

## Analisis Debit Tersedia pada DAS Temef dengan Menggunakan Metode NRECA, F.J. Mock dan Tangki

\*Denik Sri Krisnayanti<sup>1</sup>, I Made Udiana<sup>1</sup>, Chrystin Chandra<sup>1</sup>, D.F.B. Welkis<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang

<sup>2</sup>Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang

\*) [denik.krisnayanti@staf.undana.ac.id](mailto:denik.krisnayanti@staf.undana.ac.id)

Received: 4 Agustus 2021 Revised: 1 Desember 2021 Accepted: 3 Desember 2021

### Abstract

*Temef Dam is located in Oenino Village Oenino District and Konbaki Village Polen District, Timor Tengah Selatan Regency which has a capacity of 45.79 millions m<sup>3</sup>. This research aimed to determine the amount of potential evapotranspiration using Penman Modification Method, the amount of dependable discharge with three methods that are NRECA, F.J. Mock, and Tank Methods, from those three methods will be selected a method that have closest characteristic of Temef Watershed, and filling time in Temef Reservoir. The maximum half monthly potential evapotranspiration in Temef Watershed using Penman Modification Method is 142.72 mm and the minimum is 71,25 mm. The average of annual discharge using NRECA Method is 249.89 m<sup>3</sup>/sec, F.J. Mock Method is 258.66 m<sup>3</sup>/sec, and Tank Method is 92.15 m<sup>3</sup>/sec. Based from three methods that have been used, Tank Method is the closest method to the characteristics of Temef Watershed, which RMSE value from Tank Method is 2.99. Filling time of Temef Reservoir to reach the planned reservoir volume in normal water year condition is three months and fifteen days and in low water year condition is six months.*

**Keywords:** *Temef watershed, Penman Modification Method, NRECA method, F.J. Mock Method, Tank Method*

### Abstrak

*Bendungan Temef merupakan bendungan yang terletak di Desa Oenino Kecamatan Oenino dan Desa Konbaki Kecamatan Polen, Kabupaten Timor Tengah Selatan yang memiliki daya tampung sebesar 45,79 juta m<sup>3</sup>. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan besarnya evapotranspirasi potensial menggunakan Metode Penman Modifikasi, besarnya debit andalan dengan 3 metode yaitu Metode NRECA, F.J. Mock, dan Tangki, dari ketiga metode tersebut dipilih metode yang paling mendekati karakteristik DAS Temef, serta lama waktu pengisian pada Waduk Temef. Evapotranspirasi potensial setengah bulanan maksimum pada DAS Temef menggunakan Metode Penman Modifikasi adalah sebesar 142,72 mm dan minimum sebesar 71,25 mm. Debit rerata tahunan Metode NRECA sebesar 10,41 m<sup>3</sup>/detik, Metode F.J. Mock sebesar 10,78 m<sup>3</sup>/detik, dan Metode Tangki sebesar 3,84 m<sup>3</sup>/detik. Dari ketiga metode yang digunakan, Metode Tangki adalah metode yang paling mendekati karakteristik DAS Temef dengan nilai RMSE Metode Tangki sebesar 2,99. Lama waktu pengisian Waduk Temef sehingga mencapai volume tampungan rencana pada kondisi tahun air normal adalah tiga bulan lima belas hari dan pada kondisi tahun air rendah adalah selama enam bulan.*

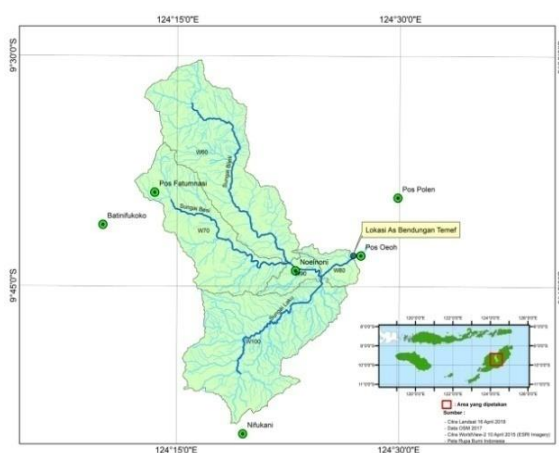
**Kata kunci:** *DAS temef, Metode Penman Modifikasi, metode NRECA, metode F.J. Mock, Metode Tangki*

### Pendahuluan

Kabupaten Timor Tengah Selatan merupakan kabupaten beriklim tropis yang mempunyai dua musim, yaitu musim penghujan dan musim kemarau. Musim hujan berkisar kurang lebih

selama empat bulan dari bulan Desember sampai Maret dengan curah hujan tahunan rata-rata berkisar 1.500 mm/tahun (Krisnayanti *et al.*, 2020). Pada musim hujan, air hujan melimpah sebagai air permukaan dan terkumpul di sungai-sungai sebagai banjir dan selanjutnya terbuang ke laut. Musim

kemarau yang terjadi kurang lebih delapan bulan dari bulan April sampai November mengakibatkan debit air menurun sehingga terjadi kekeringan. Perubahan iklim yang tidak menentu dapat mengakibatkan masalah yang berkaitan dengan ketersediaan air. Oleh karena masalah yang timbul akibat ketersediaan air, maka dibangun Bendungan Temef. Bendungan Temef terletak di Desa Oenino Kecamatan Oenino dan Desa Konbaki Kecamatan Polen, Kabupaten Timor Tengah Selatan yang berada pada koordinat  $9^{\circ} 43' 6,24''$  LS dan  $124^{\circ} 26' 49,8''$  BT dapat dilihat pada Gambar 1. Bendungan Temef memiliki daya tampung sebesar 45,79 juta  $m^3$  yang berfungsi untuk keperluan irigasi dan air baku (Laporan Hidrologi Supervisi Pembangunan Bendungan Temef, 2020).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Pembangunan bendungan terdiri atas beberapa tahapan, salah satunya yaitu tahap pengisian awal yang dilakukan setelah pelaksanaan konstruksi bendungan selesai dan merupakan saat kritis yang dilalui pada saat pembangunan bendungan. Pada tahap pengisian awal ini jumlah debit *inflow* yang masuk ke genangan akan sangat berpengaruh, karena jika *inflow* yang masuk sedikit maka waktu pengisian awal akan lama dan dapat mengakibatkan kekeringan di daerah hilir bendungan (Krisnayanti *et al.*, 2020). Dalam analisis pengisian awal waduk terdapat beberapa metode untuk menghitung besarnya debit seperti Metode NRECA, Metode F.J. Mock, dan Metode Tangki.

Debit andalan (*dependable discharge*) didefinisikan sebagai debit yang tersedia sepanjang tahun dengan resiko kegagalan tertentu (Limantara, 2018). Beberapa penelitian perhitungan debit andalan yang telah dilakukan baik dengan salah satu metode yaitu Metode Tangki (Setiawan, *et al.*, 2003; Amaral, 2018; Krisnayanti, *et al.*, 2020), perbandingan antara dua metode yaitu Metode NRECA dan Metode F.J. Mock (Indra, *et al.*, 2012) maupun dengan perbandingan debit andalan ketiga metode,

yaitu Metode NRECA, F.J. Mock dan Tangki (Setyono, 2011). Perhitungan debit Metode NRECA dan F.J. Mock merupakan dua metode yang dianjurkan menurut KP-01 tahun 2013.

Metode NRECA menggunakan data hujan dan evapotranspirasi potensial dan mentransformasikan menjadi data debit. Sedangkan Metode F.J. Mock memperkirakan besarnya debit suatu daerah aliran sungai berdasarkan konsep keseimbangan air (*water balance*) dengan menggunakan data hujan, evapotranspirasi dan karakteristik daerah aliran sungai. Perhitungan debit Metode Tangki membutuhkan data debit observasi guna meniru daerah aliran sungai dengan mengganti sejumlah tampungan yang digambarkan dengan sederet tangki yang memiliki lubang pengeluaran pada sisi samping dan bawah tangki.

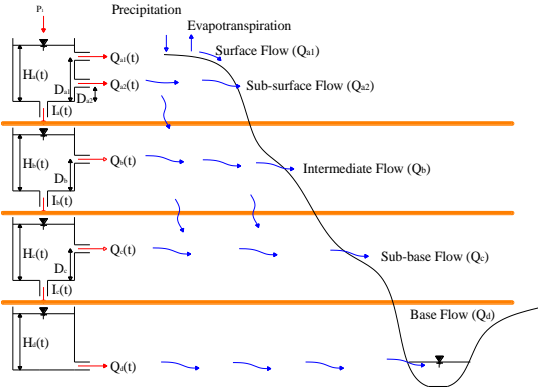
Metode NRECA (*National Rural Electric Cooperative Association*) dikembangkan oleh Norman H. Crawford (USA) pada tahun 1985. Struktur Metode NRECA membagi aliran bulanan menjadi dua limpasan yaitu limpasan langsung (limpasan permukaan) dan aliran dasar. Tampungan dibagi dua, yaitu tampungan kelengasan (*moisture storage*) dan tampungan air tanah (*groundwater storage*). Parameter yang digunakan (Ginting, 2016 dan Hadisusanto, 2010) adalah nominal, *Percent Sub Surface* (PSUB), *Ground Water Flow* (GWF), dan koefisien tanaman (*kc*).

Dr. F.J. Mock (1973) telah memperkenalkan cara perhitungan simulasi aliran sungai dari data hujan, evapotranspirasi, dan karakteristik hidrologi daerah aliran sungai (Hadisusanto, 2010). Perhitungan debit dari hujan dengan menggunakan Metode F.J. Mock ini sangat tergantung dari beberapa faktor (Ginting, 2016), seperti hujan, klimatologi, kondisi DAS, kapasitas infiltrasi, dan kapasitas penyimpanan air di dalam tanah setelah zona akar.

Metode Tangki dikembangkan oleh Sugawara pada tahun 1954-1955 (Ginting, 2016). Metode ini menggambarkan konsep dari neraca air yang dibuat untuk meniru (*simulate*) daerah pengaliran sungai dengan menggantinya oleh sejumlah tampungan yang digambarkan sebagai sederet tangki (Indarto, 2010). Parameter Metode Tangki dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu parameter koefisien lubang pengeluaran (*outlet*) pada sisi dinding dan bagian bawah tangki, serta parameter simpanan air tanah (Suryoputro, 2018).

Pada Gambar 2 menunjukkan skema desain Metode Tangki yang memiliki empat tangki (Suryoputro, 2018 dan Indarto, 2010) yaitu Tangki satu (*surface tank*) memiliki dua lubang pengeluaran horisontal dan lubang pengeluaran vertikal. Lubang

pengeluaran horizontal terdiri dari aliran permukaan (*surface flow*,  $Q_{a1}$ ) dan aliran di bawah permukaan tanah (*sub surface flow*,  $Q_{a2}$ ). Aliran horizontal hanya terjadi jika ketinggian air di tangki A ( $H_a$ ) lebih tinggi dibanding salurannya ( $D_{a1}$  dan  $D_{a2}$ ). Aliran vertikal ( $I_a$ ) digambarkan sebagai infiltrasi. Jumlah  $Q_{a1}$ ,  $Q_{a2}$  dan  $I_a$  dipengaruhi oleh karakteristik masing-masing lubang pengeluaran.



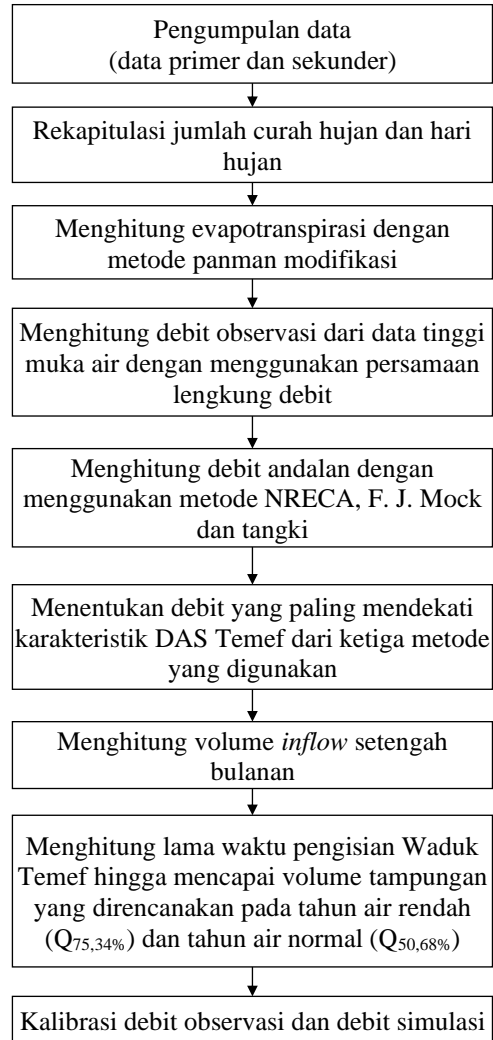
Gambar 2. Skematik model tangki rencana

Tangki 2 (*intermediate tank*) memiliki lubang pengeluaran horisontal dan lubang pengeluaran vertikal. Lubang pengeluaran horisontal mewakili aliran antara (*intermediate flow*,  $Q_b$ ). Aliran ini hanya terjadi jika ketinggian air di tangki B ( $H_b$ ) lebih tinggi dibanding salurannya ( $D_b$ ). Aliran vertikal ( $I_b$ ) digambarkan sebagai infiltrasi.  $Q_b$  dan  $I_b$  dipengaruhi oleh karakteristik masing-masing lubang pengeluaran. Tangki 3 (*sub-base tank*) memiliki lubang pengeluaran horisontal dan lubang pengeluaran vertikal. Air yang mengalir melalui lubang pengeluaran horisontal disebut aliran sub-base (*sub-base flow*,  $Q_c$ ). Aliran ini hanya terjadi jika ketinggian air di tangki C ( $H_c$ ) lebih tinggi dari pada salurannya ( $D_c$ ). Lubang pengeluaran vertikal ( $I_c$ ) digambarkan sebagai infiltrasi.  $Q_c$  dan  $I_c$  dipengaruhi oleh karakteristik masing-masing lubang pengeluaran. Tangki 4 (*base tank*) hanya memiliki lubang pengeluaran horisontal. Air mengalir hanya melalui lubang pengeluaran ini dan itu direpresentasikan sebagai aliran dasar (*base flow*,  $Q_d$ ). Aliran ini dipengaruhi oleh karakteristik lubang pengeluaran. Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis debit dengan menggunakan Metode NRECA, F.J. Mock dan Tangki kemudian hasilnya dibandingkan untuk memilih metode yang paling mendekati karakteristik DAS Temef dan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan lama waktu pengisian pada Waduk Temef.

## Metode

Lokasi penelitian dilakukan di daerah tangkapan hujan Bendungan Temef yang berada pada

koordinat  $9^{\circ} 43' 6,24''$  LS dan  $124^{\circ} 26' 49,8''$  BT dengan luas daerah aliran sungai Temef sebesar  $551,507 \text{ km}^2$  dan panjang sungai  $45,345 \text{ km}$  dari hulu sungai di Gunung Mutis hingga keoutlet Bendungan Temef (Laporan Hidrologi Supervisi Pembangunan Bendungan Temef, 20120). Pada penelitian ini obyek yang ditinjau adalah DAS Temef untuk menghitung debit andalan, metode yang paling mendekati karakteristik DAS Temef, dan lama waktu pengisian pada Waduk Temef berdasarkan data curah hujan dan iklim.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

Sumber data yang diperoleh dalam penelitian ini berdasarkan data primer dan data sekunder. Data primer berupa hasil dokumentasi dan pengambilan informasi di lapangan oleh peneliti. Data sekunder berupa data curah hujan Stasiun Batinifukoko, Stasiun Nifukani, dan Stasiun Noelnoni yang diperoleh dari Balai Wilayah Sungai (BWS) Nusa Tenggara II, data klimatologi dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Lasiana, data tinggi muka air yang diperoleh dari Pos Duga Air Sungai Temef, serta data teknis

bandungan yang meliputi data topografi, luas DAS Temef, dan volume tampungan rencana yang diperoleh dalam Laporan Hidrologi Supervisi Pembangunan bendungan Temef tahun 2019. Berdasarkan data yang diperoleh, dilakukan analisis dengan langkah-langkah seperti pada Gambar 3.

## Hasil dan Pembahasan

### Analisis data curah hujan

Data curah hujan harian tahun 1998-2017 (20 tahun) dari tiga pos stasiun hujan, yaitu Stasiun Batinifukoko, Stasiun Nifukani, dan Stasiun Noelnoni yang diperoleh kemudian direkapitulasi menjadi data curah hujan setengah bulanan. Pada Stasiun Nifukani dan Noelnoni terdapat data curah hujan yang kosong. Pengisian data hujan yang kosong atau hilang menggunakan Metode Perbandingan Normal.

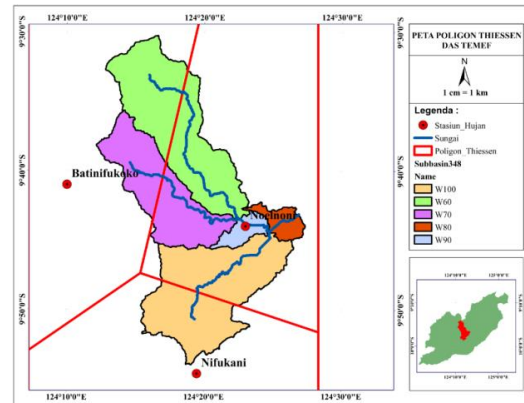
Kesalahan dalam melakukan pengukuran data curah hujan seperti pemindahan alat penakar curah hujan, tertutupnya alat penakar hujan oleh vegetasi atau bentuk penghalang lainnya dapat mengakibatkan perubahan data curah hujan yang tercatat. Agar data curah hujan yang digunakan konsisten, maka data curah hujan tersebut perlu disesuaikan untuk menghilangkan pengaruh perubahan lokasi alat ukur atau gangguan lainnya terhadap konsistensi data curah hujan yang dihasilkan (Asdak, 2007).

Pengujian konsistensi data pada penelitian ini adalah dengan membandingkan antara data akumulasi curah hujan tahunan masing-masing stasiun hujan terhadap akumulasi dari rerata curah hujan dari stasiun hujan lainnya. Jika stasiun hujan yang diuji termasuk dalam kategori tidak memuaskan ( $0 \leq r^2 \leq 0,50$ ) maka data curah hujan pada stasiun tersebut perlu dikoreksi hingga memenuhi kriteria yang ditentukan. Jika stasiun hujan yang diamati sudah memenuhi kriteria memuaskan ( $0,50 \leq r^2 \leq 1,00$ ) maka data curah hujan tersebut sudah siap untuk digunakan dalam perhitungan selanjutnya. Berdasarkan pengujian konsistensi, diketahui bahwa Stasiun Batinifukoko, Nifukani, dan Noelnoni memiliki data yang konsisten sehingga dapat digunakan untuk perhitungan selanjutnya.

Luas DAS Temef adalah sebesar 551,507 km<sup>2</sup> yang termasuk dalam DAS sedang (500 – 5.000 km<sup>2</sup>) sehingga perhitungan curah hujan rata-rata daerah menggunakan Metode Poligon Thiessen (Suripin, 2003). Peta Poligon Thiessen DAS Temef dapat dilihat pada Gambar 4. Rumus untuk menghitung curah hujan rata-rata daerah Metode Poligon Thiessen (Triatmodjo, 2009) adalah:

$$\bar{p} = \frac{A_1p_1 + A_2p_2 + \dots + A_n p_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (1)$$

Dimana  $\bar{p}$  adalah hujan rerata kawasan (mm),  $A_1, A_2, \dots, A_n$  adalah luas daerah yang mewakili stasiun,  $p_1, p_2, \dots, p_n$  adalah hujan pada tiap stasiun, dan  $n$  adalah jumlah stasiun.

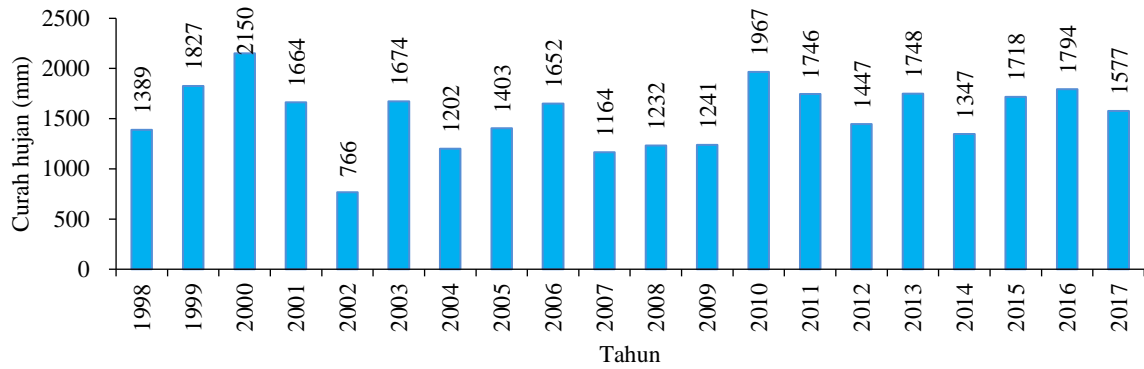


Gambar 4. Peta Poligon Thiessen DAS Temef

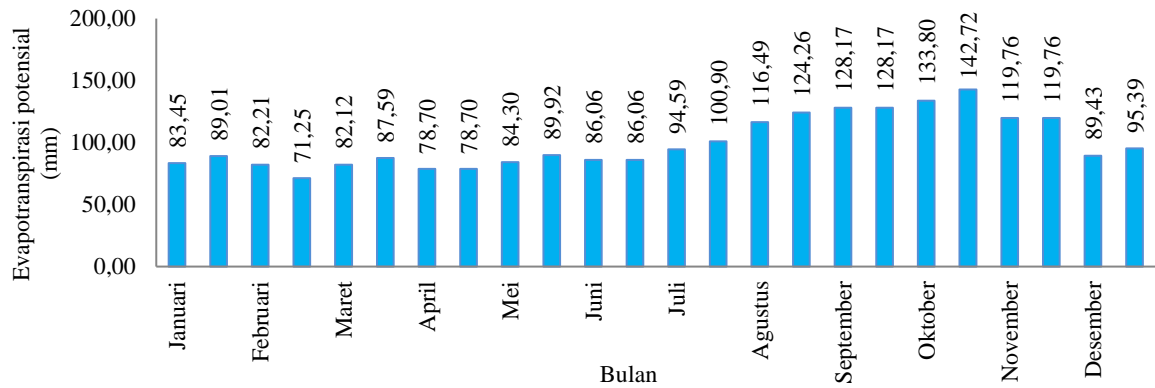
Berdasarkan peta poligon Thiessen DAS Temef pada Gambar 4, diperoleh bobot dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan di sekitarnya. Bobot dari Stasiun Batinifukoko, Nifukani, dan Noelnoni secara berurutan adalah 0,29; 0,15; dan 0,56. Hasil perhitungan jumlah curah hujan tahunan rata-rata tahun 1998-2017 dengan menggunakan Metode Poligon Thiessen dapat dilihat pada Gambar 5. Berdasarkan Gambar 5, rerata curah hujan tahunan sebesar 1.536 mm/tahun.

### Analisis data klimatologi

Data klimatologi yang dipakai dalam penelitian ini adalah data klimatologi bulanan tahun 1998-2017 (20 tahun) berupa data suhu udara, kelembaban udara, kecepatan angin, dan penyinaran matahari. Berdasarkan data klimatologi, dilakukan perhitungan evapotranspirasi potensial. Data evapotranspirasi potensial sangat diperlukan dalam perhitungan debit andalan Metode NRECA, F.J. Mock dan Tangki. Evapotranspirasi potensial direkap dalam waktu bulanan yang dihitung dengan menggunakan Metode Penman Modifikasi dan selanjutnya data evapotranspirasi potensial bulanan dikonversi ke data evapotranspirasi potensial setengah bulanan. Rekapitulasi evapotranspirasi potensial setengah bulanan Bendungan Temef tahun 1998-2017 dapat dilihat pada Gambar 6. Berdasarkan Gambar 6, data evapotranspirasi potensial setengah bulanan Bendungan Temef tahun 1998-2017 memperoleh nilai maksimum pada bagian kedua bulan Oktober sebesar 142,72 mm dan nilai minimum pada bagian kedua bulan Februari sebesar 71,25 mm.



**Gambar 5. Jumlah curah hujan tahunan rata-rata tahun 1998-2017**



**Gambar 6. Rerata evapotranspirasi potensial setengah bulanan Bendungan Temef tahun 1998-2017**

**Tabel 1. Rekapitulasi data debit observasi setengah bulanan dari Februari 2014 sampai Oktober 2017**

| Bulan     | Periode | Debit observasi (m <sup>3</sup> /detik) |        |        |        | Rerata |
|-----------|---------|---|--------|--------|--------|--------|
|           |         | 2014                                    | 2015   | 2016   | 2017   |        |
| Januari   | I       | -                                       | 14,252 | 2,047  | 3,505  | 6,601  |
|           | II      | -                                       | 12,486 | 6,793  | 4,383  | 7,887  |
| Februari  | I       | 21,278                                  | 10,051 | 7,070  | 30,250 | 17,163 |
|           | II      | 15,998                                  | 6,945  | 12,246 | 17,230 | 13,105 |
| Maret     | I       | 9,189                                   | 8,922  | 14,060 | 10,599 | 10,692 |
|           | II      | 14,831                                  | 6,940  | 10,952 | 8,164  | 10,222 |
| April     | I       | 6,824                                   | 5,816  | 4,560  | 21,684 | 9,721  |
|           | II      | 6,000                                   | 6,783  | 2,435  | 7,263  | 5,620  |
| Mei       | I       | 3,067                                   | 4,552  | 8,920  | 9,248  | 6,447  |
|           | II      | 4,472                                   | 3,424  | 10,454 | 4,578  | 5,732  |
| Juni      | I       | 3,195                                   | 7,373  | 4,577  | 12,388 | 6,883  |
|           | II      | 6,991                                   | 4,425  | 4,899  | 8,617  | 6,233  |
| Juli      | I       | 3,516                                   | 3,056  | 9,881  | 5,212  | 5,416  |
|           | II      | 4,117                                   | 3,977  | 8,604  | 5,509  | 5,552  |
| Agustus   | I       | 2,130                                   | 1,950  | 2,900  | 4,217  | 2,799  |
|           | II      | 1,615                                   | 1,723  | 1,921  | 2,966  | 2,056  |
| September | I       | 1,255                                   | 1,660  | 1,422  | 2,455  | 1,698  |
|           | II      | 1,130                                   | 1,465  | 4,414  | 2,338  | 2,337  |
| Oktober   | I       | 0,962                                   | 1,308  | 3,367  | 2,466  | 2,026  |
|           | II      | 0,863                                   | 1,284  | 2,110  | 3,431  | 1,922  |
| November  | I       | 0,863                                   | 1,303  | 2,788  | -      | 1,651  |
|           | II      | 0,947                                   | 1,284  | 1,984  | -      | 1,405  |
| Desember  | I       | 3,247                                   | 1,871  | 6,375  | -      | 3,831  |
|           | II      | 9,342                                   | 1,626  | 6,437  | -      | 5,802  |



### Data tinggi muka air Sungai Temef

Data debit observasi yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari data tinggi muka air pos duga air Sungai Temef. Data yang diperoleh dari pos duga air Sungai Temef adalah tinggi muka air harian dalam satuan meter kemudian ditransfer kedalam debit dengan menggunakan rumus lengkung. Rumus lengkung yang digunakan adalah:

$$Q=20,948(H+0,100)^{1,681} \quad (2)$$

dimana Q adalah debit ( $m^3/detik$ ) dan H adalah tinggi muka air harian (m).

Data debit harian Februari 2014-Oktober 2017 yang telah diperoleh tersebut kemudian direkap kedalam data debit setengah bulanan yang dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1, rerata debit observasi setengah bulanan maksimum diperoleh sebesar  $17,163 m^3/detik$  yang terjadi pada bagian pertama bulan Februari dan rerata debit observasi setengah bulanan minimum terjadi pada bagian kedua bulan November sebesar  $1,405 m^3/detik$ .

### Analisis debit Metode NRECA

Perhitungan debit dengan Metode NRECA dihitung dengan menggunakan data curah hujan dari tiga pos stasiun hujan, yaitu Stasiun Batinifukoko, Stasiun Nifukani, dan Stasiun Noelnoni tahun 1998-2017, data evapotranspirasi potensial, dan asumsi *baseflow* digunakan adalah sebesar  $1,405 m^3/detik$  yang diambil dari rerata debit observasi setengah bulanan minimum. Berdasarkan data debit setengah bulanan tiap stasiun hujan yang diperoleh, maka direkap debit setengah bulanan untuk ketiga stasiun hujan menggunakan Metode Poligon Thiessen. Rerata debit setengah bulanan maksimum Metode NRECA tahun 1998-2017 terjadi pada bagian kedua bulan Februari sebesar  $27,20 m^3/detik$  dan minimum terjadi pada bagian pertama (I) bulan September sebesar  $1,16 m^3/detik$ . Debit rerata tahunan untuk Metode NRECA adalah sebesar  $10,41 m^3/detik$ .

### Analisis debit Metode F.J. Mock

Perhitungan debit dengan Metode F.J. Mock dihitung dengan menggunakan data curah hujan dan hari hujan dari tiga pos stasiun hujan, yaitu Stasiun Batinifukoko, Stasiun Nifukani, dan Stasiun Noelnoni tahun 1998-2017, serta data evapotranspirasi potensial. Berdasarkan data debit setengah bulanan tiap stasiun hujan yang diperoleh, maka direkap debit setengah bulanan untuk ketiga stasiun hujan menggunakan Metode Poligon Thiessen. Rerata debit setengah bulanan maksimum Metode F.J. Mock tahun 1998-2017 terjadi pada bagian pertama bulan Januari sebesar  $25,58$

$m^3/detik$  dan minimum terjadi pada bagian kedua bulan Oktober sebesar  $0,84 m^3/detik$ . Debit rerata tahunan untuk Metode F.J. Mock adalah sebesar  $10,78 m^3/detik$ .

### Analisis debit Metode Tangki

Perhitungan debit dengan Metode Tangki dihitung dengan menggunakan data curah hujan dari tiga pos stasiun hujan, yaitu Stasiun Batinifukoko, Stasiun Nifukani, dan Stasiun Noelnoni tahun 1998-2017, serta data evapotranspirasi. Sebelum masuk keperhitungan debit setengah bulanan Metode Tangki, perlu dilakukan kalibrasi terhadap bilangan pengali lubang (C) dan tinggi lubang pengeluaran (D). Tujuan dari kalibrasi ini adalah penyetaraan nilai antara debit observasi dengan debit hasil simulasi dengan bantuan toolbar *Solver Microsoft Excel*.

Proses kalibrasi memerlukan beberapa masukkan nilai parameter awal. Parameter awal yang digunakan sebanyak 16 parameter yaitu empat parameter tampungan awal tiap tangki, delapan parameter bilangan pengali lubang pengeluaran, dan empat parameter tinggi lubang pengeluaran. Setelah kalibrasi parameter dilakukan, diperoleh parameter-parameter baru yang akan dipakai pada perhitungan Metode Tangki tiap stasiun.

Berdasarkan data debit setengah bulanan tiap stasiun hujan yang diperoleh, maka direkap debit setengah bulanan untuk ketiga stasiun hujan menggunakan Metode Poligon Thiessen. Rerata debit setengah bulanan maksimum Metode Tangki tahun 1998-2017 terjadi pada bagian kedua bulan Februari sebesar  $9,48 m^3/detik$  dan minimum terjadi pada bagian kedua bulan Oktober sebesar  $0,16 m^3/detik$ . Debit rerata tahunan untuk Metode Tangki adalah sebesar  $3,84 m^3/detik$ .

### Debit yang mendekati karakteristik DAS Temef

Debit yang mendekati karakteristik DAS Temef ditentukan berdasarkan pengujian *Root Mean Square Error* (RMSE). Rentang nilai RMSE terletak antara nol dan  $\infty$ . Nilai RMSE = 0 menunjukkan kinerja metode yang sangat baik (Suryoputro, 2018). Rumus pengujian RMSE adalah:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - o_i)^2}{n}} \quad (3)$$

dimana n adalah banyak data,  $m_i$  adalah nilai terukur pada interval waktu i, dan  $o_i$  adalah nilai terhitung pada interval waktu i.

Rerata debit setengah bulanan dari Metode NRECA, F.J. Mock dan Tangki berdasarkan rata-rata Poligon Thiessen yang selanjutnya disebut

debit simulasi dibandingkan dengan rerata debit observasi setengah bulanan. Debit simulasi menggunakan data dari tahun 1998-2017. Debit observasi menggunakan data dari tahun 2014-2017 karena terdapat ketebatasan data yang diperoleh.

Rekapitulasi rerata debit simulasi (Qs) dan debit observasi (Qo) dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan pengujian RMSE, NRECA, F.J. Mock, dan Tangki, nilai RMSE terkecil adalah RMSE dari Metode Tangki sebesar 2,99. Nilai RMSE semakin mendekati nol menunjukkan bahwa debit simulasi yang digunakan semakin mendekati karakteristik dari DAS Temef. Dengan demikian, metode yang paling mendekati karakteristik DAS Temef adalah Metode Tangki.

### Volume *inflow* setengah bulanan

Berdasarkan perhitungan sebelumnya, metode yang paling mendekati DAS Temef adalah Metode Tangki, sehingga untuk perhitungan selanjutnya, digunakan data debit setengah bulanan Metode Tangki. Data debit setengah bulanan ( $m^3/detik$ ) yang diperoleh dikonversikan kedalam volume *inflow* (juta  $m^3$ ). Volume *inflow* setengah bulanan

merupakan jumlah volume air yang masuk kedalam bendungan dalam kurun waktu setengah bulan. Perhitungan ini menghasilkan jumlah volume air yang akan tertampung dalam waktu setengah bulanan untuk setiap tahun dari tahun 1998 sampai tahun 2017. Volume *inflow* setengah bulanan dapat diperoleh dengan cara mengalikan debit setengah bulanan dengan banyaknya detik dalam setengah bulan kemudian dibagi dengan  $10^6$ . Rerata volume *inflow* setengah bulanan maksimum terjadi pada bagian kedua bulan Maret yaitu sebesar 12,03 juta  $m^3$ . Sedangkan rerata volume *inflow* setengah bulanan minimum terjadi pada bagian kedua bulan Oktober dengan volume *inflow* sebesar 0,22 juta  $m^3$ .

### Probabilitas volume *inflow* setengah bulanan

Keandalan berdasarkan kondisi debit dibedakan menjadi empat kondisi yaitu untuk tahun air kering (97,27%), tahun air rendah (75,34%), tahun air normal (50,68%) dan tahun air cukup (26,03%) (Limantara, 2018). Perhitungan probabilitas volume *inflow* rentang setengah bulanan dilakukan dengan mengurutkan data debit dari yang terbesar sampai yang terkecil, kemudian dicari sesuai nilai probabilitasnya.

Tabel 2. Rekapitulasi Qs dan Qo

| Bulan     | Periode | Qs, $m^3/detik$ |           |        | Qo, $m^3/detik$ |
|-----------|---------|-----------------|-----------|--------|-----------------|
|           |         | NRECA           | F.J. Mock | Tangki |                 |
| Januari   | I       | 20,45           | 25,58     | 7,67   | 6,60            |
|           | II      | 20,08           | 20,70     | 6,48   | 7,89            |
| Februari  | I       | 23,47           | 22,97     | 7,76   | 17,16           |
|           | II      | 27,20           | 25,54     | 9,48   | 13,10           |
| Maret     | I       | 26,03           | 22,55     | 8,66   | 10,69           |
|           | II      | 24,03           | 19,77     | 8,70   | 10,22           |
| April     | I       | 17,76           | 14,79     | 8,28   | 9,72            |
|           | II      | 15,42           | 13,84     | 7,73   | 5,62            |
| Mei       | I       | 11,17           | 11,13     | 6,45   | 6,45            |
|           | II      | 6,80            | 7,31      | 4,48   | 5,73            |
| Juni      | I       | 3,81            | 5,22      | 3,45   | 6,88            |
|           | II      | 3,91            | 4,61      | 2,39   | 6,23            |
| Juli      | I       | 2,49            | 3,49      | 1,65   | 5,42            |
|           | II      | 1,64            | 2,40      | 1,05   | 5,55            |
| Agustus   | I       | 1,40            | 2,05      | 0,68   | 2,80            |
|           | II      | 1,20            | 1,54      | 0,42   | 2,06            |
| September | I       | 1,16            | 1,31      | 0,31   | 1,70            |
|           | II      | 1,59            | 1,16      | 0,23   | 2,34            |
| Oktober   | I       | 1,78            | 1,00      | 0,20   | 2,03            |
|           | II      | 1,45            | 0,84      | 0,16   | 1,92            |
| November  | I       | 3,08            | 1,78      | 0,22   | 1,65            |
|           | II      | 5,98            | 7,62      | 0,78   | 1,41            |
| Desember  | I       | 12,30           | 22,17     | 1,99   | 3,83            |
|           | II      | 15,71           | 19,26     | 2,93   | 5,80            |
| Maksimum  |         | 27,20           | 25,58     | 9,48   | 17,16           |
| Minimum   |         | 1,16            | 0,84      | 0,16   | 1,41            |
| Rerata    |         | 10,41           | 10,78     | 3,84   | 5,95            |
| RMSE      |         | 7,70            | 8,27      | 2,99   |                 |

Nilai probabilitas kejadian mengikuti rumus Weibull yaitu menggunakan Persamaan 4.

$$P(\%) = \frac{m_1}{n+1} \times 100\% \quad (4)$$

dimana P (%) adalah probabilitas terjadinya kumpulan nilai yang akan diharapkan selama periode pengamatan (%),  $m_1$  adalah nomor urut data, dan n adalah jumlah data. Volume *inflow* setengah bulanan ditunjukkan pada Tabel 3 yang menunjukkan probabilitas volume *inflow* setengah bulanan Bendungan Temef yang terbagi menjadi empat kondisi yaitu: 1) kondisi tahun air cukup dengan tingkat probabilitas 26,03% diperoleh total volume *inflow* per tahunnya sebesar 176,83 juta m<sup>3</sup>; 2) tahun air normal dengan tingkat probabilitas 50,68% diperoleh total volume *inflow* per tahunnya sebesar 88,77 juta m<sup>3</sup>; 3) Tahun air rendah dengan tingkat probabilitas 75,34% diperoleh total volume *inflow* per tahunnya sebesar 47,49 juta m<sup>3</sup>; 4) tahun air kering dengan tingkat probabilitas 97,26% diperoleh total volume *inflow* per tahunnya sebesar 11,68 juta m<sup>3</sup>.

### Perhitungan lama waktu pengisian

Volume tampungan rencana Waduk Temef adalah sebesar 45,79 juta m<sup>3</sup>. Lama waktu pengisian dihitung dengan menjumlahkan volume *inflow* setengah bulanan Bendungan Temef yang telah diperoleh sebelumnya. Kondisi yang digunakan dalam perhitungan lama waktu pengisian adalah kondisi tahun air normal dengan tingkat probabilitas 50,68% dan kondisi tahun air rendah dengan tingkat probabilitas 75,34%.

Tampungan Waduk Temef pada kondisi tahun air normal dengan tingkat probabilitas 50,68% disajikan dalam Tabel 4. Berdasarkan Tabel 4, lama waktu pengisian Waduk Temef pada kondisi tahun air normal dengan probabilitas 50,68% hingga mencapai volume tampungan rencana adalah tiga setengah bulan. Awal pengisian dilakukan pada bagian pertama bulan Desember sampai volume terpenuhi pada bagian kedua bulan Maret.

**Tabel 3. Probabilitas volume *inflow* setengah bulanan Waduk Temef**

| Bulan     | Periode | Hari | Kriteria              |                     |                       |                     |                       |                     |                       |                     |
|-----------|---------|------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
|           |         |      | Tahun air cukup       |                     | Tahun air normal      |                     | Tahun air rendah      |                     | Tahun air kering      |                     |
|           |         |      | 26,03                 | %                   | 50,68%                |                     | 75,34%                |                     | 97,26%                |                     |
|           |         |      | m <sup>3</sup> /detik | juta m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> /detik | juta m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> /detik | juta m <sup>3</sup> | m <sup>3</sup> /detik | juta m <sup>3</sup> |
| Januari   | I       | 15   | 8,95                  | 11,60               | 5,14                  | 6,66                | 3,87                  | 5,01                | 0,27                  | 0,35                |
|           | II      | 16   | 8,98                  | 12,41               | 5,09                  | 7,03                | 2,67                  | 3,69                | 0,47                  | 0,65                |
| Februari  | I       | 15   | 11,07                 | 14,34               | 6,94                  | 8,99                | 3,68                  | 4,76                | 0,78                  | 1,01                |
|           | II      | 13   | 12,38                 | 13,90               | 8,70                  | 9,77                | 3,89                  | 4,37                | 1,42                  | 1,59                |
| Maret     | I       | 15   | 14,60                 | 18,92               | 7,77                  | 10,07               | 4,77                  | 6,19                | 1,65                  | 2,14                |
|           | II      | 16   | 11,92                 | 16,48               | 7,44                  | 10,29               | 4,76                  | 6,58                | 1,21                  | 1,67                |
| April     | I       | 15   | 13,08                 | 16,95               | 5,81                  | 7,53                | 4,14                  | 5,36                | 1,43                  | 1,85                |
|           | II      | 15   | 10,99                 | 14,25               | 5,66                  | 7,33                | 3,69                  | 4,78                | 1,20                  | 1,56                |
| Mei       | I       | 15   | 11,95                 | 15,49               | 3,85                  | 4,99                | 1,84                  | 2,39                | 0,39                  | 0,50                |
|           | II      | 16   | 7,80                  | 10,78               | 3,29                  | 4,55                | 0,94                  | 1,29                | 0,11                  | 0,16                |
| Juni      | I       | 15   | 5,34                  | 6,93                | 2,40                  | 3,11                | 0,68                  | 0,88                | 0,00                  | 0,00                |
|           | II      | 15   | 3,54                  | 4,59                | 1,29                  | 1,67                | 0,45                  | 0,59                | 0,00                  | 0,00                |
| Juli      | I       | 15   | 2,29                  | 2,97                | 0,52                  | 0,67                | 0,17                  | 0,21                | 0,00                  | 0,00                |
|           | II      | 16   | 1,67                  | 2,30                | 0,30                  | 0,42                | 0,00                  | 0,00                | 0,00                  | 0,00                |
| Agustus   | I       | 15   | 1,13                  | 1,46                | 0,00                  | 0,00                | 0,00                  | 0,00                | 0,00                  | 0,00                |
|           | II      | 16   | 0,69                  | 0,95                | 0,00                  | 0,00                | 0,00                  | 0,00                | 0,00                  | 0,00                |
| September | I       | 15   | 0,00                  | 0,00                | 0,00                  | 0,00                | 0,00                  | 0,00                | 0,00                  | 0,00                |
|           | II      | 15   | 0,00                  | 0,00                | 0,00                  | 0,00                | 0,00                  | 0,00                | 0,00                  | 0,00                |
| Oktober   | I       | 15   | 0,00                  | 0,00                | 0,00                  | 0,00                | 0,00                  | 0,00                | 0,00                  | 0,00                |
|           | II      | 16   | 0,00                  | 0,00                | 0,00                  | 0,00                | 0,00                  | 0,00                | 0,00                  | 0,00                |
| November  | I       | 15   | 0,16                  | 0,20                | 0,00                  | 0,00                | 0,00                  | 0,00                | 0,00                  | 0,00                |
|           | II      | 15   | 1,33                  | 1,73                | 0,10                  | 0,14                | 0,00                  | 0,00                | 0,00                  | 0,00                |
| Desember  | I       | 15   | 3,58                  | 4,64                | 1,77                  | 2,30                | 0,34                  | 0,44                | 0,00                  | 0,00                |
|           | II      | 16   | 4,29                  | 5,93                | 2,35                  | 3,25                | 0,68                  | 0,94                | 0,14                  | 0,19                |
| Jumlah    |         |      | 135,74                | 176,83              | 68,42                 | 88,77               | 36,56                 | 47,49               | 9,07                  | 11,68               |



**Tabel 4. Jumlah tampungan Waduk Temef pada tahun air normal dengan probabilitas 50,68%**

| Bulan     | Periode | Tahun Air Normal<br>50,68% | Akumulasi<br>Tampungan | Keterangan     |
|-----------|---------|----------------------------|------------------------|----------------|
| Januari   | I       | 6,66                       | 9,91                   |                |
|           | II      | 7,03                       | 16,94                  |                |
| Februari  | I       | 8,99                       | 25,93                  |                |
|           | II      | 9,77                       | 35,70                  |                |
| Maret     | I       | 10,07                      | 45,77                  |                |
|           | II      | 10,29                      | 56,05                  | Terpenuhi      |
| April     | I       | 7,53                       | 63,59                  |                |
|           | II      | 7,33                       | 70,92                  |                |
| Mei       | I       | 4,99                       | 75,91                  |                |
|           | II      | 4,55                       | 80,46                  |                |
| Juni      | I       | 3,11                       | 83,57                  |                |
|           | II      | 1,67                       | 85,24                  |                |
| Juli      | I       | 0,67                       | 85,92                  |                |
|           | II      | 0,42                       | 86,34                  |                |
| Agustus   | I       | 0,00                       | 86,34                  |                |
|           | II      | 0,00                       | 86,34                  |                |
| September | I       | 0,00                       | 86,34                  |                |
|           | II      | 0,00                       | 86,34                  |                |
| Oktober   | I       | 0,00                       | 86,34                  |                |
|           | II      | 0,00                       | 86,34                  |                |
| November  | I       | 0,00                       | 86,34                  |                |
|           | II      | 0,14                       | 86,47                  |                |
| Desember  | I       | 2,30                       | 0,00                   | Awal Pengisian |
|           | II      | 3,25                       | 3,25                   |                |

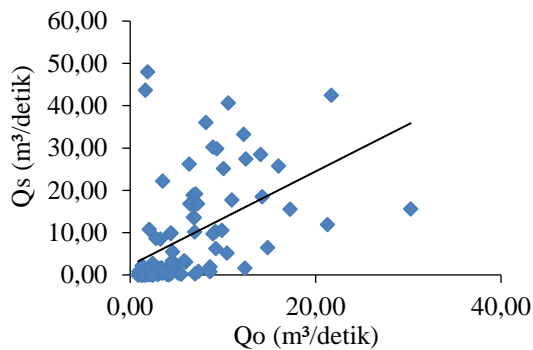
**Tabel 5. Jumlah tampungan Waduk Temef pada tahun air rendah dengan probabilitas 75,34%**

| Bulan     | Periode | Tahun Air Rendah<br>75,34% | Akumulasi<br>Tampungan | Keterangan     |
|-----------|---------|----------------------------|------------------------|----------------|
| Januari   | I       | 5,01                       | 5,95                   |                |
|           | II      | 3,69                       | 9,64                   |                |
| Februari  | I       | 4,76                       | 14,41                  |                |
|           | II      | 4,37                       | 18,78                  |                |
| Maret     | I       | 6,19                       | 24,97                  |                |
|           | II      | 6,58                       | 31,55                  |                |
| April     | I       | 5,36                       | 36,91                  |                |
|           | II      | 4,78                       | 41,69                  |                |
| Mei       | I       | 2,39                       | 44,08                  |                |
|           | II      | 1,29                       | 45,37                  |                |
| Juni      | I       | 0,88                       | 46,26                  | Terpenuhi      |
|           | II      | 0,59                       | 46,84                  |                |
| Juli      | I       | 0,21                       | 47,06                  |                |
|           | II      | 0,00                       | 47,06                  |                |
| Agustus   | I       | 0,00                       | 47,06                  |                |
|           | II      | 0,00                       | 47,06                  |                |
| September | I       | 0,00                       | 47,06                  |                |
|           | II      | 0,00                       | 47,06                  |                |
| Oktober   | I       | 0,00                       | 47,06                  |                |
|           | II      | 0,00                       | 47,06                  |                |
| November  | I       | 0,00                       | 47,06                  |                |
|           | II      | 0,00                       | 47,06                  |                |
| Desember  | I       | 0,00                       | 0,00                   | Awal pengisian |
|           | II      | 0,94                       | 0,94                   |                |

Tampungan Waduk Temef pada kondisi tahun air rendah dengan tingkat probabilitas 75,34% disajikan pada Tabel 5. Berdasarkan Tabel 5, lama waktu pengisian Waduk Temef pada kondisi tahun air rendah dengan probabilitas 75,34% hingga mencapai volume tampungan rencana adalah enam bulan. Awal pengisian dilakukan pada bagian pertama bulan Desember sampai volume terpenuhi pada bagian pertama bulan Juni.

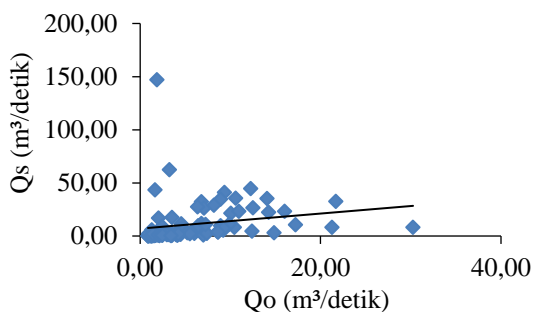
### Kalibrasi

Hasil pengujian debit simulasi Metode NRECA dan debit observasi diperoleh nilai  $r^2$  sebesar 0,233; RMSE sebesar 10,924; dan NSE sebesar -3,394. Grafik perbandingan debit observasi ( $Q_o$ ) dan debit  $Q_s$  Metode NRECA dapat dilihat pada Gambar 7.



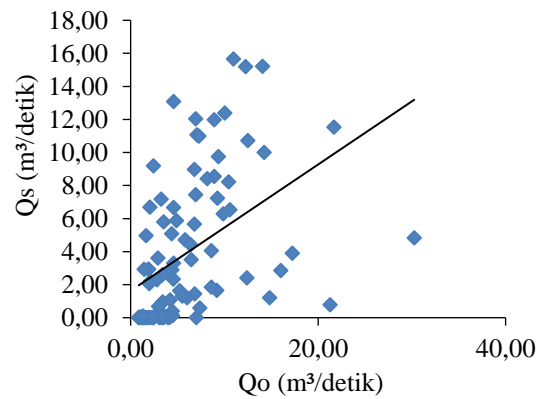
Gambar 7. Grafik perbandingan  $Q_o$  dan  $Q_s$  Metode NRECA

Hasil pengujian debit simulasi Metode F.J. Mock dan debit observasi diperoleh nilai  $r^2$  sebesar 0,037; RMSE sebesar 19,612; dan NSE sebesar -13,163. Grafik perbandingan debit observasi ( $Q_o$ ) dan debit simulasi ( $Q_s$ ) Metode F.J. Mock dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Perbandingan Debit Observasi ( $Q_o$ ) dan Debit Simulasi ( $Q_s$ ) Metode F.J. Mock

Hasil pengujian debit simulasi Metode Tangki dan debit observasi diperoleh nilai  $r^2$  sebesar 0,211; RMSE sebesar 5,447; dan NSE sebesar -0,092. Grafik perbandingan  $Q_o$  dan  $Q_s$  Metode Tangki dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik perbandingan  $Q_o$  dan  $Q_s$  Metode Tangki

Berdasarkan pengujian, meskipun dalam ketiga jenis pengujian diperoleh hasil kurang memuaskan, tetapi nilai  $r^2$ , RMSE, dan NSE dari Metode Tangki adalah metode yang hasil pengujiannya paling mendekati karakteristik DAS Temef. Hasil pengujian dari Metode Tangki, yaitu nilai  $r^2$  yang diperoleh sebesar 0,211 mendekati 0,500; nilai RMSE sebesar 5,447 semakin mendekati nol; nilai NSE sebesar -0,092 lebih mendekati satu dibandingkan dengan Metode NRECA dan F.J. Mock.

Berdasarkan analisis debit tersedia dalam Laporan Hidrologi Sertifikasi Desain Bendungan Temef, diperoleh volume *inflow* dengan probabilitas 80% yang dihitung dalam periode 10 harian adalah sebesar 177,61  $m^3/detik$ , periode bulanan sebesar 303,15  $m^3/detik$ , dan periode tahunan sebesar 195,35  $m^3/detik$ . Sedangkan volume *inflow* yang diperoleh dalam penelitian ini dihitung dalam periode setengah bulanan dengan probabilitas 50,68% sebesar 68,42  $m^3/detik$  dan dengan probabilitas 75,34% sebesar 36,56  $m^3/detik$ . Selisih antara hasil analisis debit tersedia dalam Laporan Hidrologi pada data dari pihak Balai Wilayah Sungai NT II dan penelitian ini disebabkan karena data yang digunakan dalam Laporan Hidrologi adalah data dari tahun 1977-2012 (36 tahun) dan kalibrasi untuk mencari parameter Metode Tangki menggunakan data debit tahun 1992-1996, 2009-2011, dan 2014.

### Kesimpulan

Debit rerata tahunan dengan Metode NRECA sebesar 10,41  $m^3/detik$ , debit rerata tahunan dengan Metode F.J. Mock sebesar 10,78  $m^3/detik$  dan debit rerata tahunan dengan Metode Tangki sebesar 3,84  $m^3/detik$ . Metode yang paling mendekati karakteristik DAS Temef dari ketiga metode yang digunakan adalah Metode Tangki dengan nilai RMSE Metode Tangki sebesar 2,99.

Lama waktu pengisian Waduk Temef hingga mencapai volume tampungan yang direncanakan sebesar 45,79 juta m<sup>3</sup> untuk kondisi tahun air normal dengan probabilitas 50,68% adalah tiga setengah bulan yaitu dari bagian pertama bulan Desember sampai bagian kedua bulan Maret. Sedangkan lama waktu pengisian Waduk Temef hingga mencapai volume tampungan yang direncanakan untuk kondisi tahun air rendah dengan probabilitas 75,34% adalah enam bulan yaitu dari bagian pertama bulan Desember sampai bagian pertama bulan Juni.

## Saran

Perlu dilakukan proses kalibrasi dengan menggunakan metode kalibrasi yang lain untuk memperoleh parameter Metode Tangki. Untuk memperoleh hasil kalibrasi yang lebih baik, diperlukan data debit observasi yang lebih bisa diandalkan.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan untuk Kepala BWS NT II, Kepala BMKG Lasiana, serta Konsultan Supervisi Bendungan Temef yang memberikan kesempatan bagi peneliti untuk mendapatkan data dan melakukan penelitian mengenai debit andalan.

## Daftar Pustaka

Asdak, C. (2007). *Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Ginting, S. (2016). *Rainfall – runoff model*, Bandung: Balitbang Departemen PU.

Hadisusanto, N. (2010). *Aplikasi hidrologi*, Malang: Jogja Mediautama.

Indarto. (2010). *Hidrologi dasar teori dan contoh aplikasi model hidrologi*, Jakarta: Bumi Aksara.

Indra, Z., Jasin, M.I., Binilang, A., & Mamoto, J.D. (2012). Analisis debit Sungai Munte dengan metode mock dan metode NRECA untuk kebutuhan pembangkit listrik tenaga air, *Jurnal Sipil Statik*, 1 (1),34-38.

Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. (2013). Kriteria perencanaan bagian perencanaan jaringan irigasi (KP-01), Direktorat Irigasi dan Rawa, Jakarta

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Sumber Daya Air.

(2020). *Laporan hidrologi supervisi pembangunan bendungan temef di Kabupaten Timor Tengah Selatan (Paket-1 dan Paket-2)*, Kupang: Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara II.

Krisnayanti, D.S., Bolla, M.E., Bunganaen, W., Damayanti, A.C., Nait, C., & Amaral B.E.D.N.R. (2020a). Analisis pengisian awal (impounding) pada Bendungan Raknamo Dengan Model Tangki, *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 26 (1), 61-72. doi: mkts.v26i1.26757

Krisnayanti, D.S., Rizal, A.H., Bunganaen, W., Nait, C., & Mangu A.G.A.D. (2020b), Application of a tank model to assess the performance of rotiklot reservoir initial filling, *Journal of Civil Engineering Forum*, 6(2), 103-114. doi: 10.22146/jcef.45843

Krisnayanti, D.S., Welkis, D.F.B, Hepy, F.M, & Legono D. (2020). Evaluasi kesesuaian data tropical rainfall measuring mission (TRMM) dengan data pos hujan pada DAS temef di Kabupaten Timor Tengah Selatan, *Jurnal Sumber Daya Air*, 16(1), 51-62. doi: <https://doi.org/10.32679/jsda.v16i1.646>

Limantara, L.M. (2018). *Rekayasa hidrologi edisi revisi*, Yogyakarta: Andi.

Setiawan, B.I, Fukuda, T. & Nakano, Y. (2003). Developing procedures for optimization of tank model's parameters, *agricultural engineering international: The CIGR Journal of Scientific Research and Development. Manuscript LW 01 006*.

Setyono, E. (2011). Pemakaian model deterministik untuk transformasi data hujan menjadi data debit pada DAS Lahor, *Media Teknik Sipil*, 9(1), 17-28.

Suripin. (2003). *Sistem drainase perkotaan yang berkelanjutan*, Yogyakarta: Andi.

Suryoputro, N. (2018). Modifikasi model tangki akibat pengaruh intersepsi dan penyerapan air tanah oleh akar tanaman, *Disertasi Tidak dipublikasikan*, Malang: Universitas Brawijaya.

Suryoputro, N., Yulistyorini, A., Idfi, G., Alias, N.E.B. (2019). Base flow identification using conceptual hydrology model, *The 2nd International Conference on Green Civil and Enviromental Engineering*. doi:10.10088/1757-899X/669/1/012030.

Triatmodjo, B. (2009). *Hidraulika terapan*, Yogyakarta: Beta Offset.