

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Siklus Hidrologi

Air hujan merupakan salah satu sumber air yang dapat diakses secara langsung yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan, termasuk menambah sumber pasokan air lainnya di daerah perkotaan. Siklus hidrologi merupakan bagian penting dari alam yang sangat berpengaruh terhadap kelangsungan hidup manusia. Siklus ini merupakan suatu proses perpindahan air dari suatu tempat ke tempat lain, yang mana mempengaruhi ketersediaan air pada suatu daerah. Meskipun jumlah air di bumi (relatif) tidak berubah dari tahun ke tahun, tetapi ketersediaan air pada suatu area merupakan bagian dari pendistribusian air pada siklus hidrologi ini, yang mempengaruhi terjadinya siklus hidrologi.

Konsep siklus hidrologi adalah bahwa jumlah air di suatu luasan tertentu di hamparan bumi dipengaruhi oleh masukan (*input*) dan keluaran (*output*) yang terjadi. Secara garis besar proses siklus hidrologi adalah kondisi dimana seluruh air yang ada di permukaan bumi mengalami yang namanya proses penguapan. Seluruh air yang menguap ke atmosfer atau ke angkasa akan berubah menjadi awan di langit, setelahnya air yang telah mengalami perubahan menjadi awan akan kembali mengalami perubahan dalam bentuk yang lain yaitu bintik air. Bintik air inilah nantinya yang kelak akan turun ke bumi dalam bentuk air hujan atau dengan bentuk butiran es yang lebih dikenal dengan salju. Setelah terunnya air hujan, air kemudian akan masuk kedalam permukaan tanah melalui celah atau pori-pori pada tanah dengan arah gerak vertikal atau horizontal. Air tersebut akan kembali ke aliran permukaan yang kemudian prosesnya terus mengalir hingga kembali ke sungai atau danau (Ismail & et al, 2023).

2.2 Daerah Aliran Sungai

2.2.1 Definisi Daerah Aliran Sungai

DAS adalah suatu wilayah daratan yang menjadi satu kesatuan ekosistem. Wilayah ini dibatasi oleh pemisah topografis, seperti punggung bukit atau pegunungan, di mana semua air hujan yang jatuh akan mengalir ke dalam jaringan sungai utama dan anak-anak sungainya, serta bermuara ke laut, danau, atau badan air tertentu (Asdak, 2010). Menurut Peraturan Pemerintah No. 37 Tahun 2012, DAS

didefinisikan sebagai wilayah daratan yang menjadi satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi untuk menampung, menyimpan, dan mengalirkan air ke danau atau laut secara alami.

DAS merupakan suatu wilayah tertentu yang bentuk dan sifat alamnya merupakan satu kesatuan ekosistem, termasuk didalamnya hidrologi dengan sungai dan anak-anak sungainya yang berfungsi sebagai penerima, penampung dan penyimpan air yang berasal dari hujan dan sumber lainnya. Sungai atau aliran sungai sebagai komponen utama DAS didefinisikan sebagai suatu jumlah air yang mengalir sepanjang lintasan di darat menuju ke laut sehingga sungai merupakan suatu lintasan dimana air yang berasal dari hulu bergabung menuju ke satu arah yaitu hilir (muara). Sungai merupakan bagian dari siklus hidrologi yang terdiri dari beberapa proses yaitu evaporasi atau penguapan air, kondensasi, dan presipitasi.

2.2.2 Karakteristik Daerah Aliran Sungai

DAS memiliki beberapa karakteristik yang dapat menggambarkan kondisi spesifik antara DAS yang satu dengan DAS yang lainnya. Karakteristik itu dicirikan oleh parameter yang terdiri atas :

1. Karakteristik Fisik

Meliputi faktor-faktor geografi dan morfologi DAS yang memengaruhi pola aliran air (Asdak, 2010).

- a. Topografi : Bentuk permukaan wilayah DAS, mulai dari daerah pegunungan (hulu), lembah (tengah), hingga dataran rendah (hilir).
- b. Luas DAS : Luas wilayah menentukan kapasitas aliran air yang tertampung. DAS besar memiliki jaringan sungai yang lebih kompleks.
- c. Jenis Tanah : Jenis tanah memengaruhi kemampuan tanah menyerap air dan tingkat erosi.
- d. Vegetasi : Kehadiran vegetasi membantu menahan erosi, meningkatkan infiltrasi air, dan mengurangi limpasan air hujan.

2. Karakteristik Hidrologi

Berhubungan dengan pola aliran air dan siklus hidrologi di DAS (Ward et al., 2011).

1. Curah Hujan: Intensitas dan distribusi curah hujan memengaruhi volume air permukaan dan air tanah.

2. *Infiltrasi dan Runoff*: Tingkat *infiltrasi* menentukan jumlah air yang diserap tanah, sedangkan *runoff* adalah aliran air permukaan.
3. Jaringan Sungai: Pola jaringan sungai memengaruhi distribusi aliran air dalam DAS. DAS dengan jaringan sungai terorganisir lebih baik cenderung memiliki aliran yang stabil.

3. Karakteristik Sosial-Ekonomi

Faktor manusia yang memengaruhi fungsi dan kondisi DAS (Asdak, 2010).

1. Penggunaan Lahan: Aktivitas seperti pertanian, pemukiman, dan industri dapat mengubah pola aliran air dan meningkatkan risiko erosi.
2. Kepadatan Penduduk: Wilayah DAS dengan populasi padat cenderung mengalami tekanan lingkungan lebih besar.
3. Kesadaran Lingkungan: Tingkat kesadaran masyarakat dalam menjaga DAS berpengaruh terhadap keberlanjutannya.

Dalam mempelajari ekosistem DAS, biasanya terbagi atas daerah hulu, tengah dan hilir. Secara biogeofisik, daerah hulu, tengah dan hilir dicirikan oleh hal-hal sebagai berikut (Asdak, 2010):

1. Daerah hulu dicirikan sebagai daerah konservasi, memiliki kerapatan drainase tinggi, kemiringan lereng besar ($> 15\%$), bukan merupakan daerah banjir, pemakaian air ditentukan oleh pola drainase dan jenis vegetasi umumnya merupakan tegakan hutan.
2. Daerah hilir dicirikan sebagai daerah pemanfaatan, memiliki kerapatan drainase kecil, kemiringan lereng sangat kecil ($< 8\%$), di beberapa tempat merupakan daerah banjir (genangan), pemakaian air ditentukan oleh bangunan irigasi, jenis vegetasi didominasi oleh tanaman pertanian kecuali daerah estuaria yang didominasi oleh hutan bakau atau gambut.
3. Daerah tengah merupakan daerah transisi dari kedua karakteristik biogeofisik DAS yang berbeda antara hulu dan hilir.

Mengacu pada Dasar-Dasar Hidrologi (1990) umumnya bentuk DAS dapat dibagi menjadi empat macam, antara lain :

1. Bulu Burung atau Memanjang

Jalur anak sungai di kiri kanan sungai utama mengalir menuju sungai utama, debit banjir kecil karena waktu tiba banjir dari anak-anak sungai berbeda-beda. Banjir yang terjadi berlangsung agak lama.

2. Radial (Menyebarkan)

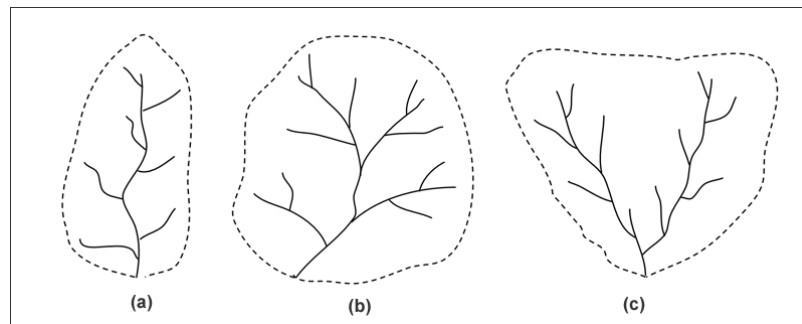
Bentuk DAS menyerupai kipas atau lingkaran, anak-anak sungai berkonsentrasi ke suatu titik secara radial, banjir besar di titik pertemuan anak-anak sungai.

3. Paralel (Sejajar)

Bentuk ini mempunyai corak dimana dua jalur aliran sungai yang sejajar bersatu di bagian hilir, banjir terjadi di titik pertemuan anak sungai.

4. Kompleks

Memiliki beberapa buah bentuk dari ketiga bentuk DAS yang lain.



Gambar 2. 1 Bentuk-bentuk DAS (a) Bulu Burung (b) Menyebarkan (c) Paralel

Sumber : Kadir (2021)

Dalam pengelolaannya, suatu DAS memerlukan konsep pengelolaan yang tidak hanya terbatas pada batasan wilayah pembangunan atau administrasi, melainkan berdasarkan pada batasan wilayah ekologi. Namun dalam kenyataannya, kegiatan pengelolaan DAS seringkali dibatasi oleh batasan-batasan politis atau administrasi (negara, provinsi, kabupaten) dan kurang dimanfaatkannya batas-batas ekosistem alamiah. Asdak (2002) dalam Pradityo (2011) menyatakan bahwa beberapa aktivitas pengelolaan DAS yang diselenggarakan di daerah hulu seperti kegiatan pengelolaan lahan yang mendorong terjadinya erosi, pada gilirannya akan menimbulkan dampak di daerah hilir (dalam bentuk pendangkalan sungai atau saluran irigasi karena pengendapan sedimen yang berasal dari erosi di daerah hulu). Peristiwa degradasi lingkungan seperti di atas jelas akan mengabaikan penetapan batas-batas politis sebagai batas pengelolaan sumber daya alam.

2.3 Ketersediaan Air

Ketersediaan air mengacu pada jumlah air yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan berbagai sektor, seperti domestik, pertanian, industri, dan ekosistem, dalam suatu wilayah tertentu. Ketersediaan ini dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti curah hujan, kapasitas penyimpanan air alami, dan pengelolaan sumber daya air (Desti et al., 2021).

Penggunaan air tanah kenyataannya sangat membantu pemenuhan kebutuhan air baku dan air irigasi pada daerah yang sulit mendapatkan air permukaan, akan tetapi keberlanjutannya perlu dijaga dengan pengambilan yang terkendali di bawah debit aman (*safe yield*). Pengelolaan alokasi air, air hujan berkontribusi untuk mengurangi kebutuhan air irigasi yaitu dalam bentuk hujan efektif. Pada beberapa daerah dengan kualitas air permukaan yang tidak memadai, dilakukan pemanenan hujan, yaitu air hujan ditampung menjadi sumber air untuk keperluan rumah tangga (Iswahyudi, 2023).

Ketersediaan air permukaan dapat didefinisikan dalam berbagai cara. Lokasi ketersediaan air dapat berlaku pada suatu titik, misalnya pada suatu lokasi pos duga air, bendung tempat pengambilan air irigasi, dan sebagainya dimana satuan yang kerap digunakan adalah berupa nilai debit aliran dalam meter kubik/s atau liter/s. Banyaknya air yang tersedia dapat pula dinyatakan untuk suatu areal tertentu, misalnya pada suatu wilayah sungai (WS), daerah aliran sungai (DAS), daerah irigasi (DI), dan sebagainya, dimana satuan yang digunakan adalah berupa banyaknya air yang tersedia pada satu satuan waktu, misalnya juta meter kubik/tahun atau milimeter/ hari.

2.3.1 Parameter Sungai

Ketersediaan air di suatu wilayah sangat bergantung pada karakteristik sungai, yang dapat dianalisis melalui berbagai parameter fisik, hidrologi, hidraulik, dan kualitas air. Parameter-parameter ini digunakan untuk menilai kapasitas sungai dalam menyimpan, mengalirkan, dan mempertahankan debit air yang cukup bagi kebutuhan manusia dan lingkungan.

1. Parameter Fisik Sungai

Parameter fisik menentukan kapasitas alami sungai dalam menampung dan mengalirkan air.

Tabel 2. 1 Parameter Fisik Sungai

Parameter	Deskripsi	Dampak terhadap Ketersediaan Air
Luas Daerah Aliran Sungai (DAS)	Luas total wilayah yang mengalirkan air ke sungai.	Semakin luas DAS, semakin besar potensi air yang tersedia.
Panjang Sungai	Jarak sungai dari hulu ke hilir.	Sungai yang lebih panjang dapat mendistribusikan air ke lebih banyak area.
Lebar dan Kedalaman Sungai	Dimensi sungai dalam menampung air.	Sungai yang lebih lebar dan dalam dapat menampung lebih banyak air, mengurangi risiko kekeringan.
Kemiringan Sungai	Perbedaan elevasi antara hulu dan hilir.	Sungai dengan kemiringan tinggi memiliki aliran lebih deras, sehingga kurang mampu menyimpan air dalam jangka panjang.
Kapasitas Tampungan Sungai	Volume maksimal air yang dapat ditampung sungai sebelum meluap.	Kapasitas tampungan yang besar meningkatkan ketersediaan air saat musim kemarau.

Sumber : Kadir (2021)

2. Parameter Hidrologi Sungai

Parameter hidrologi menggambarkan bagaimana air mengalir dan disimpan dalam sistem sungai.

Tabel 2. 2 Parameter Hidrologi Sungai

Parameter	Deskripsi	Dampak terhadap Ketersediaan Air
Curah Hujan (P)	Jumlah air hujan yang masuk ke DAS.	Curah hujan tinggi meningkatkan ketersediaan air sungai.
Evapotranspirasi (ET_o)	Kehilangan air akibat penguapan dan transpirasi tanaman.	Evapotranspirasi tinggi mengurangi jumlah air yang tersedia.

Parameter	Deskripsi	Dampak terhadap Ketersediaan Air
Aliran Permukaan (<i>Runoff</i>)	Jumlah air yang langsung masuk ke sungai tanpa meresap ke tanah.	Limpasan tinggi meningkatkan debit sungai tetapi bisa menyebabkan banjir.
Aliran Dasar (<i>Baseflow</i>)	Aliran air tanah yang memasok sungai saat tidak ada hujan.	Baseflow tinggi menjaga ketersediaan air saat musim kemarau.
Koefisien Limpasan (C)	Rasio air hujan yang menjadi limpasan dibandingkan yang meresap.	Koefisien limpasan tinggi berarti lebih sedikit air yang tersimpan dalam tanah.

Sumber : Sari & Wijaya, (2019)

3. Parameter Hidraulik Sungai

Parameter ini berhubungan dengan pola aliran dan kapasitas pengaliran sungai.

Tabel 2. 3 Parameter Hidraulik Sungai

Parameter	Deskripsi	Dampak terhadap Ketersediaan Air
Kecepatan Aliran (V)	Laju aliran air dalam sungai (m/s).	Aliran terlalu cepat dapat mengurangi infiltrasi ke air tanah.
Debit Sungai (Q)	Volume air yang mengalir dalam satuan waktu (m ³ /detik).	Debit tinggi berarti ketersediaan air lebih besar.
Koefisien Kekasaran (n)	Hambatan aliran akibat permukaan sungai.	Kekasaran tinggi memperlambat aliran dan meningkatkan peresapan air ke tanah.
Angka Froude (Fr)	Indikator jenis aliran sungai (tenang, kritis, atau deras).	Aliran tenang lebih baik dalam mempertahankan ketersediaan air.

Parameter	Deskripsi	Dampak terhadap Ketersediaan Air
Koefisien Limpasan (C)	Rasio air hujan yang menjadi limpasan dibandingkan yang meresap.	Koefisien limpasan tinggi berarti lebih sedikit air yang tersimpan dalam tanah.

Sumber : Sari & Wijaya, (2019)

2.3.2 Curah Hujan Wilayah

Hujan menjadi salah satu komponen paling penting dalam suatu perencanaan debit untuk menentukan dimensi saluran drainase. Hujan bervariasi terhadap tempatnya, apabila terdapat suatu kawasan yang memiliki cakupan yang sangat luas maka tidak bisa hanya diwakili oleh satu titik pos pengukuran dan diperlukan titik pos lainnya. Hujan kawasan didapat dari rekapan data rerata curah hujan pos pengukuran hujan di kawasan hujan (Suroso, 2006)

Curah hujan adalah jumlah air yang jatuh di permukaan tanah dalam periode tertentu, diukur dalam milimeter (mm). Pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan alat penakar hujan yang mengumpulkan air hujan dalam wadah tertutup, kemudian diukur ketinggiannya. Satuan milimeter menunjukkan tinggi air yang terkumpul pada area seluas satu meter persegi. Curah hujan merupakan parameter penting dalam hidrologi karena memengaruhi aliran sungai, ketersediaan air tanah, dan potensi banjir. Variasi curah hujan di suatu kawasan dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti topografi, iklim, dan penggunaan lahan. Pemahaman yang mendalam tentang curah hujan kawasan diperlukan untuk perencanaan sumber daya air, pertanian, dan mitigasi bencana alam (Ummah, 2019)

Curah hujan dinyatakan dengan tingginya air dalam suatu tabung, biasanya dalam mm. Untuk mengukur curah hujan digunakan alat ukur hujan (rain gauge); yang dikenal antara lain, adalah alat ukur hujan yang dapat mengukur sendiri dan alat ukur hujan biasa. Alat pengukur hujan biasa, digunakan untuk mengukur curah hujan dalam satu hari dan kurang tepat untuk mengetahui intensitasnya dan lamanya hujan itu berlangsung. Alat pengukur hujan yang mencatat sendiri sesuai untuk mengukur intensitas dan lamanya hujan, sangat cocok dan tepat untuk pengukuran hujan dengan jangka waktu yang lama di daerah-daerah pegunungan

dimana para pengamat sulit untuk tinggal lama di daerah itu. Dewasa ini jenis tersebut banyak digunakan di waduk-waduk besar di hulu sungai (Hartini, 2017).

2.3.2.1 Metode Aritmatika

Metode rerata aritmatika digunakan ketika memenuhi asumsi bahwa hujan yang terjadi pada satu kawasan bersifat homogeneous. Akurasi dari metode ini merupakan yang terendah. Hujan rerata sangat sederhana yaitu hanya mencari rerata curah hujan yang diukur di setiap titik pengukuran dalam satu kawasan dengan menggunakan persamaan:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (2.1)$$

Dimana :

P = Curah hujan rata-rata wilayah (mm).

P_i = Curah hujan di stasiun ke-i (mm).

n = Jumlah total stasiun pengamatan.

2.3.2.2 Metode Isohyet

Isohyet merupakan garis penghubung antara titik-titik dengan kedalaman hujan yang sama. Pada metode ini, hujan yang terjadi di suatu daerah di antara dua garis isohyet dianggap merata dan sama dengan nilai rata-rata dari kedua garis isohyet tersebut. Penggunaan metode isohyet dilakukan apabila terdapat banyak stasiun hujan serta koordinat masing-masing stasiun hujan yang telah diketahui (Daniela et al., 2018).

Metode isohyet merupakan metode yang paling akurat untuk menentukan hujan rata-rata, namun diperlukan keahlian dan pengalaman. Cara ini memperhitungkan secara aktual pengaruh tiap-tiap pos penakar hujan. Metode ini terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut:

1. Plot data kedalaman air hujan untuk tiap pos penakar hujan pada peta.
2. Gambar kontur kedalaman air hujan dengan menghubungkan titik-titik yang mempunyai kedalaman air yang sama. Interval Isohyet yang umum dipakai adalah 10 mm.
3. Hitung luas area antara dua garis Isohyet dengan menggunakan planimeter. Kalikan masing-masing luas areal dengan rata-rata hujan antara 2 (dua) Isohyet yang berdekatan.

4. Hujan rata-rata DAS dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

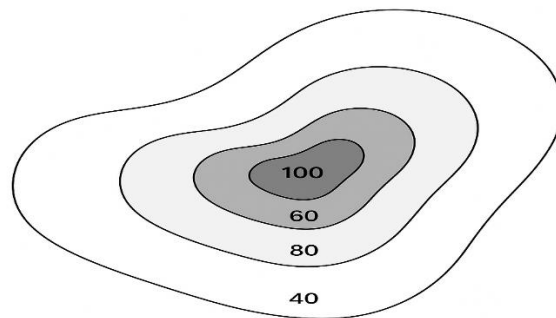
$$P_{avg} = \left(\frac{\sum (P_i \times A_i)}{\sum A_i} \right) \quad (2.2)$$

Dimana:

P_{avg} = Hujan rerata kawasan

P_i = Curah hujan antara dua isohyet (mm)

A_i = Luas area antara dua isohyet (km²)



Gambar 2. 2 Penerapan Metode Isohyet

Sumber : Daniela et al., (2018)

2.3.2.3 Metode Polygon Thiessen

Rata-rata terbobot (*weighted average*), masing-masing stasiun hujan ditentukan luas daerah pengaruhnya berdasarkan poligon yang dibentuk (menggambarkan garis-garis sumbu pada garis-garis penghubung antara dua stasiun hujan yang berdekatan).

Cara ini diperoleh dengan membuat poligon yang memotong tegak lurus pada tengah-tengah garis penghubung dua stasiun hujan. Dengan demikian tiap stasiun penakar R_n akan terletak pada suatu poligon tertentu A_n . Dengan menghitung perbandingan luas untuk setiap stasiun yang besarnya = A_n/A , dimana A adalah luas daerah penampungan atau jumlah luas seluruh areal yang dicari tinggi curah hujannya. Curah hujan rata-rata diperoleh dengan cara menjumlahkan pada masing-masing penakar yang mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua pos penakar. (Ningsih, 2017)

$$\bar{P} = \frac{A_1 \cdot P_1 + A_2 \cdot P_2 + \dots + A_n \cdot P_n}{A_{total}} \quad (2.3)$$

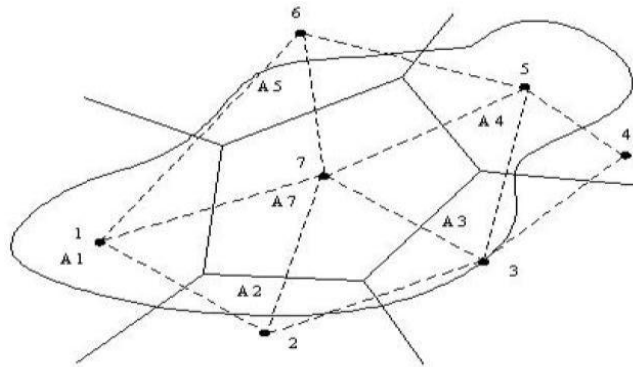
Dimana :

A = Luas areal (km^2) ,

P = Tinggi curah hujan rata-rata areal ,

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ = Tinggi curah hujan di pos 1, 2, 3, ..., n

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ = Luas daerah pengaruh pos 1, 2, 3, ..., n



Gambar 2. 3 Perhitungan Curah Hujan Poligon Thiessen

Sumber : Ningsih (2017)

2.3.3 Cara Memilih Metode

Pemilihan metode yang cocok dipakai pada suatu DTA dapat ditentukan dengan mempertimbangkan tiga faktor berikut:

1. Jaring-jaring pos penakar hujan dalam DAS
2. Luas DAS
3. Topografi DAS

Pertimbangan tiga faktor dapat dilihat pada tabel tabel berikut :

Tabel 2. 4 Metode berdasarkan Jaring-Jaring Pos Penakar Hujan

Jumlah Pos Penakar	Metode yang digunakan
Pos Penakar Hujan Cukup	Metode Isohyet, <i>Thiessen</i> dan Aritmatika
Pos Penakar Hujan Terbatas	Metode Rata-rata Aljabar, dan <i>Thiessen</i>
Pos Penakar Hujan Tunggal	Metode Hujan Titik

Sumber : Asdak (2010)

Tabel 2. 5 Metode berdasarkan Luas DAS

Luas DAS (km^2)	Metode yang digunakan
DAS besar ($>5000 \text{ km}^2$)	Metode Isohyet
DAS sedang ($500 \text{ s.d } 5000 \text{ km}^2$)	Metode <i>Polygon Thiessen</i>
DAS kecil ($<500 \text{ km}^2$)	Metode Rata-rata Aljabar

Sumber : Asdak (2010)

Tabel 2. 6 Metode berdasarkan Topografi DAS

Jenis Topografi DAS	Metode yang digunakan
Pegunungan	Metode Rata-rata Aljabar
Dataran	Metode <i>Polygon Thiessen</i>
Bukit tidak beraturan	Metode Isohyet

Sumber : Asdak (2010)

2.3.4 Intensitas Curah Hujan

Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada kurun waktu dimana air tersebut berkonsentrasi atau besarnya curah hujan maksimum yang akan diperhitungkan dalam sistem drainase (Diyah Ayu Purwaningsih dan Suhariyanto, 2015). Intensitas curah hujan dinotasikan dengan huruf I dengan satuan (mm/jam) yang artinya tinggi curah hujan yang terjadi sekian mm dalam kurun waktu per jam. Intensitas curah hujan (I) dapat dihitung berdasarkan data-data sebagai berikut:

1. Data curah hujan Data curah hujan merupakan data curah hujan harian maksimum dalam setahun yang dinyatakan dalam mm/hari.
2. Periode ulang Karakteristik hujan yang menunjukkan bahwa hujan yang besar tertentu mempunyai periode ulang tertentu, periode ulang rencana ditentukan 5 tahun.
3. Lamanya waktu curah hujan hasil penyelidikan *van breen*, bahwa hujan harian terkonsentrasi selama 4 jam dengan jumlah hujan sebesar 90% dari jumlah hujan selama 24 jam.

Maka, Menurut Waterman (2018) untuk menentukan intensitas curah hujan harian dapat dihitung dengan menggunakan rumus Dr. Mononobe sebagai berikut:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{tc} \right)^n \quad (2.4)$$

Keterangan:

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

R_{24} = curah hujan maksimum periode ulang (mm/jam)

tc = waktu konsentrasi (jam)

n = Tetapan diperkirakan $n = 2/3$

2.3.5 Debit Ketersediaan Air

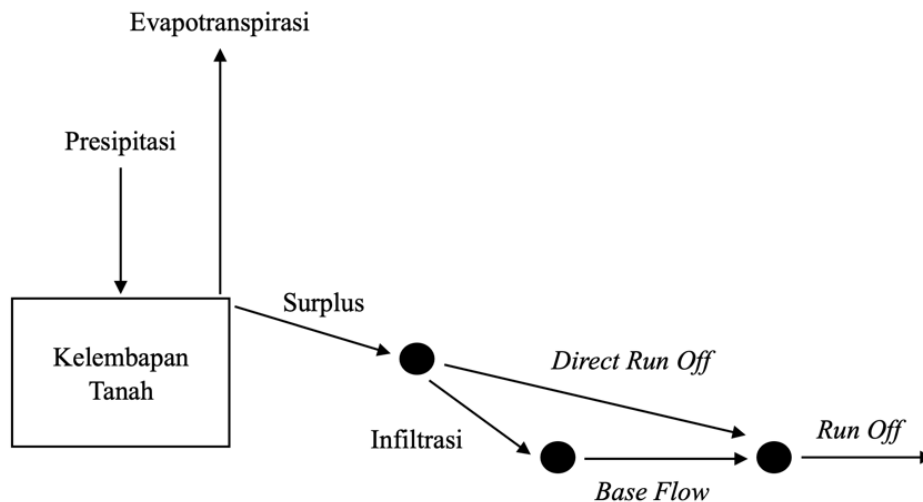
Debit ketersediaan air merupakan salah satu parameter penting dalam hidrologi yang digunakan untuk mengukur jumlah air yang tersedia di suatu daerah dalam periode tertentu. Faktor-faktor yang mempengaruhi debit air antara lain curah hujan, evaporasi, infiltrasi, karakteristik DAS (Daerah Aliran Sungai), serta aktivitas manusia seperti penggunaan lahan dan pembangunan infrastruktur.

Kajian tentang debit air sangat relevan dalam pengelolaan sumber daya air, perencanaan irigasi, konservasi lingkungan, dan mitigasi bencana seperti banjir dan kekeringan. Salah satu referensi klasik dalam bidang ini adalah *Handbook of Applied Hydrology* oleh Chow (1964), yang menjelaskan prinsip-prinsip dasar hidrologi dan perhitungan debit air.

Debit air mempunyai satuan volume per waktu atau liter/detik, ml/detik, m³/detik, liter/jam, m³/jam, dan lain lain. Debit sungai, dengan distribusinya dalam ruang dan waktu, merupakan informasi penting yang diperlukan dalam perencanaan bangunan air dan pemanfaatan sumberdaya air. Mengingat bahwa debit lairan sangat bervariasi dari waktu ke waktu, maka diperlukan data pengamatan debit dalam waktu panjang. Debit di suatu lokasi di sungai dapat diperkirakan dengan cara berikut yaitu: pengukuran di lapangan (di lokasi yang ditetapkan), berdasarkan data debit dari stasiun di dekatnya, berdasarkan data hujan, dan berdasarkan pembangkitan data debit (Hartini, 2017).

2.4 FJ Mock

Metode Mock adalah suatu metode untuk memperkirakan keberadaan air berdasarkan konsep *water balance*. Metode Mock merupakan salah satu dari sekian banyak metode yang menjelaskan hubungan *rainfall-runoff*. Metode Mock dikembangkan untuk menghitung debit bulanan rata-rata. Data-data yang dibutuhkan dalam perhitungan debit dengan metode mock ini adalah data klimatologi, luas, dan penggunaan lahan dari *catchment area*. Proses perhitungan yang dilakukan dalam metode mock adalah: Perhitungan evapotranspirasi potensial (metode penman), Perhitungan evapotranspirasi aktual, Perhitungan *water surplus*, Perhitungan *base flow* dan *direct runoff*.



Gambar 2. 4 Skema Debit FJ Mock

Sumber : Mock (1973)

Data dan asumsi yang diperlukan untuk perhitungan. Metode Mock terdiri dari:

1. Data Curah Hujan;

Digunakan data curah hujan tengah bulanan. Stasiun curah hujan yang dipakai adalah stasiun yang dianggap mewakili kondisi hujan di daerah tersebut.

2. Evapotranspirasi terbatas (ET_o)

Evapotranspirasi aktual dengan mempertimbangan kondisi vegetasi dan permukaan tanah serta frekuensi curah hujan. Untuk menghitung evapotranspirasi aktual diperlukan data.

- a. curah hujan harian (P)
- b. jumlah hari hujan (n)
- c. *Exposed surface* (m%) menurut Mock (1973), daerah permukaan bumi dibagi menjadi 3 bagian:

m = 0% untuk lahan dengan hutan primer dan sekunder.

m = 10% - 40% untuk lahan yang tererosi.

m = 20% - 50% untuk lahan pertanian yang diolah.

Secara matematis evapotranspirasi aktual dirumuskan sebagai berikut ini.

$$ET_o = c[W.R_n + (1 - W).f(u).(e_s - e_a)] \quad (2.5)$$

$$W = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \quad (2.6)$$

Keterangan:

ET_o = Evapotranspirasi referensi (mm/hari).

c = Koefisien Koreksi (untuk penyesuaian kondisi iklim tertentu, biasanya 1,0-1,3).

W = Bobot energi radiasi.

R_n = Radiasi bersih permukaan (MJ/m²/hari).

$f(u)$ = fungsi kecepatan angin ($0,26(1+0,54 u_2)$)

e_s = tekanan uap jenuh (kPa)

e_a = Tekanan uap aktual (kPa)

Δ = kemiringan kurva tekanan uap air (kPa/°C)

γ = Konstanta psikrometrik (kPa/°C)

Tabel 2. 7 Angka Koreksi (c) Pennman

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
c	1,1	1,1	1	1	0,95	0,95	1	1	1,1	1,1	1,15	1,15

Sumber : Asdak (2010)

Tabel 2. 8 Hubungan antara T dengan e_s , W dan $f(T)$

Suhu (T)	Ea	W	(1-W)	f(T)
	mbar	Elevasi 1-250 m		
20	23,4	0,68	0,32	14,6
21	24,9	0,7	0,3	14,8
22	26,4	0,71	0,29	15
23	28,1	0,72	0,28	15,2
24	29,8	0,73	0,27	15,4
25	31,7	0,74	0,26	15,7
26	33,6	0,75	0,25	15,9
27	35,7	0,76	0,24	16,1
28	37,8	0,77	0,23	16,3
29	40,1	0,78	0,22	16,5
30	42,4	0,78	0,22	16,7
31	44,9	0,79	0,21	17
32	47,6	0,8	0,2	17,2
33	50,3	0,81	0,19	17,5
34	53,2	0,81	0,19	17,7
35	56,2	0,82	0,18	17,9
36	59,4	0,83	0,17	18,1

Suhu (T)	Ea	W	(1-W)	f(T)
	mbar	Elevasi 1-250 m		
37	62,8	0,84	0,16	18,3
38	66,3	0,84	0,16	18,5
39	69,9	0,85	0,15	18,7

Sumber : Asdak (2010)

Tabel 2. 9 Nilai (Ra Radiasi) Ekstraterential (Angot) Setara Penguapan (mm/hari)

		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
Lintang Utara													
10	°	13,2	14,2	15,3	15,7	15,5	15,3	15,3	15,5	15,3	14,7	13,6	12,9
8	°	13,6	14,5	15,3	15,6	15,3	15	15,1	15,4	15,3	14,8	13,9	13,3
6	°	13,9	14,8	15,4	15,4	15,1	14,7	14,9	15,2	15,3	15	14,2	13,7
4	°	14,3	15	15,5	15,5	14,9	14,4	14,6	15,1	15,3	15,1	14,5	14,1
2	°	14,7	15,3	15,6	15,3	14,6	14,2	14,3	14,9	15,3	15,3	14,8	14,4
0	°	15	15,5	15,7	15,3	14,4	13,9	14,4	14,8	15,3	15,4	15,1	14,8
Lintang Selatan													
0	°	15	15,5	15,7	15,3	14,4	13,9	14,1	14,8	15,3	15,4	15,1	14,8
2	°	15,3	15,7	15,7	15,1	14,1	13,5	13,7	14,5	15,2	15,5	15,3	15,1
4	°	15,5	15,8	15,6	14,9	13,8	13,2	13,4	14,3	15,1	15,6	15,5	15,4
6	°	15,8	16	15,6	14,7	13,4	12,8	13,1	14	15	15,7	15,8	15,7
8	°	16,1	16,1	15,5	14,4	13,1	12,4	12,7	13,7	14,9	15,8	16	16
10	°	16,4	16,3	15,5	14,2	12,8	12	12,4	13,5	14,8	15,9	16,2	16,2

Sumber : Asdak (2010)

3. Kapasitas Kelembaban Tanah (SMC)

$$SMS = ISMS + (P-Ea) \quad (2.7)$$

Keterangan :

SMS = Tampungan kelembaban tanah (mm).

Ea = Evapotranspirasi aktual (mm/hari)

ISMS = Initial Soil Moisture Storage (tampungan kelembaban tanah awal), merupakan SMC bulan sebelumnya (mm).

Dalam perhitungan water surplus, perlu diketahui nilai kapasitas kelembaban tanah. *Soil Moisture Capacity* (SMC) adalah kapasitas kandungan air pada lapisan tanah permukaan (*surface soil*). Besar nilai SMC tergantung dari tipe tanaman penutup lahan (land cover) dan tipe tanah.

Ada dua keadaan untuk menentukan SMC, yaitu :

a. Jika $P-Ea > 0$, maka $SMC = 200$ mm.

b. Jika $P-Ea < 0$, maka $SMC = SMC \text{ bulan sebelumnya} + (P-Ea)$

4. Koefisien Infiltrasi

Infiltrasi adalah aliran air ke dalam tanah melalui permukaan tanah. Koefisien infiltrasi dipengaruhi oleh musim hujan dan musim kemarau. Rumusan dari infiltrasi adalah sebagai berikut ini

$$I = DIC \times WS \quad (2.8)$$

$$I = WIC \times WS \quad (2.9)$$

Keterangan:

I = Infiltrasi (mm).

DIC = Koefisien infiltrasi musim kering.

WIC = Koefisien infiltrasi musim basah.

WS = Kelebihan air (mm).

5. Aliran dan Penyimpanan Air Tanah (*Ground Water Storage*)

Penyimpanan air tanah besarnya tergantung dari kondisi geologi dan waktu. Sebagai permulaan dari simulasi harus ditentukan penyimpanan awal (*initial storage*) terlebih dahulu. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan penyimpanan air tanah adalah sebagai berikut

$$GWS = (0,5 \times (1 + k) \times I) + (k \times IGWS) \quad (2.10)$$

Keterangan:

GWS = *Ground water storage* (mm).

K = Faktor resesi aliran tanah.

$IGWS$ = *Initial groundwater storage* (mm).

6. Aliran sungai (*Baseflow*)

Air hujan atau presipitasi akan menempuh tiga jalur menuju ke sungai. Satu bagian akan mengalir sebagai limpasan permukaan dan masuk ke dalam tanah lalu mengalir ke kiri dan kanan nya membentuk aliran antara. Bagian ketiga akan ber-perkolasi jauh ke dalam tanah hingga mencapai lapisan air tanah. Aliran permukaan tanah serta aliran antara sering digabungkan sebagai limpasan langsung (*direct runoff*). Untuk

memperoleh limpasan, maka persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$BSF = I - (GWS - IGWS) \quad (2.11)$$

$$DRO = W_s - I \quad (2.12)$$

$$TRO = DRO + BSF \quad (2.13)$$

$$QCAL = \frac{A \times TRO \times 1000}{Hari \times 24 \times 3600} \quad (2.14)$$

Keterangan:

BSF = Aliran dasar (mm).

I = Infiltrasi (mm).

GWS = Aliran total (mm).

DRO = Aliran permukaan (mm).

WS = Kelebihan air (mm).

QCAL = Debit aliran (m^3/s).

A = Luas daerah tangkapan (km^2).

7. Optimalisasi Parameter Statistik

Setelah mengetahui nilai analisis setelah kalibrasi terhadap parameter, korelasi (R), dan kesalahan volume (VE) kemudian belum mendapatkan hasil yang diinginkan, maka perlu adanya optimasi untuk mengidentifikasi parameter-parameter model sehingga didapatkan selisih yang relatif kecil antara besaran terukur dengan besaran yang dihitung. Batasan-batasan lain dari parameter adalah sebagai berikut: $ISM \geq 30$; $ISM \leq 200$; $SMC \geq 50$; $SMC \leq 400$; $IGWS \geq 50$; $IGWS \leq 2000$ $k \leq 0,9999$; dan $k \geq 0,0001$.

2.5 Uji Validasi Data

2.5.1 Volume Error (VE)

Nilai yang menunjukkan perbedaan volume perhitungan dan terukur selama proses simulasi. Kesalahan volume aliran dirumuskan sebagai berikut (Setiawan, 2002).

$$VE = ABS \left(\frac{\sum Q_{cat} - \sum Q_{obs}}{\sum Q_{obs}} \right) \times 100 \quad (2.15)$$

Keterangan :

VE = selisih volume (%)

Qobs = debit terukur (m^3/s)

Qcal = debit terhitung (m^3/s)

Tabel 2. 10 Kriteria Nilai *Volume Error*

Nilai VE (%)	<i>Interpretation</i>
0 - 5 %	Sangat Baik
5 - 10 %	Baik
10 - 20 %	Cukup
>20%	Buruk

Sumber : Motovilov et al., (1999) dalam Lutfi et al., (2020)

2.5.2 *Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)*

Metode ini menunjukkan seberapa baik *plot* nilai observasi dibandingkan dengan nilai prediksi-simulasi, dengan rentang nilai dari minus tak hingga sampai dengan satu. Hasil NSE yang semakin mendekati angka satu, maka semakin baik nilai NSE, artinya data hasil pembangkitan dapat teruji kebenarannya karena mendekati data observasi. Adapun rumus yang digunakan yaitu:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X}_i)^2} \quad (2.16)$$

dimana:

X_i : data observasi (data aktual)

Y_i : hasil simulasi data

$\bar{X}_i$: rata-rata data observasi

N : jumlah data

Tabel 2. 11 Kriteria Nilai *Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)*

NSE Value	<i>Interpretation</i>
$NSE > 0,75$	<i>Good</i>
$0,36 < NSE < 0,75$	<i>Qualified</i>
$NSE < 0,36$	<i>Not Qualified</i>

Sumber : Motovilov et al., (1999) dalam Lutfi et al., (2020)

2.5.3 Uji Korelasi

Tujuan dari analisis ini adalah untuk mendapatkan pola dan kedekatan hubungan antara dua atau lebih variabel. Adapun rumus yang digunakan dalam perhitungan koefisien korelasi (R) yaitu:

$$R = \frac{N \sum_{i=1}^N X_i Y_i - \sum_{i=1}^N X_i \sum_{i=1}^N Y_i}{\sqrt{N \sum_{i=1}^N X_i^2 - (\sum_{i=1}^N X_i)^2} \sqrt{N \sum_{i=1}^N Y_i^2 - (\sum_{i=1}^N Y_i)^2}} \quad (2.17)$$

dimana:

X_i : data observasi (data aktual).

Y_i : data simulasi atau data bangkitan.

N : jumlah data.

Tabel 2. 12 Kriteria Nilai Koefisien Korelasi (R)

R Value	Interpretation
0 - 0,19	<i>Very Low</i>
0,20 - 0,39	<i>Low</i>
0,40 - 0,59	<i>Moderate</i>
0,60 - 0,79	<i>Strong</i>
0,80 - 1,00	<i>Very Strong</i>

Sumber : Motovilov et al., (1999) dalam Lutfi et al., (2020)