.

1.4. Maksud tujuan penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan nilai tentatif *Koefisien Imbuhan / Recharge Coefisient (RC)*
2. Mengetahui kontribusi aliran dasar dan ratio terhadap curah hujan.
3. Memperkirakan nilai tentatif nilai Imbuhan untuk setiap batuan geologi dalam DAS Cisadane Hulu

Maksud dari penelitian ini yaitu untuk menentukan besarnya nilai tentatif **Koefisien Imbuhan** yang ada pada bagian cekungan air tanah pada Daerah Aliran Sungai Cisadane hulu sehingga besaran imbuhan ini bisa dipakai sebagai dasar penetapan pengambilan air bawah permukaan yang diizinkan di daerah yang bersangkutan berbasis lingkungan agar pemanfaatan air tanah tetap lestari.

1.5. Manfaat penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi masyarakat warga sekitar DAS Cisadane Hulu, penulis dan para peneliti atau praktisi pada umumnya.

1. Memberikan masukan informasi yang dapat membantu pengelolaan Sumberdaya Air pada Daerah Aliran Sungai Cisadane Hulu.

2. Memberikan informasi mengenai perkiraan besarnya kontribusi aliran dasar pada DAS Cisadane Hulu.

Koefisien Imbuhan merupakan komponen dari aliran debit yang berkontribusi besar saat musim kemarau dimana penentuan koefisien imbuhan diperlukan untuk memahami neraca hidrologi dari suatu DAS. Selain itu Koefisien Imbuhan menjadi informasi penting dalam analisa kuantitas dan kualitas air, serta habitat akuatik. Hubungan imbuhan terhadap debit *groundwater* juga memberikan informasi penting mengenai kondisi *groundwater* pada skala regional.

Dalam memanfaatkan air tanah, perlu dipelajari potensi air tanah yaitu dari resapan air tanah alami, kondisi hidrogeologi dan karakteristik hidraulik akuifer. Kondisi hidrogeologi adalah lapisan mengandung air (*akuifer*). Terdapat macam-macam akuifer yang dijumpai di lapangan yaitu akuifer terkekang, akuifer semi terkekang dan akuifer bebas, (Soenarto, 2008). Aliran dasar dapat digunakan sebagai salah satu ukuran aktivitas dinamis air tanah pada sebuah Daerah Aliran Sungai (DAS), sedangkan proporsi aliran dasar dari total aliran sungai digunakan sebagai suatu indeks kemampuan daerah aliran sungai di dalam menyimpan serta melepaskan air selama periode kering. Untuk nilai koefisien aliran dasar yang tinggi mendeskripsikan bahwa dalam suatu DAS memiliki pola aliran yang lebih stabil dan mampu mempertahankan aliran sungai selama periode kering dan ketika nilai koefisien aliran dasar semakin besar maka semakin baik persediaan air dalam DAS begitu juga sebaliknya.

1.6. Metodologi penulisan

Metodologi penulisan yang dilakukan dalam penulisan ini diantaranya adalah :

1. Metode pengumpulan data

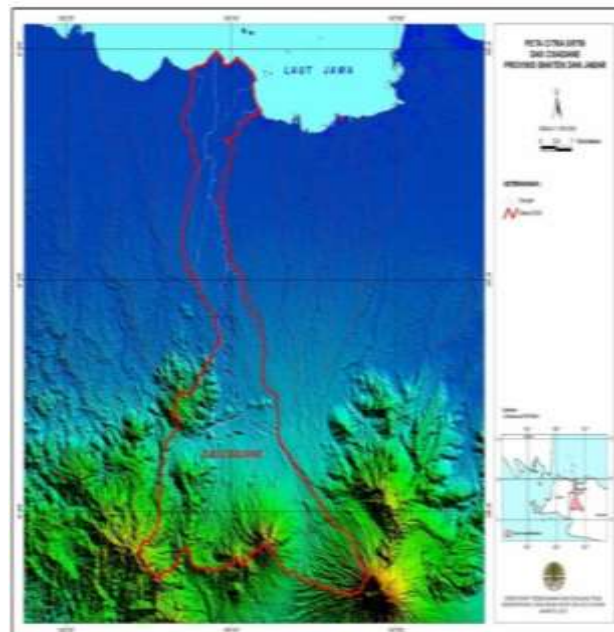
Pengumpulan data ditempuh dengan cara:

- a. Studi Pustaka (*Library Research*) berupa :
 - Penelitian sebelumnya.
 - Buku-buku laporan penelitian.
- b. Penelitian Lapangan (*Field Research*)
Dalam pengumpulan data lapangan, ditempuh dengan dua cara:
 - Observasi secara langsung.
 - Interview dengan pihak-pihak terkait.

2. Metode Analisa Data

Menganalisa data-data digunakan metode :

- a. Kualitatif, yaitu metode analisis yang digunakan dalam menganalisis data-data yang bukan berbentuk angka.
- b. Kuantitatif, yaitu metode analisis yang digunakan dalam menganalisis data- data yang berbentuk angka.



Gambar 1.2. Peta Citra SRTM DAS Cisadane (dalam SIPDAS Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan)

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kondisi Umum Wilayah

Daerah Bogor, Puncak dan Cianjur merupakan salah satu dataran tinggi yang ada di wilayah provinsi Jawa Barat. Bopunjur (Bogor, Puncak Cianjur) memiliki kondisi topografi perbukitan hingga pegunungan dengan kemiringan lereng 15 – 45 %. Dengan kondisi berbukit dan bergunung seperti ini daerah Bopunjur merupakan kawasan yang menarik karena memiliki pemandangan yang bagus dan banyak orang sadar bahwa daerah ini sebenarnya memiliki potensi untuk dijadikan kawasan pariwisata untuk masyarakat. Ditambah dengan kondisi udara yang sejuk dan asri serta merupakan daerah yang terbebas dari hiruk pikuk keramaian kota, daerah Bopunjur memang cocok untuk dimanfaatkan sebagai tempat peristirahatan. Sejak dulu hal ini menarik banyak pengembang yang berusaha untuk memanfaatkan keindahan alam yang ada di Bopunjur dengan mendirikan berbagai macam fasilitas pariwisata seperti restoran, hotel, berbagai taman rekreasi dan bahkan belakangan sudah ada ribuan vila mewah di atasnya.

Pengembangan ini terjadi dimana-mana diseluruh Bopunjur. Berbagai fasilitas tampak seperti “menjamur” di daerah ini. Hal ini sebenarnya dapat meningkatkan pendapatan masyarakat sekitar serta merupakan salah satu sumber pemasukan pendapatan daerah bagi pemerintah.

Pengembangan ini sebenarnya memiliki banyak keuntungan jika di lihat dari segi perekonomian sehingga dapat menambah pendapatan daerah, tetapi di balik semua pengembangan tersebut telah terjadi perusakan alam besar-besaran yang sebenarnya berdampak negative bagi semua masyarakat yang tinggal di daerah Bopunjur dan bahkan bagi masyarakat yang tinggal di luar kawasan Bopunjur, seperti Jakarta. Beberapa dampak negative dari pengembangan daerah Bopunjur yang berlebihan ini akan di bahas di critical review ini.

Imbuan air pada daerah Kabupaten Bogor kini telah jauh berkurang, ini terjadi karena akibat dari banyaknya perubahan bentuk peruntukkan lahan, yang berakibat terjadinya peningkatan suhu udara, krisis air, polusi serta curah hujan yang semakin berkurang.

Menipisnya daerah resapan air pada Kabupaten Bogor, dikarena banyaknya kawasan lindung berubah peruntukkannya, seperti wilayah Puncak, dimana wilayah ini pada dasarnya merupakan wilayah konservasi yang berada pada zona B3 yakni pertanian tinggi dan hunian rendah, kenyataannya kini sebagian kawasan ini telah mengalami perubahan menjadi kawasan pemukiman, perumahan, vila, serta bangunan lainnya yang menyebabkan fungsi resapan air berkurang.

Walaupun sebagian kawasan tersebut masih terjaga fungsi hijaunya yang berfungsi sebagai daerah resapan air, hanya saja sudah mulai berkurang kapasitasnya. Saat ini lebih kurang 10 hingga 20 persen kawasan Puncak sebagai daerah resapan air sudah berubah menjadi pemukiman seperti vila, kini hanya ada sekitar lima persen kawasan lindung, yang menjadi penyebab berkurangnya daerah resapan air adalah perubahan fungsi hutan lindung menjadi hutan produksi.

Berdasarkan data yang diperoleh dari Bappeda Kabupaten Bogor, lahan kritis dalam kawasan hutan dan kebun di Kabupaten Bogor memiliki luas 10.631 hektar yang terdiri dari kawasan lahan kritis di hutan konservasi dengan luas 551

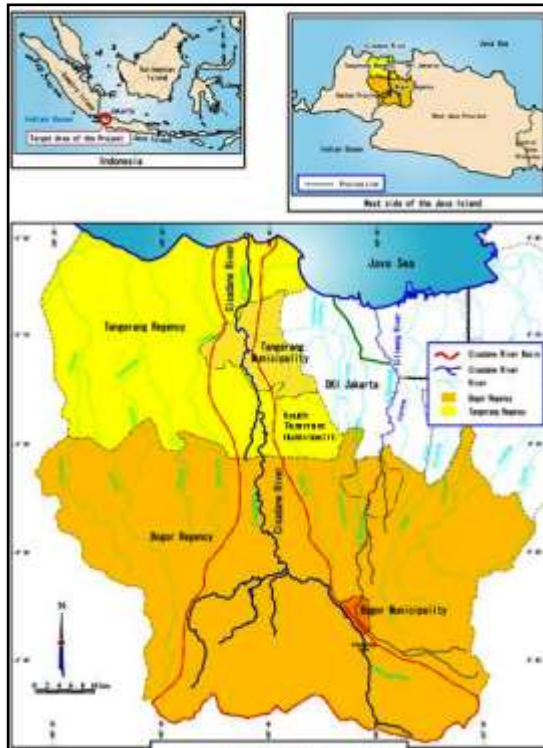
hektar, hutan produksi tetap/terbatas seluas 8.047 hektar dan pada lahan perkebunan seluas 2.033 hektar. Sedangkan lahan kritis di luar kawasan hutan seluas 21.369 hektar. Pemerintah Kabupaten Bogor mencanangkan seluas 133.475,05 hektar atau sekitar 44,66 persen kawasan lindung dalam pengajuan revisi perda RTRW nomor 17 tahun 2000 yang akan menjadi acuan selama tahun 2007 hingga 2025.

2.2. Letak Geografis

Sungai Cisadane merupakan salah satu sungai besar yang berada di Tatar Pasundan, Pulau Jawa, yang muaranya berada di Laut Jawa. Pada masa dahulu sungai ini disebut dengan nama **Ci Gede** (*Chegujde, Cheguide*). Lokasi Penelitian berada pada daerah Aliran Sungai Cisadane, bagian hulu (Sub DAS Cisadane Hulu), yang berada di lereng Gunung Pangrango, dengan beberapa anak sungai yang berhulu di G. Salak, melalui sisi barat Kabupaten Bogor, terus ke arah Kabupaten Tangerang dan bermuara di sekitar Tanjung Burung. Dengan panjang keseluruhan sekitar 126 km, sungai ini pada bagian hilirnya cukup lebar dan dapat dilayari oleh kapal kecil (Gambar 2.1)

Luas DAS Cisadane keseluruhan sekitar 154.654 ha; yang melintasi 44 kecamatan di 5 kabupaten/kota yaitu Kabupaten Bogor, Kota Bogor, Kab. Tangerang, Kota Tangerang, dan Tangerang Selatan, terbagi menjadi 4 sub DAS, di sebelah barat berbatasan dengan DAS Ci Manceuri, Ci Ujung, Ci Durian dan Ci Baren. Sebelah selatan berbatasan dengan DAS Ci Mandiri, dan sebelah timurnya berbatasan dengan DAS Kali Angke dan DAS Ciliwung.

Beberapa anak sungai, di antaranya, Ci Anten yang melalui Kecamatan Leuwiliang bermuara ke Ci Sadane, Ci Kaniki yang berhulu di G. Kendeng, TN G. Halimun-Salak dan bermuara ke Ci Anten, Ci Bungbulang, melalui Kecamatan Cibungbulang bermuara ke Ci Anten, Ci Aruteun bermuara ke Ci Anten, Ci Nangneng, pada wilayah Ciampea bermuara ke Ci Sadane, Ci Ampea yang dijadikan nama Kecamatan Ciampea bermuara ke Ci Nangneng, Ci Hideung, di wilayah Ciampea bermuara ke Ci Sadane, Ci Apus pada wilayah Kecamatan Dramaga, bermuara ke Ci Sadane.



Gambar 2.1. Letak lokasi DAS Sungai Cidareng (sumber : Sandika Ariansyah dan Nur Azizah, Susur DAS Cidareng, 2011)



Gambar 2.4. Foto Daerah Aliran Sungai Cidareng – Cifor Bogor

2.5. Batas hidrologis

Terdapat 3 (tiga) wilayah/daerah hidrologi pengelolaan sumberdaya air, yaitu Cekungan Air Tanah (CAT), Daerah Aliran Sungai (DAS) dan Wilayah Sungai (WS). *Cekungan Air Tanah* (CAT) suatu wilayah yang dibatasi oleh batas hidrogeologi, tempat semua kejadian hidrogeologi seperti proses imbuhan, pengaliran dan pelepasan air tanah. *Daerah Aliran Sungai* (DAS) suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang mempunyai fungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau, laut secara alami, batas di darat merupakan pemisah topografi dan batas di laut sampai dengan daerah pengaliran yang masih terpengaruh oleh aktivitas daratan (*Undang-Undang No. 7 Tahun 2004*).

Wilayah Sungai (WS) kesatuan wilayah pengelolaan sumberdaya air pada satu atau lebih DAS dan atau pulau-pulau kecil yang luasnya kurang dari atau sama dengan 2.000 km² (*Undang-Undang No. 7 Tahun 2004*). Secara sederhana wilayah sungai merupakan kesatuan wilayah sistem tata pengaliran sebagai suatu pengembangan wilayah sungai yang dapat terdiri dari satu atau lebih daerah aliran sungai (DAS). Gambar II.5 di bawah ini menguraikan pembagian daerah hidrologis, sebagaimana uraian di atas.

Cekungan air tanah (CAT) atau *groundwater basin* terdiri atas akifer terkekang (*confined aquifer*) dan akifer bebas (*unconfined aquifer*). CAT juga dapat disebutkan merupakan gabungan dari beberapa akifer.



Gambar 2.2. Foto Daerah Aliran Sungai Cidareng



Gambar 2.3. Foto Bendung yang terdapat di Sungai Cidareng



Gambar 2.5. Batas Daerah Hidrologis dan wilayah administratif Kabupaten/Kota (dalam : (Dr. Ir. Dede Rohmat, MT, 2009, Pengertian Hidrologi)

2.6. Curah hujan

Hal yang terpenting untuk mengetahui debit limpasan air hujan dalam menentukan kapasitas sungai, yaitu data-data curah hujan yang terdapat pada daerah sungai atau daerah tangkapan air hujan yang mempengaruhi sungai tersebut. Curah hujan harian yang tercatat dapat dilihat pada stasiun di daerah aliran selama beberapa tahun dapat diperoleh di Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), masih merupakan data dasar.

Beberapa cara yang dipergunakan untuk perhitungan rata-rata curah hujan daerah adalah: *Cara tinggi rata-rata*, tinggi rata-rata curah hujan diperoleh dengan mengambil nilai rata-rata hitung (*Arithmetic Mean*) pengukuran hujan di pos pengamatan hujan pada areal wilayah tersebut.

Cara ini akan mendapatkan hasil yang dapat dipercaya jika pos-pos pengamatannya ditempatkan secara merata di areal tersebut dan hasil pengamatan masing-masing pos tidak boleh menyimpang jauh dari nilai rata-rata seluruh pos di areal.

2.6.1. Perhitungan Curah Hujan Wilayah

Metode yang digunakan dalam perhitungan rata-rata curah hujan wilayah pada daerah aliran sungai terdapat tiga metode, yaitu :

a. Metode rata-rata Aritmatik (Aljabar)

Metode ini paling sederhana, pengukuran dilakukan pada beberapa stasiun dalam waktu yang bersamaan kemudian dijumlahkan dan

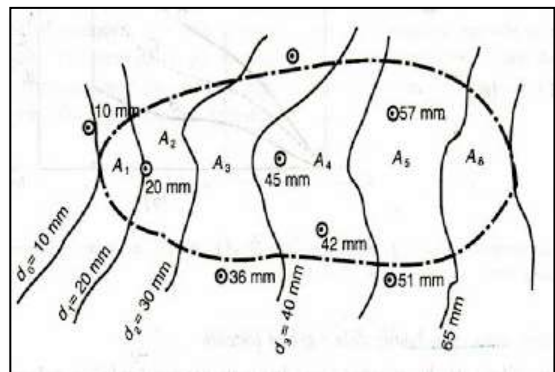
dibagi jumlah stasiun. Stasiun hujan yang digunakan dalam perhitungan adalah yang berada dalam DAS, tetapi stasiun di luar DAS pada ketinggian yang berbeda, (Triatmodjo, 2008).

Metode ini akan memberikan hasil yang baik bila :

- Stasiun hujan tersebar secara merata di wilayah DAS.
- Distribusi hujan relatif merata pada seluruh wilayah DAS.

b. Metode Isohyet

Metode Isohyet merupakan cara paling teliti untuk menghitung rata-rata intensitas hujan pada suatu daerah, pada metode ini stasiun hujan harus banyak dan tersebar merata. Metode ini menggunakan pembagian DAS dengan garis-garis yang menghubungkan tempat-tempat dengan curah hujan yang sama besar (isohyet) (Gambar II.6).



Gambar 2.6. Contoh dari garis isohyet. (Suripin, 2003)

Rata-rata curah hujan pada daerah aliran sungai diperoleh dengan menjumlahkan perkalian antara rata-rata curah hujan di antara garis-garis isohyet dengan luas daerah yang dibatasi oleh garis batas DAS dan dua garis isohyet, kemudian dibagi dengan seluruh luas DAS.

Persamaan dalam hitungan hujan rata-rata dengan metode isohyet dapat di hitung dengan menggunakan persamaan :

$$P = \left(\frac{A_1}{A_{total}} \times \frac{(P_1 + P_2)}{2} \right) + \left(\frac{A_2}{A_{total}} \times \frac{(P_2 + P_3)}{2} \right) + \dots + \left(\frac{A_n}{A_{total}} \times \frac{(P_n + P_{n+1})}{2} \right) \quad (\text{Persamaan - 1})$$

Keterangan :

- P = Tinggi hujan rata-rata.
- P_1, P_2, P_3, P_n = Tinggi hujan antara garis isohyet.
- A_1, A_2, A_3, A_n = Luas wilayah antara garis

A total = Luas wilayah total pos hujan.

c. Polygon Thiessen

Metode ini memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan di sekitarnya. Pada suatu luasan yang berada dalam DAS diasumsikan bahwa hujannya sama dengan yang terjadi pada stasiun yang terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu stasiun dapat mewakili luasan tersebut (Gambar II.7)

Metode ini dapat dipergunakan bila penyebaran stasiun hujan pada daerah yang amati tidak merata, pada metode ini stasiun hujan minimal yang digunakan untuk perhitungan adalah tiga stasiun hujan.

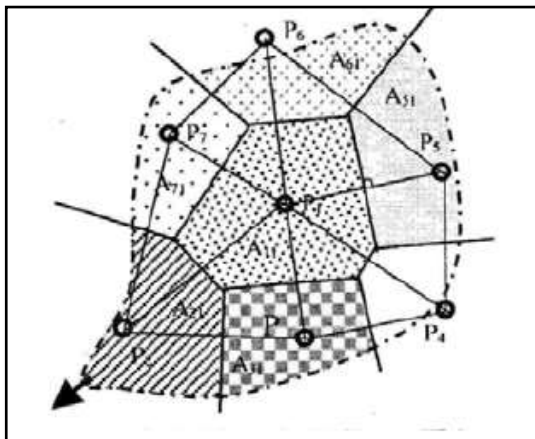
Persamaan dalam hitungan metode Polygon Thiessen dapat di hitung dengan menggunakan persamaan :

$$Rumus \quad P = \frac{A_1 P_1 + A_2 P_2 + \dots + A_n P_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

(Persamaan – 2)

Keterangan :

- P = Rata rata curah hujan wilayah (mm)
- P₁, P₂, ... P_n = curah hujan masing masing stasiun (mm)
- A₁, A₂, ... A_n = luas pengaruh masing masing stasiun (km²)



Gambar II.7 Poligon Thiessen (Suripin, 2004)

2.7. Imbuhan Air Tanah

Dalam hubungannya dengan sistem hidrologi, DAS mempunyai karakteristik yang spesifik serta berkaitan erat dengan unsur utamanya seperti jaringan sungai, hidrologi, jenis tanah, penutupan dan tataguna lahan, topografi,

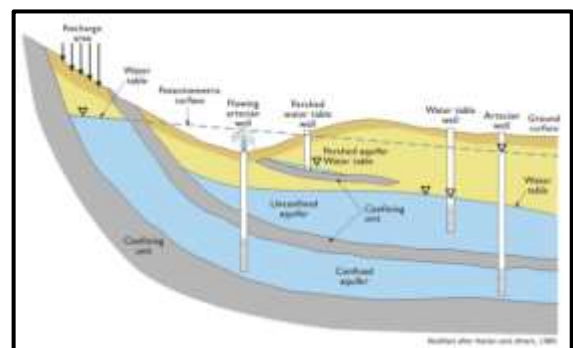
kemiringan dan panjang lereng, serta kondisi geologi setempat.

Karakteristik biofisik suatu DAS dalam merespon curah hujan yang jatuh di dalam wilayah DAS dapat memberikan pengaruh terhadap besar kecilnya *evapotranspirasi, infiltrasi, perkolasi*, air larian, air permukaan, kandungan air tanah dan aliran sungai (Asdak, 2004).

Sumber utama pengimbuhan adalah air hujan, tubuh air permukaan (sungai, danau, rawa) dan irigasi. Imbuhan air tanah pada zona tidak jenuh disebut sebagai infiltrasi. Mekanisme infiltrasi dan pengangkutan kelembaban dapat terjadi secara *translatory flow* yaitu air hujan yang tersimpan di dalam zona tidak jenuh, akan dipindahkan ke arah bawah oleh proses infiltrasi selanjutnya tanpa mengganggu distribusi kelembaban.

Sesuai dengan definisi dari Lerner, dkk (1990), imbuhan air tanah merupakan air yang terinfiltrasi dan mampu menambah cadangan air tanah. Menurut Rushton (1988), imbuhan air tanah terdiri dari beberapa komponen, antara lain terdiri dari :

1. Imbuhan dari kawasan pemukiman (limbah domestik dan kebocoran saluran air) dan areal irigasi (pesawahan)
2. Imbuhan dari air permukaan
3. Imbuhan yang terjadi karena transfer antar akifer dalam cekungan air tanah.



Gambar 2.8. Sistem Cekungan Air Tanah (Modifide After Harlan and Other, 1989)

2.7.1. Menghitung Imbuhan Air Tanah

Menghitung imbuhan air tanah dapat menggunakan rumus berikut :

$$V_t = \int Q_t dt = \int Q_0 e^{-kt} dt \text{ dari } t \text{ ke tak terhingga}$$

$$V_t = Q_t/k \dots\dots\dots (Persamaan – 3)$$

Keterangan :

- V_t : adalah simpanan air tanah atau groundwater storage (volume) pada saat t , dalam m^3
 Q_t : adalah debit keluaran simpanan air tanah dalam $m^3/hari$
 k : dalam $hari^{-1}$

Dengan rumus terakhir ini imbuan air tanah sama dengan volume simpanan air tanah pada awal musim kemarau dikurangi oleh volume simpanan air tanah pada akhir musim kemarau.

2.8. Pengertian Aliran Dasar “Baseflow”

Aliran dasar (*baseflow*) terjadi ketika air hujan masuk ke dalam tanah sampai mencapai ambang batas jenuh dan waktu yang diperlukan air bawah tanah (*groundwater*) untuk melepas air ke sungai. Aliran dasar ini juga sering disebut dengan aliran musim kering. Hal tersebut dikarenakan pada saat musim keringpun aliran ini masih tetap berlangsung. Aliran dasar berasal dari air hujan yang terinfiltrasi dan masuk ke dalam DAS menjadi cadangan air tanah dan perlahan-lahan akan mengalir keluar bergabung dengan aliran sungai. Aliran dasar berguna dalam suplai air dalam jangka panjang yang menjaga air tetap ada disungai sepanjang waktu. *Baseflow* teramati sebagai debit di sungai ketika musim kemarau jika tidak terjadi hujan.

Aliran dasar digunakan sebagai salah satu ukuran aktivitas dinamis air tanah pada sebuah Daerah Aliran Sungai (DAS), sedangkan proporsi aliran dasar dari total aliran sungai digunakan sebagai suatu indeks kemampuan DAS dalam menyimpan dan melepaskan air selama periode kering. Untuk nilai indeks aliran dasar yang tinggi mendeskripsikan bahwa dalam suatu DAS memiliki pola aliran yang lebih stabil dan mampu mempertahankan aliran sungai selama periode kering dan ketika nilai indeks aliran dasar semakin besar maka semakin baik persediaan air dalam DAS begitu juga sebaliknya.

Baseflow berkaitan erat dengan keberlanjutan air tanah terhadap aliran sungai dan menjadi indikator kondisi kering atau ketika curah hujan rendah. Jika base flow semakin rendah, maka kontribusi air tanah terhadap total aliran sungai menurun dan mengakibatkan kekeringan pada musim kemarau. Faktor yang mempengaruhi variabilitas base flow antara adalah fenomena alam berupa anomali iklim. Anomali iklim ini berdampak pada penurunan nilai imbuan. Hal tersebut berkaitan dengan fenomena pemanasan

global yang meningkatkan temperatur atmosfer dan permukaan laut. Proses penguapan yang semakin tinggi berdampak pada peningkatan intensitas hujan, sehingga air hujan tidak sempat masuk ke dalam tanah. Penurunan imbuan berdampak pada kekeringan yang terjadi pada musim kemarau, sehingga mengurangi kualitas, kuantitas, dan kontinuitas sumber daya air.

Koefisien Imbuan merupakan komponen dari aliran debit yang berkontribusi besar pada saat musim kemarau dimana penentuan koefisien imbuan diperlukan untuk memahami neraca hidrologi dari suatu DAS. Selain itu Koefisien imbuan menjadi informasi penting dalam analisa kuantitas dan kualitas air, serta habitat akuatik. Hubungan imbuan terhadap debit *groundwater* juga memberikan informasi penting mengenai kondisi *groundwater* pada skala regional.

Perkiraan awal pengisian kembali dapat dilakukan dengan mengasumsikan persentase rata – rata curah hujan tahunan (RF) terhadap penyerapan air ke dalam penyimpanan air (waduk). Keakuratan metode ini bergantung pada persentase pengisian kembali yang dipilih. Metode harus berdasar pada studi rinci terhadap jenis akuifer yang berbeda di Indonesia. Studi ini memiliki banyak hasil, dan beberapa tersedia dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Tipe akuifer yang ada di Indonesia

Tipe Akuifer	Lokasi	Presipitasi mm/th	Imbuan %	Referensi
Recent Volcanics	Jawa	2205	30	Bakker (1952)
	W. Jawa	2905	30	Pulawati (1976)
	C. Jawa	3000	50	B & P (1983)
Mix recent (old) volcanics / Sedimen	C. Jawa	2400	36	B & P (1983)
	E. Jawa	1997	11	B & P (1983)
	C. Jawa	3000	27	Atmox VII B & P (1980) B & P (1983)
Volcanics	Jawa	3100	14	Bakker (1952)
Limestone	Jawa	3400	7	Bakker (1952)
	Sabah	3000	15	B & P (1974)

Angka pengisian kembali ini dipengaruhi terutama oleh perubahan geologi, tanah, penggunaan lahan dan kemiringan. Generalisasi pun di mungkin kan. Seperti contoh, G. Kelud lebih dapat ditembus oleh cairan atau gas dibanding gunung berapi lain yang lebih muda, namun gunung berapi baru baru ini dipertimbangkan sebagai kesatuan. Pada hasil dari studi di area kapur, di daerah karst Jawa dan Madura limpasan permukaannya menurun. Kehilangan evapotranspirasi bisa lebih rendah dari 1000 mm/th, sedikit terdapat tanah atau bahkan tidak ada, dan ada peluang untuk retakan cepat kembali. Karena itu, pengisian kembali dapat terjadi 50% dari rata-rata curah hujan tahunan. Kecepatan imbuan dikontrol oleh

keadaan geologi, tanah, tutupan lahan, penggunaan lahan, dan kemiringan lereng. Sebagai pegangan berdasarkan keadaan geologi percepatan imbuhan dari rata-rata curah hujan tahunan (Tabel 2.2)

Tabel 2.2. Prosentase Imbuhan Dan Curah Hujan Tahunan Rata-Rata Berdasar Formasi Batuan (Binnie & Partners, 1983)

Formasi Batuan	Imbuhan RC (%)
Vulkanik Resen	30 – 50
Vulkanik tua/Sedimen/campuran resen	15 – 25
Batupasir	15
Sedimen terutama napal atau indurated rocks	5
Batugamping	30 – 50

Imbuhan pada akuifer dapat dihitung sebagai berikut:

$$R_c = R_f + A + R_c \text{ (%) } \quad (\text{Persamaan } - 4)$$

Keterangan:

R_c = (Recharge) Imbuhan (m³/tahun)

R_f = (Rainfall) Curah hujan rata-rata tahunan di daerah tangkapan dihitung dengan metode Isohyet (m/tahun)

A = Luas area/ tadah (m²)

Rc (%) = Prosentase imbuhan (%)

Imbuhan tersebut ditambah perhitungan imbuhan dari infiltrasi rata-rata (IR) dari daerah aliran sungai yang terletak pada daerah akuifer.

2.8.1. Lengkung Resesi Aliran Dasar

Lengkung resesi aliran dasar

- Imbuhan air tanah hanya merupakan sebagian saja dari aliran dasar total
- Syarat penerapan metode kedua penentuan imbuhan air tanah (yaitu analisis aliran dasar musim kemarau)
- Data debit harian tersedia sepanjang tahun
- Tidak ada pengambilan air di daerah hulunya

2.8.2. Penentuan Konstanta Resesi Aliran Dasar K dan k

Penting untuk menentukan imbuhan air tanah, yang besarnya sama dengan debit keluaran simpanan air tanah yang terjadi selama musim kemarau.

Persamaan resesi aliran dasar :

$$Q_t = Q_0 K^t$$

$$Q_t = Q_0 e^{-kt}$$

Persamaan di atas merupakan garis lurus penyusutan jika diplot pada kertas semilog, yaitu log Q vs t

$$K = (Q_t / Q_0)^{1/t}$$

$$K = e^{-k}$$

$$k = -\ln K \quad (\text{Persamaan } - 5)$$

Jika diketahui Q_t , Q_0 dan t , maka K dan k bisa ditetapkan. Dan gunakan hasil K dan k untuk menghitung imbuhan air tanah. V_t adalah simpanan air tanah pada saat t dalam m³ dan Q_t adalah keluaran simpanan air tanah dalam m³ / hari :

$$V_t = Q_t/k \quad \text{dan} \quad V_0 = Q_0/k$$

Keterangan :

K dan k : Imbuhan air tanah

Q_t dan Q_0 : Keluaran simpanan air tanah

V_t : Simpanan air tanah

Nilai K dan k menurut Binni & Partner, 1983, dimana nilai **Konstanta Resession** di Indonesia di daerah Jawa Tengah, seperti terlihat pada tabel 2.3. berikut :

Tabel 2.3. Koefisien Lengkung Penyusutan Aliran Dasar Tipikal Hasil Modifikasi

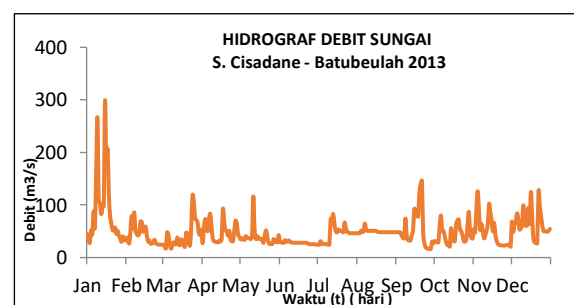
No.	Deposit	K	k
1	Batugamping tebal dan luas (Karst) ^b	0.9970 – 0.9990	0.0030 – 0.0005
2	Vulkanik resen ^a	0.994 – 0.997	0.006 – 0.003
3	Campuran vulkanik resen dengan vulkanik dan sedimen tua ^a	0.985 – 0.994	0.015 – 0.006
4	Vulkanik tua dn sedimen tersier ^a	0.970 – 0.985	0.031 – 0.015

a. Binnie & Partners, 1983

b. Bambang Soenarto, 2002

2.8.3. Hidrograf

Hidrograf merupakan suatu grafik yang menggambarkan hubungan antara debit terhadap waktu, dimana waktu disimbolkan di sumbu x dan debit di sumbu y. Debit dinyatakan dalam satuan (m³/s) atau (liter/s). Pada saat musim penghujan debit di sungai cenderung naik yang ditandai dengan naiknya kurva pada hidrograf aliran. Sebaliknya pada saat musim kemarau debit di sungai cenderung menurun. Bentuk kurva hidrograf DAS Cisadane Hulu seperti disajikan pada Gambar 2.9. sebagai berikut :



Gambar 2.9. Kurva Hidrograf DAS Cisadane Hulu Batubeulah tahun 2013

2.9. Kondisi Geologi

2.9.1. Fisiografi dan Geomorfologi

Secara fisiografi menurut van Bemmelen, 1949, Jawa Barat terbagi menjadi 4 zona (Gambar 2.10), yaitu :

1. Zona Jakarta
2. Zona Bogor
3. Zona Bandung
4. Zona Pegunungan Selatan



Gambar 2.10. Fisiografi daerah Jawa Barat (van Bemmelen, 1949)

2.9.2. Stratigrafi

Stratigrafi Regional Lembar Bogor berdasarkan Peta Geologi Lembar Bogor, Lembar Jakarta, dan Lembar Serpong Jawa, secara umum daerah penelitian tersusun atas batuan gunungapi, batuan terobosan dan batuan sedimen Tersier. Berikut **satuan batuan** yang diurutkan dari muda ke tua (Gambar 2.11)



Gambar 2.11. Peta Lembar Bogor, Jawa (AC. Effendi, Kusmana, dan B. Hermanto, 1998)

2.9.3. Struktur Geologi

Secara regional daerah Jawa Barat merupakan daerah yang terletak pada alur volkanik-magmatik yang merupakan bagian dari Busur Sunda (Soeriaatmaja, 1998 op.cit Martodjojo, 2003).

Busur Sunda ini memanjang dari Pulau Sumatera hingga Nusa Tenggara yang merupakan manifestasi dari interaksi antara lempeng Samudera Indo-Australia dengan lempeng Eurasia. Interaksi ini bergerak ke arah utara dan menunjam ke bawah tepian benua Lempeng Eurasia yang relatif tidak bergerak (Hamilton, 1979 op.cit Fachri, 2000). Akibat dari interaksi lempeng-lempeng tersebut di daerah Jawa terdapat tiga pola struktur yang dominan (Martodjojo, 2003), (Gambar 2.12), yaitu:

1. Pola Meratus
2. Pola Sumatera
3. Pola Sunda



Gambar 2.12. Peta Struktur Regional Jawa Barat (Martodjojo, 1984)

3. METODELOGI

Secara garis besar, metodologi yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari study literatur, pengambilan data, pengolahan dan analisis data, serta kesimpulan.

Perhitungan data debit harian sungai dan data curah hujan harian yang berasal dari stasiun pencatat yang terletak pada DAS Cisadane Hulu dan sekitarnya, periode pengamatan adalah dari tahun 1980 hingga tahun 2013, dengan periode selama 28 tahun yang dimaksudkan untuk mengetahui keadaan DAS Cisadane Hulu terkini. Data kondisi DAS Cisadane Hulu dikumpulkan dari berbagai sumber, diantaranya dari Balai Besar Wilayah Sungai Ciliwung - Cisadane

(BBWS Cilicis), Pusat Litbang Sumber Daya Air (PUSAIR) Bandung dan berbagai karya tulis yang membahas mengenai DAS Cisadane. Kemudian dilakukan pengolahan data tersebut untuk mendapatkan nilai tentatif Koefisien Imbuhan.

Titik pengambilan sampel data debit harian sungai terletak di DAS Cisadane, yaitu Pos Pantau Batubeulah yang terletak di Daerah Kampung Cibaliung, Kecamatan Rumpin, Kabupaten Bogor, Jawa Barat di sebelah kiri arah aliran S. Cisadane, dengan koordint 06° 29' 00" LS dan 106° 41' 00" BT, (Data Terlampir pada lampiran - 1).

Lokasi Pos Curah Hujan Harian di pergunakan data hasil pengukuran dari beberapa pos pengamatan curah hujan yang termasuk di wilayah Sub DAS Cisadane Hulu seperti pos pantau : Citeko, Panjang, Central Kracak, Pasir Jaya, Naringgul, Cigudeg, Cihieudeung Udik, Cihieudeung Udik, Kemang, Ciantean, Cikluwung, Pasir Muncang, Perkebunan Cimulang, Lemah Neundeut, Kranji, dengan masa pengamatan selama 27 tahun dari tahun 1980 hingga tahun 2013, (Data Terlampir pada lampiran - 1).

Dalam penelitian mengenai penentuan koefisien imbuhan, dibutuhkan data mengenai kondisi umum daerah penelitian, yaitu Sub DAS Cisadane Hulu. Keadaan umum yang dikumpulkan berupa data-data yang berhubungan dan mempengaruhi imbuhan, antara lain tata guna lahan, morfologi, geologi, infrastruktur sumber daya air, dan kondisi meteorologi DAS.

Dalam perhitungan imbuhan air tanah ini di perlukan data-data debit harian dari Sub DAS Cisadane Hulu lalu dibuatkan grafik dan menggunakan logaritma. Konstanta resesi aliran dasar K dan k penting untuk menentukan imbuhan air tanah, adapun rumus yang dipergunakan yaitu persamaan – 4.

Metode Isohyet dipakai dalam menghitung hujan rata-rata pada daerah bertopografi yang tidak sama serta sebaran stasiun/pos pengamatan yang tidak merata (persamaan – 3). Persyaratan yang harus di penuhi dengan menggunakan metode Isohyet sebagai berikut :

1. Lokasi dan stasiun-stasiun pengamatan hujan digambar pada peta berikut nilai curah hujannya

2. Gambarkan garis kontur untuk hujan yang sama (isohyet).
3. Menghitung harga rata-rata hujan pada sub daerah yang berada diantara dua garis isohyet berikut luas sub daerah tersebut di atas.
4. Untuk tiap sub daerah dihitung volume hujan sebagai perkalian hujan rata-ratanya terhadap sub daerah.

Untuk menentukan berapa besar Koefisien Imbuhan/ *Recharge Coefisient* (R_C) dapat di hitung dengan menggunakan rumus :

$$R_C = \frac{\left(\frac{\text{Recharge}}{\text{Curah Hujan Rata - Rata}} \right)}{\text{Luas Area}}$$

Sehingga didapat nilai *Koefisien Imbuhan/ Recharge Coefisient* (R_C) dari hasil perhitungan.

Sedangkan untuk mendapatkan *Koefisien Imbuhan/Recharge Coefisient* (R_C) pada musim kering/kemarau maka di gunakan rumus :

$$R_C \times A_D \times R_f = ((R_{fh} \times A_{FB1} \times R_C \%) + (R_{fr} \times A_{FB2} \times R_C \%))$$

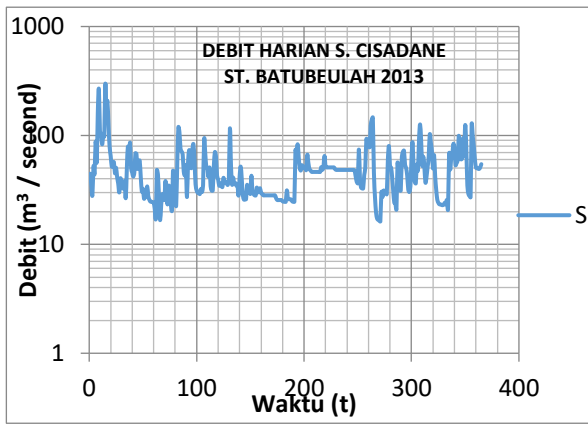
Keterangan :

- R_C = Koefisien hasil perhitungan
- A_D = Luas Sub DAS Cisadane Hulu
- R_f = Rata- Rata Curah Hujan Tahunan Sub DAS Cisadane
- R_{fh} = Rata-Rata Curah Hujan di wilayah Hulu DAS
- R_{fr} = Rata-Rata Curah Hujan di wilayah Hilir DAS
- $A_{FB1}, A_{FB2}, A_{FBn},$ = Luas Formasi Batuan 1, 2n.
- $R_C \%$ = Persentase Koefisien Formasi Batuan

4. ANALISA DAN PERHITUNGAN

4.1. Grafik Hidrograf

Hidrograf merupakan suatu grafik yang menggambarkan hubungan antara debit terhadap waktu, dimana waktu disimbolkan di sumbu X dan debit di sumbu Y. Debit dinyatakan dalam satuan (m^3/s) atau (liter/s). Pada saat musim hujan debit di sungai cenderung naik yang ditandai dengan tingginya kurva hidrograf aliran, sebaliknya saat musim kemarau debit di sungai cenderung menurun. Bentuk kurva hidrograf dapat di lihat pada Gambar 4.1. sebagai berikut:



Gambar 4.1. Kurva Hidrograf Sub DAS Cisadane Tahun 2013

4.2. Besarnya Imbuan (R_s) dan Fluktuasi / Fluktuasi/Ketinggian (H_w) Air Tanah

Imbuan air tanah yang terjadi di kawasan Sub Daerah Aliran Sungai Cisadane Hulu menjadi sangat penting peranannya dikarenakan selain mempunyai luas daerah pengaliran sungai seluas lebih dari 842.69 km², juga dikarenakan kondisi topografi daerah penelitian merupakan daerah yang berbukit-bukit serta di bagian selatan atau hulu merupakan daerah pegunungan yang terdiri dari Gunung Salak dan Gunung Gede Pangrango. Terdiri dari beberapa anak sungai Cienteun, Cikaniki yang bermuara di Cienteun, Cibungbulang bermuara di Cienteun, Ciaruteun bermuara di Cienteun, Cinangneng bermuara di Cisadane, Ciampea bermuara di Cinangneng, Cihideung bermuara ke Cisadane dan Ciapus yang bermuara ke Cisadane.

Imbuan air tanah bisa berasal dari atas permukaan cekungan maupun berasal dari dalam cekungan itu sendiri. Komponen imbuan yang termasuk ke dalam potensi imbuan dari permukaan cekungan berasal dari kawasan pemukiman, areal irigasi dan air permukaan, sedangkan imbuan yang berasal dari dalam cekungan berupa kiriman antar akuifer dalam cekungan air tanah.

Akuifer sebagai salah satu kondisi Hidrogeologi dan ukuran imbuan air tanah pada daerah kajian berdasarkan konduktivitas dan transmisivitas serta litologi penyusunnya berupa batuan vulkanik muda dan vulkanik tua, dimana batuan tersebut umumnya merupakan akuifer yang baik. Pada bagian selatan Sub DAS Cisadane Hulu yang merupakan bagian hulu DAS tersebut adalah terdiri dari batuan gunungapi tua berupa lahar dan lava, basalt andesit, tuf batuapung, aliran lava, andesit basalt, batuan gunungapi tak

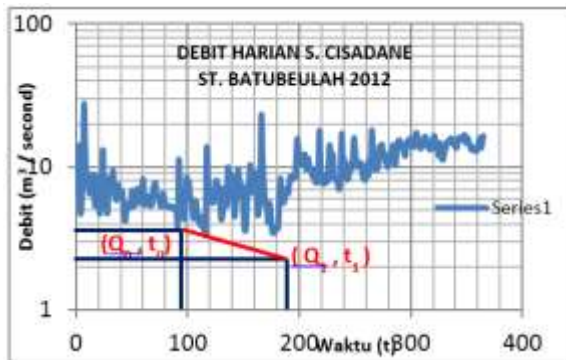
terpisahkan terdiri dari breksi dan aliran lava andesit, dan batuan gunungapi muda terdiri dari breksi, tuf breksi, lahar dan tuf batuapung. Sedangkan di bagian tengah merupakan endapan Formasi Bojongmaik dan Anggota Batugamping Formasi Bojongmaik, serta batuan vulkanik muda berupa lahar, breksi, tuf breksi dan tuf batuapung, serta endapan alluvial.

Sumber imbuan pada permukaan cekungan, bisa berasal dari wilayah pemukiman dan daerah pesawahan serta air permukaan sedangkan dalam cekungan bisa bersumber dari kiriman antar akuifer. Mengingat masih tertatanya tatanan TNGHS (Taman Nasional Gunung Halimun Salak) dan curah hujan yang juga memberikan kontribusi secara tidak langsung kepada imbuan air tanah pada Wilayah Sub DAS Cisadane Hulu.

Data dan perhitungan nilai rata-rata imbuan yang dilakukan pada daerah penelitian seperti terlihat pada Tabel 4.1. serta Gambar 4.2. Grafik Hidrograf di bawah ini. Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan maka di dapatkan nilai imbuan yang terjadi pada Sub DAS Cisadane Hulu didapatkan nilai rata rata imbuan air tanah (R_s) sebesar : $337.11 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{tahun}$, seperti di sajikan pada Tabel 4.2. dan Gambar Grafik 4.2. di bawah ini.

Tabel 4.1. Data debit harian pos pantau Batubeulah sub DAS Cisadane Hulu Tahun 2012

Tanggal	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Juli	Agp	Sep	Okt	Nov	Des
1	6,99	7,18	8,23	3,89	6,64	3,6	6,04	9,46	8,27	14,34	17,19	15,11
2	14,13	9,43	5,79	11,38	5,67	5,37	8,3	7,59	10,36	12,43	15,99	15,88
3	7,4	6,83	5,41	6,78	5,63	7,49	6,72	7,75	9,99	12,57	14,3	14,61
4	4,72	6,26	5,72	5,07	6,27	7,24	6,11	7,94	9,68	10,85	13,38	15,19
5	5,82	5,86	5,59	4,88	7,94	10,32	5,6	7,91	11,68	11,65	13,5	14,2
6	9,56	6,52	6,27	4,72	8,04	6,67	6,11	17,84	15,92	9,99	14,71	13,79
7	22,5	7,5	5,4	4,36	6,39	7,25	7,02	11,06	13,38	10,46	14,38	13,6
8	14,4	6,34	5,34	6,24	7,24	7,51	7,06	8,12	10,57	12,09	16	14,98
9	9,11	6,17	5,54	8,4	5,68	6,65	6,52	7,71	10,29	12,22	16,2	16,02
10	8,05	6,82	7,94	7,85	4,31	9,10	7,68	7,81	9,93	12,76	15,38	15,67
11	7,38	5,62	7,48	7,67	4,51	6,29	8,6	7,81	10,15	14,24	13,85	16,15
12	6,51	4,3	7,25	6,35	5,61	4,6	8,15	8,96	10,70	12,08	14,17	16,01
13	6,21	4,19	6,43	6	7,13	5,49	6,67	7,86	9,8	10,26	13,19	15,31
14	7,22	5,05	6,17	5,26	6,62	6,35	8,38	8,1	8,48	12,08	13,71	16,8
15	8,02	5,48	6,13	4,36	5,43	10,98	8,38	12,00	8,7	14,08	15,17	15,46
16	6,77	5,55	5,54	5,08	9,68	11,62	10,47	12,01	8,12	15,35	15,75	14,7
17	5,38	5,17	5,38	5,83	7,82	8,09	15,52	8,88	9,23	15,3	16,47	15,86
18	8,73	5,46	5,54	5,13	6,14	6,22	14,06	12,36	10,4	14,58	14,19	14,79
19	6,01	6,85	6,56	4,67	8,82	5,27	12,23	8,99	8,7	13,71	13,24	14,01
20	7,25	5,8	5,9	4,17	6,41	5,37	16,29	8,19	11,38	13,51	13,21	15,21
21	4,72	5,32	5,59	3,96	5,78	4,08	12,03	8	9,96	12,35	12	13,67
22	5,96	5,7	5,77	4,5	4,49	5,58	11,08	8,38	18	11,97	14,76	13,67
23	8,31	5,86	5,27	4,23	5,75	5,18	11,54	7,07	12,33	14,16	12,96	13,12
24	13,09	7,07	5,27	3,76	6,38	4	12,18	7,11	11,06	15,15	11,38	12,88
25	5,86	6,27	5,2	3,90	9,52	3,48	9,06	8,35	9,56	15,38	11,77	12,87
26	6,6	6,51	5,13	3,34	8,4	1,44	10,68	17,12	10,19	15,7	12,87	15,75
27	5,38	5,57	5,3	13,16	7,18	1,57	11,44	10,78	9,6	14,65	13,19	15
28	4,77	6,53	5,1	9,2	7,48	3,77	9,94	11,52	11,25	14,05	14,82	15,88
29	6,78		5,38	6,35	6,25	3,75	9,94	9,24	13,92	13,71	15,15	13,58
30	8,43		3,16	5,49	4,78	3,71	9,02	8,75	12,49	14,3	16,1	15,02
31	8,03		4,94		3,6		8,58	8,12		16,24		16,47
Rata-rata	6,2855	6,106	5,826	5,889	6,5	6,494	9,21	9,511	10,8	13,33	14,24	14,76
Aliran (m³/d)	10,1068	7,45	7,108	7,161	7,98	7,994	11,36	11,39	13,38	16,27	17,38	18,02
Harga (Rp/d)	27,0718	18,02	18,04	18,56	21,24	20,54	30,43	31,01	34,38	43,57	45,34	48,24
Volume (m³)	22,1867	14,77	15,6	15,21	17,41	16,82	24,94	25,46	27,99	35,71	36,91	38,53



Gambar 4.2. Grafik Hidrograf debit harian Sungai Cisadane Hulu, Stasiun Batubeulah Tahun 2012

Perhitungan Debit Sungai Harian Sungai Cisadane Pos Batubeulah 2012

Diketahui data-data :

t_0	= 90	hari	Q_0	= 3.9	m^3/s
t_1	= 180	hari	Q_1	= 1.4	m^3/s

Luas DAS :	842.69	Km^2	S_y	= 0,2	Vulcano area
A	= 842.69 X 10^6	m^2			

Perhitungan :

$$\Delta t = t_1 - t_0$$

$$\Delta t = 90 \text{ hari}$$

Q_0	= 3.9	m^3/s	Q_1	= 1.4	m^3/s
	= ((3.9/(1/24x60x60))			= ((1.4/(1/24x60x60))	
	= 336,960	$m^3/hari$		= 120,960	$m^3/hari$
	= 0.337	$\times 10^6 m^3/hari$		= 0.121	$\times 10^6 m^3/hari$

$$Q_1 = Q_0 \times e^{-k} \longrightarrow Q_1 = Q_0 \times K$$

$$K = e^{-k}$$

$$\log K = -\log e^{-k}$$

$$\log K = -k \log e$$

$$\frac{\log k}{\log e} = -K \longrightarrow K = -\frac{\log k}{\log e}$$

$$e = 2.718$$

K dan k = Koefisien kelengkungan pengaruh aliran dasar

$$K = \left(\frac{Q_1}{Q_0}\right)^{1/k}$$

$$K = \left(\frac{0.121}{0.337}\right)^{1/90}$$

$$K = 0.989$$

$$K = \log e = -\log e$$

$$K = -e \log k$$

$$k = -\ln K$$

$$k = 0.011 \text{ /hari}$$

Tampungan Awal = V_{t_0}

$$V_t = \frac{Q_1}{k} \quad k = \text{/hari}$$

$$Q = m^3 / \text{hari}$$

$$V_t = m^3$$

$$V_{t_0} = \frac{Q_0}{k} = \frac{0.337 \times 10^6 m^3 / \text{hari}}{0.011 / \text{hari}}$$

$$= 30$$

$$= 30 \times 10^6 m^3$$

$$V_{t_1} = \frac{Q_1}{k} = \frac{0.121 \times 10^6 m^3 / \text{hari}}{0.011 / \text{hari}}$$

$$= 11$$

$$= 11 \times 10^6 m^3$$

Selisih Volume (Volume Recharge)

$$\Delta V_t = V_{t_0} - V_{t_1}$$

$$= 30 \times 10^6 m^3 - 11 \times 10^6 m^3$$

$$= 19 \times 10^6 m^3 \text{ (Rs)}$$

Recharge ke Sungai (Rs)

$$R_s = A \times h_w \times s_y$$

$$19 \times 10^6 m^3 = 842.69 \times 10^6 m^3 \times h_w \times 0.2$$

$$h_w = \frac{19 \times 10^6 m^3}{842.698 \times 10^6 m^2 \times 0.2}$$

$$h_w = 0.11 \text{ m}$$

Kesimpulan :

Ketinggian / Fluktuasi muka air dari musim kemarau ke musim penghujan : 0.11 m

Tabel 4.2. Nilai Imbuhan (R_s) Sub DAS Cisadane Hulu periode 1980-2013

Tahun	R_s ($\times 10^6 m^3$)	Tahun	R_s ($\times 10^6 m^3$)	Tahun	R_s ($\times 10^6 m^3$)
1980	172	1993	236	2005	171
1981	285	1995	666	2006	671
1984	178	1996	997	2007	1,139
1985	88	1997	580	2008	732
1986	162	1999	256	2009	549
1987	75	2001	225	2010	124
1988	149	2002	263	2011	110
1990	115	2003	194	2012	19
1991	249	2004	665	2013	128
1992	241				
Rata-Rata : $337.11 \times 10^6 m^3 / \text{tahun}$					

Nilai fluktuasi/ketinggian muka air dari musim hujan ke musim kemarau berdasarkan perhitungan yang dilakukan dari tahun 1980 hingga 2013 pada St. Batubeulah pada Sub DAS Cisadane Hulu di dapatkan nilai sebesar : **2.00 m** seperti terlihat pada Tabel 4.3. berikut :

Tabel 4.3. Nilai Fluktuasi/Ketinggian air dari Musim Hujan ke Musim Kemarau (H_w) Sub DAS Cisadane Hulu periode 1980-2013

Tahun	H_w (m)	Tahun	H_w (m)	Tahun	H_w (m)
1980	1.02	1993	1.40	2005	1.02
1981	1.69	1995	3.95	2006	3.98
1984	1.05	1996	5.91	2007	6.76
1985	0.52	1997	3.44	2008	4.34
1986	0.96	1999	1.52	2009	3.25
1987	0.44	2001	1.33	2010	0.73
1988	0.88	2002	1.56	2011	0.65
1990	0.68	2003	1.15	2012	0.11
1991	1.48	2004	3.95	2013	0.76
1992	1.43				
Rata-Rata : 2.00 m					

4.3. Penentuan Nilai K dan k

Penentuan *Imbuhan Air Tanah* yang besarnya sama dengan debit keluaran simpanan air tanah yang terjadi selama musim kemarau dapat di tentukan dengan persamaan berikut :

Persamaan resesi aliran dasar :

$$Q_t = Q_0 K^t$$

$$Q_t = Q_0 e^{-kt}$$

Persamaan di atas merupakan garis lurus penyusutan jika diplot pada kertas semilog, yaitu log Q vs t

$$K = (Q_t / Q_0)^{1/t}$$

$$K = e^{-k}$$

$$k = -\ln K$$

K dan k : Koefisien kelengkungan pengaruh aliran dasar

Jika diketahui Q_t , Q_0 dan t, maka K dan k bisa dihitung seperti terlihat pada tabel 4. 4 terlampir.

Berdasarkan hasil perhitungan dari data Debit pengukuran Pos Pantau Batubeulah seperti yang terlihat pada tabel di atas diperoleh **Nilai K sebesar : 0.989 dan k sebesar 0.011/hari** dimana bila di cocokkan dengan tabel Tabel II.5 tentang Koefisien lengkung penyusutan aliran dasar tipikal hasil modifikasi (B & P 1983 dan Bambang Soenarto, 2002) maka nilai **K dan k** ini mempunyai **Jenis Deposit berupa Campuran Vulkanik muda dengan Vulkanik tua dan Sedimen**. Bila dilihat berdasarkan peta geologi daerah kajian Formasi Batuan yang lebih

didominasi oleh Formasi Batuan Vulkanik tua, vulkanik muda dan juga oleh batuan-batuan sedimen Formasi Tersier, seperti Formasi Bojongmanik, Formasi Jasinga, Formasi Genteng, dan Fomasi Cibulakan.

Sedangkan nilai rata-rata debit sungai Batubeulah hasil pengukuran Pos Pantau Batubeulah Sub DAS Cisadane Hulu, dari tahun 1980 – 2013, didapatkan nilai rata-rata : **81.93 m³/sekon atau 0.23 x 10⁶ m³ / hari**, seperti terlihat pada tabel 4.4 berikut :

Tabel 4.4. Nilai Rata-Rata Debit Sungai Batubeulah Hasil Pengukuran Pos Pantau Batubeulah Periode Tahun 1980 – 2013.

No	Tahun	Rata - rata Debit Tahunan m ³ /sekon	Rata - rata Debit Tahunan (x 10 ⁶ m ³ /hari)
1	1980	75.19	0.21
2	1981	81.75	0.23
3	1984	64.75	0.18
4	1986	78.41	0.22
5	1987	45.20	0.13
6	1988	46.90	0.13
7	1990	43.73	0.12
8	1991	68.19	0.19
9	1992	74.21	0.21
10	1993	82.58	0.23
11	1995	150.40	0.42
12	1996	170.00	0.47
13	1997	131.50	0.37
14	1999	54.51	0.15
15	2001	66.81	0.19
16	2002	59.23	0.16
17	2003	49.53	0.14
18	2004	140.90	0.39
19	2005	51.21	0.14
20	2006	117.90	0.33
21	2007	152.10	0.42
22	2008	175.81	0.49
23	2009	79.73	0.22
24	2010	50.16	0.14
25	2011	42.64	0.12
26	2012	9.28	0.03
27	2013	49.41	0.14
Rata-Rata		81.93	0.23

Berdasarkan nilai rata-rata debit sungai Pos Pantau Batubeulah Sub DAS Cisadane Hulu tahun 1980 – 2103, bila dibandingkan dengan hasil perhitungan nilai **k** hasil perkiraan nilai yang digunakan berdasarkan tabel II.3, maka **nilai k (Koefisien kelengkungan pengaruh aliran dasar)** yang di dapat dengan **nilai 0.011/hari** dengan rata-rata debit : **4.094 x 10⁶ m³/ hari**, seperti terlihat pada tabel 4.5. terlampir

4.4. Analisis Dan Perhitungan Curah Hujan Rata-Rata Tahunan

Hal yang terpenting untuk mengetahui debit limpasan air hujan dalam menentukan kapasitas sungai, yaitu data-data curah hujan yang terdapat di daerah sungai atau daerah tangkapan air hujan yang mempengaruhi sungai tersebut. Curah hujan harian yang tercatat dapat dilihat pada stasiun di daerah aliran selama beberapa tahun dapat diperoleh di Badan Meteorologi dan Geofisika

(masih merupakan data dasar). Cara ini akan memberikan hasil yang dapat dipercaya jika posisi pengamatannya ditempatkan secara merata di areal tersebut dan hasil pengamatan masing-masing pos tidak menyimpang jauh dari nilai rata-rata seluruh pos diareal.

Berdasarkan perhitungan nilai curah hujan menggunakan rumus Isohyet yang dilakukan pada Sub DAS Cisadane Hulu periode tahun 1980 – 2013 di dapatkan nilai curah hujan seperti yang terlihat pada tabel 4.6. berikut :

Tabel 4.6. Volume Curah Hujan Sub DAS Cisadane Hulu Periode tahun 1980 – 2013

No	Simbol	Luas (km ²)	Luas (m ²) x 10 ⁶	Nilai Kontur Curah Hujan (m/tahun)	Nilai Curah Hujan (m/tahun)
1		355.4	355.4	1-2	1.5
2		388.4	388.4	2-3	2.5
3		206.2	206.2	3-4	3.5
4		150	150	4-5	4.5
	Total	1100	1100		

Perhitungan Tinggi Hujan rata-rata per tahun diperoleh dengan cara sebagai berikut :

$$P = \left(\frac{A_1}{A_{total}} \times \frac{(P_1 + P_2)}{2} \right) + \left(\frac{A_2}{A_{total}} \times \frac{(P_2 + P_3)}{2} \right) + \dots + \left(\frac{A_n}{A_{total}} \times \frac{(P_n + P_{n+1})}{2} \right)$$

Dimana:

P = Tinggi hujan rata-rata.

P1, P2, P3, Pn = Tinggi hujan antara garis isohyet.

A1, A2, A3, An = Luas wilayah antara garis isohyet.

A total = Luas wilayah total pos hujan.

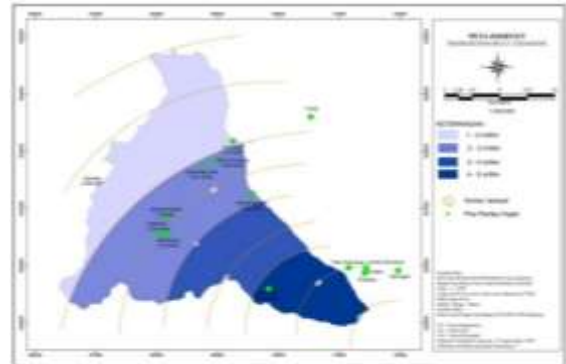
$$P = \left(\frac{355.4}{1100} \times \frac{(1.5 + 2.5)}{2} \right) + \left(\frac{388.4}{1100} \times \frac{(2.5 + 3.5)}{2} \right) + \left(\frac{206}{1100} \times \frac{(3.5 + 4.5)}{2} \right) + \left(\frac{150}{1100} \times \frac{(4.5)}{2} \right)$$

$$P = (0.322 \times 2) + (0.353 \times 3) + (0.187 \times 4) + (0.136 \times 2.25)$$

P = 2.8 m/tahun

Berdasarkan perhitungan diperoleh rata-rata tinggi curah hujan pada daerah penelitian didapat : **2.8 m/tahun.**

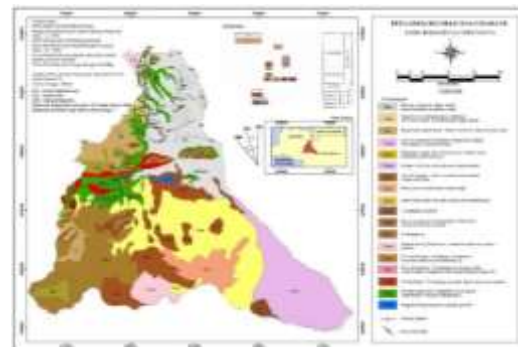
Rata-rata curah hujan pada bagian hulu sebesar : **2.12 m/tahun**, sedangkan pada daerah bagian hilir mempunyai curah hujan rata-rata sebesar : **0.65 m/tahun.**



Gambar 4.3. Peta Geologi Sub Das Cisadane Hulu

4.5. Analisis Daya Tampung dan Alir Air Tanah Terhadap Formasi Batuan

Perhitungan Daya Tampung dan alir air tanah yang dikaitkan dengan keberadaan Formasi Batuan yang dijumpai pada daerah penelitian dapat di lihat pada perhitungan di bawah ini, Formasi Batuan yang dijumpai pada daerah penelian seperti terlihat pada gambar 4.4. berikut:



Gambar 4.4. Peta Geologi Sub Das Cisadane Hulu

Tabel 4.7. Luasan Formasi Batuan Yang Dapat Menampung Dan Mengalirkan Air Tanah Pada Sub DAS Cisadane Hulu

No	Simbol	Keterangan	Luasan (Km ²)	Luasan (A) (x10 ⁶ m ²)	R _f (m/tahun)	RC %
1	Qa	Alluvium	14.52	14.52	2.8	15 - 25 %
2	Qav	Kipas Alluvium	0.03	0.03	2.8	15 - 25 %
3	Qv	Batu Gamping muda	57.8	57.8	2.8	30 - 50 %
4	Qvp	Lava Gunung Erebit - Praokli	4.33	4.33	2.8	(0) *
5	Qvb	Breksi Gununggi	28.65	28.65	2.8	30 - 50 %
6	Qvp	Endapan Lethi Tu	152.62	152.62	2.8	15 - 25 %
7	Qv	Lava Gununggi	11.04	11.04	2.8	(0) *
8	Qvb	Aliran Lava	50.45	50.45	2.8	(0) *
9	Qvb	Lahar, Breksi tuft dan Lapili	208.85	208.85	2.8	30 - 50 %
10	Qvt	Tuf berhampar gunung	98.99	98.99	2.8	30 - 50 %
11	Qv	Batu gamping tak terpisahkan	141.54	141.54	2.8	30 - 50 %
12	Qvt	Tuf berhampar	7.7	7.7	2.8	30 - 50 %
13	Qva	Andesit Gunung Solomank	0.27	0.27	2.8	(0) *
14	Tps	Formasi Serpong	5.19	5.19	2.8	15 - 25 %
15	Tjg	Formasi Gerbang	6.63	6.63	2.8	15 - 25 %
16	Tmb	Tuf dan Breksi	18.98	18.98	2.8	30 - 50 %
17	Tmb	Formasi Bojogranik	17.38	17.38	2.8	15 - 25 %
18	Tmb	Anggota Bohangung Formasi Bojogranik	3.81	3.81	2.8	15 - 25 %

Luas Formasi Batuan (A)

Fm. Batuan	Luasan (A) (x10 ⁶ m ²)	R _c (%)
Volkanik Resen	562.51	40%
Volkanik Tua/ Sedimen/ Campuran Resen	200.18	20%

1. Volkanik Resen

$$R_{C1} = R_f \times A \times R_C (\%)$$

$$R_{C1} = 2.8 \text{ m / tahun} \times (562.51 \times 10^6 \text{ m}^2) \times 40 \%$$

$$R_{C1} = 630.01 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

2. Volkanik Tua/ Sedimen/ Campuran Resen

$$R_{C2} = R_f \times A \times R_C (\%)$$

$$R_{C2} = 2.8 \text{ m / tahun} \times (200.18 \times 10^6 \text{ m}^2) \times 20 \%$$

$$R_{C2} = 112.10 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

Total Richarge (R_C) :

$$R_C = R_{C1} + R_{C2}$$

$$R_C = 742.11 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa pada Formasi Batuan Volkanik Resen (batuan gunungapi muda, breksi gunungapi, lahar, breksi tufa, dan lapilli, tuf batuapung pasir, batuan gunungapi tak terpisahkan, tuf batuapung dan tuff breksi) dengan luas 562.51 km² yang mempunyai daya tangkap dan tampung yang lebih besar dikarenakan sifat porositas batuan yang lebih baik karena belum mengalami kompaksi di bandingkan dengan Formasi Batuan Volkanik Tua/Sedimen/ Campuran Resen (alluvium, kipas alluvium, endapan lebih tua, Formasi Serpong, Formasi Genteng, Formasi Bojongmanik, Anggota Batugamping Formasi Bojongmanik) dengan luas 200.18 km², yang mempunyai sifat porositasnya relatif kurang baik dikarenakan sudah mengalami kompaksi, sedangkan untuk batuan intrusi dan ekstrusi mempunyai nilai impermeabilitasnya 0 di karenakan mempunyai sifat kedap air.

4.6. Perhitungan Koefisien Imbuan (R_C)

Nilai Koefisien Imbuan (R_C) air tanah berdasarkan perhitungan yang dilakukan dari tahun 1980 hingga 2013 pada St. Batubeulah pada daerah penelitian berdasarkan hasil perhitungan di dapatkan *Nilai R_C sebesar 14.29 %* seperti terlihat pada Tabel IV.9 terlampir.

5. PEMBAHASAN

5.1. Hubungan Antara Curah Hujan Dan Debit Dalam Sub DAS Cisadane Hulu.

Aliran air sungai dipengaruhi oleh fluktuasi hujan, di mana hubungan antara hujan dan debit sungai merupakan dasar peramalan yang tepat untuk pengoperasian proyek-proyek pengembangan air dan perluasan data debit aliran sungai. Walaupun hubungan antara komponen hujan dan debit bersifat tidak mudah, menggunakan prakiraan debit sebagai suatu persentase tetap dari curah hujan merupakan suatu metoda yang paling umum digunakan. Dalam masalah pengendalian sungai, debit sungai yang sudah dibandingkan dengan curah hujan bisa membantu melengkapi data debit, karena seringkali data debit tidak diperoleh bahkan tidak lengkap, sedangkan data curah hujan tersedia cukup panjang

Debit ekstrim minimum lebih ditekankan untuk melihat ketersediaan air baku air minum yang akan diambil dari Sungai Cisadane. Jika pasokan air baku ini akan dimanfaatkan secara langsung dari debit sungai, maka untuk mengurangi resiko kekeringan harus diperhatikan debit ekstrim minimum hariannya. Pada saat musim kering kelembaban tanah rendah, kapasitas infiltrasinya naik. Hal ini memberikan konsekuensi air hujan yang turun meresap seluruhnya ke dalam tanah. Pada saat musim penghujan, memiliki curah hujan dengan intensitas dan frekuensi yang tinggi, selain disebabkan pula oleh musim hujan sebelumnya, mengakibatkan tanah jenuh air dan kapasitas infiltrasinya menurun sehingga menyebabkan terjadinya limpasan permukaan yang besar dan mengalir ke Sungai Cisadane.

Pola ini juga memiliki hubungan antara pola penggunaan lahan yang cenderung terus mengalami perubahan dari lahan tidak terbangun menjadi lahan terbangun. Dengan semakin banyaknya tutupan lahan yang relatif kedap air (seperti bangunan) dan berubahnya kawasan hutan menjadi penggunaan lain dapat mengurangi kemampuan penyerapan air hujan ke dalam tanah, sehingga meningkatkan limpasan permukaan sehingga memperbesar peluang terjadinya banjir.

5.2. Besarnya Koefisien Imbuan (R_C) Air Tanah Untuk Setiap Formasi Batuan

Sifat lapisan batuan yang berhubungan dengan keterdapatannya airtanah yaitu porositas dan

permeabilitas. Porositas adalah perbandingan antara isi ruang antar butir dengan total isi suatu material, Permeabilitas adalah kemampuan lapisan batuan dapat meluluskan fluida/cairan yang dinyatakan dalam m/hari.

Konduktivitas hidrolik (K) merupakan suatu indikator dalam aliran air melalui media berongga yang menyatakan laju kelulusan air per satuan luas penampang media yang dilalui. Nilai K ini dinyatakan sebagai suatu nilai konduktivitas hidrolik atau koefisien permeabilitas suatu media yang dipengaruhi oleh sifat fisik yang dimiliki oleh media tersebut, antara lain besar butir, banyaknya rekahan yang dimiliki, porositas, sortasi butir, dan sebaran butiran.

Pada media yang tidak mengalami kompaksi, media tersebut cenderung memiliki nilai konduktivitas hidrolik yang dipengaruhi oleh besar butirnya, sedangkan pada media yang mengalami kompaksi cenderung memiliki nilai konduktivitas hidrolik yang dikontrol oleh porositasnya, pada umumnya berasal dari rekahan yang muncul pada media tersebut.

Pada media yang tidak mengalami kompaksi, ukuran butir semakin besar, maka konduktivitas hidroliknya akan semakin besar pula, seperti pada pasir kasar. Sedangkan pada media yang terkompaksi, konduktivitas hidroliknya dikontrol oleh rekahan yang ada, yang digunakan sebagai media masuknya air.

5.3. Hubungan Antara Imbuhan Air Tanah Dengan Geologi

Proses terbentuknya air tanah berasal dari air laut yang mengalami penguapan akibat panas matahari, kemudian tertiuap angin uap air tersebut terbawa ke daratan, pada daerah yang mempunyai elevasi tinggi uap tersebut mengalami kondensasi, dan setelah mencapai titik jenuh terlewati maka akan jatuh kembali ke bumi sebagai air hujan. Air hujan tersebut lebih dominan mengalir pada permukaan sebagai air permukaan seperti sungai, danau, atau rawa, dan sebagian kecil meresap ke dalam tanah, dan bila meresap hingga mencapai zona jenuh akan menjadi air tanah.

Air tanah adalah salah satu fase dalam daur hidrologi, yang dapat dipahami bahwa air tanah berhubungan dengan air permukaan serta komponen-komponen lain yang terlibat dalam

daur hidrologi seperti bentuk topografi, jenis batuan, penggunaan lahan, tumbuhan penutup, serta keberadaan manusia di permukaan. Air tanah dan air permukaan saling berkaitan dan berhubungan, setiap aksi pemompaan, pencemaran air tanah akan memberikan reaksi terhadap air permukaan, demikian pula sebaliknya.

Formasi geologi yang memiliki kemampuan menyimpan dan meluluskan air tanah dalam jumlah tertentu ke sumur-sumur atau mata air disebut aquifer. batupasir atau breksi merupakan salah satu formasi geologi yang dapat bertindak sebagai wadah air tanah yang berada antara lapisan lapisan batuan dengan daya meluluskan air yang rendah, misalnya batulempung, dikenal sebagai aquitard. Lapisan yang sama dapat juga menutupi, yang menjadikan air tanah dalam tersebut di bawah tekanan, pada beberapa daerah yang sesuai, pengeboran yang mengambil air tanah tertekan tanpa membutuhkan pemompaan. Aquifer mempunyai dua sifat yang utama yaitu Kapasitas menyimpan air tanah dan Kapasitas mengalirkan air tanah. Hal ini sangat dipengaruhi oleh sifat keragaman geologinya, yaitu sifat hidroliknya dan volume tandonnya. Berdasarkan sifat-sifat tersebut aquifer dapat mengandung air tanah dalam jumlah yang sangat besar dengan sebaran yang luas hingga ribuan kilometer persegi atau sebaliknya.

Suatu daerah yang dibatasi oleh batasan-batasan geologi yang mengandung satu atau lebih aquifer dengan penyebaran luas, dinamakan Cekungan Air Tanah (CAT). Secara vertikal, di dalam bumi terdapat berbagai wilayah air tanah, yaitu:

- a. Daerah yang masih dipengaruhi oleh udara luar. Pada bagian atas daerah ini memiliki lapisan tanah yang mengandung air, yang dimanfaatkan oleh tanaman, bila lapisan atau zona ini jenuh maka disebut tanah jenuh air atau *Field Capacity*. Akibat adanya gaya berat, maka air pada zona ini akan mengalir vertikal. Air yang bergerak bebas akibat gravitasi dinamakan air bebas, yang satuannya dinyatakan dalam persen terhadap volume tanah. Air tanah yang tidak bebas akan ditahan oleh fragmen-fragmen batuan, jumlah air yang ditahan tersebut dinyatakan dengan persen terhadap volume batuan yang disebut kemampuan menahan air atau disebut *holding capacity*.
- b. Daerah jenuh air mengacu kepada kedalaman muka air tanah, yang dapat diamati dari beberapa sumur. Kedalaman daerah jenuh air

- sangat ditentukan oleh kondisi topografi dan jenis batuan.
- c. Daerah air dalam ini terdapat pada batuan yang biasanya terletak di antara dua lapisan batuan kedap air. Sungai dan air tanah mempunyai hubungan yang sangat erat. Misalnya, air sungai berasal dari air tanah (*effluent*), dan sebaliknya ada air tanah yang berasal dari rembesan air sungai (*influent*).

Air tanah dapat mengalir secara horisontal, dari daerah imbuhan atau pengisian seketika itu juga pada saat terjadi hujan, membutuhkan waktu harian, mingguan, bulanan, tahunan, puluhan tahun, ratusan tahun, bahkan ribuan tahun tersimpan di dalam akuifer sebelum muncul kembali secara alami pada daerah pengeluaran, tergantung dari kedudukan zona jenuh air, topografi, kondisi iklim dan sifat-sifat hidrolika akuifer.

5.4. Kesimpulan Khusus

Kesimpulan khusus ditujukan pada Penghitungan Nilai Koefisien Imbuhan/*Recharge Coefisient* (R_C) dimana metode penghitungan R_C pada penelitian ini merujuk *Institute of Hydrology* (1980). Maka didapat nilai Koefisien Imbuhan / *Recharge Coefisient* (R_C), dan dapat dilihat tingkat kontribusi arus basis terhadap aliran sungai, serta digunakan untuk menilai, mengkarakterisasi dan model arus di daerah tangkapan air. Untuk hasil tinggi nilai koefisien imbuhan, menggambarkan bahwa pada wilayah aliran sungai memiliki pola aliran yang lebih stabil dan mampu menopang arus sungai selama periode kering dan sebaliknya bila nilai indeks alir lebih besar maka semakin baik pula pasokan air pada Sub DAS Cisadane Hulu.

Dari hasil perhitungan didapat nilai tentatif Nilai Koefisien Imbuhan (R_C) sebagai berikut :
Tampungan air tanah yang dapat dilepaskan atau dialirkan selama musim kering/kemarau sebesar : **$219.89 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{tahun}$, atau sekitar 97.80 %.**

6. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan serta pembahasan pada bab-bab sebelumnya maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Besarnya Nilai Imbuhan/*Recharge* air tanah pada daerah penelitian mempunyai ***Nilai Imbuhan rata-rata sebesar $337.11 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{tahun}$.***

2. ***Nilai Koefisien Imbuhan (R_C)*** yang didapat berdasarkan perhitungan yang dilakukan sebesar : ***0.14 %***. Sedangkan berdasarkan perhitungan Imbuhan yang terjadi pada Formasi Batuan di dapatkan nilai Koefisien Imbuhan sebesar : ***$742.11 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{tahun}$*** . Besarnya tampungan air tanah yang dapat dilepaskan atau dialirkan selama musim kering/kemarau sebesar : ***$172,70 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{tahun}$, atau sekitar 98.27 %***.
3. ***Imbuhan (*Recharge*)*** air tanah pada daerah penelitian dipengaruhi oleh kondisi geologi yang berada pada daerah penelitian berupa ***Formasi Batuan Vulkanik muda, Vulkanik tua dan Formasi Batuan Sedimen, serta Struktur Geologi*** yang terdapat pada daerah penelitian berupa ***Patahan dan Lipatan***, sehingga mempercepat terjadinya imbuhan..

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. AC. Effendi, Kusmana, dan B. Hermanto, 1998, Peta Geologi Lembar Bogor – Jawa.
- [2]. Annisa, S - *Repository.ipb.ac.id-2012-Baseflows Index*
- [3]. Bambang Soenarto, Penaksiran Debit Daerah Pengaliran Gabungan Sungai Permukaan dan Bawah Permukaan Bribin – Baron, Kabupaten Gunung Kidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, Disertasi Doktor, ITB, 2002.
- [4]. Bambang Soenarto, *Diktat Kuliah Air tanah*
- [5]. Bates, B.,Z.W. Kundzewicz, S. Wu, dan J. Palutiok of. (2008). “Climate Change and Water”.
- [6]. Barokah Aliyanta, Kajian Komparatif Parameter Kualitas Tanah di Beberapa Tataguna Lahan Sub DAS Cisadane Hulu dengan Pb-210, excess dan Cs-137, Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi, Vol. 11 No. 2, Desember 2015.
- [7]. Binnie & Partners, Groundwater Evaluation for Water Resources Project. BP 11, Direktorat General of Water Resources, Ministry of Public Work, 1983.
- [8]. Dede Rohmat, Pengertian Hidrologi, 2009
- [9]. Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Provinsi Banten
- [10]. Dimas Ardi Prasetya, Roh Santoso Budi Wasposito, Satyanto Krido Saptomo, Prediksi Cadangan Air Tanah Di Daerah Aliran Sungai (DAS) Cisadane, Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan, Vol. 1 No. 2 Agustus 2016

- [11]. *Dwi Maryanto, DP Tejo Baskoro dan Baba Barus*, Perencanaan Penggunaan Lahan Berbasis Sumberdaya Air di Sub DAS Cisadane Hulu, *Journal BIG, Globe* Volume 15 No. 1 Juni 2013 : 48-54,
- [12]. *Institute of Hydrology*, (1980).
- [13]. Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Air (Pusair), Bandung, Data Debit dan Curah Hujan Sungai Cisadane (tahun 1980 – 2015)
- [14]. R. W. van Bemmelen, *Geology of Indonesia*, Volume 1, U.S. Government Printing Office, 1949.
- [15]. Sandika Ariansyah dan Nur Azizah, *Susur DAS Cisadane*, 2011
- [16]. Sih Andayani, Perubahan Curah Hujan Harian Maksimum pada DAS Cisadane Hulu, *Jurnal Sipil* Volume 10, No. 2 September 2010 : 47 – 82, ISSN 1411-9064.
- [17]. Siklus Hidrologi : <https://ilmugeografi.com/ilmu-bumi/hidrologi/siklus-hidrologi>)
- [18]. Tessie Krisnaningtyas Endang Trimarmanti, Evaluasi Perubahan Penggunaan Lahan Kecamatan di Daerah Aliran Sungai Cisadane, Kabupaten Bogor, *Jurnal Wilayah dan Lingkungan* Volume 2 Nomor 1, April 2014 55 – 57.

PENULIS :

Ir. Muhammad Agus Karmadi, MT., Staf Dosen Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik – Universitas Pakuan, Bogor