

## Penggunaan Model Mock dalam Menghitung Ketersediaan Air di Daerah Aliran Sungai (DAS) Krueng Aceh

*(Calculating Water Supply in Krueng Aceh Watershed using Mock Model)*

Rizqon Imroatun Syarifah Lubis<sup>1</sup>, Devianti<sup>1</sup>, Syahrul<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala

\*syahrul.fp@gmail.com

**abstrak.** Air merupakan salah satu sumber kehidupan, karena air adalah zat atau unsur esensial bagi kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Dapat dikatakan tidak ada kehidupan di muka bumi ini yang dapat berlangsung tanpa air. Tanpa ketersediaan air yang mencukupi kebutuhan manusia dan makhluk hidup lainnya dapat mengakibatkan terjadinya konflik. Maka dalam penelitian ini bertujuan untuk menganalisis seberapa besar potensi ketersediaan air berdasarkan debit yang tersedia pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Krueng Aceh. Ketersediaan air pada DAS Krueng Aceh diharapkan dapat memenuhi kebutuhan wilayah tersebut secara kuantitatif. Analisis yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode FJ. Mock. Metode ini dilakukan dengan mengaplikasikan pendekatan model hujan aliran dengan menggunakan data curah hujan, evapotranspirasi potensial, dan karakteristik hidrologi untuk memprediksi besar debit sungai dengan interval waktu bulanan.

**Kata kunci :** Ketersediaan air, Model Mock, DAS

**abstract.** Water is a source of life, because water is an essential substance or element for human life and other living things. It can be said that no life on this earth can take place without water. Without the availability of water that meets the needs of human and other living things, conflicts can occur. This study aims to analyze how much potential water availability based on the available discharge in the Krueng Aceh watershed. The availability of water in the Krueng Aceh watershed is expected to meet the needs of the area quantitatively. The analysis used in this study is the FJ Mock method. This method is carried out by applying a rainfall-run off model approach and using rainfall data, potential evapotranspiration, and hydrological characteristics to predict the amount of river discharge with monthly time interval.

**Keywords:** Water supply, Mock model, Watershed

### PENDAHULUAN

Air adalah sumber daya alam, anugerah Allah SWT, yang dibutuhkan oleh semua makhluk hidup setiap saat. Air diperlukan untuk semua aktivitas manusia, mulai dari produksi pangan (pertanian) hingga produksi industri. Jumlah air di planet ini pada dasarnya tetap konsisten dari waktu ke waktu. Air melewati siklus berkelanjutan yang disebut siklus air, yang menjelaskan jumlah air yang tersisa.

Kaitannya dengan siklus air, DAS memiliki sifat khusus dan berkaitan erat dengan beberapa faktor, yaitu jenis tanah, penggunaan lahan, topografi, kemiringan lereng dan panjang lereng. Selain itu, saat mempelajari konsep siklus air dan DAS, istilah siklus air DAS dapat digunakan sebagai konsep praktis untuk menganalisis berbagai masalah yang berhubungan dengan air. Daerah Aliran Sungai (DAS) berbentuk presipitasi dan mengubahnya menjadi limpasan. Sebagian presipitasi yang jatuh pada suatu DAS dan sebagian lagi jatuh pada permukaan vegetasi, tanah, atau badan air (Triatmodjo, 2009). Sebagian besar hujan yang jatuh kembali ke atmosfer melalui evaporasi dan transpirasi. Daerah Aliran Sungai (DAS) sendiri didefinisikan sebagai bagian dari ekosistem alami yang

dikelilingi oleh perbukitan. DAS memiliki dua zona, yaitu pasokan air (zona hulu) dan penerima air (zona hilir). Air hujan yang jatuh di daerah ini mengalir ke sungai dan akhirnya ke laut dan danau.

Ketersediaan air dari sudut sumber daya air pada dasarnya berasal dari air hujan (atmosfer), air permukaan dan air tanah. Curah hujan di permukaan Daerah Aliran Sungai (DAS) maupun Wilayah Sungai (WS) menguap sebagian di bawah pengaruh proses iklim, sebagian mengalir di atas dan di bawah tanah di sungai, sungai dan danau, dan sebagian melalui penyaringan. Ketersediaan air sebagai bagian dari fenomena alam seringkali sulit diatur dan diprediksi secara akurat. Hal ini karena air tersedia yang mengandung unsur-unsur yang berfluktuasi secara luas dalam ruang dan waktu. Konsep siklus air adalah bahwa jumlah air di wilayah tertentu di dunia dipengaruhi oleh input dan output yang dihasilkannya (Jaya, 2016).

## METODE PENELITIAN

### Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu, Microsoft Office Word dan Microsoft Office Excel, alat tulis, peta DAS Krueng Aceh, data debit DAS Krueng Aceh yang tersedia selama 5 tahun (2016-2020), dan data curah hujan bulanan rata-rata serta data klimatologi berupa, suhu udara, kelembaban udara, lama penyinaran matahari serta kecepatan angin yang tersedia selama 5 tahun (2016-2020).

### Analisis Data

#### Analisis Curah Hujan Bulanan Rata-rata

Data curah hujan rata-rata bulanan di DAS Krueng Aceh dikumpulkan dari 2 (dua) stasiun klimatologi yang keduanya berada di bagian hilir DAS Krueng Aceh yaitu dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Blang Bintang dan BMKG Indrapuri selama 5 tahun (2016-2020). Perhitungan curah hujan bulanan rata-rata dihitung menggunakan metode aljabar berdasarkan persamaan berikut.

$$R = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n}{n} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

- R = curah hujan
- R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>, R<sub>n</sub> = tinggi curah hujan pada stasiun penakar 1, 2, 3, ... n
- n = banyaknya stasiun penakar

#### 1. Evapotranspirasi

Menghitung nilai evapotranspirasi potensial (E<sub>to</sub>) dengan menggunakan Metode Penman modifikasi dapat dilihat dari persamaan berikut.

$$ET_0 = c (W \cdot R_n + (1 - W) f(u) (ea - ed)) \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

- E<sub>to</sub> = evapotranspirasi potensial (mm/hari)
- c = faktor koreksi
- W = faktor bobot sebagai pengaruh dari radiasi matahari
- R<sub>n</sub> = radiasi matahari netto di atas permukaan tanaman (MJ/m<sup>2</sup>/hari);
- (1-W) = faktor bobot sebagai pengaruh kelembapan dan angin;
- f(u) = fungsi kecepatan angin dalam perbandingan;
- ed = tekanan uap air jenuh (kPa)
- ea = tekanan uap air aktual (kPa)

#### 2. Debit Pengamatan

Data debit pengamatan pada DAS Krueng Aceh periode 5 tahun (2016-2020) diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Sumatera 1.

### 3. Analisis Ketersediaan Air

Untuk mengetahui debit ketersediaan air pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Krueng Aceh dilakukan melalui pendekatan metode empiris berdasarkan data curah hujan dan klimatologi menggunakan metode F.J Mock.

Menurut Kadir (2010), ketentuan dari metode sebagai berikut :

#### 1. Data Meteorologi dalam hal ini data yang digunakan yaitu :

- a. Data presipitasi dalam hal ini adalah data curah hujan bulanan dan jumlah hari hujan dalam 1 bulan
- b. Data klimatologi berupa data kecepatan angin, kelembapan udara, temperatur udara dan penyinaran matahari untuk menentukan Evapotranspirasi Potensial (Eto) yang dihitung berdasarkan metode Penman Modifikasi

#### 2. Evapotranspirasi Aktual (Ea) Penentuan harga evapotranspirasi aktual ditentukan berdasarkan persamaan :

$$E = ET0 \times \frac{m}{20} \times (18 - n) \dots\dots\dots (3)$$

$$Ea = ET0 - E \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

Ea = Evapotranspirasi aktual (mm)

Eto = Evapotranspirasi potensial (mm)

m = proporsi permukaan lahan yang tidak tertutup oleh vegetasi (%)

n = jumlah hari hujan.

#### 3. Limpasan (*run off*)

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 run off*). Untuk memperoleh limpasan, maka persamaan yang digunakan adalah :

$$BF = I - (\Delta Vn) \dots\dots\dots (10)$$

$$DRO = WS - I \dots\dots\dots (11)$$

$$TRO = BF + DRO \dots\dots\dots (12)$$

Dimana :

BF = Aliran dasar (mm)

I = Infiltrasi (mm)

$\Delta Vn$  = Perubahan volume aliran tanah (mm)

DRO = Limpasan langsung (mm)

WS = Kelebihan air (mm)

TRO = Limpasan periode n (mm)

#### 4. Banyaknya air yang tersedia dari sumbernya

Rumus yang digunakan adalah :

$$Qn = TRO \times A \dots\dots\dots (13)$$

Dimana :

Qn = Banyaknya air yang tersedia dari sumbernya (m<sup>3</sup>/s)

A = Luas cakupan area (km<sup>2</sup>)

#### 5. Tahap Kalibrasi, Tahap Verifikasi dan Simulasi Debit Model F.J Mock

Kalibrasi parameter dilakukan dengan menggunakan fungsi *solver* pada *Microsoft Office Excel* hingga mendapatkan parameter optimum. Parameter optimum didapatkan ketika koefisien korelasi (R) > 0,75 dan *Volume Error* (VE) < 0,1. Koefisien korelasi diperoleh menggunakan formula fungsi di *Microsoft Office Excel* yaitu CORREL, sedangkan VE

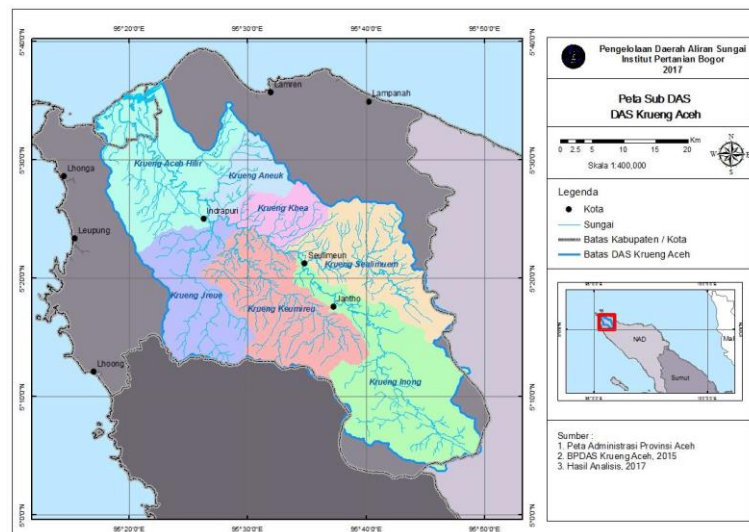
diperoleh menggunakan formula fungsi ABSOLUTE (ABS).

Tahap verifikasi yang bertujuan untuk memastikan bahwa parameter hasil kalibrasi dapat mewakili karakteristik DAS sebenarnya. Verifikasi dilakukan dengan cara memasukkan nilai-nilai parameter sebagai data masukan yang telah digunakan pada tahap kalibrasi. Kemudian dari data yang digunakan pada tahap verifikasi dibandingkan dengan data observasi. Dan yang terakhir adalah simulasi, yang bertujuan untuk menduga nilai debit DAS Krueng Aceh

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Wilayah Penelitian

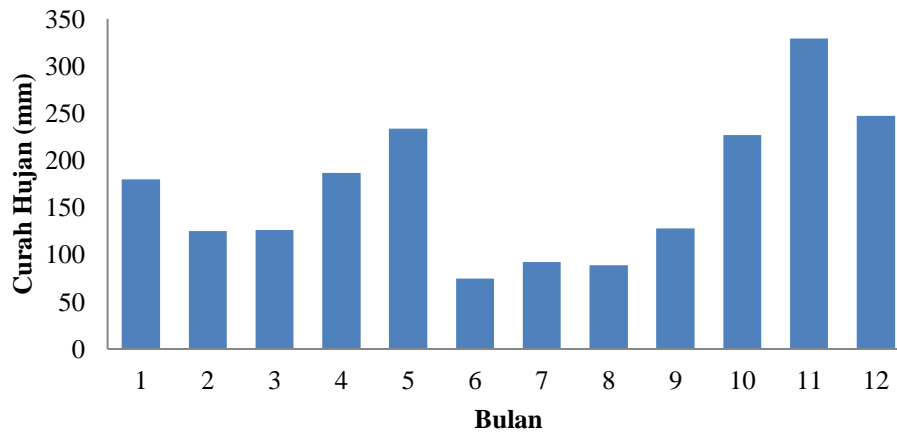
Daerah aliran sungai (DAS) Krueng Aceh secara geografis terletak antara  $5^{\circ}03' 41''$ – $5^{\circ}38' 10''$  Lintang Utara dan  $95^{\circ}11' 41''$ – $95^{\circ}49'46''$  Bujur Timur, sedangkan secara administratif terletak dalam 2 (dua) wilayah, yaitu Kabupaten Aceh Besar dan Kota Banda Aceh, Provinsi Aceh. DAS Krueng Aceh memiliki luas 174.770,41 ha 1.747,70 atau  $\text{km}^2$  yang merupakan gabungan dari 7 (tujuh) Sub DAS yang tersebar di Kota Banda Aceh dan Kabupaten Aceh Besar, yaitu Sub DAS Krueng Aceh Hilir seluas 34.483,05 ha, Sub DAS Krueng Jreue seluas 23.266,56 ha, Sub DAS Keumireu seluas 30.137,12 ha, Sub DAS Krueng Inong seluas 41.052,86 ha, Sub DAS Seulimum seluas 26.528,38 ha, Sub DAS Krueng Khea seluas 9.615,55 ha dan Sub DAS Krueng Aneuk seluas 9.686,90 ha (Satriyo, 2018). Adapun peta DAS Krueng Aceh dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. DAS Krueng Aceh (Sumber : Satriyo, 2018)

### Curah Hujan Rata-Rata Bulanan

Curah hujan merupakan satu parameter penting dalam sistem DAS, terutama sebagai salah satu mata rantai daur hidrologi yang berperan menjadi pembatas adanya potensi sumberdaya air di dalam suatu DAS. Data curah hujan rata-rata bulanan di DAS Krueng Aceh dikumpulkan dari 2 (dua) stasiun klimatologi yang keduanya berada di bagian hilir DAS Krueng Aceh yaitu dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Blang Bintang dan BMKG Indrapuri selama 5 tahun (2016-2020). Adapun grafik curah hujan rata-rata bulanan DAS Krueng Aceh dapat dilihat pada gambar berikut.



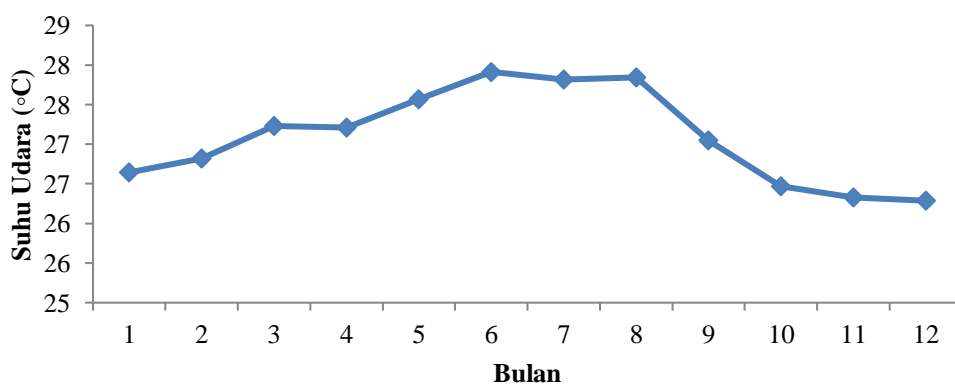
Gambar 2 . Curah Hujan Rata-rata Bulanan DAS Krueng Aceh Periode 2016-2020

Pada gambar curah hujan di atas dapat dilihat bahwa curah hujan rata-rata bulanan untuk periode 2016-2020 berdasarkan 2 stasiun klimatologi yang terendah terjadi pada bulan Juni yaitu sebesar 75 mm, dan yang tertinggi terjadi pada bulan November, yaitu sebesar 329 mm.

### Data Klimatologi DAS Krueng Aceh

#### a. Suhu udara

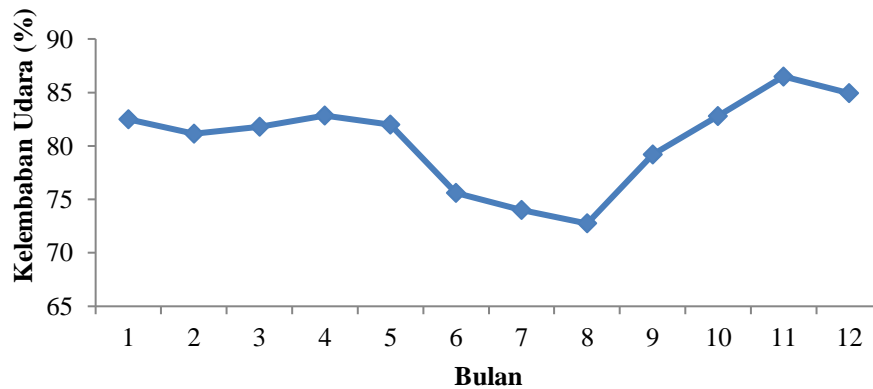
Grafik suhu udara rata-rata bulanan pada DAS Krueng Aceh selama periode 2016-2020 dapat dilihat pada Gambar 3. Terlihat pada gambar di atas bahwa suhu udara rata-rata bulanan periode 2016-2020 yang terendah terjadi pada bulan November dan Desember yaitu sebesar 26,3 °C. Sedangkan yang tertinggi terjadi pada bulan Juni yaitu sebesar 27,9 °C.



Gambar 3. Suhu Udara Rata-rata DAS Krueng Aceh pada Periode 2016-2020

#### b. Kelembaban Udara

Kelembaban udara rata-rata bulanan pada DAS Krueng Aceh selama 2016-2020 dapat dilihat pada Gambar 4.

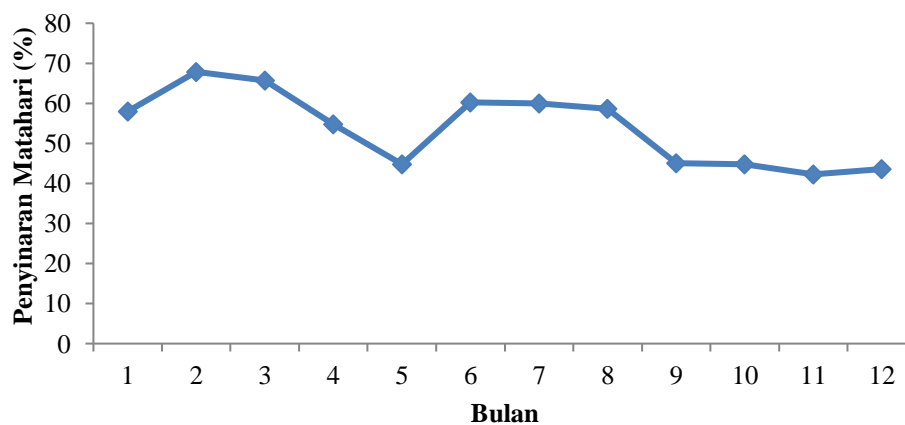


Gambar 4. Kelembaban Udara Rata-rata DAS Krueng Aceh pada Periode 2016-2020

Terlihat pada gambar di atas bahwa kelembaban udara rata-rata bulanan periode 2016 - 2020 yang terendah terjadi mulai bulan Agustus, yaitu sebesar 72,7%. Sedangkan yang tertinggi terjadi mulai bulan November, yaitu sebesar 86,5%.

#### c. Lama Penyinaran Matahari

Data lama penyinaran diperoleh dari hasil pengamatan pias matahari yang dipasang di *Chambbell Stokes* setiap harinya. Adapun grafik lama penyinaran matahari pada DAS Krueng Aceh selama 2016-2020 dapat dilihat pada gambar berikut.

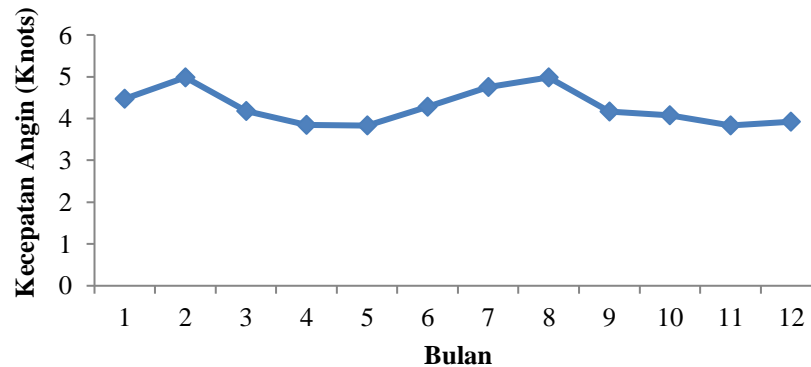


Gambar 5. Penyinaran Matahari Rata-rata DAS Krueng Aceh pada Periode 2016-2020

Berdasarkan Gambar 5, diketahui bahwa lama penyinaran matahari rata-rata bulanan periode 2016 -2020 yang terendah terjadi pada bulan November, yaitu sebesar 42,3%. Sedangkan yang tertinggi terjadi pada bulan Februari, yaitu sebesar 67,9%.

#### d. Kecepatan Angin

Grafik kecepatan angin pada DAS Krueng Aceh selama 2016-2020 dapat dilihat pada gambar berikut.

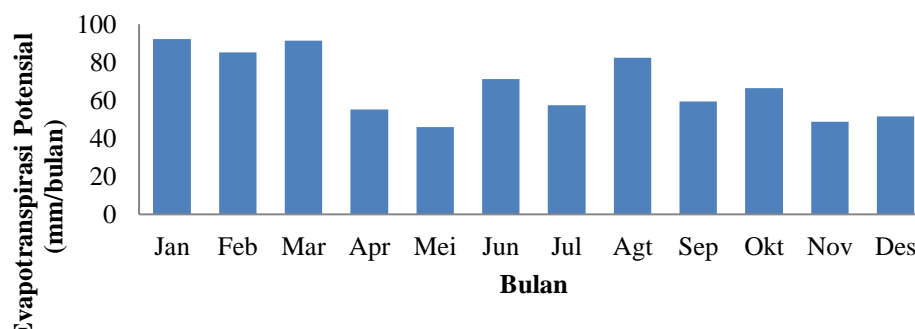


Gambar 6. Kecepatan Angin Rata-rata DAS Krueng Aceh pada Periode 2016-2020

Gambar 6 menunjukkan bahwa kecepatan angin rata-rata bulanan periode 2016 -2020 yang terendah terjadi pada bulan Mei dan November, yaitu sebesar 3,8 knots ( 1 knots = 0,514 m/s). Sedangkan yang tertinggi terjadi pada bulan Februari dan Agustus, yaitu sebesar 5 knots.

### Evapotranspirasi Potensial ( $ET_0$ )

Evapotranspirasi pada DAS Krueng Aceh dihitung menggunakan metode Penman Modifikasi yang didapat melalui data iklim dari 2 (dua) stasiun klimatologi yang keduanya berada di bagian hilir DAS Krueng Aceh yaitu dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Blang Bintang dan BMKG Indrapuri selama 5 tahun (2016-2020). Adapun grafik evapotranspirasi rata-rata bulanan pada periode 2016-2020 dapat dilihat pada Gambar 7.



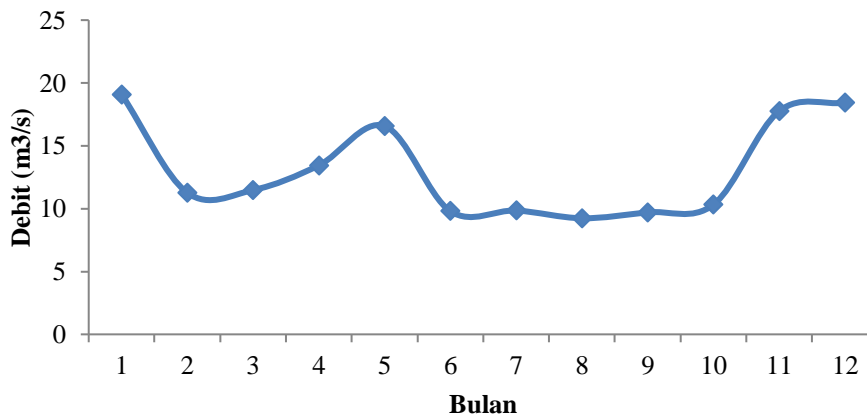
Gambar 7. Evapotranspirasi Rata-rata Bulanan DAS Krueng Aceh pada Periode 2016-2020

Berdasarkan Gambar 7, dapat dilihat bahwa nilai evapotranspirasi rata-rata di DAS Krueng Aceh selama periode 5 tahun (2016-2020) berbeda-beda setiap bulannya. Nilai evapotranspirasi yang paling besar terjadi pada bulan Maret, yaitu sebesar 83,81 mm/bulan. Sedangkan yang paling kecil terjadi pada bulan November, yaitu sebesar 54,16 mm/bln.

### Debit Pengamatan

Debit pengamatan diukur di Kampung Lampisang Tunong 40 Km dari Banda Aceh ke Jurusan Medan, Berhenti di Kampung Lampisang, di Sebelah Kiri Aliran Kr. Aceh, Dusun Seulimuem, Kecamatan Seulimuem, Kabupaten Aceh Besar, Provinsi Aceh. Secara geografis terletak antara 5° 22' 11,42" Lintang Utara dan 95°

32' 57,91" Bujur Timur. Adapun debit pengamatan pada DAS Krueng Aceh untuk periode 2016-2020 dengan rata-rata per bulan dapat dilihat pada gambar berikut .



Gambar 8. Debit Rata-rata Bulanan DAS Krueng Aceh pada Periode 2016-2020

Gambar 8 di atas bahwa debit rata-rata bulanan terbesar pada DAS Krueng Aceh untuk periode 2016-2020 terjadi pada bulan Januari, yaitu sebesar 19,9 m<sup>3</sup>/s. sedangkan debit terkecil terjadi pada bulan Agustus, yaitu sebesar 9,24 m<sup>3</sup>/s.

### Ketersediaan Air

Ketersediaan air pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Krueng Aceh dilakukan melalui pendekatan metode empiris berdasarkan data curah hujan, evapotranspirasi dan faktor tanaman. menggunakan metode F.J Mock. Pada proses model hidrologi Mock dilakukan dengan tahap kalibrasi dan verifikasi. Hasil nilai keakuratan debit simulasi ditentukan berdasarkan nilai koefisien korelasi antara debit terukur (observasi) dan debit simulasi.

Parameter yang digunakan dalam model Mock ini ialah *exposed surface* (m), *percentage factor* (PF), *initial soil moisture* (ISM), *soil moisture capacity* (SMC), koefisien infiltrasi, dan koefisien resesi. Parameter Mock dikalibrasi menggunakan cara *trial and error* (coba dan ralat) dengan menggunakan fungsi *solver* pada *Microsoft Office Excel*.

Adapun hasil dari kalibrasi parameter Model Mock pada Tahun 2016-2020 terdapat pada Tabel berikut .

Tabel 1. Nilai Parameter Mock

Parameter	Simbol	Satuan	Nilai	Hasil Kalibrasi				
				2016	2017	2018	2019	2020
Faktor m	m	%	0 -50	14	14	14	14	14
Percentage Factor	PF	%	5-30	15	10	10	10	19
Initial Soil Moisture	ISM	mm	50-250	250	158	189	250	50
Soil Moisture Capacity	SMC	mm	50-200	50	150	102	50	154
Koefisien Infiltrasi	i		0-1	0,525	0,379	0,371	0,450	0,450
Faktor resesi air tanah	k		0-1	0,605	0,577	0,948	0,700	0,997

Sumber : Hasil Perhitungan (2022)

Parameter pada Tabel 1 merupakan hasil kalibrasi menggunakan fungsi solver untuk melihat nilai parameter yang paling optimum dan paling mendekati antara debit observasi dengan debit perhitungan. Parameter yang optimum jika ketika koefisien korelasi (R) >

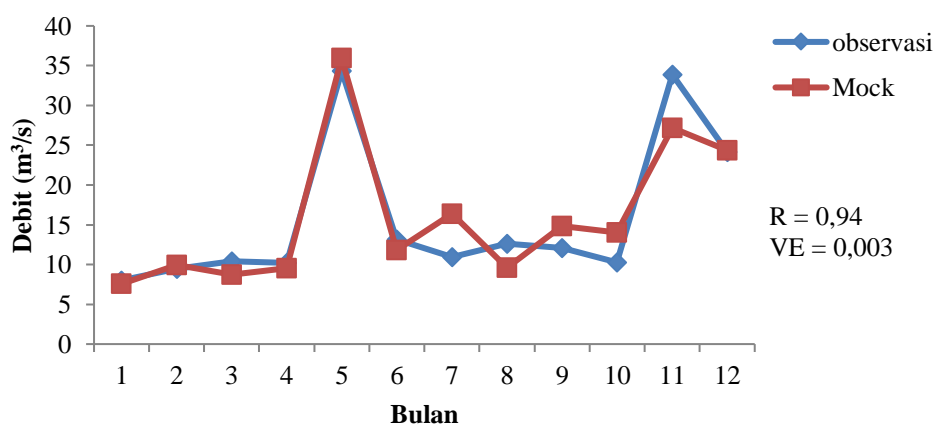


0,75 dan  $VE < 0,1$ . Hasil dari nilai Koefisien Korelasi (R) dan *Volume Error* (VE) untuk setiap tahunnya terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai R dan VE

Nilai	Tahun				
	2016	2017	2018	2019	2020
R	0,69	0,72	0,82	0,84	0,94
VE	0,001	0,003	0,001	0,006	0,003

Perbandingan debit observasi dengan debit model F.J Mock pada DAS Krueng Aceh tahun 2020 terlihat pada gambar berikut



Gambar 9. Perbandingan debit observasi dengan debit model F.J Mock pada DAS Krueng Aceh tahun 2020

Terlihat pada Gambar 15 bahwa berdasarkan hasil kalibrasi diperoleh nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,94 dan *volume error* (VE) sebesar 0,003. Nilai tersebut menunjukkan hubungan yang sangat baik antara debit mock dan debit observasi, dimana rata-rata nilai debit observasi dengan debit mock tidak berbeda jauh. Dari Gambar 14 terlihat debit bulanan tertinggi pada DAS Krueng Aceh Tahun 2020 terjadi pada bulan Mei, yaitu sebesar 35,94 m<sup>3</sup>/s. Sedangkan yang terendah terjadi pada bulan Januari, yaitu sebesar 7,57 m<sup>3</sup>/s.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa data curah hujan, evapotranspirasi dan debit DAS dihitung menggunakan metode F.J Mock, didapat ketersediaan air di DAS Krueng Aceh Tahun 2020 sebesar 5.989,99 juta m<sup>3</sup>/tahun.

### DAFTAR PUSTAKA

- Admadhani, D. N., Tunggul, A., Haji, S., Susanawati, D. 2012. Analysis of Water Supply and Water Demand for Carrying Capacity Assessment ( Case Study of Malang ). Jurnal Suberdaya Alam Dan Lingkungan, 13–20.
- Ako, A., A. 2010. Water resources management and integrated water resources management (IWRM) in Cameroon. Water Resources Manage. 24(4): 871-888.
- Azmeri. 2016. Alokasi Air Baku dan Irigasi dalam Menghadapi Musim Kering pada DAS Tiro-Provinsi Aceh. Konferensi Nasional Teknik Sipil, Hal : 401-410.
- Bancin, A. A., Jayanti, D. S., Ferijal, T. 2015. Efisiensi Penyaluran Air Irigasi BKA Kn 16 Lam Raya Daerah Irigasi Krueng Aceh. Jurnal Rona Teknik Pertanian. 8(1).

- Bappenas (Badan Perencanaan Pembangunan Nasional), 2006. Identifikasi Masalah Pengelolaan Sumber Daya Air di Pulau Jawa. Prakarsa Strategis Pengelolaan Sumber Daya Air Mengatasi Banjir dan Kekeringan di Pulau Jawa. Buku 2, Laporan Akhir.
- Darwin, Syahrul, Basri, H. 2021. Analisis Karakteristik Hidrologi DAS Krueng Aceh, Provinsi Aceh (Studi Kasus Sub DAS Krueng Jreu dan Sub DAS Krueng Khea). 14(April), 58–72.
- Ditjen Sumber Daya Air. 2012. Surat Edaran Dirjen Sumber Daya Air tentang Penyusunan Neraca Air dan Penyelenggaraan Alokasi Air.
- Fitria, R. 2020. Analisis Neraca Air DAS Krueng Manggeng. Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian, Vol. 5, No. 1.
- Ferijal, T., Jayanti, D. S. 2016. Dampak Perubahan Iklim Terhadap Debit Andalan Sungai Krueng Aceh. 9(April), 50–61.
- Hadisusanto, N. 2011. Aplikasi Hidrologi. Jogja Media Utama. Yogyakarta.
- Jaya, Barly. 2016. Analisis Ketersediaan Air Terhadap Kebutuhan Air Pada DAS Percut Untuk Memenuhi Kebutuhan Air Bersih Di Kabupaten Deli Serdang, USU. Medan.
- Kadir, R. 2010. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Sungai Marimpa Kecamatan Pinembani. Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako. Palu.
- Pelatihan, P. P. dan Konstruksi, S. D. A. 2017. Modul Hidrologi, Kebutuhan dan Ketersediaan air. Kementerian PUPR (Vol. 5).
- Pemerintah Republik Indonesia. 2019. Undang-undang (UU) Nomor 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air. In Jdih Bpk Ri Database Peraturan (Issue 011594). <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/122742/uu-no-17-tahun-2019>.
- Pratiwi, B. S. 2014. Studi Komparasi Debit Andalan Metode Flow Characteristic dan Basic Year di Daerah Aliran Sungai Lusi. Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Darul Ulum Islamic Centre Sudirman GUPPI (UNDARIS). Jawa Tengah.
- Priyonugroho, A. 2014. Analisis Kebutuhan Air Irigasi ( Studi Kasus Pada Daerah Irigasi Sungai Air Keban Daerah Kabupaten Empat Lawang ). Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan, 2(3), 457–470.
- Satriyo, P. 2018. Analisis Daya Dukung DAS Berdasarkan Jejak Air untuk Pengelolaan DAS Krueng Aceh. Institut Pertanian Bogor, Bogor.