

PENENTUAN PARAMETER MODEL TANGKI DENGAN EMPAT SUSUNAN SERI PADA DAERAH ALIRAN SUNGAI ROKAN

(Determination of Tank Model Parameters with Four Series Structure in Rokan
Watershed)

Manyuk Fauzi¹, Yohanna Lilis Handayani¹, Annisa Destiany¹

Program Studi Teknik Sipil Universitas Riau¹

E-mail: manyukfauzi@lecturer.unri.ac.id

ABSTRAK

Informasi tentang kondisi aliran rendah (*low flow*) serta ketersediaan air menjadi salah satu faktor penting dalam pengelolaan sumber daya air. Daerah Aliran Sungai Rokan sebagai salah satu sumber daya air di Provinsi Riau sangat penting untuk diketahui kondisi ketersediaannya. Salah satu model hidrologi konseptual untuk analisis *low flow* adalah *Tank Model* yang dikembangkan oleh Sugawara. Input data yang diperlukan dalam penelitian ini berupa data hujan harian yang tercatat pada stasiun Pasar Tangun, data klimatologi pada stasiun Rambah Utama dan data debit pada pos duga Pasir Pengaraian. Pencarian parameter model dalam tahap kalibrasi dilakukan dengan cara *trial and error*. Menggunakan interval keyakinan 90% diperoleh rentang nilai parameter model tangki, dimana khusus untuk interval ketinggian tangki *production store* meliputi *surface flow* 150,81 mm H_1 204,75 mm, *intermediate flow* 156,74 mm H_2 194,37 mm, *sub base flow* 141,24 mm H_3 176,54 mm dan *base flow* 139,43 mm H_4 176,12 mm.

Kata Kunci: aliran rendah, model tangki, parameter model, sungai rokan

ABSTRACT

Information about low flow and water availability is one of the important factors in the management of water resources. The Rokan River Basin as one of the water resources in Riau Province is very important to know the condition of its water availability. One conceptual hydrological model for low flow analysis is the Tank Model developed by Sugawara. Data input needed in this research is daily rainfall data at Pasar Tangun Station, climatology data at Rambah Utama station and discharge data at AWLR Pasir Pengaraian. Model parameter search in the calibration stage is by trial and error. Using a 90% confidence interval a range of parameter values for the tank model is obtained, which is special for production store are surface flow 150.81 mm H_1 204.75 mm, intermediate flow 156.74 mm H_2 194.37 mm, sub base flow 141.24 mm H_3 176, 54 mm and base flow 139.43 mm H_4 176.12 mm.

Keywords: *low flow, tank model, model parameters, rokan river*

PENDAHULUAN

Kondisi suatu daerah aliran sungai (DAS) dikatakan sehat jika memberi peran penting menghadapi perubahan mendadak (*impulse*) naik turunnya permukaan aliran akibat kejadian hujan dan menjaga *base flow* tetap stabil. Daerah aliran sungai Rokan merupakan salah satu dari 4 (empat) DAS besar di wilayah Provinsi Riau. DAS besar tersebut antara lain Siak, Kampar, Indragiri dan Rokan. Hulu sungai Rokan berasal dari wilayah provinsi Sumatera Barat dan wilayah sungainya meliputi Provinsi Sumatera Barat, Sumatera Utara dan Riau. Namun wilayah sungai Rokan sebagian besar masuk kedalam wilayah administrasi Riau. Karakteristik fisik sungai Rokan bagian hulu antara lain rata-rata kedalaman 6 meter dan lebar 92 meter.

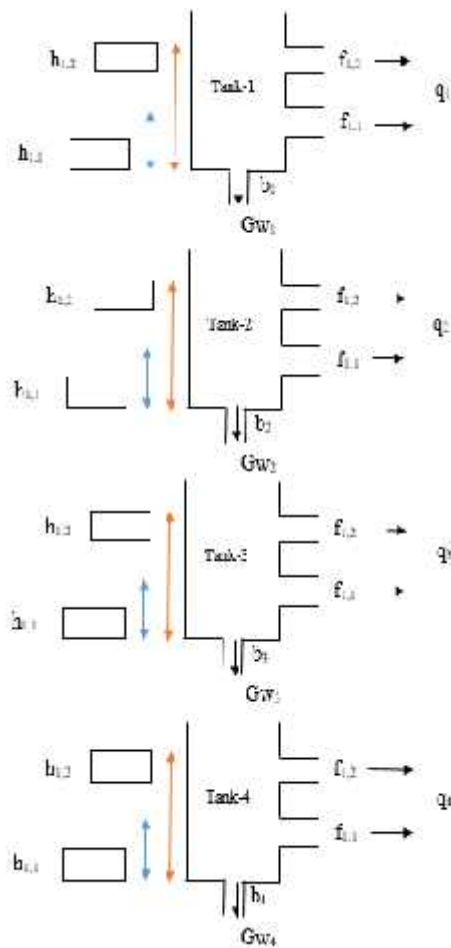
Guna kebutuhan prediksi dan estimasi besarnya debit suatu daerah aliran sungai dibutuhkan model hujan-aliran (*rainfall-runoff model*). Sebagaimana dipahami bahwa proses pengalirragaman hujan menjadi aliran (debit) merupakan proses yang sangat kompleks. Terdapat banyak kejadian yang tidak dapat dijelaskan secara pasti, sehingga konsep pemodelan bidang hidrologi pada umumnya bersifat *black box*. Selain proses dalam sistem alam yang kompleks, pengalirragaman hujan-aliran dihadapkan juga dengan ketidakpastian kejadian hujan sebagai masukan (*input*) utama. Variabel hujan mengandung ketidakpastian secara ruang dan waktu serta tidak dapat diperkirakan untuk beberapa waktu ke depan. Dengan demikian akan memerlukan analisis hidrologi yang sangat kompleks serta memerlukan hitungan yang sangat banyak.

Analisis hidrologi selalu menyertakan konsep-konsep dasar dalam pemodelannya meliputi siklus hidrologi (*hydrology cycle*) dan keseimbangan air (*water balance*). Siklus hidrologi sangat berperan penting terhadap setiap kehidupan yang ada di bumi. Perpindahan dan perubahan bentuk air yang terus menerus terjadi mengakibatkan kehidupan yang ada di suatu tempat selalu mendapatkan air yang baik untuk digunakan. Air secara alami mengalir dari hulu ke hilir, dari daerah yang lebih tinggi ke daerah yang lebih rendah. Air mengalir di atas permukaan tanah dan di dalam tanah.

Model tangki dalam bidang hidrologi, termasuk dalam model konseptual untuk mengalihragamkan hujan menjadi aliran. Model-model konseptual untuk pengalirragaman hujan menjadi debit dapat memberikan informasi tentang kondisi aliran rendah ketersediaan air. Model-model tersebut memerlukan kalibrasi dan biasanya dilakukan untuk menetapkan parameter-parameter yang terdapat pada perhitungan. Dasar model konseptual adalah meniru perilaku dari sistem daerah aliran sungai dalam proses pengalirragaman hujan menjadi aliran dengan konsep susunan sejumlah tangki. Tangki tersebut memiliki lubang pada dinding tangki dan dasar tangki. Aliran melewati lubang-lubang samping tangki menghasilkan limpasan, sedangkan aliran yang melewati dasar tangki merupakan infiltrasi dan perkolasi dan menjadi aliran air tanah (Soemarto, CD, 1999).

Sugawara (1961) memberi asumsi bahwa model tangki besarnya limpasan dan infiltrasi merupakan fungsi dari jumlah air yang tersimpan di dalam tanah atau tampungan air di bawah permukaan. Lebih lanjut, disusun konsep model tangki yang terdiri atas beberapa tangki sederhana yang tersusun secara vertikal. Dalam penelitian ini, struktur model tangkinya terdiri dari 4 tangki yang disusun seri secara vertikal. Curah hujan yang jatuh ke permukaan tanah akan mengisi tangki paling atas. Air yang tertampung oleh tangki 1 dan dipengaruhi evapotranspirasi mengalir lewat lubang-lubang didinding kanan atau merembes lewat lubang di dasar tangki dan masuk mengisi tangki 2. Proses ini berulang hingga sampai tangki terakhir. Jumlah limpasan yang keluar dari lubang-lubang didinding kanan semua tangki adalah merupakan besarnya limpasan yang dihitung dalam suatu daerah pengaliran dengan masukan curah hujan tertentu. Jadi dengan melihat tangki-tangki dalam model dan membandingkan dengan komponen limpasan maka tangki 1 yang terletak paling atas kira-kira merupakan limpasan permukaan, tangki 2 merupakan limpasan antara (*intermediate flow*) sedangkan tangki 3 dan tangki 4 merupakan aliran dasar (*base flow*). Lebih detail tentang konsep susunan tangki dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1, dimana gambar ini merujuk pada Kesuma, R. P. (2013).

Berdasarkan Gambar 1, maka terdapat beberapa parameter model yang harus ditetapkan melalui tahapan kalibrasi model. Parameter-parameter model tangki sesuai Gambar 1 antara lain, H = tinggi tangki, $h_{i,2}$ = tinggi lubang samping bagian atas, $f_{i,2}$ = koefisien lubang samping bagian atas, $h_{i,1}$ = tinggi lubang samping bagian bawah, $f_{i,1}$ = koefisien lubang samping bagian bawah, G_w = *ground water flow* atau aliran air tanah, dan b = koefisien lubang bagian dasar menuju *ground water flow* atau aliran air tanah.



Gambar 1. Konsep Susunan Model Tangki

Setiawan (2003) menyatakan secara global persamaan keseimbangan air *Tank Model* adalah sebagai berikut:

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

dengan, H = tinggi air (mm), P = hujan (mm/bulan), ET = evapotranspirasi (mm/bulan), Y = aliran total (mm/bulan), dan t = waktu (bulan).

Model tangki dengan susunan model 4 tangki, maka persamaan di atas dapat dituliskan kedalam bentuk lain berupa perubahan tinggi tiap-tiap tangki sebagai berikut:

$$\frac{dH}{dt} = \frac{dHa}{dt} + \frac{dHb}{dt} + \frac{dHc}{dt} + \frac{dHd}{dt}$$

Aliran limpasan total merupakan penjumlahan dari komponen aliran yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$Y(t) = Ya(t) + Yb(t) + Yc(t) + Yd(t)$$

Lebih rinci lagi keseimbangan air dalam setiap *reservoir* dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{dHa}{dt} = P(t) - ET(t) - Ya(t)$$

$$\frac{dHb}{dt} = Ya_o(t) - Yb(t)$$

$$\frac{dHc}{dt} = Yb_o(t) - Yc(t)$$

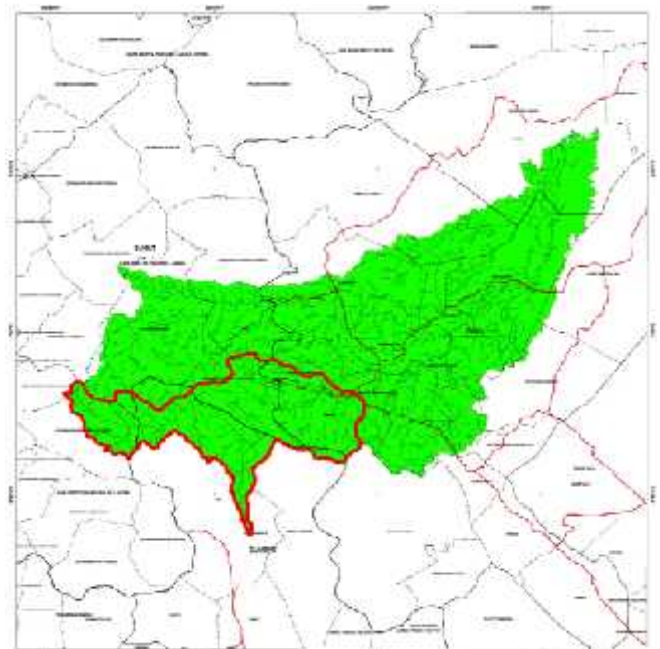
$$\frac{dHd}{dt} = Yc_o(t) - Yd(t)$$

Dengan Ha , Hb , Hc , dan Hd merupakan tinggi air pada masing-masing tangki (mm/bulan); Ya , Yb , Yc , dan Yd merupakan komponen aliran horizontal pada masing-masing tangki (mm/bulan); serta Ya_o , Yb_o , dan Yc_o merupakan komponen aliran vertikal pada masing-masing tangki (mm/bulan).

Dalam penelitian Kesuma, R. P. (2013) tentang analisis kinerja model tangki untuk aplikasi di daerah aliran sungai Bendung Trani, diperoleh nilai koefisien korelasi (r) = 0,625 dan koefisien efisiensi (CE) = 0,664. Interpretasi hasil tersebut dapat dinyatakan bahwa berdasarkan nilai koefisien korelasi menunjukkan hubungan kuat, dan nilai koefisien efisiensi masuk dalam kategori cukup efisien.

METODE

Penelitian ini dilakukan pada daerah aliran sungai Rokan bagia hulu dengan pos duga air Pasir Pengaraian, kecamatan Rambah dengan letak geografis 00°35'24" LS dan 101°11'46" BT. Daerah aliran sungai Rokan dengan pos duga air Pasir Pengaraian adalah yang dibatasi oleh garis merah pada Gambar 2, dan memiliki luas DAS kurang lebih 1.036 km².



Gambar 2. Daerah Aliran Sungai Rokan

Data-data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah berupa data-data sekunder meliputi data curah hujan, data debit dan data klimatologi. Data yang diperlukan didapat dari sumber data hidrologi dari Balai Wilayah Sungai Sumatera III Provinsi Riau meliputi:

1. Data Curah Hujan dari tahun 2008-2017 Stasiun Pasar Tangun

2. Data Debit dari tahun 2008-2017 pos duga air Pasir Pengaraian
3. Data Klimatologi dari tahun 2008-2017 Stasiun Rambah Utama

Kalibrasi model menurut Vase, *et al* (2011) merupakan suatu proses mengoptimalkan atau secara sistematis menyesuaikan nilai parameter model untuk mendapatkan satu set parameter yang memberikan estimasi terbaik dari debit sungai yang diamati. Kalibrasi model hujan aliran biasanya melibatkan proses menjalankan (*running*) model berkali-kali dengan melakukan uji coba nilai parameter yang berbeda dengan tujuan untuk meningkatkan kecocokan antara model dengan data terukur kalibrasi. Menurut Indarto (2010), pada prinsipnya metode kalibrasi dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu:

1. Coba-coba (manual)

Dalam hal ini, nilai parameter dicocokkan secara manual dengan cara coba-coba (*trial and error*). Metode ini paling banyak digunakan dan direkomendasikan, khususnya untuk model yang kompleks. Dimana sebuah grafik yang bagus sudah dianggap mewakili hasil simulasi.
2. Otomatis

Dalam hal ini, sebuah algoritma dipakai untuk menentukan nilai fungsi objektif dan digunakan untuk mencari kombinasi dan permutasi parameter sebanyak mungkin untuk menentukan tingkat keakuratan yang optimum.
3. Kombinasi

Dalam hal ini, kalibrasi secara otomatis dilakukan untuk menentukan kisaran (*range*) nilai suatu parameter, selanjutnya digunakan *trial and error* untuk menentukan detail kombinasi yang optimal.

Menurut Indarto (2010), metode kalibrasi yang banyak digunakan untuk pemodelan hujan aliran adalah metode coba-coba (*trial and error*). Hal itu disebabkan oleh proses penggunaannya cukup sederhana, cepat dan membutuhkan sedikit pengalaman bagi pemodel. Pengalaman tersebut biasanya didapat dari 5 sampai 15 kali percobaan. Terjadinya perbedaan antara hasil pengukuran dengan hasil pemodelan, mungkin disebabkan oleh empat faktor, yaitu:

1. Kesalahan acak, yang dapat berasal dari data masukan, seperti hujan, suhu, dan evapotranspirasi yang digunakan untuk mewakili kondisi data masukan.
2. Kesalahan acak, yang berasal dari data pengukuran, seperti debit air di sungai yang diukur oleh AWLR.
3. Kesalahan dalam penentuan nilai parameter.
4. Ketidaklengkapan data atau bias dalam struktur model.

Keandalan dalam pemodelan hidrologi dievaluasi dengan menggunakan beberapa indikator statistik diantaranya adalah koefisien korelasi (*r*) dan *Nash-Sutcliffe*. Koefisien korelasi (*r*) adalah harga yang menunjukkan besarnya keterkaitan antara nilai observasi dengan nilai simulasi. Koefisien korelasi dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$r = \frac{\sum (Q_{sim} - Q_{sim\ rerata})(Q_{obs} - Q_{obs\ rerata})}{\sqrt{\sum (Q_{sim} - Q_{sim\ rerata})^2 \times \sum (Q_{obs} - Q_{obs\ rerata})^2}}$$

Dengan *r* = koefisien korelasi, *Qsim* = debit terhitung (m³/detik), *Qsimrerata* = debit terhitung rerata (m³/detik), *Qobs* = debit terukur (m³/detik) dan *Qobsrerata* = debit terukur rerata (m³/detik).

Nilai koefisien korelasi (*r*) terdiri atas beberapa kriteria seperti terlihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Kriteria Nilai Koefisien Korelasi

Nilai (<i>r</i>)	Interpretasi
0 sampai dengan 0,19	Sangat Rendah
0,20 sampai dengan 0,39	Rendah
0,40 sampai dengan 0,59	Sedang
0,60 sampai dengan 0,79	Kuat
0,80 sampai dengan 1	Sangat Kuat

Nash-Sutcliffe (NS) merupakan kriteria statistik yang menunjukkan besarnya pengaruh hubungan data simulasi dan data observasi. Nilai *Nash-Sutcliffe* berkisar antara $-\infty$ dan 1. Jika *Nash-Sutcliffe* bernilai negatif maka hasil optimasi model dikatakan buruk, nilai nol menyatakan model tidak bekerja atau tidak berpengaruh sedangkan nilai satu menyatakan kinerja model baik.

$$NS = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs} - Q_{sim})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs} - Q_{obs\ rerata})^2} \right]$$

Dengan NS = *Nash-Sutcliffe*, *Qsim* = debit terhitung (m³/detik), *Qobs* = debit terukur (m³/detik), *Qobsrerata* = debit terukur rerata (m³/detik).

Moriasi (2007) menyampaikan kriteria nilai *Nash-Sutcliffe* (NS) sebagaimana Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Kriteria Nilai *Nash-Sutcliffe*

NS	Kriteria
0,75 < NS < 1,00	Sangat Baik
0,65 < NS < 0,75	Baik
0,50 < NS < 0,65	Memuaskan
NS ≤ 0,50	Kurang Memuaskan

Sementara itu verifikasi model merupakan suatu proses setelah tahap kalibrasi selesai dilakukan yang berfungsi untuk menguji kinerja model pada data diluar periode kalibrasi. Kinerja model biasanya lebih baik selama periode kalibrasi dibandingkan dengan verifikasi. Tahap verifikasi diperlukan untuk memastikan bahwa parameter hasil kalibrasi dapat mewakili karakteristik DAS sebenarnya

Harga parameter dapat diduga dengan cara interval *estimation* (pendugaan interval). Interval *estimation* adalah suatu interval yang menyatakan selang atau variasi dimana suatu parameter populasi mungkin berada. Pendugaan parameter diwujudkan dalam bentuk tingkat

kepercayaan, karena hampir tidak pernah ditemukan nilai statistik sama dengan nilai parameter. Interval kepercayaan berbeda antara satu sampel dan sampel lainnya. Tingkat kepercayaan yang sering digunakan adalah 90%, 95%, dan 99%. Pendekatan tingkat kepercayaan yang digunakan yaitu distribusi Normal (Distribusi z atau distribusi t). Interval tingkat kepercayaan mempunyai dua batas yaitu batas atas dan batas bawah. Estimasi *Confidence Interval* dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$\bar{X} - Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X} + Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Faktor pengaruh lebar interval yaitu:

1. Variasi data diukur dengan σ ,
2. Ukuran sampel, $\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
3. Tingkat kepercayaan, $100(1 - \alpha)\%$.

Nilai *confidence interval* yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Statistik Z

Interval Kepercayaan	$Z_{\alpha/2}$
80%	1,280
90%	1,645
95%	1,960
99%	2,575

Margin *error* adalah elemen statik yang mempresentasikan jumlah kesalahan dalam pengambilan sampel pada suatu suvey. Margin *error* dihitung menggunakan persamaan berikut ini $E = Z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, dengan E = margin *error*.

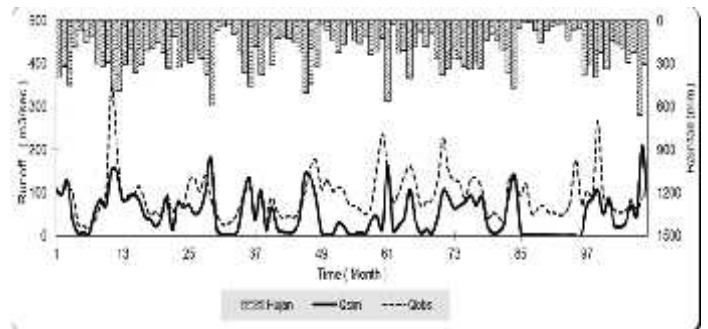
Dalam penelitian ini disusun suatu skema untuk rasio panjang data kalibrasi dan verifikasi. Kombinasi skema kalibrasi dan verifikasi sebagai berikut:

- a. Skema I : 1 tahun kalibrasi dan 9 tahun verifikasi,
- b. Skema II : 2 tahun kalibrasi dan 8 tahun verifikasi,
- c. Skema III : 3 tahun kalibrasi dan 7 tahun verifikasi,
- d. Skema IV : 4 tahun kalibrasi dan 6 tahun verifikasi,
- e. Skema V : 5 tahun kalibrasi dan 5 tahun verifikasi,
- f. Skema VI : 6 tahun kalibrasi dan 4 tahun verifikasi,
- g. Skema VII : 7 tahun kalibrasi dan 3 tahun verifikasi,
- h. Skema VIII : 8 tahun kalibrasi dan 2 tahun verifikasi,
- i. Skema IX : 9 tahun kalibrasi dan 1 tahun verifikasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

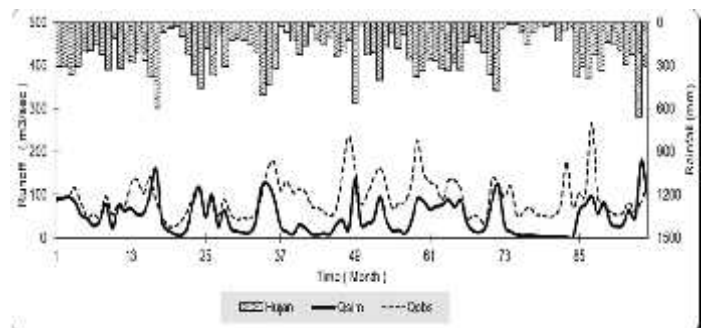
Model tangki dalam penelitian ini sebagaimana bentuk susunannya sebagaimana diuraikan di atas memiliki 24 parameter. Guna memperoleh keluaran model maka harus dicarai nilai masing-masing parameter model tersebut. Keluaran model yang dimaksud harus memiliki tingkat kecocokan yang baik terhadap data hasil pengukuran di pos duga air. Tahapan memperoleh nilai-nilai parameter model dengan tujuan keluaran model mendekati besaran data lapangan disebut dengan kalibrasi. Metode yang digunakan pada tahapan kalibrasi dipenelitian ini adalah *trial and error*.

Kinerja model skema I, berdasarkan nilai koefisien korelasi, $r = 0,92$ dapat disimpulkan memiliki hubungan sangat kuat. Sedangkan kinerja keluaran model berdasarkan *Nash-Sutcliffe*, $NS = 0,19$ maka diperoleh kesimpulan kurang memuaskan. Selanjutnya, pada tahap verifikasi untuk Skema I diperoleh kinerja keluaran model berdasarkan nilai koefisien korelasi, $r = 0,53$ dan nilai *Nash-Sutcliffe*, $NS = -0,51$. Berikut hidrograf aliran Q_{sim} dan Q_{obs} berdasarkan hasil verifikasi tahun 2009 hingga 2017.



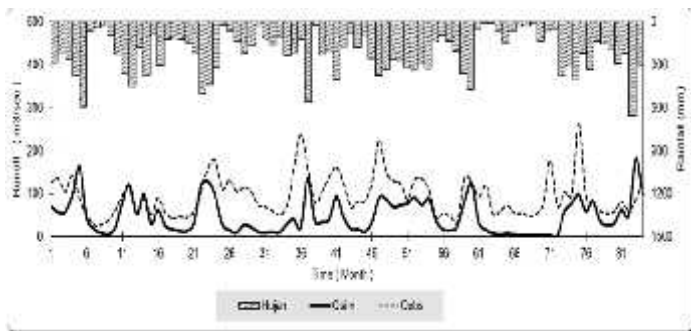
Gambar 3. Hidrograf Q_{sim} dan Q_{obs} Periode 2009-2017

Peforma atau kinerja model tangki untuk skema II, berdasarkan nilai koefisien korelasi, $r = 0,81$ dapat disimpulkan memiliki hubungan sangat kuat. Sedangkan kinerja keluaran model berdasarkan *Nash-Sutcliffe*, $NS = 0,40$ maka diperoleh kesimpulan kurang memuaskan. Selanjutnya, pada tahap verifikasi diperoleh kinerja keluaran model $r = 0,47$ dan nilai $NS = -0,88$. Pola hubungan debit hasil keluaran model (Q_{sim}) dan debit pengamatan lapangan (Q_{obs}) ditampilkan pada Gambar 4.



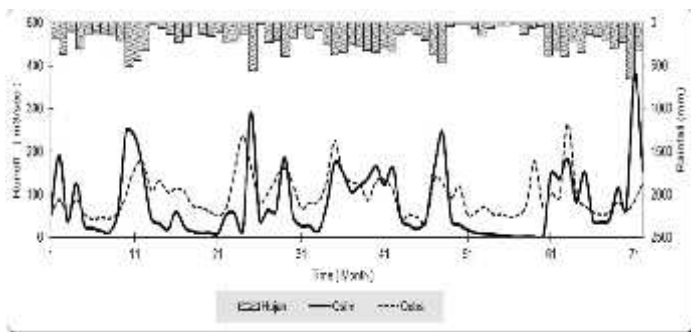
Gambar 4. Hidrograf Q_{sim} dan Q_{obs} Periode 2010-2017

Kinerja model untuk skema III sebagai berikut $r = 0,80$ yang dapat disimpulkan memiliki hubungan sangat kuat, sedangkan berdasarkan $NS = 0,42$ maka disimpulkan kurang memuaskan. Tahap verifikasi diperoleh kinerja keluaran model, untuk nilai $r = 0,48$ dan nilai $NS = -0,93$. Pola hidrograf keluaran model dan debit pengamatan periode tahun 2011-2017 ditampilkan pada Gambar 5.



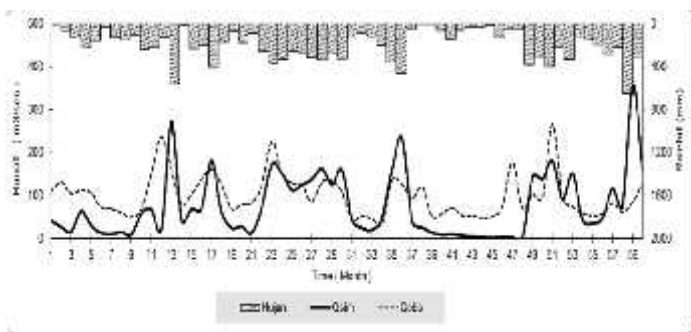
Gambar 5. Hidrograf Q_{sim} dan Q_{obs} Periode 2011-2017

Kinerja model untuk skema IV, berdasarkan nilai koefisien korelasi, $r = 0,72$ dapat disimpulkan memiliki hubungan kuat dan berdasarkan $NS = -0,31$ disimpulkan optimasi model buruk. Pada tahap verifikasi diperoleh kinerja model berdasarkan nilai koefisien korelasi, $r = 0,47$ dan nilai *Nash-Sutcliffe* = -1,35. Berikut hidrograf aliran Q_{sim} dan Q_{obs} berdasarkan hasil verifikasi tahun 2012 hingga 2017.



Gambar 6. Hidrograf Q_{sim} dan Q_{obs} Periode 2012-2017

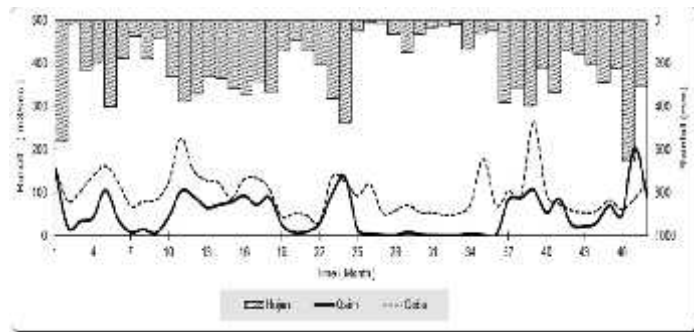
Kinerja keluaran model tangki pada tahap kalibrasi untuk skema V, berdasarkan nilai koefisien korelasi, $r = 0,74$ dapat disimpulkan memiliki hubungan kuat dan kinerja model berdasarkan $NS = -0,21$ maka dapat disimpulkan optimasi model buruk. Pada tahap verifikasi diperoleh kinerja model berdasarkan nilai koefisien korelasi, $r = 0,45$ dan nilai *Nash-Sutcliffe*, $NS = -1,32$. Hidrograf aliran antara Q_{sim} dan Q_{obs} periode tahun 2013-2017 ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Hidrograf Q_{sim} dan Q_{obs} Periode 2013-2017

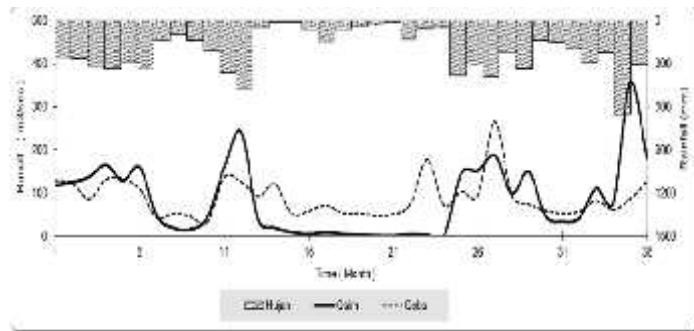
Performa tahap kalibrasi untuk skema VI, berdasarkan nilai koefisien korelasi, $r = 0,59$ dapat disimpulkan memiliki hubungan sedang dan nilai $NS = -0,14$ maka diperoleh kesimpulan optimasi model buruk. Tahap verifikasi memperoleh nilai koefisien korelasi, $r = 0,55$ dan

nilai $NS = -0,95$. Hidrograf aliran Q_{sim} dan Q_{obs} periode tahun 2014-2017 ditampilkan pada gambar berikut.



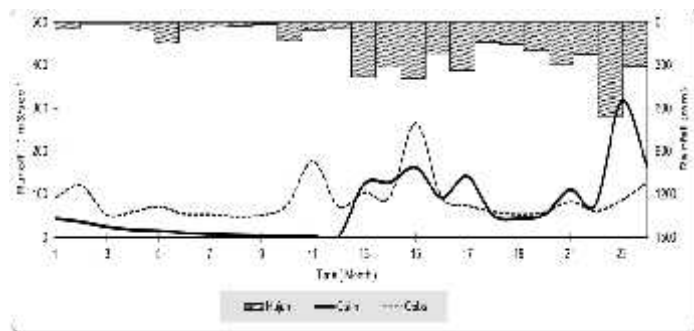
Gambar 8. Hidrograf Q_{sim} dan Q_{obs} Periode 2014-2017

Kinerja model tangki tahap kalibrasi untuk skema VII, berdasarkan nilai koefisien korelasi, $r = 0,58$ yang disimpulkan memiliki hubungan sedang dan $NS = -0,56$ yang disimpulkan optimasi model buruk. Pada tahap verifikasi diperoleh kinerja model berdasarkan koefisien korelasi, $r = 0,49$ dan $NS = -1,57$. Hidrograf aliran Q_{sim} dan Q_{obs} periode tahun 2015-2017 ditampilkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Hidrograf Q_{sim} dan Q_{obs} Periode 2015-2017

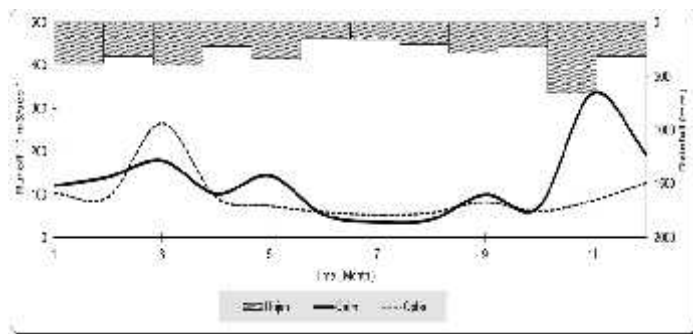
Performa model tangki tahap kalibrasi untuk skema VIII, berdasarkan nilai koefisien korelasi, $r = 0,58$ sehingga disimpulkan memiliki hubungan sedang, dan berdasarkan $NS = -0,21$ maka optimasi model buruk. Pada tahap verifikasi diperoleh kinerja model berdasarkan nilai korelasi, $r = 0,35$ dan nilai $NS = -1,49$. Pola hidrograf keluaran model dan debit pengamatan periode tahun 2016-2017 ditampilkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Hidrograf Q_{sim} dan Q_{obs} Periode 2016-2017

Kinerja model tangki pada tahap kalibrasi untuk skema IX, berdasarkan nilai koefisien korelasi, $r = 0,57$ disimpulkan memiliki hubungan sedang, sedangkan kinerja model berdasarkan $NS = -0,57$ maka disimpulkan optimasi model buruk. Tahap verifikasi diperoleh kinerja model

berdasarkan nilai korelasi, $r = 0,39$ dan nilai $NS = -1,28$. Pola hidrograf keluaran model dan debit pengamatan periode tahun 2017 ditampilkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Hidrograf Q_{sim} dan Q_{obs} Periode 2017

Berdasarkan analisis di berbagai skema panjang data diperoleh keluaran model yang terbaik (optimum) untuk tahap kalibrasi adalah skema I, skema II, dan skema III. Nilai koefisien korelasi pada skema I = 0,92, skema II = 0,81 dan skema III = 0,80 untuk *Nash-Sutcliffe* pada skema I = 0,19, skema II = 0,40, dan skema III = 0,42. Sedangkan tahap verifikasi nilai koefisien korelasi pada skema I = 0,53, skema II = 0,47, dan skema III = 0,48 untuk *Nash-Sutcliffe* pada skema I = -0,51, skema II = -0,88, dan skema III = -0,93.

Berdasarkan uraian tersebut di atas, membuktikan bahwa tidak terdapat jaminan pada hal-hal sebagai berikut:

1. Kinerja model yang baik saat kalibrasi tidak menjamin hasil yang sama atau lebih baik pada saat verifikasi.
2. Variasi panjang data dalam tahap kalibrasi serta tahap verifikasi memberikan hasil atau informasi bahwa tidak ada kepastian tentang rasio panjang data tertentu yang memberikan hasil terbaik.
3. Berdasarkan hasil variasi skema yang telah diperoleh, tidak terdapat nilai parameter tertentu (*single value*) yang digunakan sebagai konstanta model.

Dengan demikian perlu dilakukan analisis guna memperoleh batas bawah dan batas atas dari nilai parameter-parameter model tangki. Nilai batas atas dan batas bawah ditetapkan berdasarkan tingkat kepercayaan 90%. Parameter-parameter model tangki untuk masing-masing tangki antara lain, H = tinggi tangki, $h_{i,2}$ = tinggi lubang samping bagian atas, $f_{i,2}$ = koefisien lubang samping bagian atas, $h_{i,1}$ = tinggi lubang samping bagian bawah, $f_{i,1}$ = koefisien lubang samping bagian bawah, G_w = aliran air tanah, dan b = koefisien lubang bagian dasar. Berikut ditampilkan analisis rentang nilai parameter model untuk masing-masing tangki sebagaimana pada Tabel 4 (tangki 1), Tabel 5 (tangki 2), Tabel 6 (tangki 3) dan Tabel 7 (tangki 4).

Tabel 4. Rentang Nilai Parameter Model Pada Tangki 1

Skema	Parameter Tangki 1					
	H_1	$h_{1,2}$	$f_{1,2}$	$h_{1,1}$	$f_{1,1}$	b_1
1	200,00	120,00	0,30	50,00	0,30	0,40
2	210,00	120,00	0,20	50,00	0,30	0,50
3	200,00	150,00	0,10	80,00	0,30	0,60
4	150,00	80,00	0,05	45,00	0,10	0,85

5	150,00	100,00	0,10	30,00	0,10	0,80
6	130,00	100,00	0,20	50,00	0,20	0,60
7	130,00	100,00	0,01	40,00	0,10	0,80
8	150,00	80,00	0,01	30,00	0,10	0,80
9	280,00	100,00	0,01	60,00	0,01	0,80
Rata-rata	177,78	105,56	0,11	48,33	0,17	0,68
Standar deviasi	49,19	21,86	0,10	15,41	0,11	0,16
Margin error	26,97	11,99	0,06	8,45	0,06	0,09
Batas bawah	150,81	93,57	0,05	39,88	0,11	0,59
Batas atas	204,75	117,54	0,17	56,78	0,23	0,77

Parameter kedalaman tanah yang masih memungkinkan terjadi penguapan (*surface flow*) atau parameter H_1 memiliki rentang nilai 150,81 mm H_1 204,75 mm. Dengan demikian pada daerah kajian ketebalan *root zone* mencapai kurang lebih 204,75 mm.

Tabel 5. Rentang Nilai Parameter Model Pada Tangki 2

Skema	Parameter Tangki 2					
	H_2	$h_{2,2}$	$f_{2,2}$	$h_{2,1}$	$f_{2,1}$	b_2
1	200,00	100,00	0,60	40,00	0,20	0,01
2	210,00	100,00	0,20	50,00	0,30	0,01
3	200,00	150,00	0,10	60,00	0,40	0,10
4	140,00	80,00	0,90	40,00	0,80	0,90
5	130,00	50,00	0,90	30,00	0,50	0,90
6	210,00	90,00	0,10	50,00	0,70	0,01
7	140,00	80,00	0,50	40,00	0,90	0,90
8	150,00	50,00	0,90	30,00	0,50	0,90
9	200,00	100,00	0,70	60,00	0,80	0,90
Rata-rata	175,56	88,89	0,54	44,44	0,57	0,51
Standar deviasi	34,32	30,18	0,34	11,30	0,24	0,46
Margin error	18,82	16,55	0,19	6,20	0,13	0,25
Batas bawah	156,74	72,34	0,36	38,25	0,43	0,26
Batas atas	194,37	105,44	0,73	50,64	0,70	0,77

Parameter ketebalan tanah untuk *production store* pertama (*intermediate flow*) atau parameter H_2 memiliki rentang nilai 156,74 mm H_2 194,37 mm.

Tabel 6. Rentang Nilai Parameter Model Pada Tangki 3

Skema	Parameter Tangki 3					
	H_3	$h_{3,2}$	$f_{3,2}$	$h_{3,1}$	$f_{3,1}$	b_3
1	200,00	100,00	0,20	50,00	0,50	0,50
2	150,00	120,00	0,50	50,00	0,50	0,50
3	200,00	150,00	0,70	80,00	0,10	0,01

4	140,00	100,00	0,01	50,00	0,01	0,40
5	130,00	100,00	0,10	50,00	0,01	0,31
6	120,00	100,00	0,80	50,00	0,60	0,10
7	140,00	100,00	0,01	50,00	0,50	0,02
8	150,00	100,00	0,01	60,00	0,01	0,30
9	200,00	100,00	0,40	60,00	0,01	0,01
Rata-rata	158,89	107,78	0,30	55,56	0,25	0,24
Standar deviasi	32,19	17,16	0,31	10,14	0,27	0,21
Margin error	17,65	9,41	0,17	5,56	0,15	0,11
Batas bawah	141,24	98,37	0,13	50,00	0,10	0,13
Batas atas	176,54	117,19	0,47	61,11	0,39	0,35

Parameter ketebalan tanah untuk *production store* ketiga (*sub base flow*) atau parameter H_3 memiliki rentang nilai 141,24 mm H_3 176,54 mm.

Tabel 7. Rentang Nilai Parameter Model Pada Tangki 4

Skema	Parameter Tangki 4					
	H_4	$h_{4.2}$	$f_{4.2}$	$h_{4.1}$	$f_{4.1}$	b_4
1	200,00	100,00	0,10	40,00	0,10	0,50
2	160,00	120,00	0,50	50,00	0,10	0,60
3	200,00	100,00	0,10	80,00	0,10	0,70
4	140,00	100,00	0,01	40,00	0,50	0,10
5	130,00	100,00	0,01	50,00	0,80	0,06
6	120,00	110,00	0,90	50,00	0,30	0,01
7	130,00	100,00	0,01	50,00	0,02	0,50
8	140,00	120,00	0,01	70,00	0,50	0,05
9	200,00	100,00	0,01	60,00	0,01	0,01
Rata-rata	157,78	105,56	0,81	54,44	0,27	0,28
Standar deviasi	33,46	8,82	0,31	13,33	0,27	0,29
Margin error	18,35	4,84	0,17	7,31	0,15	0,16
Batas bawah	139,43	100,72	0,01	47,13	0,12	0,12
Batas atas	176,12	110,39	0,35	61,76	0,42	0,44

Parameter ketebalan tanah untuk *production store* keempat (*base flow*) atau parameter H_4 memiliki rentang nilai 139,43 mm H_4 176,12 mm. Ringkasan dari nilai *Margin error* dari masing-masing parameter ditunjukkan pada Tabel 8. Dari tabel tersebut dapat dinyatakan bahwa parameter H_i , h_{i2} , dan h_{i1} cukup sensitif dimana hal tersebut ditandai dengan interval nilai yang cukup lebar. Dimana secara berurutan nilai rata-rata parameter H_i , h_{i2} , dan h_{i1} adalah 20,45 mm; 10,70 mm dan 6,88 mm. Sedangkan parameter koefisien lubang dari model tangki meliputi f_{i2} , f_{i1} dan b_i tidak memiliki variasi yang tinggi dan cenderung menjadi suatu nilai konstanta model. Nilai

rata-rata parameter f_{i2} , f_{i1} dan b_i adalah 0,15; 0,12 dan 0,15.

Tabel 8. Margin Error Masing-masing Parameter

Tangki	H_i	$h_{i.2}$	$f_{i.2}$	$h_{i.1}$	$f_{i.1}$	b_i
Tangki 1	26,97	11,99	0,06	8,45	0,06	0,09
Tangki 2	18,82	16,55	0,19	6,20	0,13	0,25
Tangki 3	17,65	9,41	0,17	5,56	0,15	0,11
Tangki 4	18,35	4,84	0,17	7,31	0,15	0,16
Rata-rata	20,45	10,70	0,15	6,88	0,12	0,15

KESIMPULAN

1. Interval parameter ketinggian *surface flow* memiliki rentang nilai 150,81 mm H_1 204,75 mm, rentang nilai ketinggian *intermediate flow* 156,74 mm H_2 194,37 mm, rentang nilai ketinggian *sub base flow* 141,24 mm H_3 176,54 mm dan rentang nilai ketinggian *base flow* 139,43 mm H_4 176,12 mm.
2. Parameter-parameter model tangki yang berhubungan ketinggian tangki dan ketinggian lubang samping menghasilkan *margin error* yang cukup lebar. Hal tersebut menjadi indikator bahwa parameter tersebut cukup sensitif.
3. Terdapat peluang menjadikan parameter koefisien lubang samping dan lubang dasar menjadi konstanta model dan bersifat *general* (umum) dengan cara cara penambahan lokasi kajian.

REFERENSI

Indarto, (2010). Hidrologi Dasar Teori dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi. Jakarta : Bumi Aksara.

Kesuma, R. P, (2013). Aplikasi Metode Mock, Nreca, Tank Model Dan Rainrun Di Bending Train, Wonotoro Sudangan Dan Walikan. ISSN 2354-8630

Moriasi, D.N, (2007), Model Evaluation Guidelines For Systematic Quantification Of Accuracy In Watershed Simulation, ISSN 0001-2351.

Soemarto, CD, (1999). Hidrologi Teknik Edisi Kedua. Jakarta : Erlangga

Sugawara, M. (1961). On the analysis of runoff structure about several Japanese River. Japanese Journal of Geophysics, 4 (2): 1-76

Vase, J., Jordan, P., Beecham, R., Frost, A. & Summerell, G, (2011). Guidelines for Rainfall-Runoff Modelling : Towards Best Practice Model Application. Australia : eWater Cooperative Research Centre.