

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Parameter NRECA Pada DAS Citanduy Hulu

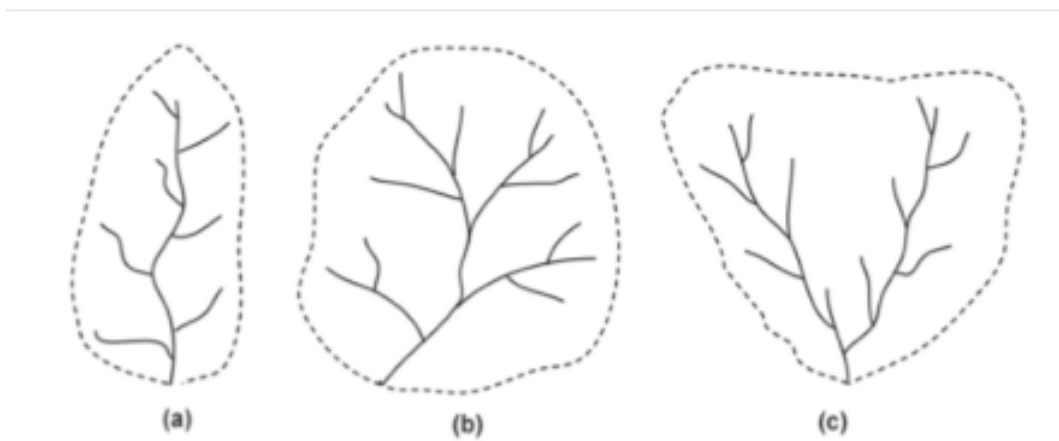
Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan suatu daerah yang dibatasi oleh punggung bukit atau gunung yang berfungsi menampung air hujan yang jatuh pada kawasan tersebut yang akan disimpan dan nantinya dialirkan melalui sungai - sungai kecil menuju sungai utama secara alami (Robo et al., 2018). Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan suatu kesatuan ruang yang terdiri atas unsur abiotik (tanah, air, udara), biotik (vegetasi, binatang dan organisme hidup lainnya) dan kegiatan manusia yang saling berinteraksi dan saling ketergantungan satu sama lain (Fitriyani, 2022).

Berdasarkan PERDA Provinsi Jawa Barat, 2014 tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai pembagian DAS dibagi menjadi tiga komponen yaitu:

1. Bagian Hulu DAS adalah wilayah daratan dalam kesatuan DAS yang memiliki ciri topografi bergelombang, berbukit dan/atau bergunung, dengan kerapatan drainase relatif tinggi, merupakan sumber air yang masuk langsung ke sungai utama dan/atau melalui anak-anak sungai, serta sumber erosi yang sebagiannya terangkut ke daerah hilir sungai menjadi sedimen.
2. Bagian Tengah DAS merupakan daerah peralihan antara bagian hulu dengan bagian hilir dan mulai terjadi pengendapan. Dicitrakan dengan daerah yang relatif datar.
3. Bagian Hilir DAS adalah wilayah daratan dalam kesatuan DAS yang memiliki ciri topografi datar sampai berombak, merupakan daerah endapan sedimen atau dataran *alluvial*.

Model aliran menentukan bentuk daerah aliran sungai yang mempengaruhi kecepatan sungai terpusat. Bentuk dari DAS terdiri dari beberapa macam, yaitu:

1. DAS berbentuk bulu burung
Bentuk bulu burung memiliki bentuk aliran dari anak sungai yang menyerupai ruas-ruas tulang dari bulu burung dan anak-anak sungai langsung mengalir ke sungai utama.
2. DAS berbentuk radial atau menyebar
DAS ini berbentuk kipas atau lingkaran dimana anak-anak sungainya terkonsentrasi ke suatu titik secara radial.
3. DAS berbentuk paralel
DAS dengan bentuk paralel memiliki dua jalur subDAS yang sejajar dan bergabung di bagian hilir.



Gambar 2.1 Bentuk Daerah Aliran Sungai

(a). Bentuk bulu burung, (b). Bentuk radial, (c). Bentuk paralel

Karakteristik DAS merupakan gambaran spesifik mengenai DAS yang dicirikan oleh parameter yang berkaitan dengan keadaan *morfometri*, tanah geologi, topografi, penggunaan lahan, hidrologi dan manusia. Pada sistem DAS ditunjukkan bahwa mekanisme perubahan hujan menjadi aliran permukaan sangat dipengaruhi oleh karakteristik daerah pengalirannya. Ada dua faktor yang mempengaruhi besar kecilnya aliran permukaan yaitu, faktor curah hujan dan karakteristik fisik DAS. Faktor Karakteristik fisik DAS ini dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu:

- Karakteristik DAS yang stabil (*Stable Basin Characteristics*), meliputi: jenis batuan dan tanah, kemiringan lereng, kerapatan aliran dalam DAS.

- Karakteristik DAS yang berubah (*Variable Basin Characteristics*), yaitu penggunaan lahan.

Pada penelitian analisis NRECA (*National Rural Electric Cooperative Association*) ini terdapat beberapa parameter yang diperlukan. Diantaranya adalah karakteristik DAS berupa jenis tanah, karena jenis tanah ini mempengaruhi besarnya koefisien karakteristik tanah permukaan (PSUB) dan karakteristik tanah dalam (GWF). Kemudian parameter lainnya adalah curah hujan rerata dan juga nilai evapotranspirasi.

2.1.1. Jenis Tanah

Struktur dan tekstur tanah berpengaruh pada proses infiltrasi hujan, Kandungan air tanah di suatu daerah dapat dipengaruhi oleh kondisi lapisan geologi bawah permukaan di daerah tersebut terutama berkaitan dengan porositas batuan. Berbagai jenis tanah dapat mempengaruhi tingkat koefisien kelulusan air. Koefisien kelulusan air (*Coeficient of Permeability/Hydraulic Conductivity*) adalah kemampuan untuk meluluskan air di dalam rongga-rongga batuan tanpa mengubah sifat-sifat airnya (Asmaranto, 2012).

Pada penelitian NRECA jenis tanah ini akan mempengaruhi besarnya koefisien karakteristik tanah permukaan (PSUB) dan karakteristik tanah dalam (GWF), yang mempengaruhi besaran dari parameter tersebut adalah apakah tanah tersebut lulus air atau kedap air. Apabila tanah bersifat lulus air nilai dari PSUB sebesar 0,9 dan GWF sebesar 0,2. Sedangkan apabila tanahnya bersifat kedap air nilai dari PSUB sebesar 0,3 dan GWF 0,8.

2.1.2. Tata Guna Lahan

Tata guna lahan mempengaruhi daya infiltrasi sehingga akan mempengaruhi besarnya aliran permukaan. Hal ini akan mengakibatkan perubahan pada koefisien aliran permukaan (C). Koefisien aliran permukaan (C) merupakan bilangan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya aliran permukaan dan besarnya curah hujan. Nilai koefisien C ini berkisar antara 0 – 1. Nilai 0 menunjukkan bahwa semua air hujan yang turun terinfiltrasi sempurna ke dalam tanah, sedangkan nilai $C = 1$ menunjukkan bahwa seluruh air hujan mengalir sebagai aliran permukaan. Tata guna lahan merupakan perubahan fungsi dari suatu lahan tertentu dari fungsi satu

ke fungsi lainnya. Perubahan tata guna lahan merupakan faktor yang akan mempengaruhi perubahan tutupan lahan pada suatu DAS, baik untuk kegiatan pemanfaatan sumber daya alam maupun perubahan fungsi pemanfaatan.

2.1.3. Curah Hujan

Curah hujan (mm) adalah ketinggian air hujan yang terkumpul dalam penakar hujan pada tempat yang datar, tidak menyerap, tidak meresap dan tidak mengalir. Karakteristik hujan yang berpengaruh terhadap debit sungai pada suatu DAS adalah (Fitriyani, 2022):

1. Intensitas Hujan

Pengaruh terhadap intensitas hujan pada aliran permukaan sangat berpengaruh pada kecepatan infiltrasi. Dengan demikian, akan terjadi aliran permukaan sejalan dengan meningkatnya intensitas curah hujan, namun dengan meningkatnya aliran permukaan tersebut tidak selalu sama dengan peningkatan intensitas saat hujan yang terjadi dikarenakan adanya genangan pada permukaan di tanah. Debit maupun volume aliran permukaan dapat dipengaruhi oleh intensitas hujan.

2. Durasi Hujan

Durasi hujan dengan intensitas tertentu berkaitan langsung dengan total aliran permukaan dari suatu hujan.

3. Distribusi Hujan

Faktor distribusi hujan dapat mempengaruhi terhadap hujan dengan daerah pengalirannya. Curah hujan sebagian dari suatu daerah aliran akan menyebabkan berkurangnya intensitas dari distribusi hujan yang menyeluruh di seluruh daerah pengaliran. Berkurangnya distribusi ini menyebabkan kecepatan serta luas aliran permukaan menjadi melambat. Sebaliknya, apabila hujan turun merata pada seluruh daerah maka volume dan laju aliran permukaan akan mencapai nilai maksimal.

2.1.2.1. Melengkapi Data Hujan

Pada umumnya, suatu stasiun dapat memperoleh data curah hujan yang lengkap, namun dalam beberapa kejadian dan situasi terkadang sering kali terjadi suatu kesalahan dalam perolehan data seperti adanya data curah hujan yang tidak

tercatat. Hal ini biasanya akibat kesalahan pengamatan, rusaknya alat yang digunakan, maupun perubahan kondisi di lokasi. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengatasi hal tersebut diantaranya adalah:

1. Metode Normal Ratio

Metode ini cukup sederhana yakni dengan memperhitungkan data curah hujan di stasiun hujan yang jaraknya berdekatan. Rumus metode normal ratio untuk mencari data curah hujan yang hilang sebagai berikut:

$$Px = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P1 \frac{Nx}{N1} \quad 2.1$$

Keterangan:

Px = Data tinggi hujan maksimum di stasiun x

$P1, P2, P3, \dots, Pn$ = Data tinggi hujan harian maksimum di stasiun i

Nx = Hujan rata-rata tahunan di stasiun x

$N1, N2, N3, \dots, Nn$ = Hujan rata-rata tahunan di stasiun sekitar x

n = Jumlah stasiun di sekitar x

2. Metode Konvensional atau Rata Rata

Pengukuran yang dilakukan di beberapa stasiun dalam waktu yang bersamaan dijumlahkan dan kemudian dibagi dengan jumlah stasiun yang digunakan saling berdekatan, tetapi tanpa menggunakan stasiun yang dicari. Berikut persamaan yang digunakan:

$$P = \frac{P1 + P2 + P3 + \dots + Pn}{n} \quad 2.2$$

Keterangan:

P = Curah hujan hilang (mm)

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ = Hujan titik stasiun pada stasiun 1,2,3,...,n

n = Jumlah titik stasiun

2.1.2.2. Uji Konsistensi Curah Hujan

Pemeriksaan uji Konsistensi data ini dimaksudkan untuk menentukan apakah data curah hujan tersebut benar-benar sesuai dengan distribusi teoritis yang dipakai. Uji konsistensi ini dilakukan untuk memastikan bahwa data curah hujan mempunyai data yang pangkah dan dapat digunakan dalam analisis. Apabila hasil dari nilai deterministik (R^2) mendekati nilai 1 berarti data curah hujan setiap stasiun konsisten (pangkah). Salah satu cara yang dapat digunakan untuk uji konsistensi adalah dengan analisis kurva massa ganda (Irawan P et al., 2020).

2.1.2.3. Analisis Curah Hujan Wilayah

Curah hujan (mm) adalah ketinggian air hujan yang terkumpul dalam penakar hujan pada tempat yang datar, tidak menyerap, tidak meresap dan tidak mengalir. Curah hujan yang jatuh tidak semuanya terserap oleh tanah tetapi ada sebagian yang akan menjadi limpasan air permukaan. Hujan Kawasan merupakan hujan rencana yang akan dianalisis berdasarkan data dari Pos Curah Hujan (PCH) disekitar DAS (Irawan, Ikhsan, et al., 2020). Berikut beberapa analisis hidrologi untuk menentukan hujan rerata suatu wilayah:

1. Metode Rerata Aritmatik (Aljabar)



Gambar 2.2 Metode Rerata Aritmatik

Pengukuran pada metode ini dilakukan di beberapa stasiun dalam waktu bersamaan dengan menjumlahkan nilai hujan harian maksimum kemudian dibagi jumlah stasiun (Wulandari et al., 2023). Persamaannya adalah sebagai berikut.

$$P = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n} \quad 2.3$$

Dengan:

P = Hujan rerata wilayah

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ = Hujan titik pengamatan stasiun 1, 2, 3, ..., n

N = Jumlah titik pengamatan

2. Metode Poligon Thiessen

Metode Poligon Thiessen ini memperhitungkan bobot dari masing - masing stasiun yang mewakili luasan di sekitarnya (Lindawati et al., 2021). Metode ini cocok digunakan apabila penyebaran stasiun hujan tidak merata dan jumlahnya terbatas dibandingkan luasannya (Irawan P et al., 2024). Persamaan yang digunakan adalah;

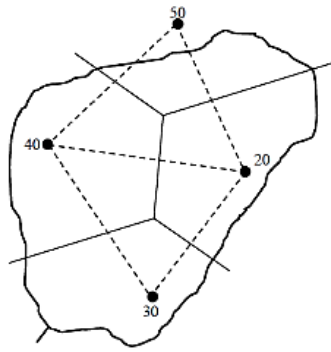
$$P = \frac{A_1 \cdot P_1 + A_2 \cdot P_2 + A_3 \cdot P_3 + \dots + A_n \cdot P_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad 2.4$$

Dengan:

P = Hujan rerata wilayah

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ = Hujan titik pengamatan stasiun 1, 2, 3, ..., n

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ = Jumlah titik pengamatan pada stasiun 1, 2, 3, ..., n



Gambar 2.3 Metode Poligon Thiessen

2.1.4. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah salah satu parameter yang dipakai untuk menghitung besarnya debit di suatu sungai (Permana & Susetyaningsih, 2022). Nilai dari evapotranspirasi ini merupakan penjumlahan dari evaporasi (*evaporation*) dan transpirasi (*transpiration*) yang berlangsung secara bersamaan (Rambembuoch et al., 2019). Untuk perhitungannya diperlukan beberapa data klimatologi, diantaranya:

1. Radiasi matahari (R_d): merupakan bagian sumber energi dalam menghangatkan tanaman, tanah serta air. Radasi potensial sangat dipengaruhi oleh lokasi dari letak geografis.
2. Suhu udara (t): adalah komponen yang tidak bisa terpisahkan dari radiasi serta kelembapan relatif. Suhu tersebut dapat berupa suhu tanah, atmosfer atau badan air.
3. Kecepatan angin (v): faktor yang dapat menghasilkan terjadinya distribusinya air yang sudah diuapkan menuju atmosfer, dengan demikian proses terjadinya penguapan tersebut dapat berlangsung terus menerus sebelum terjadinya kejenuhan kandungan uap saat di udara.
4. Kelembaban udara (R_h): udara mempunyai kemampuan untuk menyerap air dengan kondisinya termasuk suhu udara dan tekanan udara di atmosfer.

Besaran dari nilai evapotranspirasi potensial (ET_o) dipengaruhi oleh faktor-faktor klimatologi diatas. Evapotranspirasi acuan dapat dihitung dengan metode modifikasi *Penman*, yang memiliki rumus sebagai berikut:

$$ET_o = c \times \{W \times R_n + (1-W) \times F(u) \times (e_s - e_a)\} \quad 2.5$$

Keterangan:

ET_o = Evapotranspirasi potensial (milimeter/hari).

c = Faktor penyesuaian (perubahan siang maupun malam).

W = Faktor penimbang pada rata-rata suhu udara.

$1-W$ = Faktor suhu udara dan ketinggian.

R_n = Radiasi netto (milimeter/hari).

$F(u)$ = Faktor untuk kecepatan angin.

e_s = Tekanan saat uap udara.

e_a = Tekanan saat uap jenuh.

2.2 Debit

Debit air merupakan ukuran banyaknya volume air yang mampu lewat pada suatu tempat atau yang mampu di tampung dalam suatu tempat setiap satu satuan waktu. Debit aliran adalah jumlah air yang mengalir pada satuan volume per waktu.

Ketersediaan air merupakan kemampuan sungai untuk menyediakan nilai debit secara kuantitatif sepanjang tahun (Limantara & Putra, 2016). Debit andalan merupakan debit minimum sungai yang dapat digunakan tergantung keperluannya (Permana & Susetyaningsih, 2022). Debit andalan ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan distribusi Weibull sebagai berikut:

$$P(X \geq x) = \frac{m}{n+1} \quad 2.6$$

Keterangan:

$P(X \geq x)$ = Probabilitas terjadinya debit yang sama dengan atau lebih besar

m	=	Peringkat data
n	=	Jumlah data
X	=	Seri data debit
x	=	Debit andalan

Hasil dari persamaan tersebut nantinya dijadikan grafik kurva aliran waktu, yang menunjukkan hubungan antara debit dengan tingkat keandalan atau persentase waktu tertentu. Kurva ini dapat digunakan untuk mengetahui nilai dari debit andalan seperti Q_{80} , Q_{90} , Q_{95} .

Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi debit sungai pada suatu daerah aliran sungai (DAS), faktor-faktor tersebut terdiri dari faktor meteorologi serta karakteristik suatu DAS. Karakteristik hujan merupakan faktor meteorologi utama yang paling mempengaruhi debit sungai.

Data debit merupakan data yang sangat penting dalam suatu penelitian yang berhubungan dengan bidang keairan. Data ini didapat dari Pos Duga Air (PDA) ataupun *Automatic Water Level Recorder* (AWLR) pada suatu Daerah Aliran Sungai (DAS). Apabila tidak tersedianya data debit karena tidak ada PDA ataupun AWLR disekitar DAS, dapat dilakukan perhitungan data debit menggunakan data curah hujan dan model hujan - debit.

2.2.1 Model Hujan – Debit

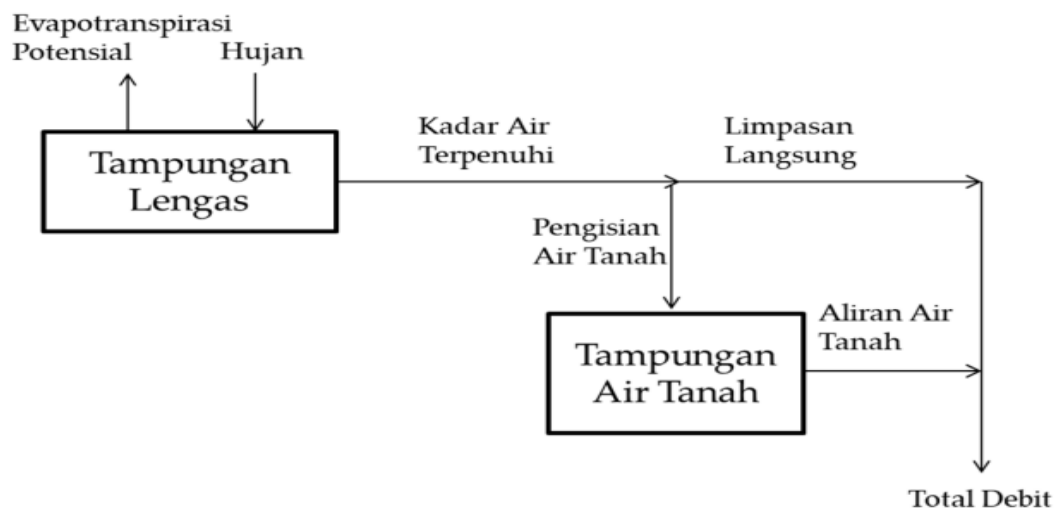
Pemodelan hujan - debit merupakan satuan yang digunakan untuk mendekati nilai-nilai hidrologis proses yang terjadi di lapangan (Wiliya, 2022). Pemodelan tersebut dilakukan untuk mengetahui besar potensi SDA di suatu DAS. Pemodelan ini merubah data hujan menjadi data debit dan biasa disebut pengalih ragam hujan debit (Nurviana et al., 2023).

Ada beberapa metode pemodelan hujan-debit diantaranya adalah metode *Mock*, NRECA, dan model Tangki. Pada penelitian ini metode yang akan digunakan adalah metode NRECA. Model tersebut merupakan model hujan limpasan yang cukup sederhana. Model ini difungsikan untuk model analisa debit berdasarkan kesetimbangan air pada DAS (Widyaningsih et al., 2021).

2.2.1.1 Metode NRECA

Metode NRECA atau *National Rural Electric Cooperative Association* oleh Norman H. Crawford (USA) pada tahun 1985. Model NRECA ini merupakan model untuk membangkitkan curah hujan menjadi limpasan/debit (Marsim & Yudianto, 2017).

Struktur metode NRECA membagi aliran bulanan menjadi 2 limpasan yaitu aliran dasar dan permukaan. Tampungan pada metode NRECA dibagi menjadi 2, yaitu tampungan air tanah (*Groundwater Storage*) dan tampungan kelengasan (*Moisture Storage*). Tampungan air tanah ditentukan oleh pengisian air tanah yang masuk dan aliran tanah yang keluar. Sedangkan tampungan kelengasan ditentukan berdasarkan hujan dan evapotranspirasi serta kelebihan kelengasan yang bisa disebut limpasan langsung dan pengisian air tanah yang keluar.



Gambar 2.4 Skema Model NRECA

Analisis transformasi hujan debit dengan metode NRECA dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Nama bulan dari Januari sampai Desember tiap-tiap tahun pengamatan.
2. Hujan rata-rata setiap bulan (R_b).
3. Nilai evapotranspirasi ($PET = \text{Penguapan Peluh Potensial}$).
4. Nilai tampungan untuk kelengasan awal (W_o).
 Nilai dari tampungan kelengasan ini didapat dengan cara *try and error*.
5. Tampungan kelengasan pada tanah (W_i).

$$W_i = \frac{W_0}{Nominal} \quad 2.7$$

Keterangan:

Nominal = $100 + 0,2 R_a$

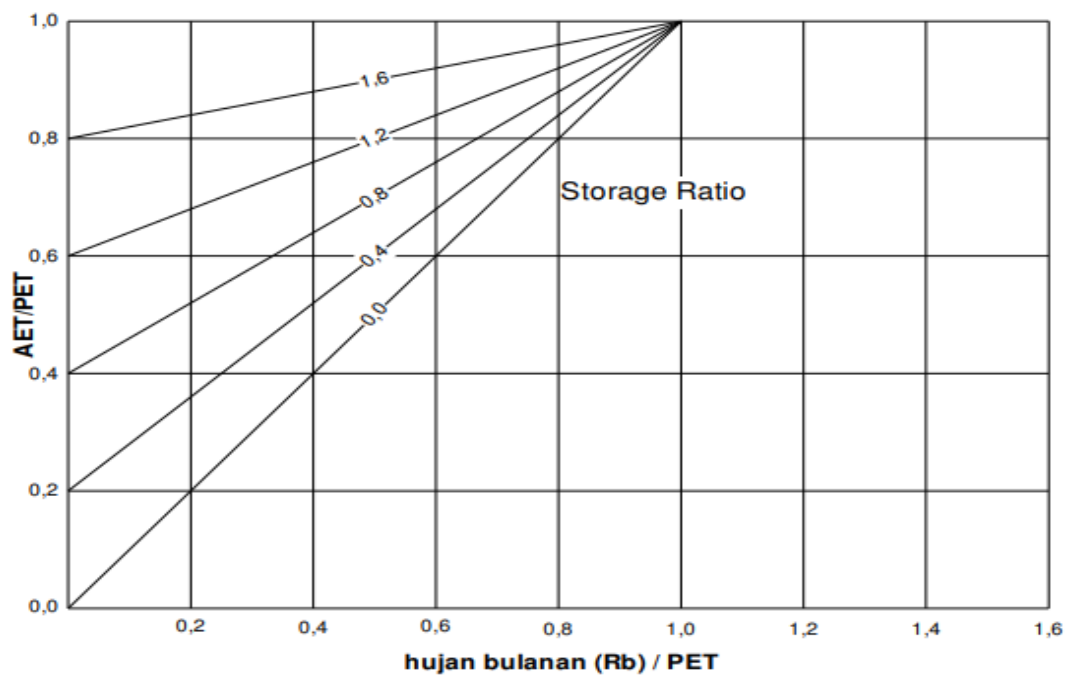
R_a = Hujan 1 tahun yang dirata-ratakan (mm)

6. Rasio R_b/PET

7. Rasio AET/PET

AET = Penguapan peluh aktual yang nilainya bergantung dari rasio R_b/PET dan W_i .

Untuk nilai AET/PET dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.5 Grafik Perbandingan Penguapan Nyata dan Potensial
(AET/PET Ratio)

Sumber: (KP - 01, 2013)

Untuk menentukan nilai dari rasio AET/PET juga dapat menggunakan persamaan berikut, dengan syarat:

Jika nilai dari $R_b/PET > 1$, maka nilai rasio $AET/PET = 1$, atau

Jika nilai dari storage ratio > 2 , maka nilai rasio $AET/PET = 1$.

Apabila nilai dari keduanya kurang dari syarat yang ditentukan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{Rb}{PET} \times (1 - 0,5 \times Wi) + (0,5 \times Wi) \quad 2.8$$

8. $AET = (AET/PET) \times PET$
9. Neraca air (WB) = $Rb - AET$
10. Rasio kelebihan kelengasan (*excess moisture*) yang dapat diperoleh sebagai berikut:
 - a. Jika nilai neraca air (WB) positif, maka rasio tersebut menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$0.5 \times (1 + (\tanh((Wi - 1)/0,52))) \quad 2.9$$
 - b. Jika nilai neraca air (WB) negative, maka nilai rasio = 0.
11. Kelebihan kelengasan
= rasio kelebihan kelengasan x neraca air (WB)
12. Perubahan tampungan
= neraca air (WB) – kelebihan kelengasan
13. Tampungan air tanah
= PSUB x kelebihan kelengasan
PSUB = parameter yang menggambarkan karakteristik tanah permukaan, nilainya tergantung dari sifat lulus air tanah.
PSUB = 0,3 bila bersifat kedap air.
PSUB = 0,9 bila bersifat lulus air.
14. Tampungan air tanah awal dicoba-coba dengan nilai awalan = 2.
15. Tampungan air tanah akhir
= tampungan air tanah + tampungan air tanah awal
16. Aliran air tanah
= GWF x Tampungan air tanah akhir
GWF = parameter yang menggambarkan karakteristik tanah bagian dalam
GWF = 0,8 bila bersifat kedap air.
GWF = 0,2 bila bersifat lulus air.
17. Aliran langsung (DF) (*direct runoff*)

= kelebihan kelengasan – tampungan air tanah

18. Aliran total (Q)

Aliran langsung + Aliran air tanah.

19. Aliran Total kemudian diubah dari satuan mm ke dalam satuan m^3/detik .

2.3 Perbandingan Debit Simulasi dengan Debit Observasi

Perbandingan debit simulasi dengan debit observasi ini dilakukan untuk mengecek kesesuaian parameter yang dihasilkan. Perbandingan ini dilakukan dengan menggunakan metode *Nash Sutcliffe Efficiency* (NSE). Hasil dari perbandingan ini harus memenuhi syarat kriteria nilai *Nash Sutcliffe Efficiency* (NSE), dimana nilai NSE yang mendekati 1 maka semakin sesuai perbandingan antara debit simulasi dengan debit observasi.

2.3.1 Kalibrasi Model

Kalibrasi merupakan proses optimalisasi nilai parameter untuk meningkatkan koherensi antara respons hidrologi DAS yang teramati dan tersimulasi (Widyaningsih et al., 2021). Hasil analisis dari model NRECA tidak bisa langsung digunakan tetapi perlu dilakukan kalibrasi untuk menguji kelayakan dari data tersebut (Rambembuoch et al., 2019).

1. Model *Nash Sutcliffe Efficiency* (NSE)

Koefisien efisiensi model *Nash Sutcliffe Efficiency* (NSE) ini bertujuan untuk mengevaluasi kebenaran pada suatu model dengan menggunakan kriteria yang dipaparkan di bawah ini:

Tabel 2.1 Kriteria nilai *Nash Sutcliffe Efficiency*

Nilai NSE	Interpretasi
$\text{NSE} > 0,75$	Baik
$0,36 < \text{NSE} < 0,75$	Memenuhi
$\text{NSE} < 0,36$	Tidak Memenuhi

Rumus yang digunakan:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - Q_m^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - Q_0)^2} \quad 2.10$$

Keterangan:

NSE	=	Koefisien <i>Nash Sutcliffe Efficiency</i>
Q_0^t	=	Debit hasil pengamatan pada waktu t
Q_m^t	=	Debit hasil pemodelan pada waktu t
Q_0	=	Debit rata-rata hasil pengamatan