

Estimasi hujan-debit menggunakan model *Mock*, GR2M, dan *Tank* di Kawasan Pagilaran sebagai Dasar Perencanaan PLTMH

Rian Mantasa Salve Prastica^{1*}, Destiana Wahyu Pratiwi²

Departemen Teknik Sipil, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta¹, BBWS Bengawan Solo, Kementerian PUPR, Sukoharjo²

Koresponden*, Email: rian.mantasa.s.p@ugm.ac.id

Info Artikel		Abstract
Diajukan	21 Januari 2020	<p><i>Pagilaran has water scarcity and electricity issues. Studies have been conducted and conclude new findings. Pagilaran has potential topography as a future small lake location and has water resources for new electricity energy resources. The paper concerns about discharge prediction in Pagilaran catchment. No studies could confirm the availability of outflow from water resources in Pagilaran. The primary data of taking debit samples in Pagilaran could not be done yet due to difficult access to arrive. This paper focuses on analyzing rainfall-runoff simulation using the Mock model, Tank model, and GR2M model to estimate the discharge. The methods show the same patterns of outflow every year. The results indicate these methods do not have enormous differentiation. Model verification was conducted by using field data of year 2017 discharge sampling and resulted the percentage of SSE of three methods 5.89%, 5.76%, and 6.40%, respectively. In this research, Tank Model is the best alternative to use for discharge estimation.</i></p>
Diperbaiki	20 Februari 2021	
Disetujui	20 Februari 2021	

Keywords: Mock model, Tank model, GR2M model, rainfall-runoff, poor discharge data

Abstrak
Pagilaran memiliki kelangkaan air dan masalah listrik. Studi telah dilakukan dan menyimpulkan temuan baru. Pagilaran memiliki potensi topografi sebagai lokasi embung kecil di masa depan dan memiliki sumber daya air untuk sumber daya energi listrik baru. Makalah ini membahas tentang prediksi debit di daerah tangkapan air Pagilaran. Belum ada penelitian yang dapat mengkonfirmasi ketersediaan aliran keluar dari sumber daya air di Pagilaran. Data primer pengambilan sampel debit di Pagilaran belum dapat dilakukan karena sulitnya akses ke lapangan. Makalah ini berfokus pada analisis simulasi curah hujan dengan menggunakan model *Mock*, model *Tank*, dan model GR2M untuk memperkirakan debit. Metode menunjukkan pola aliran yang sama setiap tahun. Hasil menunjukkan metode ini tidak memiliki diferensiasi yang sangat besar. Verifikasi model dilakukan menggunakan data lapangan pada tahun 2017 dan menghasilkan SSE sebesar 5,89%; 5,76%; dan 6,40% untuk ketiga metode secara berturut-turut. Dalam penelitian ini, Model *Tank* merupakan alternatif terbaik dalam prediksi debit.

Kata kunci: Model *Mock*, Model *Tank*, Model GR2M, peramalan hujan-debit, data debit terbatas

1. Pendahuluan

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) memiliki peran wajib sebagai pembangkit listrik dan sumber daya yang ramah lingkungan sebagai energi primer. Tenaga air menjadi salah satu alternatif energi terbarukan pada tren lama, sumber energi paling efisien [1], [2], dan paling banyak digunakan dalam beberapa dekade terakhir. PLTMH menghasilkan sekitar 19% listrik di dunia [3].

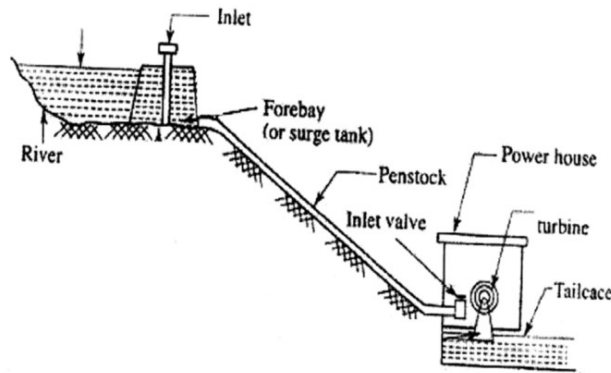
Salah satu rencana pembangunan PLTMH diinisiasi di kawasan Pagilaran, Jawa Tengah. Makalah ini berkaitan dengan usulan PLTMH di wilayah tersebut. Pagilaran memiliki hutan pertanian teh dan kakao di bawah otoritas PT. Pagilaran. PT. Pagilaran digunakan sebagai industri pengajaran atau laboratorium lapangan untuk civitas akademika Universitas Gadjah Mada (UGM), Yogyakarta. **Gambar 1** menggambarkan lokasi hutan pertanian Pagilaran.



Gambar 1. Hutan pertanian Pagilaran

PLTMH menghasilkan tenaga dari pemuangan di badan

air dan kemudian diubah oleh bentuk mekanik tertentu [4] menjadi listrik. Mikrohidro dapat menghasilkan energi sekitar 100 kW [4]–[6]. **Gambar 2** menunjukkan struktur tipikal PLTMH. Elemen utama PLTMH adalah *outflow*. Ketersediaan *outflow* untuk desain PLTMH di Pagilaran perlu dianalisis terkait kecukupannya atau memadainya debit dalam mendukung PLMTH dalam menghasilkan listrik.



Gambar 2. Sistem tipikal PLTMH [7]

Makalah penelitian ini berfokus pada prediksi debit di wilayah Pagilaran dan merekomendasikan metode prediksi yang dapat digunakan sebagai alternatif desain PLTMH di masa mendatang. Studi menunjukkan bahwa tidak ada data debit primer yang tersedia di Pagilaran dalam jumlah yang banyak, sehingga sulit untuk menganalisis kapasitas daya yang dihasilkan dari PLTMH. Sehingga, perlu dilakukan analisis prediksi debit.

2. Metode

Hal-hal yang menjadi bagian prediksi limpasan di suatu wilayah dapat dicapai dengan analisis komputasi dalam beberapa cara. Dalam beberapa dekade terakhir, penelitian menggunakan *dataset* untuk menganalisis model curah hujan dengan beberapa metode [8]–[10]. Peneliti berhasil menghasilkan prediksi limpasan setiap bulan sesuai dengan data yang tersedia. Penelitian ini menggunakan metode Mock, model Tank, dan model GR2M.

Berdasarkan penelitian dari Pratiwi [11], GR2M memiliki kesamaan dengan *Tank Model* atau Model Tangki. Model Tangki menggambarkan tangki yang dapat menggantikan daerah tangkapan air hujan sesuai dengan struktur tanah dengan minimum enam variabel untuk titrasi sedangkan GR2M menggambarkan wilayah yang terkena air hujan sebagai produk siklus hidrologi dengan tangki dari periode satu ke periode lainnya dengan dua variabel untuk titrasi.

Hasil penelitian di DAS Dengkeng, Klaten, menunjukkan bahwa penataan Model Tangki terbaik adalah rangkaian seri dengan jumlah tiga tangki yang memiliki sifat keandalan sebesar 73%. Pada simulasi model GR2M, debit dihasilkan faktor keamanan 69%.

Evapotranspirasi

Dalam melakukan perhitungan evapotranspirasi, metode yang digunakan adalah Metode Penman-Monteith [12] yang dapat dirumuskan dalam Persamaan di bawah ini.

$$ET_o = \frac{0.408\Delta R_n + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

Menurut Persamaan 1, symbol-simbol tersebut merepresentasikan komponen-komponen hidrologi. ET_o berarti evapotranspirasi pada jenis tanaman referensi (mm/bulan), R_n merupakan keadaan radiasi yang berasal dari matahari di atas permukaan tanaman ($MJ/m^2/day$), T didefinisikan rata-rata suhu lingkungan ($^{\circ}C$), U_2 adalah suatu kondisi yang berada pada tinggi 2 meter di atas permukaan bumi berupa kecepatan angin (m/s), e_s berarti tekanan uap air jenuh (kPa), e_a merupakan tekanan uap air aktual (kPa), Δ adalah kemiringan kurva tekanan uap air ke suhu ($kPa/^{\circ}C$), dan γ sarana konstanta psikrometri ($kPa/^{\circ}C$). Dalam analisis penelitian ini, simulasi menggunakan perangkat lunak pendukung berupa model CROPWAT 8.0 [13] yang dapat menghasilkan nilai evapotranspirasi.

Rainfall-runoff dari Tank model

Model Tangki dipilih sebagai upaya melakukan simulasi di suatu wilayah sungai dengan analogi penggambaran tangki sebagai beberapa reservoir. Tangki tersebut kemudian memiliki lubang yang didefinisikan sebagai fungsi tertentu. Lubang tangki dapat menjadi hasil limpasan yang terjadi. Sedangkan aliran yang melalui bawah tangki merepresentasikan infiltrasi pada suatu daerah aliran sungai. Penelitian Setiawan sebelumnya [14] menggambarkan suatu penjelasan mengenai *water balance* pada model tangki yang disusun secara seri dengan adanya empat tangki dan lubang berjumlah lima. **Gambar 3** menggambarkan skema Model Tangki.

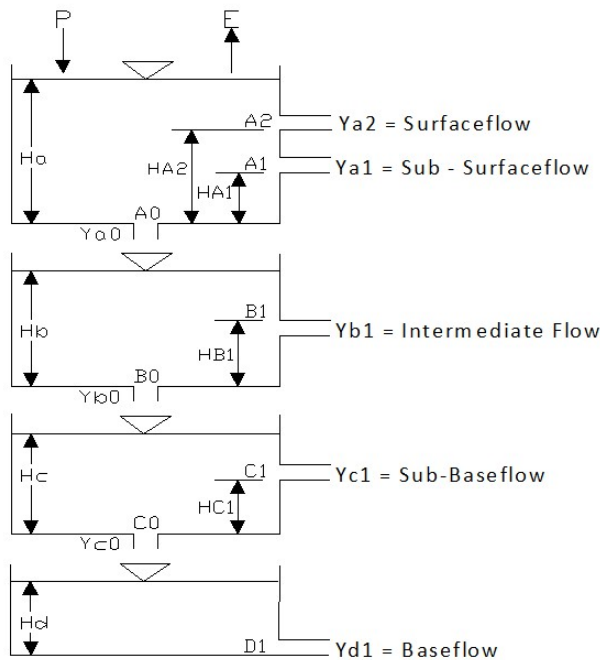
Beberapa parameter yang perlu diperhatikan dalam simulasi *Tank model*, seperti yang terlihat pada **Gambar 3**, dapat dikategorikan menjadi 3 pokok perbedaan, yaitu koefisien limpasan (A_1 , A_2 , B_1 , C_1 , dan D_1), koefisien infiltrasi (A_0 , B_0 , dan C_0) dan parameter penyimpanan (HA_1 , HA_2 , HB_1 , dan HC_1). Secara umum, model tangki

yang akan digunakan pada simulasi berangkat dari Persamaan 2 dan Persamaan 3.

$$\frac{dH}{dt} = P(t) - ET(t) - Y(t) \tag{2}$$

$$Y(t) = Ya(t) + Yb(t) + Yc(t) + Yd(t) \tag{3}$$

Parameter H merepresentasi ketinggian air (mm), P merupakan definisi curah hujan (mm/bulan), ET adalah penguapan dan transpirasi (mm/bulan), Y adalah total aliran (mm/bulan), dan t mewakili waktu (bulan).

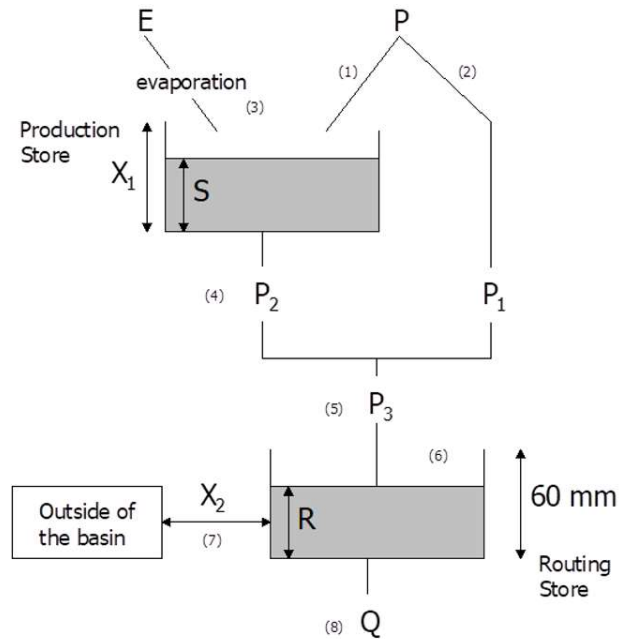


Gambar 3. Standard Tank model untuk analisis keseimbangan air dinamis [14]

Rainfall-runoff dari GR2M model

GR2M (*Global Rainfall-Runoff Model*) merupakan suatu model yang memiliki definisi mirip dengan model *Mock* dan model *Tank*, yaitu untuk keseimbangan air pada suatu wilayah. Metode yang akan digunakan dalam pemodelan ini memiliki konsep empiris yang mendeskripsikan bagaimana suatu DAS memiliki sungai dengan air yang mengalir dari periode satu ke periode lainnya. DAS juga disamakan dengan tangki di mana tiap-tiap tingkat tangki saling terkoneksi dan merepresentasikan lapisan penyimpanan [15]. GR2M memiliki beberapa versi, diusulkan berturut-turut oleh Kabouya [16], Kabouya dan Michel [17], Mouelhi [18] dan Mouelhi *et al.* [19] untuk melakukan pengembangan model simulasi hujan-debit.

Mouelhi *et al.* [19] memiliki luaran hasil simulasi paling efisien. Metode yang digunakan di penelitian tersebut memiliki dua fungsi utama, yaitu fungsi transfer dan fungsi produksi dalam perhitungan SMC [20]. Metode GR2M berisi dua parameter urama dalam perhitungan yang bersifat *looping*. Untuk memperjelas bagaimana siklus metode GR2M, **Gambar 4** menjelaskan skema yang dijalankan di mana angka *trial* GR2M ada di **Tabel 1**.



Gambar 4. GR2M Model [19]

Tabel 1. Parameter GR2M [20]

Parameter	Nilai rata-rata	Interval pada derajat kepercayaan 90%
X_1 = kapasitas <i>soil moisture storage</i> (SMC) (mm)	380	140 – 640
X_2 = koefisien infiltrasi ke dalam air tanah	0.92	0.21- 1.31

GR2M model menggunakan persamaan berikut ini [19].

$$S_1 = \frac{S_0 + X_i \varphi}{1 + \varphi \frac{S}{X_1}} \text{ di mana } \varphi = \tanh\left(\frac{P}{X_1}\right) \tag{4}$$

$$P_1 = P + S_0 - S_1 \tag{5}$$

$$S_2 = \frac{S_1(1-\psi)}{1+\psi\left(1-\frac{S_1}{X_1}\right)}$$

di mana

$$\psi = \tanh\left(\frac{E}{X_1}\right) \tag{6}$$

$$S = \frac{S_2}{\left[1 + \frac{S_2}{X_1}\right]^{\frac{1}{3}}} \tag{7}$$

$$P_2 = S_2 - S \tag{8}$$

$$P_3 = P_1 + P_2 \tag{9}$$

$$R_1 = R + P_3 \tag{10}$$

$$R_2 = X_2 R_1 \tag{11}$$

$$Q = \frac{R_2^2}{R_2 + 60} \tag{12}$$

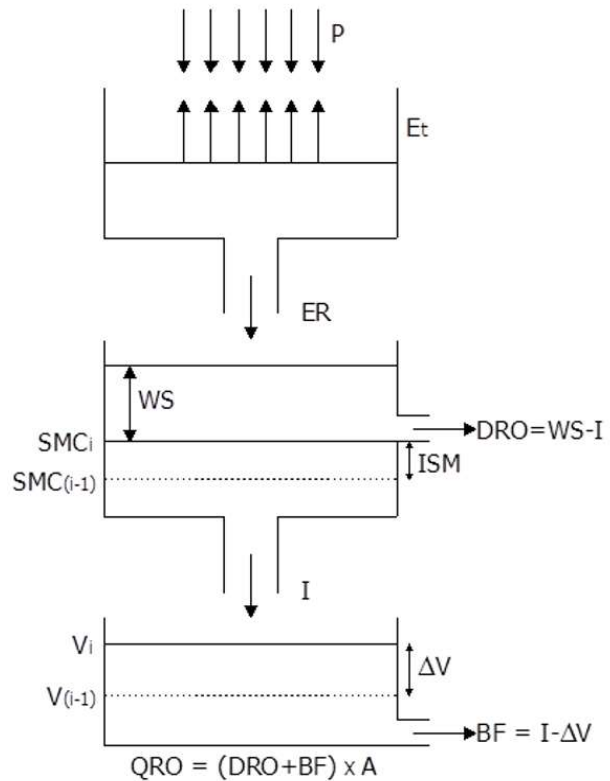
Menurut persamaan (4) - (12), S_i adalah kelembaban tanah karena curah hujan (mm/bulan), S_0 mewakili kelembaban permukaan tanah kondisi mula (mm/bulan). Nilai kelembaban tanah mula dalam siklus perhitungan bulan pertama adalah maksimum X_1 , sedangkan nilai kelembaban tanah awal untuk bulan selanjutnya adalah S pada bulan sebelumnya (mm/bulan). P dikenal sebagai data curah hujan yang terjadi pada siklus bulanan (mm/bulan), P_1 adalah banyaknya air yang memiliki sifat dinamik (mm/bulan), X_1 mewakili kelembaban tanah maksimum (mm/bulan), S_2 berarti kelembaban tanah karena curah hujan dan penguapan-transpirasi (mm/bulan), E adalah evapotranspirasi (mm/bulan), S_3 merupakan jumlah kelembaban pada tanah diakibatkan adanya penetrasi air ke dalam lapisan tanah permukaan (mm/bulan), P_2 merupakan besarnya curah hujan yang merupakan hasil pengurangan S_2-S (mm/bulan), P_3 adalah jumlah total kedalaman hujan yang terjadi (P_1+P_2) (mm/bulan), dan R dapat disebut sebagai nilai *routing* (mm/bulan).

Mock method

Dr. Mock mengusulkan metode lain dalam melakukan

simulasi *water balance* pada air yang bergerak dinamis. Kondisi lain yang memungkinkan memakai metode ini juga karena data hujan atau debit yang sedikit. Dalam melakukan proses input data ke dalam proses perhitungan, hal yang perlu diperhatikan adalah besarnya curah hujan di DAS, evapotranspirasi, karakteristik geologi, dan jenis vegetasi pada DAS.

Input dari metode *Mock* adalah (1) data hujan rerata yang terjadi setiap bulan pada DAS tinjauan yang berasal dari stasiun hujan yang tersedia, (2) data-data evapotranspirasi diambil dari analisis perhitungan pada DAS dengan data meteorologi (rumus *Pennman*), dan (3) jenis tanaman dan variasi vegetasi yang ada di DAS. Setelah itu limpasan yang terjadi merupakan perbedaan antara evapotranspirasi dan curah hujan yang ada. Selain limpasan, dihasilkan pula air tanah dan limpasan hujan lebat (*storm runoff*). **Gambar 5** menjelaskan skema metode *Mock* untuk meningkatkan kejelasan teori.



Gambar 5. Mock model [11]

Metode *Mock* membutuhkan data dan asumsi untuk perhitungan. Pertama, data curah hujan memainkan peran penting untuk menghitung analisis hidrologi lebih lanjut di DAS.

Selanjutnya, data evapotranspirasi dibutuhkan (Et). Hal yang menjadi faktor nilai ini adalah variasi tanaman yang ada di DAS dan kondisi tanah pada tiap hujan berlangsung. Dalam perhitungan Et , beberapa hal yang diperlukan adalah keadaan curah hujan (P), jumlah hari saat hujan (n), dan jumlah hari kering (d).

Karakteristik hidrologi tergantung pada faktor pembukaan lahan. Ada tiga syarat yang perlu diperhatikan, yaitu kondisi bila m adalah 0% dapat digunakan bila kategori tanah dengan hutan lebat, m memiliki nilai 10 - 40% bila area terdampak erosi, dan m berkisar 30-50% untuk lahan budidaya pertanian. Faktor berikutnya dari analisis *Mock* adalah area drainase. Semakin besar area drainase pada suatu DAS, maka area ketersediaan untuk buangan juga besar.

Kapasitas kelembaban tanah (SMC) memainkan peran penting untuk menghitung analisis limpasan. Dalam penelitian ini, nilai SMC diambil dari 50 mm hingga 200 mm. Kelembaban tanah kemudian dianalisis menggunakan persamaan 13 dan 14 berikut.

$$SMC_{(n)} = SMC_{(n-1)} + IS_{(n)} \quad (13)$$

$$Ws = As - IS \quad (14)$$

SMC didefinisikan sebagai kelembaban tanah, SMC (n) adalah n periode kelembaban tanah, SMC ($n-1$) berarti kelembaban periode $n-1$, IS mendefinisikan penyimpanan primer (mm), dan As mewakili air hujan yang mencapai permukaan tanah.

Selain itu, *water balance* dapat dipengaruhi oleh beberapa aspek seperti besarnya curah hujan, kadar air di dalam tanah, dan SMC. Besarnya hujan yang dapat mencapai permukaan bumi dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$As = P - Et \quad (15)$$

di mana As mendefinisikan air hujan yang mencapai permukaan tanah, P adalah curah hujan bulanan, dan Et adalah evapotranspirasi.

Berdasarkan kondisi nilai As , kelembaban tanah akan meningkat kapasitasnya bila nilai As positif, bila nilainya negatif maka kondisi yang terjadi adalah sebaliknya.

Langkah selanjutnya adalah mendefinisikan penyimpanan primer (IS). Penyimpanan primer adalah volume air yang dianalisis di awal perhitungan seperti hipotesis. Dalam penelitian di daerah Pagilaran, nilai IS adalah 100 mm. Besarnya cadangan air tanah akan dipengaruhi oleh sifat geologis. Dalam analisis mulaan, cadangan utama perlu untuk diperhitungkan terlebih dahulu melalui persamaan-

persamaan berikut ini:

$$V_n = kxV_{n-1} + 0.5(1+k)xI \quad (16)$$

$$V_n = v_n - v_{n-1} \quad (17)$$

di mana Vn mendefinisikan volume periode n air tanah, $k = qt/q_0$ yang berarti sebagai faktor resesi aliran tanah (dapat dicari dengan iterasi), qt adalah aliran air tanah pada periode t , q_0 merupakan aliran air tanah pada awal periode (periode 0), v_{n-1} adalah volume air tanah periode ($n-1$), dan v_n adalah perubahan volume aliran air tanah.

Akhirnya, besarnya aliran yang terjadi di sungai dapat dianalisis. Untuk menghitung aliran dasar diperlukan selisih antara infiltrasi dan perubahan aliran air tanah. Aliran yang terjadi di permukaan merupakan perbedaan antara volume air yang terhad dengan resapan di DAS, kemudian aliran sungai dapat dianalisis berdasarkan jumlah kedua jenis aliran sebelumnya. Aliran sungai inilah yang kemudian dikenal sebagai *direct runoff*.

3. Hasil dan Pembahasan

Evapotranspirasi

Model CROPWAT 8.0 [13] menghasilkan data evapotranspirasi sesuai dengan data yang disediakan dari stasiun klimatologi di Semarang. Stasiun ada sebagai lokasi terdekat dari Pagilaran, Batang. **Tabel 2** menyajikan data klimatologi di wilayah Semarang dan sekitarnya.

Data pada **Tabel 2** kemudian dianalisis dengan CROPWAT 8.0 untuk mendapatkan evapotranspirasi setiap bulan di daerah Pagilaran. **Tabel 3** menggambarkan hasilnya.

Tabel 2. Data klimatologi

Kelembaban rerata (%)	Kecepatan angin (Knot)	Durasi penyinaran (hr)	Defisit uap air (mmHg)	Evaporasi (mm)
83	6.3	5.7	6	117
84	6.8	5.2	5.6	99
82	5.5	6.2	6.6	121
79	5.3	7.5	7.8	123
75	5.8	8.7	9.5	137
73	6	9.9	10.1	132
70	6.2	10	11	152
68	6.5	9.9	11.9	169
68	6.3	10.3	12.1	171
72	6	9.3	11.2	163
77	5.3	7.2	8.7	134
81	5.1	5.4	6.9	113

Menurut data yang disediakan pada **Gambar 6**, perhitungan model *Mock*, model *Tank*, dan model GR2M dapat berjalan. Komputasi ini kemudian dibandingkan dengan prediksi limpasan oleh penelitian sebelumnya. Penelitian sebelumnya di lokasi yang sama digunakan sebagai

data primer untuk mengkonfirmasi dan memverifikasi validitas prediksi data.

Analisis selanjutnya menggambarkan hasil model *Mock*, model *Tank*, dan model GR2M. Hasilnya menggambarkan perbedaan antara model. Verifikasi model dilakukan secara terbatas pada data *sampling* yang dilakukan pada tahun 2017. Selanjutnya, bila telah ditentukan metode yang paling mendekati kondisi di lapangan, baru dilakukan *forecasting* pada tahun sebelumnya untuk menggambarkan dinamika debit setiap bulannya. Hal ini akan menjadi dasar perencanaan PLTMH terkait debit yang ada.

Verifikasi ramalan hujan-debit

Dalam penelitian ini, verifikasi metode yang mendekati kondisi di lapangan adalah dengan melakukan *sampling* data debit pada kurun waktu tertentu dan didukung oleh penelitian pendahuluan [21]. Pengambilan data hanya dilakukan pada tahun 2017. Sehingga penentuan metode yang akan digunakan dalam memprediksi debit dalam perencanaan PLTMH adalah yang mendekati dengan kondisi di lapangan. **Tabel 3** dan **Gambar 7** memuat hasil analisis perbandingan data di lapangan dan prediksi dengan ketiga metode yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 3. Analisis perbandingan metode

Data sampel lapangan (m ³ /detik)	Mock model (m ³ /detik)	Tank model (m ³ /detik)	GR2M model (m ³ /detik)
2.8	1.88	2.05	1.7
4.0	2.51	3.30	3.2
4.6	2.56	3.46	3.6
4.4	2.76	3.49	3.6
3.0	2.40	2.40	2.0
1.1	1.86	1.74	0.4
0.7	1.54	1.57	0.1
0.8	1.33	1.46	0.0
0.7	1.19	1.39	0.0
0.8	0.99	1.24	0.0
3.4	1.44	2.17	1.1
1.7	1.06	1.24	0.6

Berdasarkan hasil analisis **Tabel 3** dan **Gambar 7**, hasil SSE untuk metode *Mock*, *Tank*, dan GR2M adalah 5,89%; 5,76%; dan 6,40%. Metode dengan tingkat *error* paling minimum dinilai memiliki prediksi sesuai dengan data di lapangan, yaitu model *Tank*.

Analisis Peramalan Hujan-Debit

Penelitian pendahuluan [21] membahas prediksi limpasan di Pagilaran. Penelitian sebelumnya [21] menemui kesulitan dalam mengumpulkan data primer debit di Pagilaran pada

tahun-tahun sebelumnya. Makalah ini masih memiliki temuan terbatas terkait hasil penelitian karena terbatasnya dan akses ke sumber air dan data lapangan pada tahun 2017 saja. Menurut situasi ini, model dilakukan dengan hasil seperti yang dijelaskan pada **Gambar 8**. Hubungan curah hujan-limpasan dapat menunjukkan debit potensi untuk desain PLTMH setiap bulan sesuai dengan debit yang tersedia.

Dari **Gambar 8**, debit rata-rata di musim kemarau berdasarkan prediksi aliran keluar, model *Mock*, model *Tank*, dan model GR2M masing-masing adalah 0,78 m³/detik, 1,43 m³/detik, 1,05 m³/detik, dan 0,10 m³/detik masing-masing. Lebih jauh lagi, arus keluar rata-rata di musim hujan adalah 3,55 m³/detik, 2,45 m³/detik, 2,52 m³/detik, dan 2,51 m³/detik masing-masing. Dapat dikatakan bahwa hasil terdekat dari tiga metode yang digunakan dalam makalah ini dengan prediksi debit adalah metode *Tank*. Pernyataan ini masih belum dapat mengkonfirmasi validitas secara keseluruhan kecuali data primer pada tahun-tahun sebelumnya ada. Kurangnya data primer dikarenakan kendala di lapangan membuat analisis di masa mendatang menjadi sulit untuk diverifikasi secara penuh. Penelitian ini menawarkan beberapa metode alternatif untuk menentukan prediksi limpasan di suatu daerah aliran sungai. Tiga cara memberikan pola model limpasan yang sama dan tidak memiliki nilai perbedaan antara metode tersebut. Namun, direkomendasikan menggunakan model *Tank* dalam memprediksi debit.

Kurangnya data primer dalam memprediksi debit yang terjadi tidak hanya bisa terjadi di Pagilaran, namun bisa terjadi di daerah rawan dengan struktur geologi yang rentan. Prediksi menggunakan ketiga metode tersebut bisa menjadi alternatif yang dapat dijadikan pedoman dalam perencanaan PLTMH.

4. Simpulan

Kurangnya data debit untuk analisis desain PLTMH dapat diatasi dengan memprediksi limpasan dengan beberapa metode. Metode *Mock*, model *Tank*, dan GR2M tidak memiliki perbedaan yang signifikan dalam hasilnya. Model *Tank* sejauh ini merupakan alternatif terbaik pada penelitian ini sebagai basis perencanaan debit untuk PLTMH di Pagilaran.

Ucapan terima kasih

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada D.Eng. M. Sulaiman, sebagai salah satu peneliti utama dari proyek PLTMH yang diusulkan di daerah Pagilaran, yang sangat membantu untuk merekomendasikan topik ini untuk

dianalisis.

Daftar Pustaka

- [1] K. A. Kavadias, D. Apostolou, and J. K. Kaldellis, "Modelling and optimisation of a hydrogen-based energy storage system in an autonomous electrical network," *Appl. Energy*, vol. 227, pp. 574–586, 2018.
- [2] J. K. Kaldellis, "Social attitude towards wind energy applications in Greece," *Energy Policy*, vol. 33, no. 5, pp. 595–602, 2005.
- [3] H. S. Sachdev, A. K. Akella, and N. Kumar, "Analysis and evaluation of small hydropower plants: A bibliographical survey," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 51, pp. 1013–1022, 2015.
- [4] B. A. Nasir, "Design of Micro - Hydro - Electric Power Station," *Int. J. Eng. Adv. Technol.*, vol. 2, no. 5, pp. 39 – 47, 2013.
- [5] B. A. Nasir, "Design of Micro-Hydro-Electric Power Station," *Int. J. Eng. Adv. Technol.*, no. 3, pp. 2249–8958, 2014.
- [6] S. Khurana and A. Kumar, "Small Hydro Power- A review," *Int. J. Therm. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 107–110, 2011.
- [7] A. Varughese and P. A. Michael, "Electrical Characteristics of Micro-Hydro Power Plant Proposed in Valara Waterfall," *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 128–131, 2013.
- [8] F. H. S. Chiew *et al.*, "Estimating climate change impact on runoff across southeast Australia: Method, results, and implications of the modeling method," *Water Resour. Res.*, vol. 45, no. 10, 2009.
- [9] L. Oudin, V. Andréassian, C. Perrin, C. Michel, and N. Le Moine, "Spatial proximity, physical similarity, regression and ungauged catchments: A comparison of regionalization approaches based on 913 French catchments," *Water Resour. Res.*, vol. 44, no. 3, pp. 1–15, 2008.
- [10] J. P. C. Reichl, A. W. Western, N. R. McIntyre, and F. H. S. Chiew, "Optimization of a similarity measure for estimating ungauged streamflow," *Water Resour. Res.*, vol. 45, no. 10, pp. 1–15, 2009.
- [11] D. W. Pratiwi, R. Hadiani, and Suyanto, "Transformasi hujan-debit berdasarkan analisis Tank Model dan GR2M," *e-Jurnal Matriks Tek. Sipil*, pp. 534–543, 2016.
- [12] R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith, "FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56 - Crop Evapotranspiration," no. March, 1998.
- [13] D. Clarke, M. Smith, and K. El-Askari, "CropWat for Windows : User guide," *FAO. Roma*, no. October, p. 43, 2000.
- [14] B. I. Setiawan, T. Fukuda, and Y. Nakano, "Developing Procedures for Optimization of Tank Model's Parameters," *Agric. Eng. Int. CIGR J. Sci. Res. Dev.*, p. 13, 2003.
- [15] Y. Ytoui, "Rainfall-Runoff Modeling At Monthly and Daily Scales Using Conceptual Models and Neuro-Fuzzy Inference System," *2nd Int. Conf. - Water Resour. Wetl. 11-13 Sept. 2014 Tulcea (Romania)*;; pp. 263–270, 2014.
- [16] M. Kabouya, "Modelisation Pluie-debit Aux Pas de Temps Mensuel et Annuel en Algerie Septentrionale," *Universite Paris Sud Laboratoire D'Hydrologie et de Geochimie Isotopique Orsay*, 1990.
- [17] Kabouya M. and Michel C., "Estimation des ressources en eau superficielle aux pas de temps mensuel et annuel, application à un pays semi-aride.," *Rev. des Sci. l'Eau*, vol. 4(4), pp. 569-587., 1991.
- [18] S. Mouelhi, D. E. S. E. Aux, and E. T. Des, "pas de temps pluriannue , annuel , mensuel et journalier To cite this version : HAL Id : tel-00005696 Présentée par conceptuels globaux aux pas de temps pluriannuel , annuel ," 2004.
- [19] S. Mouelhi, C. Michel, C. Perrin, and V. Andréassian, "Stepwise development of a two-parameter monthly water balance model," *J. Hydrol.*, vol. 318, no. 1–4, pp. 200–214, 2006.
- [20] C. Perrin, C. Michel, and V. Andréassian, "Modèles hydrologiques du Génie Rural (GR)," *Cemagref, UR Hydrosystèmes Bioprocédés*, pp. 1–16, 2007.
- [21] W. P. Widiyantoro, "Studi Potensi Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Kawasan Perkebunan Teh PT Pagilaran Jawa Tengah," *Universitas Gadjah Mada*, 2018.

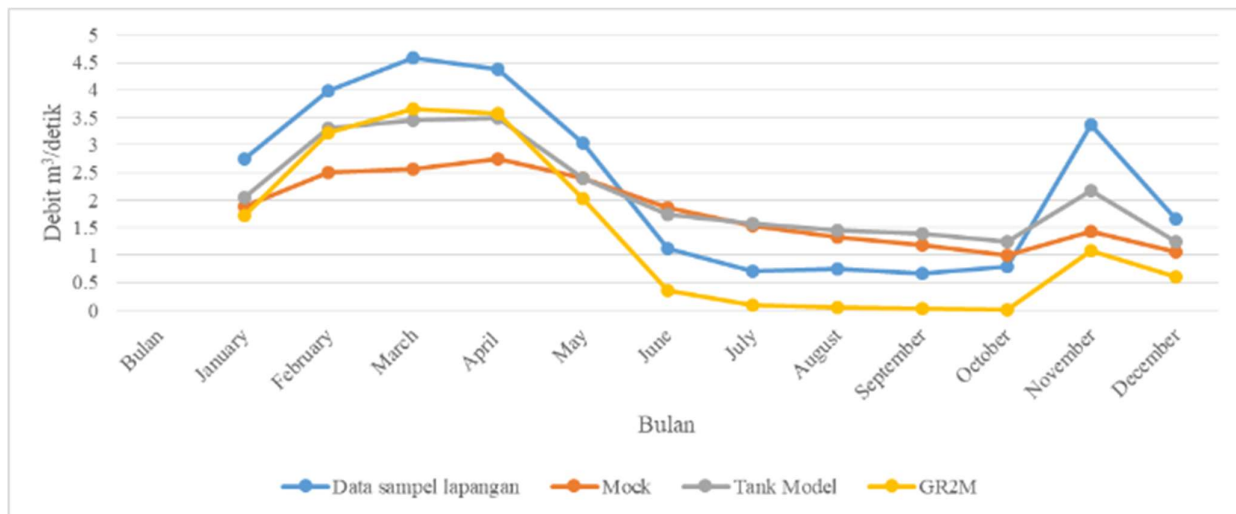
Monthly ETo Penman-Monteith - untitled

Country: Indonesia Station: Semarang

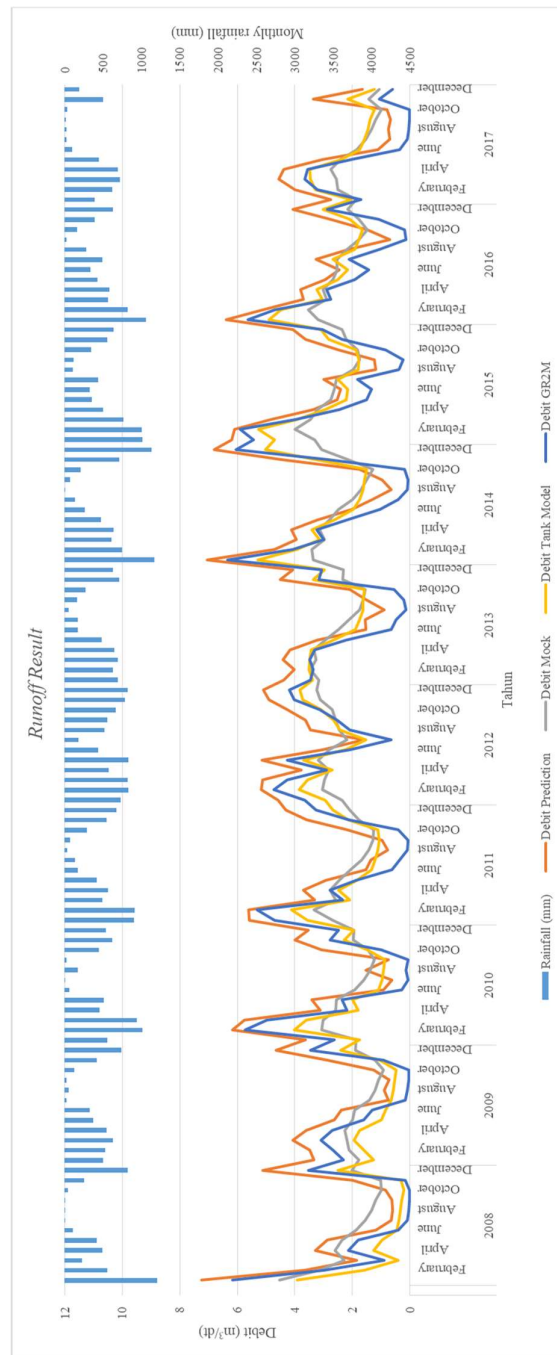
Altitude: 227 m. Latitude: 6.98 °S Longitude: 110.40 °E

Month	Avg Temp °C	Humidity %	Wind km/day	Sun hours	Rad MJ/m ² /day	ETo mm/month
January	26.8	83	280	6.3	19.5	131.96
February	26.7	84	302	6.8	20.5	121.15
March	27.2	82	244	5.5	18.1	126.09
April	27.9	79	236	5.3	16.7	120.55
May	28.3	75	258	5.8	16.1	129.52
June	27.9	73	267	6.0	15.5	124.86
July	27.5	70	276	6.2	16.1	136.56
August	27.5	68	289	6.5	17.8	150.47
September	28.1	68	280	6.3	18.8	153.45
October	28.5	72	267	6.0	19.0	154.33
November	28.1	77	236	5.3	17.9	133.03
December	27.4	81	227	5.1	17.5	126.40
Average	27.7	76	263	5.9	17.8	1608.36

Gambar 6. Data Evapotranspirasi



Gambar 7. Analisis Debit Tahun 2017



Gambar 8. Hasil Pemodelan Debit dari Tiga Metode

Halaman ini sengaja dikosongkan