

AKURASI PERHITUNGAN METODE *GLOBAL RAINFALL-RUNOFF MODEL* DENGAN PUNGUKURAN LAPANGAN (STUDI KASUS KALI PEPE)

Rohid Wiratmaja¹, RR. Rintis Hadiani² dan Solichin³

¹Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta
Email: rohidwiratmaja11@student.uns.ac.id

²Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta
Email: rintis@ft.uns.ac.id

³Prodi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36 A Surakarta
Email: solichin@ft.uns.ac.id

ABSTRACT

Water resource management is defined as structural and non-structural efforts made to control natural water resource systems and man-made water resource systems for the benefit of humans by considering their impact on the environment. This research to determine the percentage of reliability between the GR2M (Global Rainfall-Runoff Model) with measured data in field (AWLR/Automatic Water Level Recorder). This research was conducted on the Pepe River watershed which crosses the city of Surakarta without considering the area of the upstream watershed. Then water level observation was carried out at PTPN's Pepe River Water Level Observation Post located on Jl. Arifin, Kampung Baru, Pasar Kliwon District, Surakarta City. This study analyzed rain-discharge using the GR2M method which was then compared to find out the percentage with the data in the field based on the monitoring results from observation posts (AWLR/Automatic Water Level Recorder) which had been analyzed by Rating Curve to change the water level to discharge. The results showed that the percentage of reliability between the analysis using the GR2M method and measured data in the field was 97.49%. This shows that the GR2M method is able to represent events in the field.

Keywords: Accuracy, GR2M, Field Measurement

ABSTRAK

Pengelolaan sumber daya air diartikan sebagai upaya struktural dan non struktural yang dilakukan untuk pengendalian sistem sumber daya air alam dan sistem sumber daya air buatan manusia untuk kepentingan manusia dengan mempertimbangkan dampaknya terhadap lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persentase keandalan antara metode GR2M (*Global Rainfall-Runoff Model*) dengan data terukur di lapangan (AWLR/*Automatic Water Level Recorder*). Penelitian ini dilakukan pada DAS Kali Pepe yang melintasi Kota Surakarta tanpa memperhitungkan luasan DAS hulunya. Kemudian dilakukan pengamatan tinggi muka air pada Pos Pengamatan Tinggi Muka Air Kali Pepe PTPN yang berada di Jl. Arifin, Kampung Baru, Kecamatan Pasar Kliwon, Kota Surakarta. Penelitian ini menganalisis hujan-debit menggunakan metode GR2M yang kemudian dibandingkan untuk mengetahui besarnya persentase dengan data yang ada di lapangan berdasarkan hasil pemantauan dari pos pengamatan (AWLR/*Automatic Water Level Recorder*) yang telah dilakukan analisis *Rating Curve* untuk mengubah tinggi muka air menjadi debit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase keandalan antara analisis menggunakan metode GR2M dengan data terukur di lapangan sebesar 97,49%. Hal ini menunjukkan bahwa metode GR2M mampu merepresentasikan kejadian di lapangan.

Kata kunci: Akurasi, GR2M, Pengukuran Lapangan

1. PENDAHULUAN

Neraca air(water balance) merupakan perkiraan yang menggunakan data yang telah terkumpul dan didasarkan pada prinsip konservasi massa (Triatmodjo, 2008). Neraca air menjadi salah satu komponen penting dalam pengelolaan sumber daya, utamanya sumber daya air yang berada pada suatu kawasan atau wilayah (Fathi et al.,2023). Di kota surakarta sendiri, neraca mempunyai peranan yang sangat signifikan dalam menjaga keseimbangan yang mencakup ketersediaan air untuk kebutuhan domestik, pertanian, industri, dan ekosistem yang ada. Untuk menghadapi perubahan iklim dan pertumbuhan populasi, maka diperlukan keakuratan dalam perhitungan neraca air supaya perencanaan dan pengelolaan sumber daya air menjadi lebih efektif (Wu et al., 2024). Pengelolaan sumber daya air diartikan sebagai upaya struktural dan non struktural yang dilakukan untuk pengendalian sistem sumber daya air alam dan sistem sumber daya air buatan manusia untuk kepentingan manusia dengan mempertimbangkan dampaknya terhadap lingkungan (Grigg et al., 1996).

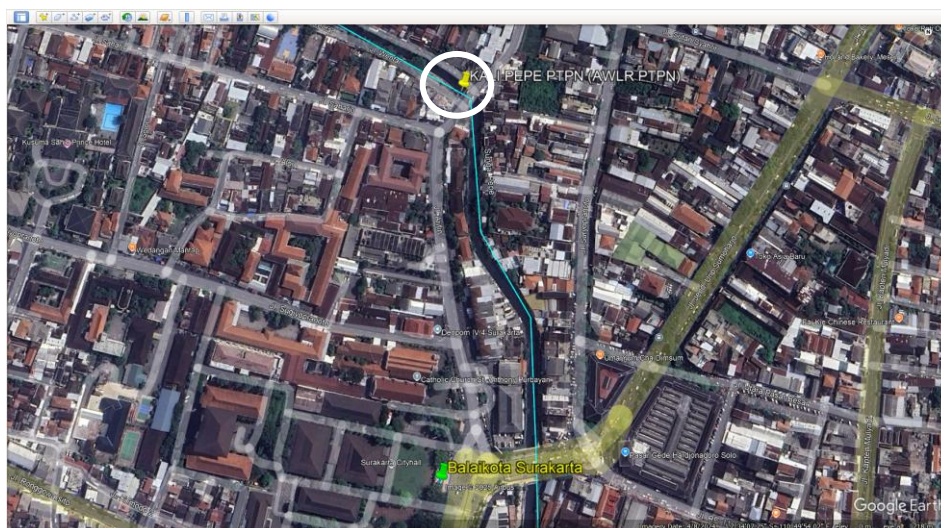
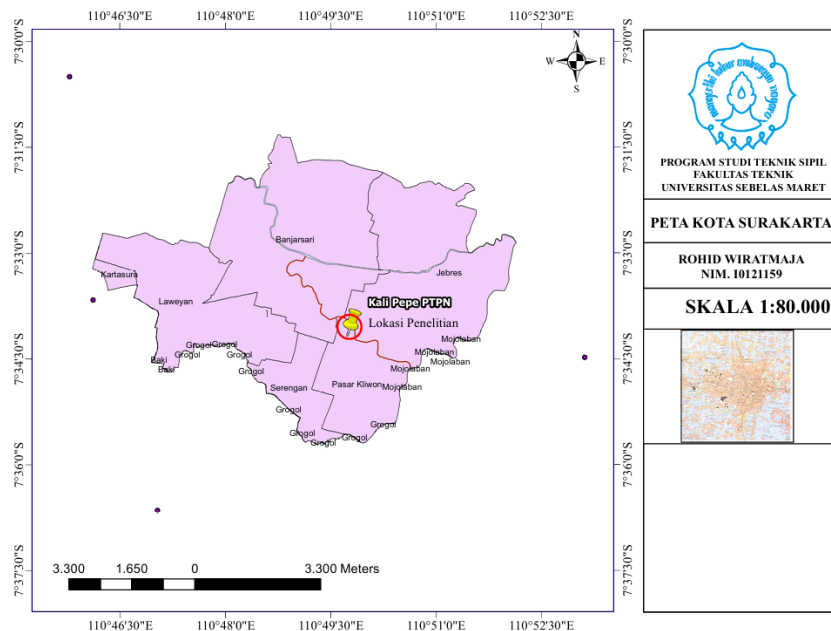
Dalam perencanaan dan pengelolaan neraca air, sering kali terdapat kendala. Salah satunya yaitu ketidakakuratan data yang ada, serta asumsi yang digunakan dalam model yang kurang tepat (Huard & Mailhot, 2008). Terjadinya ketidakakuratan data disebabkan karena tidak adanya validasi data dengan pengukuran di lapangan. Hal demikian tentunya mengakibatkan data yang diolah menjadi kurang dapat diandalkan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan secara lebih menyeluruh untuk meningkatkan akurasi perhitungan model neraca air. Salah satu cara yang dapat

dilakukan untuk memperoleh data yang lebih akurat, yaitu dengan mengintegrasikan hasil pengukuran di lapangan ke dalam perhitungan model. Data yang diperoleh dari lapangan memberikan hasil secara *realtime* dan spesifik sesuai dengan kondisi sebenarnya.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode GR2M (Global Rainfall-Runoff Model). Pertimbangan dalam pemilihan metode ini yaitu didasarkan pada tingkat keakuratan metode ini yang mendekati dengan kondisi sebenarnya di lapangan. Metode GR2M juga memberikan korelasi yang lebih baik terhadap hasil simulasi dengan menggunakan metode Mock maupun NRECA (Yosephina, 2015). Selain itu, metode ini juga mempunyai kelebihan yaitu tidak mempertimbangkan DAS kering maupun DAS basah, parameter yang digunakan juga relatif lebih sedikit, namun mempunyai keandalan yang relatif lebih tinggi jika dibanding dengan metode lain (Yosephina, 2015).

2. METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian yaitu DAS Kali Pepe yang melintasi Kota Surakarta dan tidak memperhitungkan luasan DAS hulu. Kemudian dilakukan pengamatan tinggi muka air pada Pos Pemantauan Tinggi Muka Air Kali Pepe PTPN yang terletak di Jl. Arifin, Kampung Baru, Kecamatan Pasar Kliwon, Kota Surakarta (dapat dilihat pada Gambar 1. Pertimbangan pemilihan lokasi ini didasarkan karena aksesibilitas yang memadai, adanya data historis dan belum adanya pengamatan yang dilakukan pada wilayah tersebut.



Gambar 1. Lokasi Penelitian dan Pos Pengamatan Tinggi Muka Air

Data Hidrologi

Data curah hujan digunakan untuk mengetahui besarnya distribusi curah hujan yang terjadi. Pada penelitian ini digunakan data dari empat stasiun hujan, yaitu Stasiun Ngemplak, Stasiun Pabelan, Stasiun Baki, dan Stasiun Mojolaban.

Tabel 1. Data Curah Hujan Bulanan Maksimum Tahun 2022

Bulan	Curah Hujan (mm)
Januari	103.5
Februari	74.5
Maret	84.0
April	49.0
Mei	102.0
Juni	57.0
Juli	37.5
Agustus	18.0
September	25.0
Oktober	64.0
November	52.0
Desember	77.0

Uji Konsistensi Data Hujan

Uji konsistensi dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui penyimpangan data hujan, selain itu juga untuk mengetahui apakah data hujan yang kita peroleh tersebut dapat dinyatakan pangkah dan dapat digunakan untuk melakukan analisis lebih lanjut. Uji konsistensi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode Rescale Adjusted Partial Sums(RAPS). Uji kepengangahan data dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}), \text{ dengan } k = 1, 2, 3, \dots, n \dots\dots\dots (1)$$

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{S_d}, \text{ dengan } k = 0, 1, 2, 3, \dots, n \dots\dots\dots (2)$$

$$S_d^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_i - \bar{Y})^2}{n} \dots\dots\dots (3)$$

$$Q_{RAPS} = \max |S_k^{**}|, 0 \leq k \leq n$$

$$R_{RAPS} = \max S_k^{**} - \min S_k^{**}, \text{ dengan } 0 \leq k \leq n$$

Dengan :

Y_i = data hujan ke- i (mm),

$\bar{Y}$ = data hujan rata-rata (mm),

S_d = ragam standar,

n = jumlah data,

Q_{RAPS} = nilai indikasi perubahan,

R_{RAPS} = nilai *rescaled adjusted range*.

Nilai kritik Q_{RAPS} dan R_{RAPS} setiap *Confidence Interval (CI)* terdapat pada **Tabel 2.1**

Tabel 2 Nilai kritik Q_{RAPS} dan R_{RAPS} (Harto, 1993)

N	$\frac{Q/\sqrt{n}}$			$\frac{R/\sqrt{n}}$		
	CI= 90%	CI= 95%	CI= 99%	CI= 90%	CI= 95%	CI= 99%
10	1.05	1.14	1.29	1.21	1.28	1.38
20	1.10	1.22	1.42	1.34	1.43	1.60
30	1.12	1.24	1.46	1.40	1.50	1.70
40	1.13	1.26	1.50	1.42	1.53	1.74
50	1.14	1.27	1.52	1.44	1.55	1.78
100	1.17	1.29	1.55	1.50	1.62	1.86
∞	1.22	1.36	1.63	1.62	1.75	2.00

Evapotranspirasi Potensial

Evapotranspirasi merupakan salah satu parameter penting yang digunakan untuk mengevaluasi keairan, terutama curah hujan yang distribusinya tidak teratur (Choudhary *et al.*, 2023). Pada penelitian ini, perhitungan evapotranspirasi dihitung menggunakan metode Thornthwaite. Evapotranspirasi potensial sendiri yaitu jumlah maksimum air yang mengalami penguapan dan di transpirasikan melalui vegetasi jika ketersediaannya itu terbatas (Thornthwaite, 1948). Parameter yang digunakan dalam perhitungan evapotranspirasi potensial (ETp), yaitu:

- Temperatur udara rata-rata bulanan
- Lama penyinaran matahari (melalui koreksi hari dalam sebulan dan berdasarkan garis lintang)
- Indeks panas tahunan (I)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung evapotranspirasi potensial menggunakan metode Thornthwaite:

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T}{5} \right)^{1,514} \dots\dots\dots (4)$$

$$a = (0,000000675 \times I^3) - (0,0000771 \times I^2) + (0,01792 \times I) \dots\dots\dots (5)$$

Persamaan untuk Evapotranspirasi potensial (ETp) ($T \geq 26,5^{\circ}\text{C}$):

$$\text{ETp} = (-0,0433 \times T^2) + (3,2244 \times T) - 41,545 \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{ETp terkoreksi} = \text{ETp} \times F \dots\dots\dots (7)$$

Nilai F merupakan faktor koreksi pada Lampiran Tabel Faktor Koreksi Menurut Garis Lintang.

Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS)

DEMNAS yaitu model peta digital yang dibuat oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) berupa elevasi yang disediakan oleh pemerintah Indonesia guna melakukan topografi wilayah.

Hujan Wilayah

Perhitungan hujan wilayah pada penelitian ini menggunakan metode Poligon Thiessen. metode Poligon Thiessen merupakan metode yang digunakan untuk menghitung curah hujan rata-rata pada suatu kawasan yang juga memperhitungkan bobot dari setiap stasiun hujan yang mampu mewakili luasan disekitar stasiun hujan. Perhitungan curah hujan dilakukan dengan memperhitungkan luasan daerah dari setiap daerah pengaruh (Triandmodjo, 2013).

Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\bar{P} = \frac{A_1 \cdot p_1 + A_2 \cdot p_2 + A_3 \cdot p_3 + \dots + A_n \cdot p_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} = \frac{\sum A_i \cdot p_i}{A} \dots\dots\dots (8)$$

Dengan:

- A = Luas areal (km²)
 $\bar{P}$ = Hujan rata-rata kawasan
 $p_1, p_2, p_3, \dots, n$ = Tinggi curah hujan di stasiun 1, 2, 3, ..., n
 $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ = Luas daerah terpengaruh stasiun 1, 2, 3, ..., n

Analisis Hujan Debit GR2M

Merupakan metode yang digunakan untuk menghitung debit runoff dengan data masukan yaitu data hujan dan data evapotranspirasi. Metode ini merupakan metode sederhana berdasarkan periode bulanan dari pengolahan curah hujan dan debit. Kelebihan dari metode ini yaitu karena tidak mempertimbangkan DAS basah maupun DAS keringnya. Data yang dipakai dalam metode ini meliputi curah hujan maksimum bulanan dan juga evapotranspirasi (Yosephina, 2015). selain menggunakan data curah hujan dan evapotranspirasi, metode GR2M menggunakan 2 parameter berikut:

1. X_1 = Kelengasan maksimum tanah (mm/bukan)
2. X_2 = Koefisien penyerapan air tanah

Persamaan yang digunakan pada model GR2M yaitu sebagai berikut:

$$S = \frac{ex1}{2} \dots\dots\dots (9)$$

$$S = \frac{ex1}{2} \dots\dots\dots (10)$$

$$S_1 = \frac{s + x_1 \varphi}{1 + \varphi \frac{s}{x_1}}, \varphi = \tanh \left(\frac{P}{x_1} \right) \dots\dots\dots (11)$$

$$P_1 = Pb + S + S_1 \dots\dots\dots (12)$$

$$S_2 = \frac{s_1(1-\psi)}{1+\psi\left(1-\frac{s_1}{x_1}\right)}, \varphi = \tanh\left(\frac{ET0}{x_1}\right) \dots\dots\dots (13)$$

$$Sa = \frac{S_2}{\left(1 + \left(\frac{S_2}{x_1}\right)^3\right)^{\frac{1}{3}}}, P_2 = S_2 - Sa \dots\dots\dots (14)$$

$$P_3 = P_1 + P_2 \dots\dots\dots (15)$$

$$R_1 = R + P_3 \dots\dots\dots (16)$$

$$R_2 = X_2 \times R_1 \dots\dots\dots (17)$$

$$Qr = \frac{R_2^2}{R_2 + 60} \dots\dots\dots (18)$$

$$Q = \frac{Qr \times \text{Luas DAS (KM}^2\text{)} \times 1000}{3600 \times 24 \times \text{jumlah hari per periode}} \dots\dots\dots (19)$$

Dengan:

- S = Kelengasan awal tanah (mm/bulan) ex_1
- S_1 = Kelengasan tanah akibat presipitasi (mm/bulan)
- X_1 = Kelengasan maksimum tanah (mm/bulan)
- P_b = Curah hujan bulanan (mm/bulan)
- S_2 = Kelengasan tanah akibat presipitasi dan evapotranspirasi (mm/bulan)
- Et = Evapotranspirasi (mm)
- Sa = Kelengasan tanah akibat infiltrasi kedalam lapisan tanah (mm/bulan)
- P_1 = Aliran permukaan (mm)
- P_2 = Kedalaman hujan akibat pengurangan kelengasan (mm)
- P_3 = Kedalaman hujan total (mm)
- X_2 = Koefisien penyerapan air tanah
- R = Routing tetapan (mm/bulan)
- R_1 = Nilai *routing* berdasarkan penjumlahan nilai kedalaman hujan total (mm/bulan)
- R_2 = Nilai *routing* berdasarkan kalibrasi x_2 (mm/bulan)
- Q = Debit *runoff* (mm/bulan)

Debit Lapangan

debit lapangan diperoleh dari AWLR (Automatic Water Level Recorder) yang outputnya sudah berupa data debit. AWLR sendiri merupakan suatu perangkat yang berfungsi sebagai alat untuk memantau, mengukur, mencatat, serta menyajikan tinggi muka air yang pengoperasiannya dilakukan secara jarak jauh (Mertani, n.d.)

T-Test

Analisis ini dilakukan menggunakan perangkat lunak Ms. Excel. Dalam analisis ini ditetapkan terdapat 2 hipotesis, yaitu:

1. Hipotesis Nol (H_0) : menunjukkan tidak ada perbedaan yang signifikan antara debit lapangan dengan debit teoritis.
2. Hipotesis Alternatif (H_1) : menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara debit lapangan dengan debit teoritis.

Apabila nilai $|T_{hitung}| > T_{tabel}$, maka H_0 diterima. Begitupun sebaliknya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Konsistensi Data Hujan

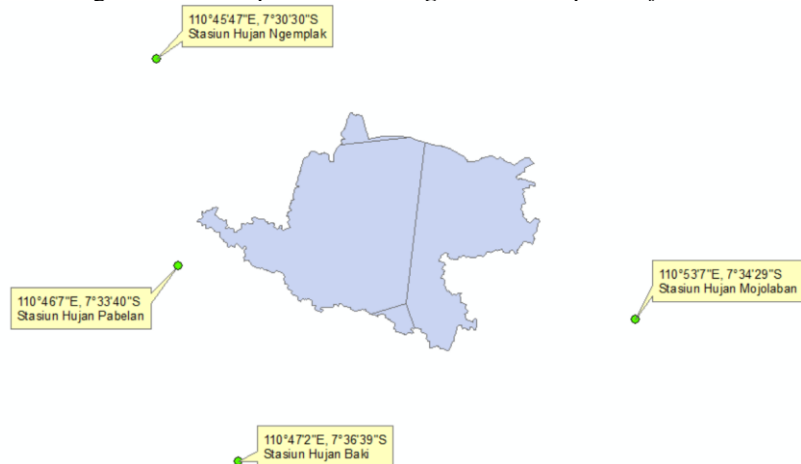
Data hujan yang telah diperoleh, masih harus dilakukan uji konsistensi data yang bertujuan untuk mengetahui penyimpangan data hujan dan juga untuk mengetahui apakah data hujan yang kita punya dapat dinyatakan panggah ataukah tidak. Uji konsistensi yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan metode Rescale Adjusted Partial Sums (RAPS).

Tabel 3. Uji Konsistensi Data Hujan Stasiun Pabelan

No	Stasiun Hujan	$\frac{Q}{\sqrt{n}}$ hitung	$\frac{Q}{\sqrt{n}}$ kritik	Hasil RAPS
1	Mojolaban	0.80	1.22	Pangguh
2	Pabelan	0.45	1.22	Pangguh
3	Ngemplak	0.40	1.22	Pangguh
4	Baki	0.42	1.22	Pangguh

Hujan Wilayah Analisis Poligon Thiessen

Digunakan koordinat dari empat stasiun hujan untuk mengetahui luasan daerah tangkapan hujan dari masing-masing stasiun hujan yang kemudian digunakan untuk pembuatan *Poligon Thiessen* pada *software ArcGIS*.



Gambar 2. Poligon Thiessen DAS Kali Pepe, Analisis dengan *Software Arcgis*

Luas daerah tangkapan hujan pada setiap stasiun hujan adalah:

- Stasiun Hujan Mojolaban = 11,69 km²
 - Stasiun Hujan Baki = 0,47 km²
 - Stasiun Hujan Pabelan = 17,90 km²
 - Stasiun Hujan Ngemplak = 0,55 km²
-
- DAS Kali Pepe = 30,62 km²

Tabel 4. Perhitungan Koefisien Thiessen

No	Stasiun Hujan	Luas Wilayah		Koef. Thiessen (Kr)	Bobot (%)
		m ²	km ²		
1	Sta. Pabelan	17900591	17.90	0.58	58.45
2	Sta. Mojolaban	11694534	11.69	0.38	38.19
3	Sta. Baki	474523	0.47	0.02	1.55
4	Sta. Ngemplak	554621	0.55	0.02	1.81
LUAS TOTAL DAS		30624269	30.62	1.00	100

Evapotranspirasi Potensial

Untuk temperatur lebih dari 26,5°C, maka digunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{ETP } (T \geq 26,5^\circ\text{C}) &= -0,0433 \times T^2 + 3,2244 \times T - 41,545 \\
 &= -0,0433 \times 29,2^2 + 3,2244 \times 29,2 - 41,545 \\
 &= 15,7
 \end{aligned}$$

Tabel 5. Suhu udara tahunan

Tahun	Suhu Udara (°C)
2004	29.2
2005	27.9
2006	34.0
2007	34.2
2008	33.9
2009	34.0
2010	27.2
2011	26.5
2012	26.9
2013	27.0
2014	27.0
2015	27.0
2016	27.4
2017	24.7
2018	27.5
2019	29.2
2020	28.3
2021	27.5
2022	26.7
2023	31.1

Tabel 6. Indeks panas tahunan

Tahun	Suhu Udara (°C)	Indeks Panas Tahunan
2004	29.2	14.5
2005	27.9	13.5
2006	34.0	18.2
2007	34.2	18.4
2008	33.9	18.1
2009	34.0	18.2
2010	27.2	13.0
2011	26.5	12.5
2012	26.9	12.8
2013	27.0	12.8
2014	27.0	12.8
2015	27.0	12.8
2016	27.4	13.1
2017	24.7	11.3
2018	27.5	13.2
2019	29.2	14.5
2020	28.3	13.8
2021	27.5	13.2
2022	26.7	12.6
2023	31.1	15.9

Tabel 7. Faktor koreksi Terhadap Garis Lintang

Faktor koreksi untuk 7° LS	Januari	1.07
	Februari	0.96

Maret	1.04
April	1.00
Mei	1.02
Juni	0.98
Juli	1.02
Agustus	1.03
September	1.00
Oktober	1.05
November	1.04
Desember	1.07

Tabel 8. Hasil Perhitungan Evapotranspirasi Metode Thornthwaite

Tahun	Suhu Udara (°C)	Faktor Koreksi Berdasarkan Garis Lintang											
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des
		1.07	0.96	1.04	1	1.02	0.98	1.02	1.03	1	1.05	1.04	1.07
2004	29.2	16.82	15.09	16.34	15.72	16.03	15.40	16.03	16.19	15.72	16.50	16.34	16.82
2005	27.9	15.74	14.12	15.30	14.71	15.00	14.42	15.00	15.15	14.71	15.45	15.30	15.74
2006	34.0	19.29	17.31	18.75	18.03	18.39	17.67	18.39	18.57	18.03	18.93	18.75	19.29
2007	34.2	19.35	17.36	18.81	18.08	18.45	17.72	18.45	18.63	18.08	18.99	18.81	19.35
2008	33.9	19.26	17.28	18.72	18.00	18.36	17.64	18.36	18.54	18.00	18.90	18.72	19.26
2009	34.0	19.29	17.31	18.75	18.03	18.39	17.67	18.39	18.57	18.03	18.93	18.75	19.29
2010	27.2	15.11	13.56	14.69	14.12	14.41	13.84	14.41	14.55	14.12	14.83	14.69	15.11
2011	26.5	14.44	12.95	14.03	13.49	13.76	13.22	13.76	13.90	13.49	14.17	14.03	14.44
2012	26.9	14.83	13.30	14.41	13.86	14.14	13.58	14.14	14.27	13.86	14.55	14.41	14.83
2013	27.0	14.92	13.39	14.51	13.95	14.23	13.67	14.23	14.37	13.95	14.65	14.51	14.92
2014	27.0	14.92	13.39	14.51	13.95	14.23	13.67	14.23	14.37	13.95	14.65	14.51	14.92
2015	27.0	14.92	13.39	14.51	13.95	14.23	13.67	14.23	14.37	13.95	14.65	14.51	14.92
2016	27.4	15.30	13.72	14.87	14.30	14.58	14.01	14.58	14.72	14.30	15.01	14.87	15.30
2017	24.7	12.55	11.26	12.19	11.73	11.96	11.49	11.96	12.08	11.73	12.31	12.19	12.55
2018	27.5	15.39	13.81	14.96	14.38	14.67	14.09	14.67	14.81	14.38	15.10	14.96	15.39
2019	29.2	16.78	15.06	16.31	15.68	16.00	15.37	16.00	16.15	15.68	16.47	16.31	16.78
2020	28.3	16.11	14.45	15.65	15.05	15.35	14.75	15.35	15.50	15.05	15.81	15.65	16.11
2021	27.5	15.40	13.82	14.97	14.39	14.68	14.11	14.68	14.83	14.39	15.11	14.97	15.40
2022	26.7	14.64	13.13	14.23	13.68	13.95	13.40	13.95	14.09	13.68	14.36	14.23	14.64
2023	31.1	18.00	16.15	17.50	16.83	17.16	16.49	17.16	17.33	16.83	17.67	17.50	18.00

Analisis Hujan-Debit GR2M

Tabel 9. Batas Nilai Parameter GR2M

Parameter	Maksimal	Minimal
X_1	640	140
X_2	1,31	0,21

Setelah dilakukan *so/ver* untuk menentukan nilai x_1 dan x_2 , maka didapat:

$X_1 = 640$ mm/bulan

$X_2 = 0,27$

Perhitungan debit menggunakan metode GR2M dihitung menggunakan **Persamaan 9 – 19** Contoh analisis hujan-debit GR2M bulan Januari 2004, sebagai berikut:

Data yang diperlukan :

- Data hujan bulan Januari 2004 (P) = 71 mm
- Evapotranspirasi bulan Januari 2004 (Eto) = 16,82
- Kelengasan awal tanah (So) = $\frac{x_1}{2} = \frac{640}{2} = 320$ mm

- Routing awal tanah (Ro) $= \frac{60}{2} = 30 \text{ mm}$

Tahapan perhitungan:

1. Kelengasan tanah akibat presipitasi

$$\varphi = \tanh \frac{p}{X1} = \tanh \frac{71}{640} = 0,12$$

$$S_1 = \frac{s+x_1 \varphi}{1+\varphi \frac{s}{x_1}} = \frac{320+640 \times 0,12}{1+0,12 \frac{320}{640}} = 370,26 \text{ mm}$$

2. Hujan yang melimpas / aliran permukaan P1

$$P1 = P + S0 - S1$$

$$= 71 + 320 - 370,26$$

$$= 20,74 \text{ mm}$$

3. Kelengasan tanah akibat presipitasi dan evapotranspirasi (S2)

$$\varphi = \tanh \frac{ET0}{X1} = \tanh \frac{16,82}{640} = 0,02$$

$$S_2 = \frac{s1(1-\varphi)}{1+\varphi \frac{s1}{x_1}} = \frac{370,26(1-0,2)}{1+0,02 \frac{370,26}{640}} = 356,58 \text{ mm}$$

4. Kelengasan tanah akibat infiltrasi kedalam lapisan tanah (Sa)

$$Sa = \frac{S_2}{\left(1 + \left(\frac{S_2}{x_1}\right)^3\right)^{\frac{1}{3}}} = \frac{356,58}{\left(1 + \left(\frac{356,58}{640}\right)^3\right)^{\frac{1}{3}}} = 338,12 \text{ mm}$$

5. Kedalaman hujan akibat kelengasan (P2)

$$P2 = S2 - Sa$$

$$= 356,58 - 338,12$$

$$= 18,47 \text{ mm}$$

6. Kedalaman hujan total yang melimpas (P3)

$$P3 = P1 + P2$$

$$= 20,74 + 18,47$$

$$= 39,21 \text{ mm}$$

7. Routing 1 (R1)

$$R1 = R0 + P3$$

$$= 30 + 39,21$$

$$= 69,21 \text{ mm}$$

8. Routing 2 (R2)

$$R2 = X2 \times R1$$

$$= 0,27 \times 69,21$$

$$= 90,68 \text{ mm}$$

9. Debit Runoff (Q)

$$Q = \frac{R_2^2}{R_2 + 60} = \frac{90,68^2}{90,68 + 60} = 54,57 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Untuk nilai S0 pada perhitungan selanjutnya menggunakan nilai Sa pada analisis yang telah dilakukan pada bulan sebelumnya. Begitu pula nilai routing pada bulan selanjutnya, dihitung menggunakan nilai routing dari bulan sebelumnya. Rekapitulasi hasil perhitungan debit metode GR2M disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Rekapitulasi Perhitungan Metode GR2M

Periode	S1 (mm)	P1 (mm)	S2	S	P2 (mm)	P3 (mm)	R1	F	R2	R	Debit (m3/detik)
01/01/2022	432.28	40.93	419.29	386.05	33.24	74.17	114.42	35.50	149.92	42.85	0.18
01/02/2022	430.15	30.40	418.51	385.49	33.02	63.42	106.27	32.97	139.25	41.93	0.16
01/03/2022	434.83	34.66	422.16	388.10	34.05	68.71	110.64	34.33	144.97	42.44	0.17
01/04/2022	417.65	19.45	405.72	376.16	29.56	49.01	91.44	28.37	119.82	39.98	0.13
01/05/2022	436.74	41.42	424.28	389.62	34.66	76.09	116.06	36.01	152.07	43.02	0.18
01/06/2022	423.56	23.05	411.78	380.61	31.17	54.22	97.25	30.17	127.42	40.79	0.14
01/07/2022	404.00	14.10	392.05	365.92	26.13	40.23	81.02	25.14	106.16	38.33	0.11
01/08/2022	377.84	6.08	366.22	345.85	20.38	26.45	64.79	20.10	84.89	35.15	0.08

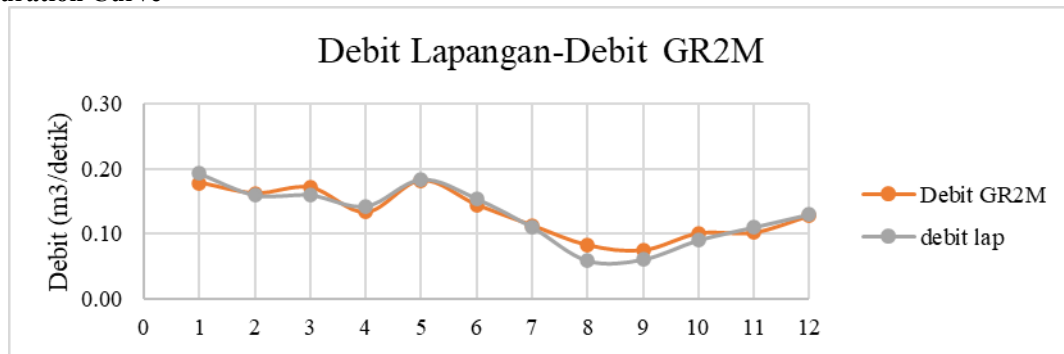
01/09/2022	363.17	7.67	352.15	334.52	17.63	25.31	60.46	18.76	79.22	34.14	0.08
01/10/2022	378.59	19.94	366.73	346.25	20.48	40.42	74.56	23.13	97.69	37.17	0.10
01/11/2022	381.41	16.84	369.61	348.54	21.08	37.92	75.09	23.30	98.39	37.27	0.10
01/12/2022	399.14	26.40	386.69	361.83	24.86	51.25	88.52	27.47	115.99	39.54	0.13

Debit Lapangan

Tabel 11. Debit Lapangan Berdasarkan Pantauan AWLR (Automatic Water Level Recorder)

Bulan	H (m)	Q (m ³ /detik)
Januari	0.40	0.19
Februari	0.50	0.16
Maret	0.45	0.16
April	0.49	0.14
Mei	0.46	0.18
Juni	0.45	0.15
Juli	0.42	0.11
Agustus	0.40	0.06
September	0.40	0.06
Oktober	0.40	0.09
November	0.41	0.11
Desember	0.45	0.13

Flow Duration Curve



Gambar 3. Perbandingan Grafik Debit Lapangan dengan Debit GR2M

Tabel 12. Rekapitulasi Perhitungan Korelasi Debit Lapangan dengan Debit Metode GR2M Metode Pearson (r)

Periode	Tinggi Muka Air (h)	Luas Penampang (A)	Kecepatan rata-rata (Vr)	Keliling Penampang Basah (P)	Jari-jari Penampang Basah (R)	Debit Lapangan (m ³ /detik)	Debit GR2M (m ³ /detik)
01/01/2022	2.45	4.95	21.63	19.90	0.25	0.19	0.18
01/02/2022	2.43	4.95	19.66	19.87	0.25	0.16	0.16
01/03/2022	2.46	4.95	20.71	19.91	0.25	0.16	0.17
01/04/2022	2.52	4.95	16.13	20.04	0.25	0.14	0.13
01/05/2022	2.45	4.95	22.03	19.89	0.25	0.18	0.18
01/06/2022	2.46	4.95	17.50	19.93	0.25	0.15	0.14
01/07/2022	2.43	4.95	13.70	19.86	0.25	0.11	0.11
01/08/2022	2.47	4.95	10.05	19.94	0.25	0.06	0.08

01/09/2022	2.35	4.95	9.11	19.69	0.25	0.06	0.08
01/10/2022	2.40	4.95	12.23	19.80	0.25	0.09	0.10
01/11/2022	2.41	4.95	12.35	19.82	0.25	0.11	0.10
01/12/2022	2.25	4.95	15.44	19.50	0.25	0.13	0.13
ΣQ					1.55	1.57	
Q rata-rata					0.13	0.13	
korelasi (r)					0.9749		

Koefisien korelasi (r) merupakan nilai yang menunjukkan seberapa erat antara 2 variabel, dalam hal ini antara debit lapangan dengan debit teoritis (hasil perhitungan dengan metode GR2M). Nilai r berkisar antara -1 hingga 1, dengan arti sebagai berikut:

- $r > 0,8$: Hubungan Positif, ketika debit teoritis meningkat, maka debit lapangan juga meningkat.
- $0,5 < r < 0,8$: Tidak ada hubungan antara debit lapangan dengan debit teoritis,
- $r < 0,5$: Hubungan negatif, ketika debit lapangan meningkat, maka debit teoritis menurun.

Pada penelitian ini, korelasi yang didapat sebesar 0.9749, hal ini menunjukkan bahwa model yang digunakan untuk analisis hujan sudah mampu merepresentasikan kondisi yang ada di lapangan.

4.7 T-Test

Perhitungan *T-Test* dilakukan menggunakan perangkat lunak *Ms. Excel*. Tahapan dalam menghitung *T-Test* adalah sebagai berikut:

- Hipotesis nol (H_0) : menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan antara debit lapangan dengan debit teoritis.
- Hipotesis Alternatif (H_a) : Menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara debit lapangan dengan debit teoritis.

Apabila nilai $|T_{hitung}| > T_{tabel}$, maka H_0 diterima.

Tabel 13. *T-Test FDC (Freedom Degree Correction)* Debit Lapangan Terhadap Debit GR2M

	Variable 1	Variable 2
Mean	0.16065	0.1309
Variance	0.0022	0.0013
Observations	12	12
Pearson Correlation	0.9961	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	11	
t Stat	9.7141	
P(T<=t) one-tail	4.9E-07	
t Critical one-tail	1.7958	
P(T<=t) two-tail	9.8E-07	
t Critical two-tail	2.2009	

Pada Tabel 13. dapat dilihat bahwa T_{hitung} uji *T-Test* metode GR2M terhadap debit lapangan ($t_{stat} = 9,7141$) $>$ T_{tabel} ($t_{critical\ one-tail} = 1,7958$ dan $t_{critical\ two-tail} = 2,2009$), Berdasarkan analisis *T-Test*, maka H_0 diterima. Hal ini berarti FDC simulasi hujan-debit metode GR2M mempunyai korelasi yang baik terhadap debit lapangan karena tidak ada perbedaan yang signifikan antara hasil perhitungan menggunakan metode GR2M dengan data terukur di lapangan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan menggunakan metode GR2M yang dibandingkan dengan pengukuran lapangan berdasarkan pantauan AWLR (*Automatic Water Level Recorder*), diperoleh nilai korelasi sebesar 0,9749. Korelasi ini diartikan sebagai korelasi yang baik, karena nilainya mendekati nol. Hal demikian berarti apabila debit pada kondisi sebenarnya atau debit lapangan meningkat, maka debit pada perhitungan GR2M juga akan meningkat,

begitupun sebaliknya, apabila debit pada kondisi lapangan menurun maka debit pada perhitungan GR2M juga akan menurun.

DAFTAR PUSTAKA

- Adane, G. B., Hirpa, B. A., Gebru, B. M., Song, C., & Lee, W. K. (2021). Integrating satellite rainfall estimates with hydrological water balance model: Rainfall-runoff modeling in awash river basin, ethiopia. *Water (Switzerland)*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/w13060800>
- Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo. (2023). Sistem Informasi Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo.
- Fathi, M. M., Awadallah, A. G., & Aldahshoory, W. (2023). An Improved Monthly Water Balance GR2M Model with a Seasonally Variable Parameter. *Journal of Hydrology*, 617(PC), 129127. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129127>
- Grigg, Neil. (1996). *Water Resources Management; Principal, Regulation, and Cases*. McGraw-Hill.
- Huard, D., & Mailhot, A. (2008). Calibration of hydrological model GR2M using Bayesian uncertainty analysis. *Water Resources Research*, 44(2), 1–19. <https://doi.org/10.1029/2007WR005949>
- Indonesia-geospasial.com. (n.d.). *Portal Geospasial Indonesia*. dari <https://www.indonesia-geospasial.com>
- Javas, J., Roesbianto, A. S. B., Sihombing, Y. I., Farid, M., Adityawan, M. B., Kuntoro, A. A., Suwarman, R., & Yosa, I. M. (2024). Open-access digital elevation model (DEM) selection for flood inundation modelling using HEC-RAS in Capital City of Nusantara. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1343(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1343/1/012036>
- Lespinas, F., Ludwig, W., & Heussner, S. (2014). Hydrological and climatic uncertainties associated with modeling the impact of climate change on water resources of small Mediterranean coastal rivers. *Journal of Hydrology*, 511, 403–422. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.01.033>
- Mertani. (2020). *Automatic Water Level Recorder*. <https://www.mertani.co.id/id/automatic-water-level-recorder>
- Mouelhi, S., Michel, C., Perrin, C., & Andréassian, V. (2006). Stepwise development of a two-parameter monthly water balance model. *Journal of Hydrology*, 318(1–4), 200–214. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.06.014>
- Ploszai, R., Mine, M. R. M., & Detzel, D. H. M. (2022). An Analysis of Non-stationary Drought Conditions in Parana State Based on Climate Change Scenarios. *Water Resources Management*, 36(10), 3401–3415.
- Putra, M., Rosid, M. S., & Handoko, D. (2024). High-Resolution Rainfall Estimation Using Ensemble Learning Techniques and Multisensor Data Integration. *Sensors*, 24(15). <https://doi.org/10.3390/s24155030>
- Rama, B., Fadhlani, Khairullah, Y., Fasdarsyah, Meutia, S., & Anugrah, M. (2024). Flood peak estimation for the keureuto watershed using the hydrological modeling system HEC-HMS. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1311(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1311/1/012040>
- Rwasoka, D. T., Madamombe, C. E., Gumindoga, W., & Kabobah, A. T. (2014). Calibration, validation, parameter identifiability and uncertainty analysis of a 2 - parameter parsimonious monthly rainfall-runoff model in two catchments in Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*, 67–69, 36–46. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2013.09.015>
- Schmadel, N. M., Neilson, B. T., & Stevens, D. K. (2010). Approaches to estimate uncertainty in longitudinal channel water balances. *Journal of Hydrology*, 394(3–4), 357–369. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.09.011>
- Sriharto Br. (2000). *Hidrologi : Teori, Masalah, Penyelesaian*. Nafiri Offset. Yogyakarta
- Sriharto Br. (2003). *Analisis Hidrologi*. Gramedia Pustaka Utama. Yogyakarta.
- Soemarto, C.D. (1986). *Hidrologi Teknik*. Usaha Nasional. Surabaya.
- Soewarno. (1995). *Hidrologi Aplikasi Untuk Analisa Data. jilid 1*. Nova. Jakarta.
- Sosrodarsono Suyono, Kensaku Takeda. (2003). *Hidrologi Untuk Pengairan*. Pradnya Paramita. Jakarta
- Tanahair.indonesia.go.id. (n.d.). *Portal Tanah Air Indonesia*. dari <https://tanahair.indonesia.go.id>
- Touhami, I., Chirino, E., Andreu, J. M., Sánchez, J. R., Moutahir, H., & Bellot, J. (2015). Assessment of climate change impacts on soil water balance and aquifer. *JOURNAL OF HYDROLOGY*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.012>
- Triatmodjo. (2008). *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta. Beta Offset.