

Peramalan Keseimbangan Air (Water Balance) untuk Manajemen Sumber Daya Air di DAS Sungai Rejoso Kabupaten Pasuruan, Jawa Timur

Bagas Yoga Pratama^{1,*}, Umboro Lasminto¹, Nadjadji Anwar¹

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya¹

Koresponden*, Email: bagastama035@gmail.com

| | Info Artikel | Abstract |
|------------|------------------|---|
| Diajukan | 07 Desember 2021 | <i>Changes in a watershed (DAS) are rapidly increasing year by year. Reduced water absorption might potentially upset the water resource balance. As a result, the study's goal is to anticipate water resource availability for the next 30 years and serve as a baseline for water balance forecasting. The approach utilized is to study the water demand, such as utilizing a formula in Microsoft Excel to generate data and applying the procedure in SNI 19-6728.1-2002 to calculate the discharge need. There are three Cropping Patterns schemes in the irrigation study, hence Cropwat 8.0 was used. There are various ways for determining the availability of water. The Arithmetic Method and the Thomas Fiering Method are the two ways. HEC-HMS 4.8 includes the RMSE and NASH methods. The second pattern (Palawija2(crops planted as the 2nd crop in dry season)-Paddy-Palawija1) with the fourth plan, which is a 195 % surplus is suggested in this study.</i> |
| Diperbaiki | 11 Februari 2022 | |
| Disetujui | 11 Februari 2022 | |

Keywords: Rejoso River, Water Balance, RMSE, NASH, HEC-HMS

Abstrak

Perubahan dalam suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) semakin bertambahnya tahun maka semakin cepat. Berkurangnya resapan air juga dapat mengganggu keseimbangan sumberdaya air. Oleh karena itu, tujuan studi untuk memperkirakan ketersediaan sumber daya air 30 tahun kedepan dan menjadi acuan dasar peramalan keseimbangan air. Metode yang dilakukan analisa kebutuhan air, seperti metode pembangkitan data dengan formula pada *Microsoft Excel* dan menghitung kebutuhan debitnya menggunakan metode di SNI 19-6728.1-2002. Analisa irigasi terdapat tiga skema Pola Tata Tanam, sehingga menggunakan *Cropwat 8.0*. Analisa ketersediaan air ada beberapa metode yang akan digunakan. Metode tersebut yaitu Metode Aritmatika dan Metode *Thomas Fiering*. Metode *RMSE* dan metode *NASH* terdapat dalam *HEC-HMS 4.8*. Studi ini memberi saran untuk menggunakan Pola ke-2 (Palawija2-Padi-Palawija1) dengan skema ke-4 dengan surplus sebesar 195%.

Kata kunci: sungai Rejoso, keseimbangan air, *RMSE*, *NASH*, *HEC-HMS*

1. Pendahuluan

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu area yang memiliki batas-batas berupa punggung-punggung gunung/pegunungan sehingga air hujan akan mengalir menuju sungai utama pada suatu titik/stasiun yang dijadikan tinjauan [1]. Penentuan batas DAS dapat berdasarkan peta kontur atau *Digital Elevation Modelling* (DEM) serta berdasarkan bangunan infrastruktur lainnya seperti jalan raya, jalan rel kereta api dan lain sebagainya. Sehingga menjadikan DAS sebagai sumber pemenuhan kebutuhan air bagi masyarakat [2]. DAS Sungai Rejoso termasuk kategori DAS *mean scale watershed* (menengah) $10 < A < 1.000 \text{ Km}^2$ [3]. Memiliki luas 134,584 km² dengan panjang sungai utama 33,153 km. Perkembangan dan perubahan tata guna lahan tersebut sangatlah mempengaruhi perubahan koefisien limpasan air permukaan. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Pasuruan kondisi jumlah penduduk tahun 2020

berjumlah 1.605.969 jiwa dengan mengalami laju pertumbuhan penduduk sebesar 0,58% selama 10 dekade terakhir (2010-2020). Jika dengan tata kelola yang dibiarkan secara terus menerus lama-kelamaan debitnya akan hilang. Semisal semua berubah menjadi lahan perkotaan semua atau daerah terbangun sehingga area resapan air menjadi berkurang, maka hal ini sangat penting sekali untuk dikelola. Tindakan meminimalisir koefisien *runoff* (limpasan air permukaan) sangat diperlukan. Seperti mengontrol kondisi tutupan lahan (hutan) supaya perubahan tidak terlalu drastis. Dengan adanya kondisi seperti ini, debit di musim kemarau tidak menjadi berkurang hampir 40% yang mengakibatkan defisit besar di musim kemarau. Kurangnya pemahaman tentang konsep *water balance* (keseimbangan air) di beberapa lingkup masyarakat sekitar DAS Sungai Rejoso Kabupaten Pasuruan berdampak pada pola manajemen sumberdaya air. Pentingnya memahami beban kebutuhan dalam manajemen sumberdaya air baik kebutuhan air domestik, non-domestik

dan kehilangan air. Kebutuhan domestik yaitu suatu kebutuhan air untuk memenuhi kebutuhan rumah. Sedangkan non-domestik yaitu kebutuhan air yang akan digunakan selain untuk keperluan di dalam rumah [4]. Seperti tempat ibadah, sekolah/area pendidikan, kantor kecamatan, kantor kelurahan dan fasilitas umum lainnya. Kebutuhan lainnya seperti pertanian/perkebunan pada daerah irigasi juga dipertimbangkan debit kebutuhannya. Selain itu, peternakan dan bidang industri ikut dipertimbangkan untuk mendapatkan ketersediaan air. Oleh karena itu pengelolaan sumberdaya air dalam hal *water balance* (keseimbangan air) sangatlah penting dan juga tidak boleh dibiarkan jika tidak ingin mendapatkan masalah dikemudian hari. Keseimbangan air adalah proses analisis yang menggambarkan tentang penggunaan sumber daya air pada suatu daerah yang ditinjau berdasarkan pada suatu perbandingan antara kebutuhan dan ketersediaan air [5]. Jika suatu daerah yang tidak ada/dilakukan manajemen yang baik maka ketika musim hujan malah kelebihan air dan ketika musim kemarau justru tidak ada air. Maka daerah seperti ini tidak baik, tidak bisa teratur. Jadi perlu dilakukan studi mengenai keseimbangan air supaya dimusim hujan air itu bisa di tampung dan dimusim kemarau tetap bisa digunakan sesuai kebutuhan. Karena hal ini sebagai dasar *forcest* (peramalan) ketersediaan sumberdaya air dengan mempertimbangkan kebutuhan masyarakat di sekitar DAS Sungai Rejoso, Kabupaten Pasuruan Jawa Timur. Sehingga disusunlah *Gap Analysis* (Analisa Kesenjangan).

Kondisi eksiting yang ada dilokasi adalah jumlah tuntutan debit kebutuhan masyarakat di DAS Sungai Rejoso berubah-ubah seiring pertumbuhan proyeksi penduduk, sehingga mempengaruhi perubahan kondisi tata guna lahan di DAS Sungai Rejoso yang terus berkembang dengan cepat, tetapi kegiatan evaluasi dan pengembangan terhadap pola tata tanam bidang irigasi masih jarang dilakukan, sehingga belum diketahui rencana tindakan-tindakan masyarakat untuk manajemen sumberdaya air untuk keperluan masa depan.

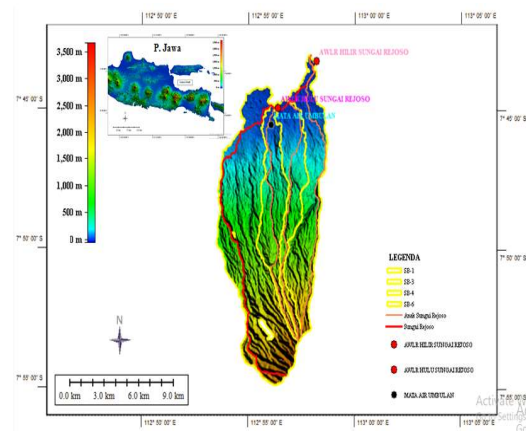
Kondisi ideal yang diinginkan adalah proyeksi pertumbuhan penduduk berkembang pesat sehingga jumlah tuntutan debit kebutuhan seperti domestik, non-domestik, ternak dan industri bisa lebih dikontrol. Sehingga dengan terjadinya hal tersebut, perubahan yang sangat cepat pada tata guna lahan di area DAS Sungai Rejoso juga dapat disesuaikan dengan jumlah tuntutan debit kebutuhan. Selain itu Pola Tata Tanam eksisting dapat di evaluasi dan dikembangkan seiring perubahan tata guna lahan tersebut. Sehingga, tindakan nyata yang nantinya dilakukan oleh masyarakat setempat sebagai dasar dalam pengelolaan dan pe-

ngembangan sumber daya air di DAS Sungai Rejoso lebih jelas dan tepat.

Berdasarkan analisa kesenjangan tersebut, maka solusi dalam kajian ini adalah analisa ketersediaan sumber air dari berbagai aspek dengan memanfaatkan kondisi eksisting, seperti: kebutuhan domestik, non-domestik, industri, peternakan dan irigasi dengan mempertimbangkan perkembangan tata guna lahan serta memberikan saran terkait penggunaan pola tata tanam irigasi agar tindakan masyarakat untuk manajemen sumberdaya air untuk keperluan selama 30 tahun kedepan bisa lebih tepat. Sehingga nantinya secara otomatis dalam pengambilan suatu tindakan untuk manajemen sumber air tidak menjadi masalah dikemudian hari.

2. Lokasi

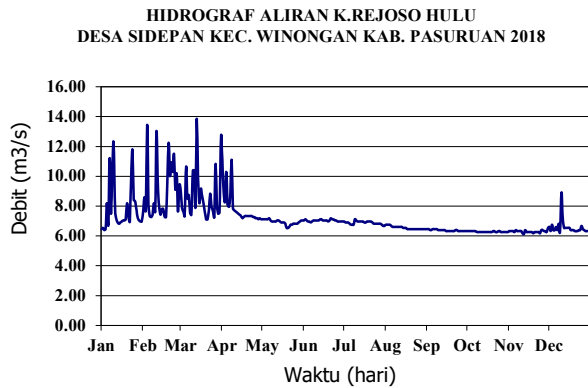
Secara administrasi lokasi penelitian ini meliputi beberapa kecamatan dilingkup DAS Sungai Rejoso, yaitu: Kecamatan Tosari, Puspo, Pasrepan, Lumbang, Winongan. Secara Geografis DAS Sungai Rejoso terletak pada $112^{\circ} 53' 27,6''$ hingga $112^{\circ} 58' 48''$ Bujur Timur dan antara $7^{\circ} 43' 1,2''$ hingga $7^{\circ} 54' 50,4''$ Lintang Selatan. DAS Rejoso tersebut memiliki 3 (tiga) Stasiun Hujan yang berpengaruh, yaitu: Sidepan, Winongan dan Lumbang.



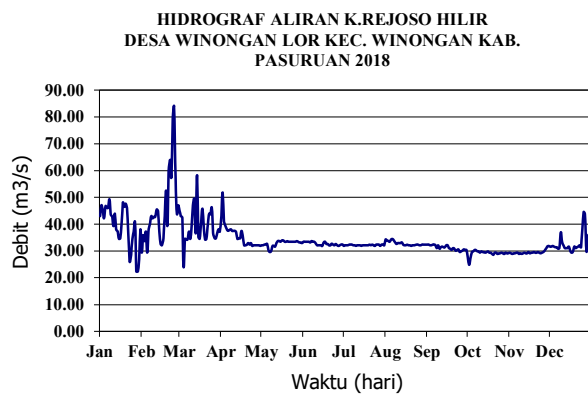
Gambar 1. Peta Topografi DAS Sungai Rejoso, Kab. Pasuruan, Jawa Timur.

DAS Sungai Rejoso Kabupaten Pasuruan memiliki 2 (dua) *Automatic Water Level Recorder* (AWLR). Posisi AWLR tersebut berada di Ds. Winongan kecamatan Winongan AWLR tersebut berada di bagian hilir Sungai Rejoso. Selain itu juga terdapat AWLR yang berada di Ds. Sidepan, Kecamatan Winongan. Seperti yang terdapat pada **Gambar 2. (a) dan (b)** di Kecamatan tersebut terdapat penambahan debit dari Mata Air Umbulan guna keperluan air minum dan air bersih (debit ketersediaan). Akan tetapi pada proses kajian wilayah studi ini hanya menggunakan

debit AWLR Hilir sebagai titik kontrol debit dari Sungai Rejoso.



(a)



(b)

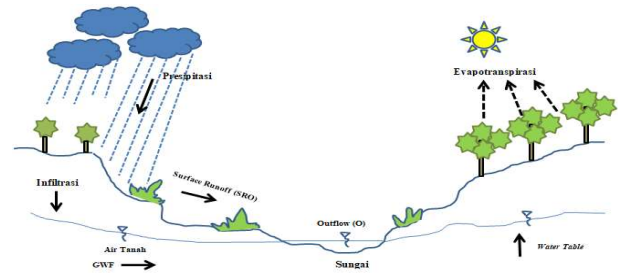
Gambar 2. Stasiun Pengukuran AWLR Hulu pada koordinat 07°44'59" LS; 112°56'24" BT (a.) dan Stasiun Pengukuran AWLR Hilir (b.) pada koordinat 07°43'17" LS; 112°58'11" BT.

Berdasarkan **Gambar 2. (a) dan (b)** menunjukkan salah satu contoh debit yang terjadi pada tahun 2018 di AWLR Hulu dan Hilir. Pada **Gambar 2 (a)**, debit puncak yang terjadi sekitar Bulan Maret-April yaitu sebesar 14 m³/detik dan terjadi debit yang konstan pada Bulan September-Desember yaitu berada diantara 6-7 m³/detik. Sedangkan Pada **Gambar 2 (b)**, debit puncak yang terjadi sekitar Bulan Februari-Maret yaitu sebesar 85 m³/detik dan terjadi debit yang konstan pada Bulan September-Desember yaitu sebesar 30 m³/detik.

3. Metode

3.1 Tinjauan Parameter

Dalam studi ini mempertimbangkan konsep dasar keseimbangan air. Karena nantinya akan dikembangkan menjadi lebih detail persamaannya.



Gambar 3. Sketsa Siklus Water Balance pada DAS

Dari **Gambar 3** menjelaskan bahwa debit *inflow* (I) dijabarkan kedalam beberapa komponen yaitu: *Ground water flow* (GWF), *Surface Runoff* (SRO), dan Presipitasi/hujan (P) sebelum pada nantinya dikurangi dengan Evaporasi (E) dan *outflow* (O). sehingga akan menjadi bentuk persamaan 1 dan 2.

$$\Delta S = I - O \tag{1}$$

$$\Delta S = SRO + GWF + P - (E + O) \tag{2}$$

Terkait dengan *outflow* (O), jenis debit kebutuhan seperti Domestik, Non-Domestik, Kebutuhan ternak, Kebutuhan Industri dan Kebutuhan Irigasi. Sehingga persamaan 3 dari SNI 19-6728.1-2002 [6] yang nantinya di sesuaikan.

$$Q = 365 \text{ hari} \times \left\{ \frac{q(u)}{1000} \times P(u) + \frac{q(r)}{1000} \times P(r) \right\} \tag{3}$$

dengan:

- Q = adalah kebutuhan air (m³/tahun)
- q (u) = adalah konsumsi air pada daerah perkotaan (liter/kapita/hari)
- q (r) = adalah konsumsi air pada daerah pedesaan (liter/kapita/hari)
- P (u) = adalah jumlah penduduk kota
- P (r) = adalah jumlah penduduk pedesaan

Adapun beberapa parameter-parameter untuk mensimulasikan debit kebutuhan dalam aplikasi *Cropwat 8.0*, *HEC-HMS 4.8* dan debit ketersediaan dengan analisis Pembangkitan debit AWLR Hilir.

3.2 Simulasi Cropwat 8.0

Untuk mensimulasikan *Cropwat 8.0* dalam studi ini diperlukan perhitungan rerata data selama 10 tahunan. Data-

data tersebut seperti Data Curah Hujan (*Rain*) dan Data Klimatologi (*Climate/Eto*) seperti: Suhu, Kelembaban, Penyinaran, dan Kecepatan Angin. Selain itu, ada juga data-data tambahan seperti: *Crop* (jenis tanaman) dan *Soil* (jenis tanah). Untuk perhitungan nilai ET_0 menggunakan persamaan Penman-Monteith. Karena diyakini persamaan tersebut paling andal dan mendekati nilai ET_0 [7]. Persamaan 4 merupakan perhitungan nilai dari ET_0 .

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (4)$$

dimana:

- ET_0 = *reference evapotranspiration (mm/day)*
 R_n = *net radiation at the crop surface (MJ/m²/day)*
 G = *Soil heat flux density (MJ/m²/day)*
 T = *mean daily air temperature at 2 m height (°C)*
 u_2 = *wind speed at 2 m height (m/s)*
 e_s = *saturation vapour pressure (kPa)*
 e_a = *actual vapour pressure (kPa)*
 $e_s - e_a$ = *saturation vapour pressure deficit (kPa)*
 Δ = *slope vapour pressure curve*
 γ = *psychrometric constant (kPa/°C)*

Persamaan (4) merupakan rekomendasi dari *Food and Agriculture Organization* (FAO). Sehingga tersedia di *option* pada *Cropwat 8.0*. kemudian untuk pengolahan data hujan pada perhitungan curah hujan efektif menggunakan metode *Fixed Percentage* sebesar 80%. Artinya rerata hujan 10 tahun terakhir akan diperhitungkan sebesar 80% saja. Sehingga perhitungan hujan efektif dapat dihitung dengan persamaan 5.

$$P_{eff} = Fp \times P \quad (5)$$

dengan :

- P_{eff} = Curah Hujan Efektif (mm)
 Fp = *Fixed Percentage* (%)
 P = Curah Hujan (mm)

3.3 Permodelan HEC-HMS 4.8

Kemudian untuk simulasi HEC-HMS 4.8 terkait studi ini adalah menggunakan metode SCS. Kelebihan daripada metode ini adalah lebih stabil, terukur dan sederhana [8]. Adapun parameter-parameter yang harus dipertimbangkan seperti: *Initial Abstraction*, *impervious*, dan *Curve Number* (CN). Dalam perhitungan nilai CN sangat memperhatikan perkembangan tutupan lahan atau tata guna lahan karena

akan berpengaruh pada besarnya *runoff*. Nilai CN rerata dihitung menggunakan persamaan (6).

$$CN_{composite} = \frac{\sum A_i \times CN_i}{\sum A_i} \quad (6)$$

dengan :

- $CN_{composite}$ = Nilai CN berdasarkan tutupan lahan
 CN_i = Nilai CN dari jenis tutupan lahan ke-i
 A = Luas Sub DAS

Bekaitan dengan kondisi tutupan lahan sehingga dapat mengubah nilai *Initial abstraction* (I_a) berdasarkan nilai S . Nilai kemampuan penyimpanan ini dengan karakteristik DAS dapat diwakili dengan nilai CN. Seperti pada persamaan 7 dan 8.

$$S = \frac{1000 - 10CN}{CN} \text{ (English Unit)} \quad (7)$$

$$S = \frac{25400 - 254C}{CN} \text{ (SI)} \quad (8)$$

Sehingga nilai S tersebut disubstitusikan ke dalam persamaan (9)

$$I_a = 0,2S \quad (9)$$

Parameter inti yang dibutuhkan adalah *Lag Time* (tenggang waktu) yaitu tenggang waktu yang diperlukan selama *Over Land Flow*. Sehingga dapat menggunakan persamaan 10.

$$t_L = \frac{L_0^{0,8} \times (S+1)^{0,7}}{1900 \times Y^{0,5}} \quad (10)$$

dimana :

- t_L = *Lag Time (Hour)*
 L_0 = *Panjang over land flow (ft)*
 S = *Retensi maksimum (inch)* => $1000/CN - 10$
 Y = *Kemiringan dasar*
 CN = *Nilai Curve Number*

Untuk nilai L_0 , dapat dihitung dengan persamaan 11, menggunakan luas *Subbasin* dan *Longest flowpath Length*.

$$L_0 = \frac{A}{2L} \quad (11)$$

dimana:

- L_0 = *Panjang over land flow (Km)*
 A = *Luas Subbasin (Km²)*
 L = *Longest flowpath Length (Km)*

3.4 Analisis Debit Ketersediaan

Untuk pembangkitan debit Ketersediaan AWLR menggunakan metode Thomas Fiering. Sehingga menjadi persamaan 12.

$$Q_{i+1} = \bar{Q}_{i+1} + b_i(Q_i - \bar{Q}_i) + e_i S_{i+1} \sqrt{1 - r_i^2} \quad (12)$$

Dimana nilai regresi (b) dijelaskan pada persamaan 13

$$b = r_i \left[\frac{S_{i+1}}{S_i} \right] \quad (13)$$

dimana:

- Q = Debit Bulanan (m³/detik)
- i = Indeks, dari 1 sampai 12
- r = Koefisien korelasi debit bulan ke-i dan bulan ke i+1
- S = Standard Deviasi
- b = Nilai Regressi
- e = Bilangan acak, biasanya merupakan variabel bebas berdistribusi normal dengan nilai Standart deviasi ≤ 1 dan Rata-ratanya ≤ 0

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Simulasi Cropwat 8.0

Berdasarkan rerata data Klimatologi selama 10 tahun terakhir (2010-2019) yang ditinjau setiap bulan. Data Klimatologi tersebut didapatkan dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Data tersebut seperti (suhu, kelembaban, lama penyinaran, kecepatan angin, arah angin dan lain sebagainya). Sehingga dari data-data tersebut kemudian di seleksi sesuai kebutuhan pada aplikasi Cropwat 8.0. Data-data yang dibutuhkan dalam aplikasi Cropwat 8.0 seperti : Data Suhu Maksimum, Data Suhu Minimum, Data Kelembaban, Data Angin dan Data Lama Penyinaran. Aplikasi tersebut merupakan rekomendasi dari Food and Agricultural Organization (FAO). Sehingga sangat tepat bila digunakan dalam analisis debit kebutuhan Irigasi. Karena dalam proses analisis irigasi diperlukan nilai ET₀, maka aplikasi Cropwat 8.0 ini akan memperhitungkan secara otomatis. Selain itu, aplikasi tersebut juga mampu menghitung secara otomatis kebutuhan air guna irigasi berdasarkan penjadwalan tanam. **Tabel 2** adalah hasil nilai ET₀ yang telah di hitung otomatis berdasarkan data klimatologi dari **Tabel 1**.

Dengan input data-data klimatologi seperti *Temperature* (suhu), *Humidity* (kelembaban), *wind* (Angin) dan *Sun* (Lama Penyinaran) maka nilai *Rad* (radiasi) dan ET₀ dapat dihitung secara otomatis. Sedangkan berdasarkan rerata data hujan selama 10 tahun terakhir (2010-2019) telah menghasilkan curah hujan efektif seperti **Tabel 3**.

Tabel 1 Data Klimatologi 1

| Negara : | Indonesia | | |
|------------|--------------------|---------------|------------|
| Stasiun : | Geofisika Pasuruan | | |
| Altitude : | 832 | m | |
| Bulan | Suhu Minimal | Suhu Maksimal | Kelembaban |
| | °C | °C | % |
| Januari | 14,3 | 20,1 | 64 |
| Februari | 15,5 | 22,1 | 73 |
| Maret | 15,1 | 21,5 | 70 |
| April | 14,6 | 22,0 | 68 |
| Mei | 14,8 | 22,6 | 68 |
| Juni | 14,4 | 22,7 | 77 |
| Juli | 13,8 | 21,3 | 72 |
| Agustus | 13,5 | 22,2 | 71 |
| September | 13,6 | 22,5 | 61 |
| Oktober | 15,9 | 25,5 | 66 |
| November | 17,0 | 26,2 | 73 |
| Desember | 17,0 | 24,1 | 77 |
| Rata-Rata | 15,0 | 22,7 | 70 |

Tabel 2 Data Klimatologi 2

| Latitude : | 7,70 | °S | | |
|------------|---------|------------|-------------------------|---------|
| Longitude: | 112,60 | °E | | |
| Bulan | Angin | Penyinaran | Radiasi | Eto |
| | Km/Hari | Jam | MJ/m ² /Hari | mm/Hari |
| Januari | 72 | 0,8 | 11,0 | 2,49 |
| Februari | 63 | 0,8 | 12,3 | 2,55 |
| Maret | 58 | 1,6 | 12,0 | 2,50 |
| April | 69 | 1,6 | 12,8 | 2,59 |
| Mei | 85 | 2,7 | 12,5 | 2,57 |
| Juni | 93 | 3,3 | 12,1 | 2,38 |
| Juli | 103 | 3,5 | 12,8 | 2,51 |
| Agustus | 102 | 3,8 | 14,1 | 2,77 |
| September | 113 | 4,0 | 16,0 | 3,29 |
| Oktober | 119 | 4,5 | 16,7 | 3,59 |
| November | 85 | 3,0 | 14,4 | 3,15 |
| Desember | 49 | 1,0 | 11,2 | 2,51 |
| Rata-Rata | 84 | 2,9 | 13,2 | 2,74 |

Menggunakan metode *fixed percentage* sebesar 80 % maka hujan efektif yang akan digunakan sudah secara

otomatis terhitung. Luas daerah irigasi di wilayah studi pada DAS Sungai Rejoso didapatkan sebesar 2.343 Hektar. Dengan 3 (tiga) skema pola Tata Tanam (PTT) didapatkan debit masing-masing selama 1 tahun :

- PTT 1 (Padi-Palawija 1-Palawija 2) : 9.372 L/detik
- PTT 2 (Palawija 2-Padi-Palawija 1) : 8.833 L/detik
- PTT 3 (Palawija 1-Palawija 2-Padi) : 9.138 L/detik

Tabel 3 Hujan Efektif

| Stasiun | : PSDA Pasuruan | |
|----------------------|---------------------------|---------------------|
| Metode Hujan Efektif | : <i>Fixed Percentage</i> | |
| Bulan | Hujan mm | Hujan Efektif mm |
| Januari | 7,3 | 5,8 |
| Februari | 6,5 | 5,2 |
| Maret | 6,2 | 5,0 |
| April | 4,2 | 3,4 |
| Mei | 2,6 | 2,1 |
| Juni | 1,4 | 1,1 |
| Juli | 0,5 | 0,4 |
| Agustus | 0,1 | 0,1 |
| September | 0,3 | 0,2 |
| Oktober | 0,9 | 0,7 |
| November | 2,8 | 2,2 |
| Desember | 5,0 | 4,0 |
| Total | 37,8 | 30,2 |

Pada proses analisa nantinya debit pada Pola Tata Tanam (PTT) diasumsikan konstan selama 30 tahun kedepan. Hal tersebut dilakukan serta menjadi variabel tetap, agar perkembangan debit kebutuhan dan ketersediaan lebih mudah untuk di kontrol. Sehingga dengan demikian nantinya tujuan daripada manajemen sumber daya air oleh masyarakat sekitar dapat diambil tindakan yang tepat. Oleh karena itu disusunlah rincian debit irigasi seperti **Tabel 4**. Debit tersebut akan diasumsikan konstan terjadi selama 30 tahun kedepan karena ini sebagai dasar acuan untuk pengembangan debit irigasi selanjutnya.

4.2 Debit Kebutuhan

Analisa proses perhitungan debit kebutuhan didalamnya melibatkan kebutuhan domestik, non-domestik, peternakan, irigasi dan Industri. Data kebutuhan debit telah di

bangkitkan menggunakan formula “=*trend*” dalam *Microsoft Excel*. Untuk hasilnya, seperti pada **Tabel 5**.

Tabel 4 Debit Kebutuhan Bidang Pertanian

| Tahun | Pertanian (Liter/Detik) | | |
|-------|-------------------------|----------|----------|
| | PTT ke-1 | PTT ke-2 | PTT ke-3 |
| 2015 | 9.372 | 8.833 | 9.138 |
| 2020 | 9.372 | 8.833 | 9.138 |
| 2025 | 9.372 | 8.833 | 9.138 |
| 2030 | 9.372 | 8.833 | 9.138 |
| 2035 | 9.372 | 8.833 | 9.138 |
| 2040 | 9.372 | 8.833 | 9.138 |
| 2045 | 9.372 | 8.833 | 9.138 |
| 2050 | 9.372 | 8.833 | 9.138 |

Tabel 5 Debit Kebutuhan (Liter/Detik) Berdasarkan Bidangannya

| Tahun | Domestik | Non-Domestik | Peternakan | Industri |
|-------|----------|--------------|------------|----------|
| 2015 | 120.796 | 9.958 | 22.340 | 1.561 |
| 2020 | 123.757 | 11.296 | 25.131 | 1.597 |
| 2025 | 144.13 | 10.271 | 27.495 | 1.658 |
| 2030 | 155.543 | 10.264 | 30.065 | 1.719 |
| 2035 | 165.357 | 10.336 | 32.618 | 1.782 |
| 2040 | 175.058 | 10.377 | 35.174 | 1.844 |
| 2045 | 185.521 | 10.441 | 37.730 | 1.906 |
| 2050 | 195.548 | 10.497 | 40.288 | 1.968 |

Berdasarkan **Tabel 4** debit digabungkan antara hasil Pola Tata Tanam (PTT) bidang irigasi dengan Debit Kebutuhan secara keseluruhan di total. Jadi misalkan, debit hasil PTT ke-1 ditambah dengan seluruh Debit Kebutuhan. Debit Kebutuhan pada **Tabel 5** yaitu: Domestik, Non-Domestik, Peternakan dan Industri. Untuk perhitungan debit total pada PTT ke-2 dan PTT ke- juga sama dengan PTT ke-1. Maka debit kebutuhan menjadi disajikan seperti pada **Tabel 6**. Terdapat Total ke-1, Total ke-2 dan Total ke-3 yang berasal dari Pola Tata Tanam (PTT ke-), Pola Tata Tanam (PTT ke-2) dan Pola Tata Tanam (PTT ke-).

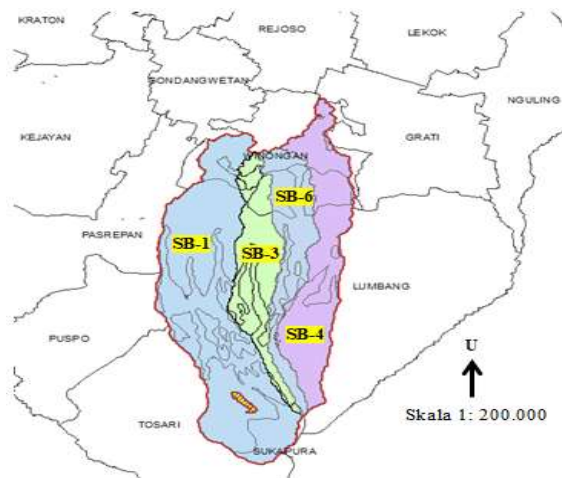
Untuk Debit Total ke-1 artinya seluruh debit kebutuhan di masing-masing bidang termasuk Domestik, non-domestik, Peternakan dan Industri ditambah dengan Debit Kebutuhan Irigasi pada Pola Tata Tanam (PTT) ke- 1. Begitu juga sama untuk Total ke-2 dan Total ke-3, Pola Tata Tanamnya menyesuaikan.

Tabel 6 Total Debit Kebutuhan (Liter/Detik)

| Tahun | Total ke-1 | Total ke-2 | Total ke-3 |
|-------|------------|------------|------------|
| 2015 | 9.527 | 8.988 | 9.292 |
| 2020 | 9.534 | 8.995 | 9.299 |
| 2025 | 9.556 | 9.017 | 9.321 |
| 2030 | 9.57 | 9.031 | 9.335 |
| 2035 | 9.582 | 9.043 | 9.348 |
| 2040 | 9.594 | 9.056 | 9.36 |
| 2045 | 9.608 | 9.069 | 9.373 |
| 2050 | 9.62 | 9.081 | 9.386 |

4.3 Akurasi Hujan Debit

Proses analisa akurasi hujan debit ini di modelkan menggunakan aplikasi *HEC-HMS 4.8*. **Gambar 4** merupakan pembagian *Subbasin/Sub DAS* pada DAS Sungai Rejoso untuk proses identifikasi nilai *Curve Number (CN)*.



Gambar 4 Peta Pembagian *Subbasin/Sub DAS* pada DAS Sungai Rejoso

Hujan debit yang terjadi nantinya akan di validasi secara otomatis sehingga menghasilkan nilai *RMSE* dan *NASH*. Karena setiap tutupan lahan berbeda, tentunya memiliki nilai *CN* yang berbeda, maka dikategorikan seperti : Hutan Lahan Kering Sekunder, Pertanian Lahan Kering, Hutan Tanaman Industri (HTI), Sawah dan Permukiman. **Tabel 7** merupakan hasil analisa nilai *CN* berdasarkan luasan pada *Subbasin/sub DAS*-nya.

Luas pada setiap *subbasin* akan menghasilkan komposisi nilai *CN* yang berbeda-beda. Sehingga nantinya akan mempengaruhi perhitungan nilai *Lag Time* (Tenggang Waktu) baik pada *Subbasin* maupun *Reach*-nya. Pada **Tabel 8**.

Terdapat nilai *Lag Time* pada masing-masing *subbasin* dan *Reach*.

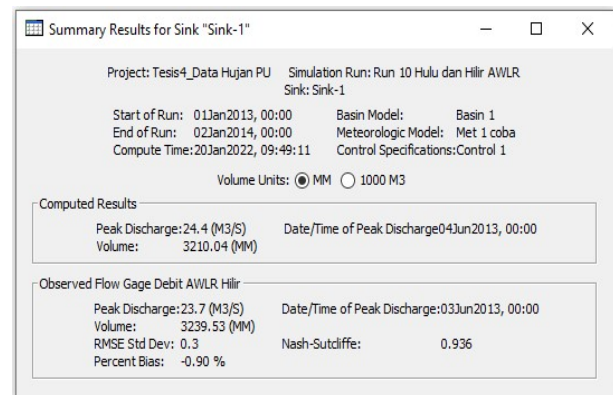
Tabel 7. Analisa Nilai *CN* pada Sub DAS Sungai Rejoso

| <i>Subbasin</i> | Luas Sub DAS (Km ²) | <i>CN</i> |
|-----------------|---------------------------------|-----------|
| SB-1 | 63,448 | 67,174 |
| SB-3 | 20,875 | 65,990 |
| SB-6 | 19,198 | 64,567 |
| SB-4 | 31,064 | 64,253 |

Tabel 8. Nilai *Lag Time (Tg)* pada Subbasin dan Reach di DAS Sungai Rejoso

| Subbasin/Reach ke- | Nilai <i>Lag Time</i> (Menit) | |
|--------------------|-------------------------------|--------------|
| | <i>Subbasin</i> | <i>Reach</i> |
| 1/4 | 261,980 | 2785,773 |
| 3/3 | 123,880 | 2656,525 |
| 6/2 | 118,633 | 2089,614 |
| 4/1 | 150,106 | 262,560 |

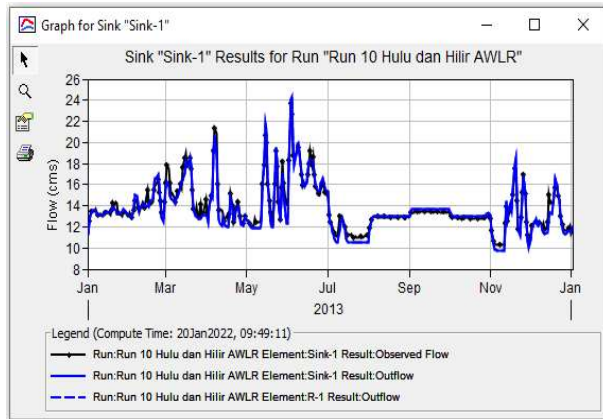
Dilakukan proses simulasi dengan data hujan dan debit dengan periode 1 Januari 2013 Pukul 00:00 sampai dengan 02 Januari 2014 Pukul 00:00. Periode simulasi terbatas dikarenakan penyesuaian data-data *input* di *HEC-HMS 4.8*.



Gambar 5 *Summary Result for Sink*

Gambar 5 merupakan hasil *runn*-nya yang dinilai lebih layak. Hasil tersebut merupakan bentuk representasi dari debit AWLR Sungai Rejoso yang terjadi di lapangan. Berdasarkan *summary result for Sink-1* diketahui nilai *RMSE std Dev* = 0,3 artinya hasil debit simulasi memiliki rata-rata kuadrat simpangan hasil yang tetap berada dalam kisaran persyaratan/ketentuan Uji *RMSE* mendekati 0 (nol) apabila debit observasi yang menjadi tolok ukurnya. Sedangkan nilai *NASH-Sutcliffe* = 0,936 sehingga masih

masuk dalam persyaratannya yakni NASH $-\infty$ hingga 1 [9]. Sehingga dapat dikatakan “baik” akurasi. Seperti **Gambar 6** merupakan *trend* pada grafik simulasi hujan debitnya.



Gambar 6 Grafik Korelasi Hujan Debit

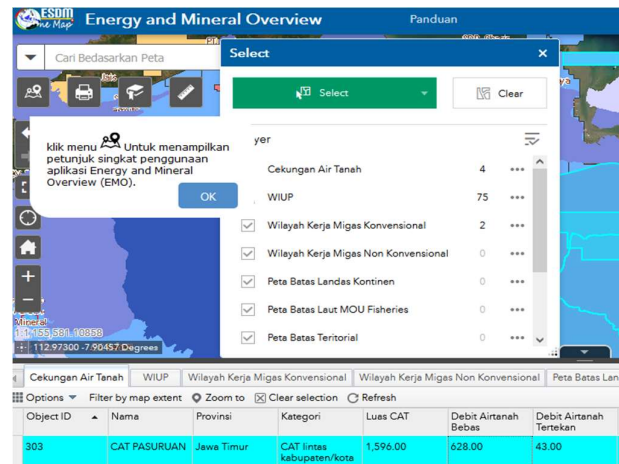
Berdasarkan **Gambar 6**, dapat dilihat terkait terkait debit puncak yang terjadi sekitar bulan Juni yaitu sebesar 25 $m^3/detik$. Sedangkan debit terendah yang terjadi selama waktu simulasi yaitu pada bulan November sebesar 10 $m^3/detik$. Sempat terjadi debit konstan selama bulan Agustus-Oktober sebesar 14 $m^3/detik$ yaitu musim kemarau.

4.4 Debit Ketersediaan

Adapun aspek-aspek yang telah dipertimbangkan dalam analisa debit ketersediaan. Aspek-aspek tersebut seperti ketersediaan debit pada Mata Air Umbulan, Debit Cekungan Air Tanah di lingkup DAS Sungai Rejoso dan Debit AWLR Hilir Sungai Rejoso. Terkait data air tanah, berdasarkan Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, Nomor : 716 K/40/MEN/2003 didapatkan data seperti air tanah wilayah Pasuruan. Berdasarkan **Gambar 7**, diketahui informasi bahwa daerah Cekungan Air Tanah (CAT) Pasuruan memiliki luas sebesar 1.596 Km^2 . Dengan debit air tanah bebas/*aquifer* bebas mencapai 628 Juta $m^3/Tahun$. Sedangkan untuk debit air tanah tertekan/*aquifer* tertekan mencapai 43 Juta $m^3/Tahun$. Debit-debit air tanah tersebut masih dalam lingkup luas daerah Pasuruan.

Terdiri dari Kabupaten Pasuruan dengan luas 93,53% atau 1.474 Km^2 dan Kota Pasuruan [10]. Sedangkan mengingat luas daerah studi DAS Sungai Rejoso hanya sebesar 134,584 km^2 maka diperlukan debit air tanah pada cekungan air tanah di wilayah studi. Maka untuk memperoleh besaran debit yang terjadi di wilayah studi (DAS Sungai Rejoso) dapat dianalisis dengan menggunakan bantuan debit air

tanah pada wilayah Kabupaten Pasuruan yang memiliki wilayah yang lebih besar dibanding wilayah studi. Oleh karena itu, pada **Tabel 9** di muatlah tentang debit air tanah baik dalam *aquifer* bebas maupun *aquifer* tertekan yang terdapat dalam wilayah Pasuruan secara total, Kabupaten Pasuruan dan lokasi studi.



Gambar 7 Kondisi Cadangan Air Tanah (CAT) Wilayah Pasuruan di Kementerian ESDM [11].

Tabel 9 Analisis Air Tanah di DAS Sungai Rejoso

| Daerah/Luas (Km^2) | Debit <i>Aquifer</i> (Juta $m^3/Tahun$) | | |
|--------------------------------|--|----------|---------|
| | Bebas | Tertekan | Total |
| Total Luas Pasuruan/- 1.576 | 628 | 43 | 671 |
| Kabupaten Pasuruan/1.474 | 587,355 | 40,217 | 627,572 |
| DAS Sungai Rejoso/- 134,585 | 53,629 | 3,672 | 57,301 |

Data kondisi air tanah pada *Aquifer* total (Bebas dan Tertekan) pada wilayah studi didapatkan nilai sebesar 57,3 Juta $m^3/Tahun$ atau sama dengan 1.817 Liter/Detik. Terkait data ketersediaan lainnya seperti Debit mata air Umbulan dan Debit AWLR Hilir Sungai Rejoso telah di bangkitkan menggunakan formula pada *Microsoft Excel* dan persamaan Thomas Fiering. Untuk hasilnya terinci didalam **Tabel 10**.

Berdasarkan **Tabel 10** dapat diketahui bahwa ketersediaan debit setiap 5 tahunan mengalami fluktuatif. Seperti halnya pada Debit Rejoso pada tahun 2015 hanya mencapai 1.384 Liter/Detik tetapi hasil analisis prediksi menyebutkan bahwa pada tahun 2035 debit tersebut mencapai 14.646 Liter/Detik. Sebelum debit tersebut terjadi, ditahun 2020

sempat mengalami peningkatan debit hingga mencapai 33.553 Liter/Detik kemudian turun kembali pada tahun 2025 mencapai sebesar 14.651 Liter/Detik.

Tabel 10 Rincian Debit Ketersediaan

| Tahun | Umbulan (Liter/Detik) | Rejoso | Air Tanah | Total |
|-------|--------------------------|--------|-----------|--------|
| 2015 | 5.276 | 1.384 | 1.815 | 20.934 |
| 2020 | 6.005 | 33.553 | 1.815 | 41.373 |
| 2025 | 6.730 | 14.651 | 1.815 | 23.196 |
| 2030 | 7.465 | 30.534 | 1.815 | 39.814 |
| 2035 | 8.196 | 14.646 | 1.815 | 24.657 |
| 2040 | 8.928 | 30.443 | 1.815 | 41.186 |
| 2045 | 9.659 | 14.213 | 1.815 | 25.688 |
| 2050 | 10.391 | 32.915 | 1.815 | 45.121 |

4.5 Analisa *Water Balance* (Neraca Air)

Paparan hasil analisa keseimbangan air seperti pada **Tabel 11 dan 12** terdapat beberapa Skema dan Pola.

Tabel 11 Kondisi Keseimbangan Air Saat ini Periode Tahun 2020

| | Skema 1 | Skema 2 | Skema 3 | Skema 4 |
|------------------|---------|-----------|---------|---------|
| Pola ke 1 | 44% | 27% | 81% | - |
| | - | 112% | - | 146% |
| Pola ke 2 | 40% | 22% | 80% | - |
| | - | 125% | - | 161% |
| Pola ke 3 | 42% | 25% | 80% | - |
| | - | 118% | - | 152% |
| Keterangan : | | | | |
| | | = Defisit | | |
| | | = Surplus | | |

Berdasarkan hasil analisa keseimbangan air pada **Tabel 11**, pada kondisi saat ini kondisi surplus tertinggi di pegang oleh Skema 4 dengan *range* (146-161) %. Skema 4 tersebut debit ketersediaan secara total (Debit Mata Air Umbulan+Debit Sungai Rejoso+Debit Air Tanah).

Pola ke 1 yaitu tinjauan Pola Tata Tanam ke 1 terhadap Debit Umbulan (skema 1), terhadap Debit Sungai Rejoso (skema 2), terhadap Debit Air Tanah (skema 3) dan terhadap Debit Total (skema 4). Begitu pula untuk Pola ke 2 dan ke 3. Sehingga Dari hasil analisa keseimbangan air pada kondisi 30 tahun kedepan, posisi surplus tertinggi di pegang oleh Skema 4 dengan range (179-195) %.

Tabel 12 Kondisi Keseimbangan Air Selama 30 Tahun Kedepan (2021-2050)

| | Skema 1 | Skema 2 | Skema 3 | Skema 4 |
|------------------|---------|-----------|---------|---------|
| Pola ke 1 | 18% | 22% | 81% | - |
| | 4% | 97% | - | 179% |
| Pola ke 2 | 17% | 21% | 80% | - |
| | 7% | 105% | - | 195% |
| Pola ke 3 | 18% | 20% | 81% | - |
| | 5% | 102% | - | 186% |
| Keterangan : | | | | |
| | | = Defisit | | |
| | | = Surplus | | |

5. **Simpulan**

Berdasarkan hasil dari pembahasan sebelumnya maka dapat diambil 4 (empat) poin kesimpulan yaitu :

- Kondisi yang akan datang dengan periode 30 Tahun Kedepan 2021-2050
 Pola ke- 1 dengan : skema 1 (Surplus 4% & Defisit 18%), skema 2 (Surplus 97% & Defisit 22%), skema 3 (defisit 81%) dan skema 4 (Surplus 179%).
 Pola ke- 2 dengan : skema 1 (Surplus 7% & Defisit 17%), skema 2 (Surplus 105% & Defisit 21%), skema 3 (defisit 80%) dan skema 4 (Surplus 195%).
 Pola ke- 3 dengan : skema 1 (Surplus 5% & Defisit 18%), skema 2 (Surplus 102% & Defisit 20%), skema 3 (defisit 81%) dan skema 4 (Surplus 186%).
- Berdasarkan hasil analisa, kondisi yang ideal yaitu “kondisi yang akan datang dengan periode 30 tahun kedepan (2021-2050)” dengan pola ke- 2 (Pola Tata Tanam ke-2 : Palawija 2 – Padi - Palawija 1) dengan skema ke 4 (Debit Ketersediaan Total). Karena terjadi nilai surplus sebesar 195% selama 30 Tahun kedepan.
- Untuk akurasi model hujan debit dengan menggunakan aplikasi HEC-HMS versi 4.8 didapatkan hasil nilai RMSE sebesar 0,3 dan NASH sebesar 0,936 < 1 dengan syarat $-\infty$ hingga 1. Sehingga dapat dikatakan “baik” akurasi.
- Berdasarkan kenyataan dilapangan, warga menggunakan pola tata tanam ke- 1 (Padi-Palawija1-Palawija2) seperti yang pada umumnya digunakan dan itu hanya menghasilkan surplus sebesar 179% dengan acuan skema ke- 4. Padahal guna mencukupi kebutuhan air selama 30 tahun kedepan diperlukan debit yang minimal konstan atau lebih baik naik dari sebelumnya. Maka dari

itu dipilih Pola ke- 2 dengan Skema 4 Debit Ketersediaan secara Total (Debit Ketersediaan Mata Air Umbulan + Debit Sungai Rejoso + Debit Cekungan Air Tanah). Karena terdapat nilai Surplus sebesar 195% dengan 0 % Defisit. Tentunya hal tersebut akan sangat menguntungkan sebesar 16% dari kondisi surplus awal. Sehingga penggunaan pola tata tanam ke-2 (Palawija2-Padi-Palawija1) dengan acuan skema ke- 4 lebih disarankan.

Daftar Pustaka

- [1] M. Isa, J. Sumarauw, and L. Hendratta, "Analisis Debit Banjir Dan Tinggi Muka Air," *J. Sipil Statik*, vol. 8, no. 4, pp. 591–600, 2020.
- [2] J. K. Mujibadi and U. Lasminto, "Prediksi Hidrograf Aliran Daerah Aliran Sungai Rejoso Kabupaten Pasuruan akibat Perubahan Tata Guna Lahan dan Curah Hujan," *J. Apl. Tek. Sipil*, vol. 18, pp. 207–214, 2020.
- [3] I. G. Tunas, "Pengembangan Model Hidrograf Satuan Sintetik Berdasarkan Karakteristik Fraktal Daerah Aliran Sungai Pengembangan Model Hidrograf Satuan Sintetik Berdasarkan Karakteristik Fraktal," 2017.
- [4] I. M. A. Hadryana, I. G. N. Arsana, and I. P. G. P. Suryantara, "Analisis Keseimbangan Air/Water Balance di DAS Tukad Sungai Kabupaten Tabanan," *J. Ilm. Tek. Sipil*, vol. 19, no. 2, pp. 99–107, 2015.
- [5] R. Bonita and M. A. Mardiyanto, "Studi Water Balance Air Tanah di Kecamatan Kejayan, Kabupaten Pasuruan, Provinsi Jawa Timur," *J. Tek. ITS*, vol. 4, no. 1, pp. 21–26, 2015.
- [6] S. N. Indonesia, "SNI 19-6728.1 Tahun 2002-Penyusunan Neraca Sumber Daya - Bagian 1_ Sumber Daya Air Spasial.pdf," 2002.
- [7] H. Saidah, H. Sulistyono, and M. B. Budianto, "Kalibrasi Persamaan Thornthwaite Dan Evaporasi Panci Untuk Memprediksi Evapotranspirasi Potensial Pada Daerah Dengan Data Cuaca Terbatas," *J. Sains Teknol. Lingkungan*, vol. 6, no. 1, p. 72, 2020.
- [8] A. D. Feldman, "Hydrologic Modeling System Technical Reference Manual," *Hydrol. Model. Syst. HEC-HMS Tech. Ref. Man.*, no. March, p. 148, 2000.
- [9] B. W. D. O.M. Delani, "Metode Perhitungan Curah Hujan Efektif (Studi Kasus : Das Cisadane Hulu) Comparison of Discharge Hydrograph Using Some Methods of Effective Rainfall (Case Study : Upper Cisadane Watershed)," *J. Sumber Daya Air*, vol. 12, pp. 187–198, 2016.
- [10] D. L. H. Kabupaten, *Status Lingkungan Hidup Daerah Kabupaten Batang Tahun 2007*, vol. 25, no. 2. 2007.
- [11] Kementerian ESDM, Energy and Mineral Overview, <https://geoportal.esdm.go.id/emo/>, 2021.