

SIMULASI HUJAN-ALIRAN DAN ANALISIS NERACA AIR DI SUBAK PULAGAN TAMPAKSIRING GIANYAR BALI

I Gusti Ngurah Hesa Respati Haditama¹, Mawiti Infantri Yekti²,
Cokorda Agung Yujana¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Perencanaan, Universitas Warmadewa,
Denpasar, Bali, Indonesia

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta,
Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

Email: hesa.respatihaditama@warmadewa.ac.id

ABSTRAK

Subak Pulagan yang berada di Daerah Irigasi Pulagan Kumba ini telah ditetapkan oleh UNESCO menjadi Warisan Budaya Dunia (WBD). Subak Pulagan mendapatkan sumber air dari Bendung Pulagan yang terletak di Daerah Aliran Sungai (DAS) Pakerisan. Menurut Pekaseh Subak Pulagan, setiap tahunnya sebanyak 0,36% terjadi perubahan fungsi lahan pertanian yang diakibatkan dari penurunan kuantitas debit. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui ketersediaan air dengan dua metode hujan aliran yaitu F.J Mock dan metode Modifikasi Thornthwhite Mather dan kebutuhan air irigasi saat musim kemarau dan musim hujan di Subak Pulagan. Selanjutnya dapat ditinjau neraca air yang dihasilkan dari analisis tersebut. Verifikasi model hujan aliran dilakukan terhadap pengukuran debit nyata pada *intake* Bendung Pulagan dengan menggunakan metode uji kesamaan dua rata-rata. Hasil model hujan aliran memiliki trend hampir signifikan satu dengan lain. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi hidroklimatologi DAS Tukad Pakerisan. Saat dibandingkan dengan data debit *intake* Bendung Pulagan yang memiliki grafik relatif konstan dalam periode tertentu, maka dapat dikatakan kedua model hujan aliran dapat mewakili kondisi ketersediaan air pada Bendung Pulagan. Berdasarkan neraca air antara debit *intake* Q80 Bendung Pulagan dengan Kebutuhan Air Irigasi didapatkan hasil surplus air untuk setiap periode. Selanjutnya uji verifikasi model menggunakan uji kesamaan dua rata-rata dari tahun 2014 hingga tahun 2017, dan mendapatkan nilai *t* Hitung (*t_H*) masing-masing sebesar -0,14; -0,19; 0,138; 0,108; -0,88; -1,301; -0,671 dan -0,84. Nilai tersebut dapat diterima ke dalam grafik daerah penerimaan model dengan persamaan $-1.96 \leq t_H \leq 1.96$, sehingga dapat disimpulkan bahwa kedua model hujan aliran ini dapat diaplikasikan pada DAS Tukad Pakerisan.

Kata kunci: Hujan-Aliran, Neraca Air, Verifikasi Model, Subak Pulagan

SIMULATION OF RAINFALL-RUNOFF AND WATER BALANCE ANALYSIS IN SUBAK PULAGAN TAMPAKSIRING GIANYAR BALI

ABSTRACT

Subak Pulagan, which is located in the Pulagan Kumba Irrigation Area, has been designated by UNESCO as a World Cultural Heritage Site. Subak Pulagan received its water from the Pulagan Weir in the Pakerisan Watershed. According to the *Pekaseh* Subak Pulagan, an annual 0.36% reduce in agricultural land use due to decreased water discharge. This research aims to assess water availability using two rainfall-runoff methods i.e. F.J. Mock and Modified Thornthwaite Mather methods, and to determine the irrigation water requirements during both dry and rainy seasons in Subak Pulagan. Subsequently, the water balance resulting from this analysis is reviewed. Verification of the rainfall-runoff model was conducted against actual discharge measurements at the Pulagan Weir intake using the method of testing the equality of two means. The rainfall-runoff model results showed nearly significant trends with each other, influenced by the hydroclimatic conditions of the Pakerisan Watershed. When compared with the discharge data of the Pulagan Weir intake, which exhibits relatively constant graphs over specific periods, it can be concluded that both rainfall-runoff models accurately represent the water availability conditions at the Pulagan Weir. Based on the water balance between the Q80 intake discharge of the Pulagan Weir and the irrigation water requirements, surplus water was found for each period. Furthermore, model verification tests using the equality of two means from 2014 to 2017 yielded respective *t*-test values (*t_H*) of -0.14; -0.19; 0.138; 0.108; -0.88; -1.301; -0.671 and -0.84. These values fall within the acceptance region of the model i.e. $-1.96 \leq t_H \leq 1.96$, leading to the conclusion that both of the rainfall-runoff models can be applied to the Pakerisan Watershed.

Keywords: Rainfall-Runoff, Water Balance, Model Verification, Subak Pulagan

1 PENDAHULUAN

Tukad Pakerisan merupakan sungai perenial dengan panjang 44,60 km dan luas DAS 68,03 km². DAS Tukad Pakerisan telah diakui dunia memiliki kearifan lokal dengan kawasan DAS Tukad Pakerisan memiliki banyak situs arkeologi bersejarah, seperti kawasan Gunung Kawi, Tirta Empul serta Subak Pulagan yang terletak di Daerah Irigasi Pulagan Kumba (Norken *et al.*, 2015). Daerah Irigasi Pulagan Kumba memiliki luas lahan sebesar 206 Ha (Herawati, 2015). Subak Pulagan yang berada di Daerah Irigasi Pulagan Kumba ini ditetapkan sebagai *Cultural Landscape World Heritage Site* oleh UNESCO sekaligus menjadi Warisan Budaya Dunia (WBD) yang telah tertandatanganinya pada tanggal 29 Juni 2012 (Herawati, 2015).

Ketersediaan dan kontinyuitas air sangat di dukung oleh kondisi DAS Tukad Pakerisan. Perubahan lahan juga menjadi faktor utama dalam pemenuhan air irigasi. Subak di Desa Tampaksiring mengalami alih fungsi lahan setiap tahunnya lebih dari 5 ha (Lanya *et al.*, 2018). Menurut *pekaseh* Subak Pulagan, terjadi perubahan fungsi lahan pertanian sebanyak 0,36% setiap tahunnya (Lanya *et al.*, 2015). Ketersediaan air irigasi di Subak Pulagan saat ini memiliki masalah pada musim kemarau, yaitu kurangnya debit air yang mengalir hingga ke persawahan bagian hilir sehingga cenderung terjadi gagal panen. Kasus kekeringan sempat terjadi pada tahun 2016 yang mengakibatkan 200 hektare sawah mengalami gagal panen (Permana, 2016). Hal ini menunjukkan bahwa adalah penting untuk menjaga keseimbangan air dengan mempertimbangkan neraca air pada *Subak* untuk keberlanjutan (Yekti *et al.*, 2017). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui ketersediaan air dengan menggunakan dua metode hujan aliran yaitu F.J Mock dan Metode Thornthwhite Mather dan kemudian melakukan analisis neraca air di Subak Pulagan.

2 KETERSEDIAAN AIR

2.1 Daerah Aliran Sungai

Kondisi tutupan lahan pada DAS Tukad Pakerisan saat ini meliputi vegetasi tetap sebanyak 0,36%, kebun campuran 37,45%, sawah 50,51% dan pemukiman sebanyak 11,68% (Vipriyanti, 2017). Dengan adanya percepatan pertumbuhan penduduk, industrialisasi, alih fungsi lahan untuk bercocok tanam, pemukiman, dan lain-lain, maka intensitas dan frekuensi permasalahan pengelolaan DAS cenderung meningkat. Akibat dampak tersebut timbul permasalahan lingkungan seperti banjir dan kekeringan dan keadaan daerah aliran sungai menjadi kritis.

2.2 Hujan Rerata Daerah

Salah satu metode yang digunakan dalam menghitung hujan rerata suatu daerah yaitu Metode Polygon Thiessen. Hasil dari metode ini lebih akurat dibandingkan dengan Metode Rata-rata aljabar dan Metode Isohyet karena memberikan informasi proporsi wilayah yang terkena dampak pada pos pencatatan curah hujan untuk meminimalkan ketidakteraturan jarak (Anggraheni *et al.*, 2022). Persamaan yang digunakan dalam metode ini ditunjukkan pada Persamaan (1).

$$R = \frac{A_1R_1 + A_2R_2 + A_3R_3 + A_nR_n}{A_1 + A_2 + A_3 + A_n} = \sum_{i=1}^n \frac{A_iR_i}{A_i} \quad (1)$$

2.3 Curah Hujan Efektif

Curah hujan efektif adalah curah hujan yang langsung bisa dimanfaatkan oleh tanaman. Curah hujan efektif tanaman yang digunakan adalah sebesar 70% dari curah hujan minimum tengah bulanan dengan kala ulang minimum sebesar lima tahun (Qarinur *et al.*, 2022). Persamaan untuk penyelesaian perhitungan curah hujan efektif ditunjukkan pada Persamaan (2) untuk tanaman padi, dan Persamaan (3) untuk tanaman palawija.

$$R_e = 0,7 \times \frac{1}{15} R_{80} \quad (2)$$

$$R_e = 0,7 \times \frac{1}{15} R_{50} \quad (3)$$

dengan: R_e = curah hujan efektif (mm/hari)
 R_{80} = curah hujan tengah bulanan dengan kemungkinan terlampaui 80% (mm)
 R_{50} = curah hujan tengah bulanan dengan kemungkinan terlampaui 50% (mm)

2.4 Neraca Air

Analisis neraca air merupakan tahap awal dalam menetapkan ketersediaan air untuk kebutuhan air irigasi. Hal ini disebabkan oleh tingkat ketersediaan air yang dapat mempengaruhi pertumbuhan dan intensitas tanaman. Pada suatu areal pertanian penyediaan air tanaman berasal dari curah hujan di petak dan debit air irigasi yang dapat

dikategorikan sebagai *inflow*. Kehilangan air irigasi dapat berupa kebocoran pada saluran, limpasan permukaan, evaporasi, dan transpirasi. Keseluruhan masukan debit (*inflow*) dan kebutuhan air irigasi (*outflow*) dapat dirumuskan sebagai neraca air (Haditama, Nurrochmad and Pratiwi, 2023). Besaran neraca air untuk setiap waktu dapat dianalisa menggunakan Persamaan (4).

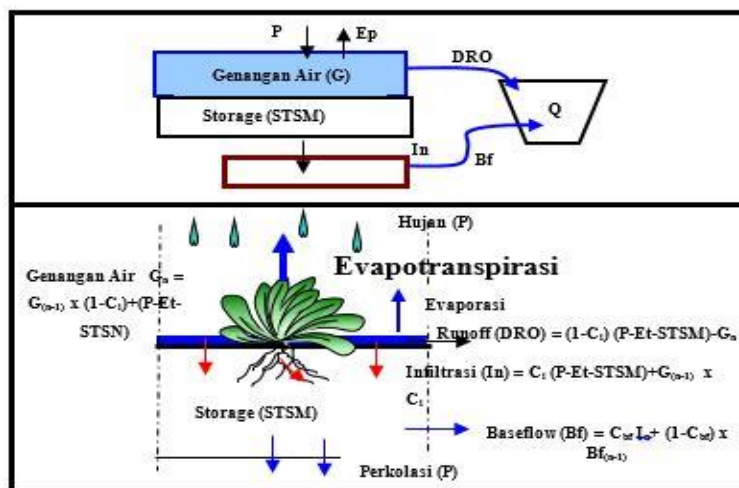
$$\Delta Q = Q_{inflow} - Q_{outflow} \quad (4)$$

dengan: ΔQ = perubahan tampungan
 Q_{inflow} = masukan;
 $Q_{outflow}$ = keluaran

3 METODE

3.1 Thorthwhite Mather

Metode yang digunakan ini adalah metode yang telah dimodifikasi sehingga dapat menghitung debit tanpa membutuhkan data tinggi muka air yang biasanya didapatkan dengan alat *Automatic Water Level Record (AWLR)* dan dalam jangka waktu yang lama serta memerlukan biaya yang mahal baik untuk alat maupun operasionalnya. Perhitungan menggunakan metode Thornthwaite Mather mempertimbangkan curah hujan, suhu udara, indeks panas bulanan, *Water Holding Capacity (KAT)* dan faktor koreksi lama penyinaran matahari berdasarkan kondisi lintang (Widiyono, 2016). Metode ini dikhususkan untuk digunakan pada DAS yang mempunyai aliran sepanjang tahun atau pareniil dan dengan luasan yang cukup luas. Simulasi perhitungan hujan aliran Metode Thorthwhite Mather ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Simulasi hujan aliran Metode Thorthwhite Mather

dengan: G_n = Genangan air pada bulan ke-n, maksimum mencapai G_{maks} ;
 E_t = Evapotranspirasi aktual;
 E_p = Evapotranspirasi potensial;
 P = curah hujan (presipitasi);
 $P-E_t$ = curah hujan dikurangi evapotranspirasi actual;
 $STSM$ = penyimpanan air di kelembaban tanah;
 S_n = kelebihan lengas air tanah;
 S_n = $P-E_t - \Delta STSM$;
 DRO = Direct runoff, pengaliran air permukaan;
 I_n = Infiltrasi pada bulan ke-n;
 C_i = Koefisien infiltrasi;
 B_f = Base Flow, aliran bawah tanah; dan
 C_{Bf} = Koefisien base flow.

3.2 FJ.Mock

Perhitungan neraca air pada penelitian ini menggunakan metode F.J Mock (Mock, 1973). Metode ini menggambarkan bahwa air hujan yang jatuh mengisi daerah tangkapan air sebagian menguap akibat dari evapotranspirasi, dan sebagian lagi yang jatuh ke permukaan tanah menjadi aliran permukaan atau *surface direct run off* dan masuk ke dalam tanah sebagai air infiltrasi. Kondisi tanah yang jenuh air menyebabkan terjadinya perkolasi sehingga air keluar sebagai aliran dasar (*base flow*). Perhitungan hujan aliran menggunakan Metode FJ. Mock dapat menggunakan Persamaan (5) berikut.

$$P = E_a + \Delta GS + SRO + Bf + TRO \quad (5)$$

dengan: P = Presipitasi
 Ea = Evapotranspirasi
 ΔGS = Perubahan *groundwater storage*
 SRO = *Surface runoff*
 Bf = Aliran Dasar (*baseflow*)
 TRO = *Total runoff*

3.3 Uji Kesamaan Dua Rata-Rata

Uji ini digunakan untuk mengetahui signifikansi antara sistem model riil di lapangan dan sistem model simulasi yang berkaitan dengan nilai rata-rata dan standar deviasi dari hasil analisis model tersebut. Model dapat digunakan apabila nilai tH (t hitung) masuk kedalam daerah penerimaan uji kesamaan rata-rata. Dengan tingkat keberartian, $\alpha = 5\%$ (0.05). Selanjutnya digunakan statistik uji untuk variansi kedua populasi tak diketahui tapi dianggap sama, dengan rumus dalam Persamaan (6), Persamaan (7) dan Persamaan (8) (Wapole, et al 2007):

$$tH = \frac{(\text{Mean 1} - \text{Mean 2}) - \mu_0}{Sp \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (6)$$

Nilai S_p didapatkan didapatkan dari rumus:

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \quad (7)$$

Setelah didapatkan nilai tH (t hitung) selanjutnya periksa ke dalam grafik daerah penerimaan uji kesamaan dua rata-rata yang didapatkan. Apabila nilai tH masuk kedalam daerah penerimaan, maka model (simulasi) tersebut dapat digunakan. Kondisi daerah penerimaan dan daerah penolakan adalah sebagai berikut.

1. Nilai t-hitung (tH) dibandingkan dengan t-kritis (t_{crit}) yang didapat dari tabel distribusi t dengan derajat kebebasan $df = n_1 + n_2 - 2$ pada tingkat signifikansi $\alpha=0,05$.
2. Daerah penerimaan memiliki kriteria jika $-t_{crit} \leq t_H \leq t_{crit}$ maka H_0 diterima
3. Daerah penolakan jika $t_H < -t_{crit}$ atau $t_H > t_{crit}$

3.4 Tahap Analisis

Penelitian ini mengambil lokasi di DAS Tukad Pakerisan yaitu lebih tepatnya di Daerah Irigasi Pulagan yang terletak di Kecamatan Tampaksiring, Kabupaten Gianyar. Subak Pulagan merupakan bagian dari kawasan Daerah Irigasi Pulagan Kumba. Pada studi ini tidak dilakukan pengumpulan data primer karena data sepenuhnya diperoleh dari pihak lain yang dalam hal ini berupa data sekunder sebagai berikut:

1. Data curah hujan bulanan 11 tahun dari 2007 hingga 2017 yang didapatkan dari Balai Besar Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah III Bali
2. Data klimatologi diperoleh di Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Wilayah III Bali dan Balai Wilayah Sungai Bali Penida.
3. Data vegetasi tanah yang berada di DAS Tukad Pakerisan didapatkan dari Balai Wilayah Sungai Bali Penida.
4. Data debit *intake* Bendung Pulagan merupakan data yang mewakili kebutuhan air irigasi Subak Pulagan, dimana data yang diambil adalah data debit *intake* pada tahun 2014 hingga tahun 2017 yang telah di analisis menjadi data debit andalan Q80. Debit andalan Q80 merupakan syarat standar kebutuhan air irigasi pada daerah beriklim setengah lembab. Data ini diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Bali Penida.
5. Data Koefisien *BaseFlow* tergantung dari jenis tanah yang berada di lapangan. Nilai koefisien *baseflow* ini setiap bulan bahkan hariannya akan berubah-ubah tergantung dari hujan, suhu serta kelembaban yang terjadi di lapangan. Data ini diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Bali Penida.
6. Data Genangan
 Genangan akan terjadi apabila lahan di DAS memungkinkan untuk menyimpan air dipermukaan tanah. Nilai ini dipengaruhi oleh kemiringan dari lereng yang ada di DAS tersebut. Apabila DAS berkontur sangat miring maka hampir tidak akan terjadi genangan. Data ini diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Bali Penida.

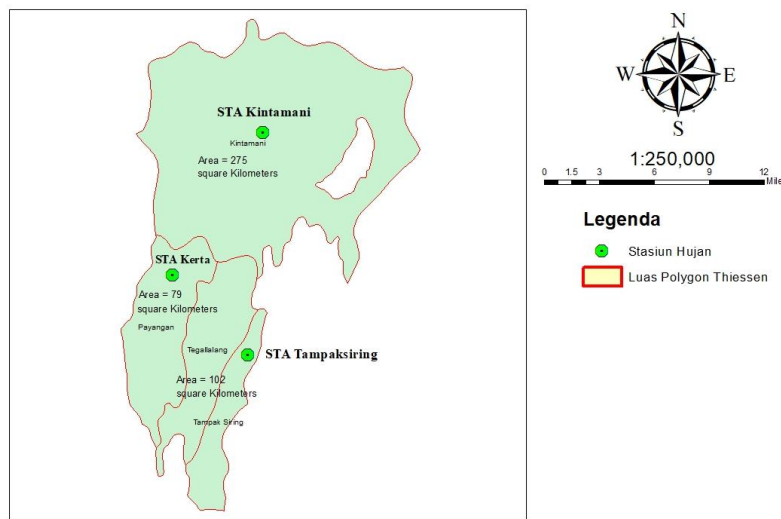
7. Data Perkolasi

Perkolasi bergantung dari jenis tanah yang ada di lapangan. Klasifikasi tanah untuk daerah irigasi adalah tanah lempung dengan laju perkolasi dapat mencapai 1 – 3 mm/hari. Besar perkolasi di Provinsi Bali diambil secara seragam yaitu 2 mm/hari, dengan pertimbangan kondisi tanahnya lempung berat dengan karakteristik pengolahan yang baik. Data ini adalah data sekunder yang diambil dari Balai Wilayah Sungai Bali Penida.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Curah Hujan Rerata Daerah

Tujuan analisis ini untuk mengetahui curah hujan rata-rata yang terjadi pada daerah tangkapan air, yaitu dengan menganalisis data curah hujan maksimum yang diolah menjadi data 15 harian dan didapatkan dari tiga stasiun pos hujan yaitu Pos Hujan Kerta, Pos Hujan Tampaksiring dan Pos Hujan Kintamani. Pemilihan metode dalam analisis ini menggunakan Polygon-Thiessen. Berikut adalah luasan daerah pengaruh hujan pada DAS Pakerisan yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Luas polygon thiessen DAS Pakerisan

Keterangan:
 Luas area Polygon Thiessen Kintamani = 275 km²
 Luas area Polygon Thiessen Kerta = 79 km²
 Luas area Polygon Thiessen Tampaksiring = 102 km²

Selanjutnya analisis curah hujan rerata didasarkan pada proporsi sebaran sesuai dengan luas polygon thiessen serta curah hujan untuk tiap stasiun. Perhitungan curah hujan maksimum rata-rata dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan curah hujan maksimum rata-rata

Tahun	STA Tampaksiring (mm)	STA Kerta (mm)	STA Kintamani (mm)	CH rata-rata Kawasan dengan Polygon Thiessen
2007	823.0	499.0	476.0	557.6
2008	516.0	436.0	461.0	469.0
2009	765.0	410.0	652.0	635.4
2010	732.0	720.0	922.0	844.5
2011	434.0	560.0	413.0	443.2
2012	968.0	576.0	576.0	663.7
2013	656.0	487.0	440.0	496.5
2014	436.0	1006.0	640.0	657.8
2015	329.0	399.0	357.0	358.0
2016	407.0	671.0	531.0	527.5
2017	980.0	723.0	518.0	656.9

4.2 Analisis Curah Hujan Efektif

Analisa curah hujan efektif dilakukan dengan tujuan untuk menghitung *Net Field Requirement* atau kebutuhan air irigasi dengan mengikuti pola tata tanam eksisting. Curah hujan efektif yang dipergunakan adalah curah hujan efektif tanaman padi dengan notasi R_e dan disajikan dengan setengah bulan. Perhitungan ditampilkan dalam Tabel 2 sampai dengan Tabel 5.

Tabel 2. Curah hujan efektif padi (mm) bulan Januari hingga Maret

No	P (%)	Januari		Februari		Maret	
		15 Hari	16 Hari	15 Hari	12 Hari	16 Hari	15 Hari
1	80,00%	106	106	125	125	99	99
R_e	Padi	4.93	4.93	5.84	5.84	4.62	4.62

Tabel 3. Curah hujan efektif padi (mm) bulan April hingga Juni

No	P (%)	April		Mei		Juni	
		15 Hari	15 Hari	15 Hari	16 Hari	15 Hari	15 Hari
1	80,00%	60	60	42	42	4	4
R_e	Padi	3	3	2	2	0	0

Tabel 4. Curah hujan efektif padi (mm) bulan Juli hingga Agustus

No	P (%)	Juli		Agustus		September	
		15 Hari	16 Hari	15 Hari	16 Hari	15 Hari	15 Hari
1	80,00%	13	13	1	1	2	2
R_e	Padi	1	1	0	0	0	0

Tabel 5. Curah hujan efektif padi (mm) bulan Juli hingga Agustus

No	P (%)	Oktober		November		Desember	
		15 Hari	16 Hari	15 Hari	15 Hari	15 Hari	16 Hari
1	80,00%	15	15	56	56	134	134
R_e	Padi	1	1	3	3	6	6

4.3 Analisis Debit Andalan

Data yang digunakan yaitu data debit pencatatan langsung pada *intake* Bendung Pulagan dari tahun 2014 hingga tahun 2017. Berikut adalah hasil analisis debit andalan Bendung Pulagan yang disajikan dalam waktu setengah bulan terlihat pada Tabel 6 sampai dengan Tabel 9.

Tabel 6. Debit andalan Bendung Pulagan bulan Januari hingga Maret

Probabilitas	Januari		Februari		Maret	
	15 Hari	16 Hari	15 Hari	12 Hari	16 Hari	15 Hari
80%	5.15	5.63	5.10	4.53	5.24	5.60

Tabel 7. Debit andalan Bendung Pulagan bulan April hingga Juni

Probabilitas	April		Mei		Juni	
	15 Hari	15 Hari	15 Hari	16 Hari	15 Hari	15 Hari
80%	5.12	5.20	3.22	3.08	2.45	2.45

Tabel 8. Debit andalan Bendung Pulagan bulan Juli hingga September

Probabilitas	Juli		Agustus		September	
	15 Hari	16 Hari	15 Hari	16 Hari	15 Hari	15 Hari
80%	2.45	2.45	2.45	2.45	4.99	5.17

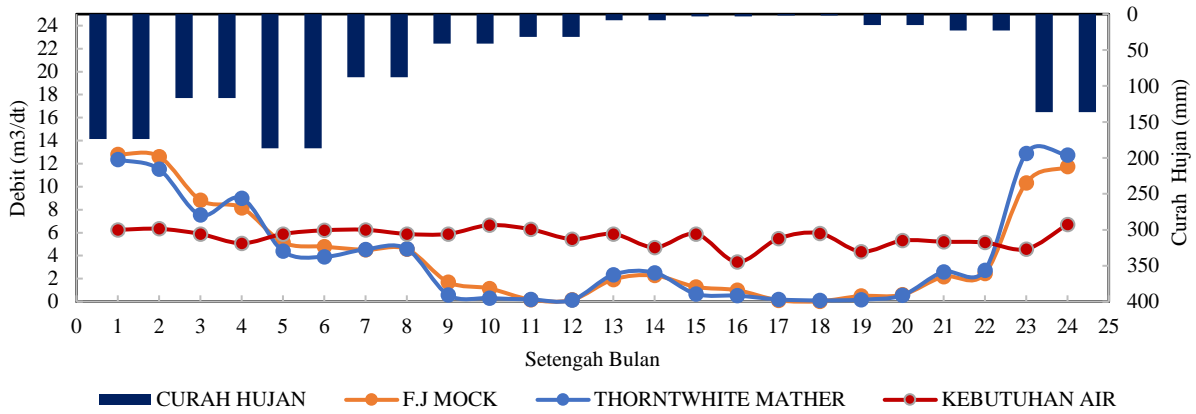
Tabel 9. Debit andalan Bendung Pulagan bulan Oktober hingga Desember

Probabilitas	Oktober		November		Desember	
	15 Hari	16 Hari	15 Hari	15 Hari	15 Hari	16 Hari
80%	4.36	4.45	2.45	2.61	4.32	5.25

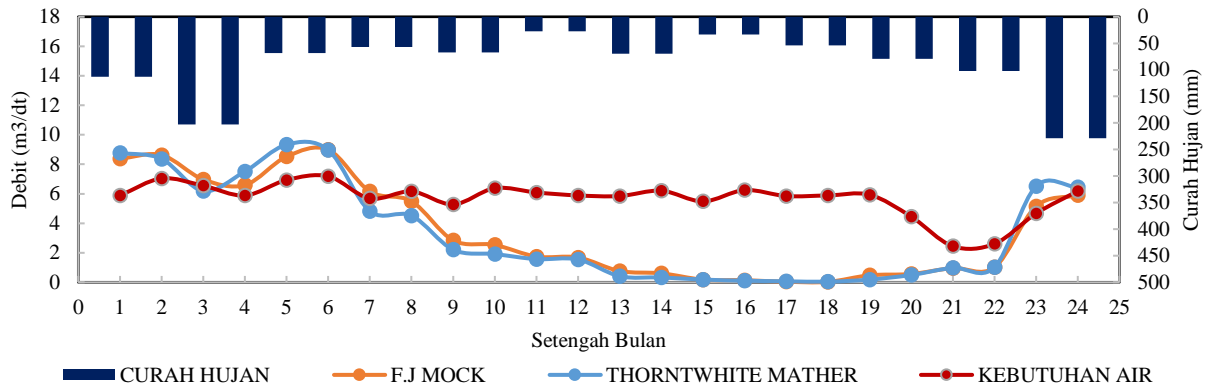
4.4 Simulasi Hujan-Aliran

Ketersediaan air (*inflow*) berasal dari curah hujan yang telah diolah menjadi curah hujan rata-rata kawasan dan simulasi hujan aliran. Sedangkan untuk kebutuhan air (*outflow*) diwakili oleh data pengukuran aktual debit *intake* Bendung Pulagan yang digunakan untuk mengairi Daerah Irigasi Pulagan. Data yang digunakan adalah data curah

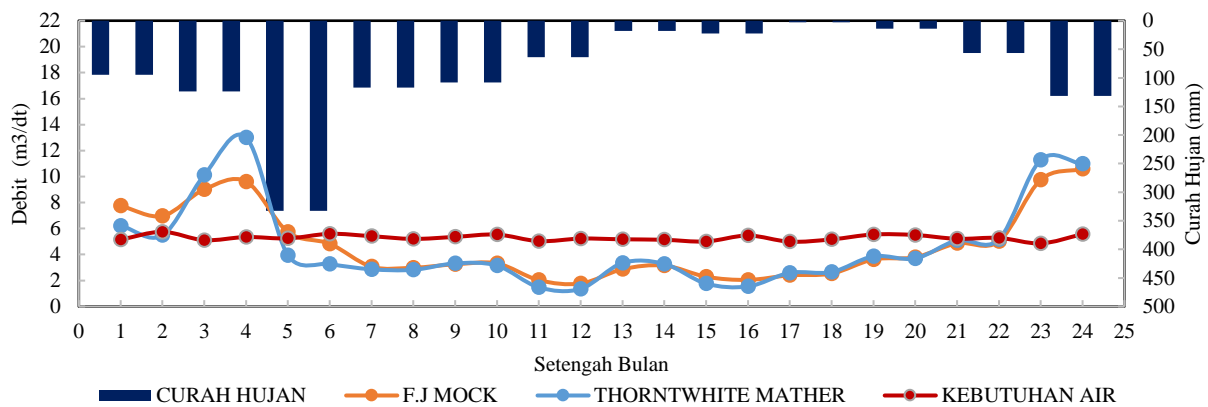
hujan setengah bulan yang telah diolah dan data debit *intake* Bendung Pulagan dari tahun 2014 hingga tahun 2017. Berikut analisa hujan-aliran tahun 2014 pada Gambar 3, tahun 2015 pada Gambar 4, tahun 2016 pada Gambar 5 dan tahun 2017 pada Gambar 6.



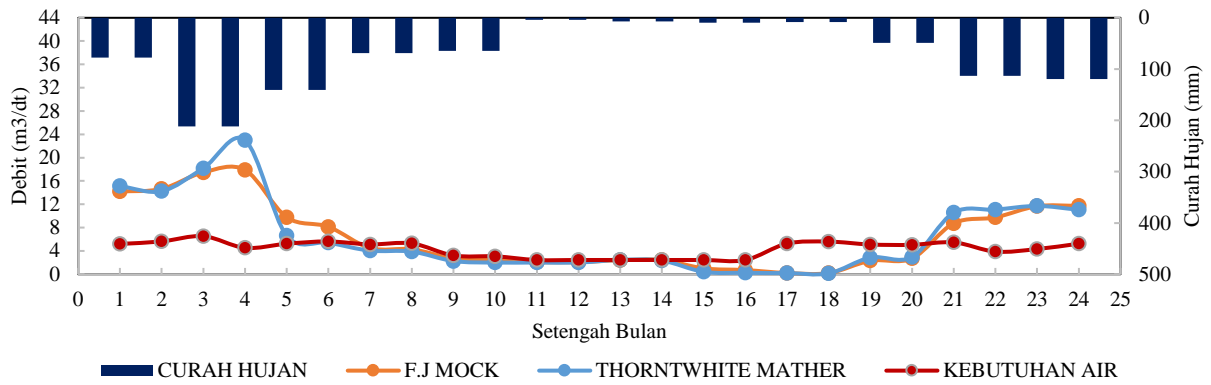
Gambar 3. Simulasi hujan-aliran tahun 2014



Gambar 4. Simulasi hujan-aliran tahun 2015



Gambar 5. Simulasi hujan-aliran tahun 2016



Gambar 6. Simulasi hujan-aliran tahun 2017

Grafik yang dihasilkan sangat mengacu pada curah hujan yang terjadi di lapangan. Seperti pada bulan yang memiliki intensitas hujan tinggi yaitu pada bulan Januari hingga Februari maka grafik debit dari kedua metode tersebut relatif akan tinggi namun dari hasil yang didapatkan tidak terdapat adanya defisit air pada musim kemarau karena kedua metode ini memiliki kesamaan yaitu mengakumulasikan air pada bulan sebelumnya yang disimpan dalam tanah maupun yang terdapat pada aliran bawah tanah (*baseflow*).

4.5 Kebutuhan Air Irigasi

Analisa kebutuhan air irigasi menggunakan metode Pola Tata Tanaman (PTT) eksisting di Subak Pulagan dengan memperhitungkan curah hujan efektif Re_{80} padi. Langkah yang dilakukan sebelum menghitung pola tata tanam adalah menghitung evapotranspirasi potensial dan kebutuhan air penyiapan lahan. Hasil dari perhitungan kebutuhan air irigasi kemudian dibandingkan dengan hasil debit pencatatan pada *intake* Q_{80} Bendung Pulagan. Hasil analisa dilampirkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Perbandingan debit *intake* Bendung Pulagan dengan kebutuhan air irigasi

Pencatatan	1/2 Bulan	Debit		Neraca Air
		Debit Q_{80} Bendung (Inflow) m ³ /dt	Kebutuhan Air Irigasi (Outflow) m ³ /dt	
Januari	1	5.15	0.01	Surplus
	2	5.63	0.14	Surplus
Februari	1	5.10	0.12	Surplus
	2	4.53	0.00	Surplus
Maret	1	5.24	0.04	Surplus
	2	5.60	0.03	Surplus
April	1	5.12	0.00	Surplus
	2	5.20	0.00	Surplus
Mei	1	3.22	0.00	Surplus
	2	3.08	0.66	Surplus
Juni	1	2.45	0.75	Surplus
	2	2.45	0.07	Surplus
Juli	1	2.45	0.15	Surplus
	2	2.45	0.28	Surplus
Agustus	1	2.45	0.31	Surplus
	2	2.45	0.19	Surplus
September	1	4.99	0.19	Surplus
	2	5.17	0.17	Surplus
Oktober	1	4.36	0.05	Surplus
	2	4.45	0.05	Surplus
November	1	2.45	0.00	Surplus
	2	2.61	0.68	Surplus
Desember	1	4.32	0.54	Surplus
	2	5.25	0.00	Surplus

Berdasarkan Tabel 10 hasil analisa pemenuhan kebutuhan air irigasi yang didasarkan pada neraca air yaitu debit Q_{80} Bendung Pulagan menjadi *inflow* dan hasil perhitungan kebutuhan air irigasi menjadi *outflow* adalah tidak terdapat defisit air. Sehingga kebutuhan air irigasi dapat terpenuhi oleh debit *intake* Q_{80} Bendung Pulagan.

4.6 Verifikasi Model

Analisis ini digunakan untuk validasi dan verifikasi dari kedua model yang telah disimulasikan. Selanjutnya dapat dilihat hasil yang mendekati dengan data debit *intake* aktual pencatatan Bendung di lapangan. Sehingga dari kedua metode tersebut dapat dijadikan acuan metode yang layak digunakan pada studi kasus penelitian di DAS Pakerisan. Analisis yang digunakan adalah menghitung nilai standar deviasi dan rata-rata dari masing-masing metode dari tahun 2014 hingga tahun 2017 dapat dilihat pada Tabel 11 dan Tabel 12.

Tabel 11. Hasil nilai standar deviasi

Tahun	Debit Intake	Thorntwhite	F.J Mock
	Bendung Pulagan	Mather	
2014	0.78	4.49	4.28
2015	1.16	3.42	3.28
2016	0.22	3.31	2.76
2017	1.34	6.38	5.69

Tabel 12. Hasil nilai rata-rata

Tahun	Debit Intake	Thorntwhite	F.J Mock
	Bendung Pulagan	Mather	
2014	5.61	4.05	4.13
2015	5.70	3.44	3.51
2016	5.28	4.68	4.72
2017	4.34	6.46	6.43

Hasil masing-masing nilai standar deviasi dan rata-rata akan di analisis menggunakan metode uji kesamaan dua rata-rata untuk mengetahui ketepatan model dengan pencatatan aktual di lapangan. Berikut hasil analisis uji verifikasi model ditampilkan pada Tabel 13 sampai dengan Tabel 16.

Tabel 13. Hasil Uji Verifikasi Model Tahun 2014

Tahun 2014				
1	Debit Intake Bendung Thornwhite Mather ITB	Sp = 10,384	tH = -0,14	Diterima
2	Debit Intake Bendung F.J Mock	Sp = 9,463	tH = -0,19	Diterima

Tabel 14. Hasil Uji Verifikasi Model Tahun 2015

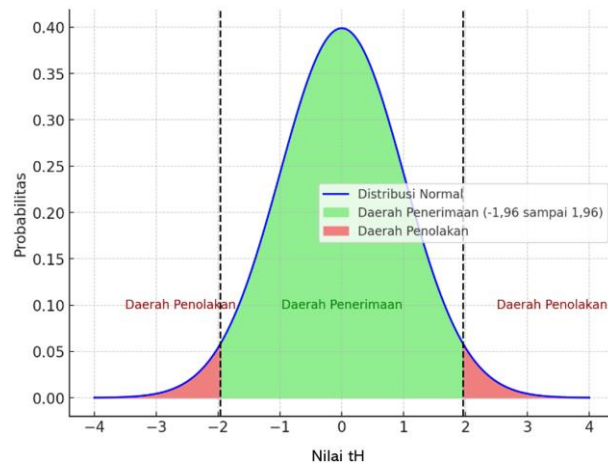
Tahun 2015				
1	Debit Intake Bendung Thornwhite Mather ITB	Sp = 6,521	tH = 0,138	Diterima
2	Debit Intake Bendung F.J Mock	Sp = 6,052	tH = 0,108	Diterima

Tabel 15. Hasil Uji Verifikasi Model Tahun 2016

Tahun 2016				
1	Debit Intake Bendung Thornwhite Mather ITB	Sp = 5,502	tH = -0,88	Diterima
2	Debit Intake Bendung F.J Mock	Sp = 3,833	tH = -1,301	Diterima

Tabel 16. Hasil Uji Verifikasi Model Tahun 2017

Tahun 2017				
1	Debit Intake Bendung Thornwhite Mather ITB	Sp = 21,25	tH = -0,671	Diterima
2	Debit Intake Bendung F.J Mock	Sp = 16,74	tH = -0,84	Diterima



Gambar 7. Simulasi hujan-aliran tahun 2017

Gambar 7 menunjukkan daerah penerimaan model dengan interval t_H yaitu hipotesis nol (H_0) diterima dengan nilai t_{crit} sebesar ± 1.96 sehingga daerah penerimaan dapat ditentukan sebagai $-1.96 \leq t_H \leq 1.96$. Berdasarkan hasil uji kesamaan dua rata-rata didapatkan kesimpulan yaitu Model Thornthwhite Mather dan model dengan F.J Mock dapat diaplikasikan pada DAS Tukad Pakerisan untuk menghitung hujan aliran.

5 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan analisis simulasi hujan aliran dan neraca air didapat simpulan sebagai berikut:

1. Ketersediaan air berdasarkan simulasi hujan aliran didapatkan hasil yang dipengaruhi oleh intensitas hujan yang terjadi pada kurun waktu tertentu. Besarnya intensitas hujan yang terjadi maka debit yang dihasilkan juga semakin tinggi. Berdasarkan simulasi hujan aliran tidak terdapat ada defisit air pada waktu tertentu maka dapat dipastikan ketersediaan air pada Bendung Pulagan cukup baik. Karena air pada Bendung Pulagan tersebut merupakan akumulasi dari debit limpasan, *run-off*, *baseflow* dan infiltrasi yang terjadi pada DAS Tukad Pakerisan.
2. Hasil analisa neraca air antara debit *intake* Q_{80} Bendung Pulagan dengan Kebutuhan Air Irigasi didapatkan hasil surplus air dengan nilai yang bervariasi yaitu nilai minimum sebesar $1,69 \text{ m}^3/\text{dt}$ sedangkan nilai maksimum sebesar $5,57 \text{ m}^3/\text{dt}$ serta nilai rata-rata surplus air sebesar $3,82 \text{ m}^3/\text{dt}$. Saat musim kemarau surplus air cenderung lebih sedikit namun tetap mampu untuk memberikan kebutuhan air pada Daerah Irigasi Pulagan, sehingga dapat disimpulkan bahwa Bendung Pulagan mampu menyediakan air untuk pola tata tanam yang telah disepakati.
3. Uji verifikasi model menggunakan uji kesamaan dua rata-rata antara debit Q_{80} Bendung Pulagan dengan simulasi hujan aliran dari tahun 2014 hingga tahun 2017 mendapatkan nilai t_H (t Hitung) masing-masing sebesar $-0,14$, $-0,19$, $0,138$, $0,108$, $-0,88$, $-1,301$, $-0,671$ dan $-0,84$. Nilai tersebut diterima ke dalam grafik daerah penerimaan model, sehingga disimpulkan kedua model simulasi hujan aliran dapat diaplikasikan pada DAS Tukad Pakerisan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraheni, E. *et al.* (2022) 'Pengaruh Sebaran Spasial Hujan terhadap Pemilihan Metode Hujan Wilayah Berbasis Analisis Geospasial', *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, 2(2), pp. 81–92. Available at: <https://doi.org/10.56860/jtsda.v2i2.41>.
- Haditama, I.G.N.H.R., Nurrochmad, F. and Pratiwi, E.P.A. (2023) 'Analysis of Irrigation Water Requirement in Subak System of Subak Pulagan, Tampaksiring Gianyar Bali', *AIP Conference Proceedings*, 2846(1). Available at: <https://doi.org/10.1063/5.0154836>.
- Herawati, N. (2015) 'Pengembangan Pariwisata Berkelanjutan Berbasis Subak Sebagai Bagian Warisan Budaya Dunia Unesco Di Desa Mengesta Kabupaten Tabanan', *Jurnal Master Pariwisata (JUMPA)*, 2, pp. 79–103. Available at: <https://doi.org/10.24843/jumpa.2015.v02.i01.p05>.
- Lanya, I. Subadiyasa, N.N., Sardiana, K. and Ratna Adi, G.P. (2015) 'Numerical Classification, Subak Zoning and Land Transfer Function Rice Field in the Province of Bali Based on Remote Sensing and GIS', *Procedia Environmental Sciences*, 24, pp. 47–55. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.03.008>.
- Lanya, I., Subadiyasa, N.N. and Ratna Adi, G.P. (2018) 'Impact of spatial plan on the conversion of Subak rice fields and food security, in Badung and Gianyar Regencies, Bali Province', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 149(1), pp. 0–9. Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/149/1/012003>.

- Mock, F.J. (1973) *Water Availability Appraisal: Report Prepared for the Land Capability Appraisal Project Bogor/Indonesia*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (Working paper (Food and Agriculture Organization of the United Nations)). Available at: <https://books.google.co.id/books?id=vi4gGwAACAAJ>.
- Norken, I.N., Suputra, I.K. and Arsana, I.G.N.K. (2015) 'Water Resources Management of Subak Irrigation System in Bali', *Applied Mechanics and Materials*, 776, pp. 139–144. Available at: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.776.139>.
- Permana, Y.S. (2016) 'Mampukah Subak Bertahan? (Studi Kasus Ketahanan Sosial Komunitas Subak Pulagan, Gianyar, Bali)', *Masyarakat Indonesia*, 42(2), pp. 219–232.
- Qarinur, M. *et al.* (2022) 'Evaluasi Neraca Air Daerah Irigasi Sei Belutu Kabupaten Serdang Bedagai', *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 7(1), pp. 89–100. Available at: <https://doi.org/10.29244/jsil.7.1.89-100>.
- Vipriyanti, U. (2017) 'Model Penggunaan Lahan Berbasis Budaya Di Das Tukad Pakerisan Bali', *Prosiding Seminar Nasional Perencanaan Pembangunan Inklusif Desa Kota*, pp. 425–430.
- Widiyono, M.G. (2016) 'Analisis Neraca Air Metode Thornthwaite Mather Kaitannya Dalam Pemenuhan Kebutuhan Air Domestik Di Daerah Potensi Rawan Kekeringan Di Kecamatan Trowulan Kabupaten Mojokerto', *Swara Bhumi*, 1(1), pp. 10–17.
- Yekti, M.I., Schultz, B, Norken, I.N., Gany, A.H.A., Hayde, L. (2017) 'Learning from Experiences of Ancient Subak Schemes for Participatory Irrigation System Management in Bali', *Irrigation and Drainage*, 66(4), pp. 567–576. Available at: <https://doi.org/10.1002/ird.2122>.