

EVALUASI PENGARUH JUMLAH DAN POSISI STASIUN CURAH HUJAN PADA SIMULASI ALIRAN LIMPASAN DI SUNGAI PING, THAILAND

EVALUATING INFLUENCE OF NUMBER AND DISTRIBUTION RAINFALL STATIONS ON RAINFALL-RUNOFF SIMULATION IN PING RIVER, THAILAND

Muchamad Wahyu Trinugroho

Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Badan Litbang Kemtan

Jl. Tentara Pelajar 1A, Cimanggu, Bogor

Email: wahyutrino@pertanian.go.id

Diterima: September 2017; Oktober 2018; Disetujui: Mei 2018

ABSTRAK

Curah hujan merupakan salah satu faktor penting dalam aliran limpasan. Jumlah dan sebaran stasiun curah berperan dalam analisis transformasi aliran limpasan dalam suatu model hidrologi, maka analisis data hujan perlu dilakukan secara teliti. Namun, dalam suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) memiliki jumlah dan sebaran stasiun yang bervariasi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis seberapa besar pengaruh jumlah dan sebaran stasiun terhadap hujan transformasi dalam bentuk aliran limpasan menggunakan model hidrologi, HEC-HMS. Lokasi kajian di DAS Mae Chaem Thailand Utara seluas 3.826 km². Model HEC HMS digunakan untuk kalibrasi parameter model curah hujan limpasan dengan menggunakan keseluruhan stasiun hujan yang ada sejumlah 13 stasiun (kondisi 1), dengan menggunakan curah hujan wilayah metode polygon thiessen. Untuk penyederhanaan, parameter terkalibrasi sebagai input untuk simulasi 6 stasiun hujan dengan nomor stasiun 1, 2, 5, 8, 11, dan 13 (kondisi 2), dan 3 stasiun hujan dengan 3 posisi stasiun yang berbeda (kondisi 3, 4, dan 5). Hasil penelitian menunjukkan kalibrasi dari 13 stasiun mempunyai kriteria sangat baik dengan nilai Nash koefisien 0,826. Setelah dilakukan simulasi, kondisi 2 memberikan hasil yang paling baik mendekati nilai pengamatan, dengan $R^2 = 0,927$, sedang nilai korelasi paling rendah kondisi 5 (nomor stasiun 1, 6, dan 11), $R^2 = 0,795$. Sedangkan dari hasil debit hidrograf, kondisi 1 lebih tinggi daripada kondisi 2, baik pola maupun debit puncaknya. Hasil lain menunjukkan simulasi debit puncak kondisi 3 (nomor stasiun 2, 5, dan 13) memiliki overestimate terhadap debit observasi sedang kondisi 5 menunjukkan hasil underestimate terhadap debit observasi. Secara keseluruhan hasil simulasi telah memenuhi persyaratan Nash, sedang hasil yang paling baik pada simulasi dengan 6 stasiun (kondisi 2). Dengan demikian jumlah dan posisi stasiun curah hujan memberikan pengaruh dalam pemodelan curah hujan limpasan di Sungai Ping, DAS Mae Caem.

Kata kunci: stasiun hujan, aliran limpasan, model, scenario, debit aliran.

ABSTRACT

The number and distribution of rainfall stations are needed to simulate rainfall-run off transformation on hydrologic model. However, the availability of stations varies in watershed. The study aims to assess the influence of number and distribution rainfall stations by a modelling approach to simulate run-off process. The use of HEC-HMS model is to calibrate model parameters and simulate run-off on 4 scenarios in Mae Caem Watershed (3,826 km²), Northern Thailand. The result shows the calibrated model parameters of 13 stations are very satisfied by 0.826 of Nash coefficient. Based on the simulation result, the condition of 6 stations demonstrate the best fit regarding observation data by $R^2 = 0.927$; the lowest correlation is three rainfall stations by 0.795 of R^2 . Also, simulated runoff rainfall for six stations (condition 2) show results close to the observation discharge. Condition 1 (all stations) is somewhat higher than condition two regarding pattern and peak discharge. Another result shows simulation of peak discharge condition 3 (station number 2, 5, and 13) has overestimate of observation discharge and condition 5 shows underestimate result to observation discharge. Overall the simulation results have met Nash's criteria, while the best results are in simulation with 6 stations (condition 2). Thus the number and position of rainfall stations have an influence on the modeling of rainfall runoff in the Ping River, Mae Caem Watershed.

Keywords: rainfall station, run-off, model, scenario, discharge

PENDAHULUAN

Proses alamiah dari perubahan curah hujan menjadi aliran dalam Daerah Aliran Sungai (DAS) sangat kompleks. Dua faktor yang mempengaruhi kompleksitas tersebut yakni variabilitas sistem DAS dan karakter masukan (input) yang mempunyai variabilitas ruang dan waktu yang sangat tinggi (Tunas, 2005). Adanya kombinasi sifat input dan karakteristik DAS menimbulkan kesulitan dalam mengkaji pola dan perilaku limpasan dari DAS tersebut. Salah satu input yang diperlukan dalam suatu analisis adalah data curah hujan. Dalam suatu DAS faktanya memiliki jumlah, kerapatan, dan sebaran jaringan stasiun hujan yang bervariasi tergantung infrastruktur, topografi, serta pertimbangan yang lain. Hal tersebut akan mempengaruhi analisis sistem hidrologi terutama intensitas, penyebaran, serta kedalaman hujan pada setiap wilayah (Nugroho, 2001). Strategi penempatan dan pola sebaran stasiun curah hujan menjadi sangat penting, sehingga data yang tercatat dapat merepresentasikan keadaan di wilayah tersebut.

Perkembangan pemodelan hidrologis dapat membantu transformasi curah hujan menjadi aliran limpasan. Pendekatan ini untuk menyederhanakan fenomena alam yang begitu kompleks sehingga mudah untuk dipelajari. Salah satu model tersebut adalah HEC-HMS yang merupakan model hidrologi yang dikembangkan oleh USACE-HEC. Model ini merupakan model matematika numerik yang dapat mensimulasikan hubungan hujan dengan limpasan. Struktur model HEC-HMS terdiri dari enam komponen, antara lain model hujan-limpasan, model limpasan langsung, model aliran dasar dan model penelusuran aliran. Model tersebut memerlukan kalibrasi dengan menemukan dan menentukan parameter terbaik sehingga antara perbedaan antara hasil simulasi dan data observasi dapat seminim mungkin. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis seberapa besar pengaruh jumlah dan sebaran stasiun terhadap hujan yang ditransformasi dalam bentuk aliran pada suatu DAS dengan menggunakan model HEC HMS.

TINJAUAN PUSTAKA

Curah Hujan Wilayah

Curah hujan rerata sangat bervariasi di segala tempat, maka untuk kawasan yang luas satu alat penakar hujan belum tentu dapat merepresentasikan kondisi sebenarnya. Dalam hal ini diperlukan hujan kawasan yang diperoleh dari nilai rata-rata curah hujan beberapa stasiun penakar hujan yang ada di dalam atau disekitar

kawasan tersebut (Suripin, 2004). Dalam penentuan hujan kawasan salah satu di antaranya dikenal ada 2 metode yang berbasis analisis secara grafis yaitu isohyet dan Thiessen polygon. Penerapan metode isohyet secara umum untuk cakupan kawasan yang luas dengan jaringan stasiun yang jarang (Rossi, et al., 2007). Hasilnya bersifat subyektif dan banyak ditentukan oleh ketelitian pembuat peta. Metode kedua adalah Thiessen dimana metode ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Pendekatan metode yang digunakan adalah menghitung variasi ruang untuk mendapat merepresentasikan nilai suatu kawasan hujan dari titik stasiun salah satunya (Asawa G.L., 2005):

$$P_j = \frac{\sum A_{ij} P_i}{\sum A_{ij}} \dots \dots \dots (1)$$

Dengan P_j adalah curah hujan wilayah untuk daerah j , A_{ij} adalah luas polygon, P_i adalah volume curah hujan pada stasiun i .

Model HEC-HMS

Model aliran limpasan di dalam HEC-HMS mengikuti prinsip hidrograf satuan dengan asumsi sebagai berikut: hujan terjadi merata diseluruh DAS (*evenly distributed*) dan intensitas tetap pada setiap interval waktu (*constant intensity*), hujan dengan durasi dan pola yang sama mempunyai bentuk dan waktu dasar yang sama pula pada hidrograf yang dihasilkan.

Metode perhitungan volume limpasan mempertimbangkan jatuhnya air hujan pada lapisan kedap air tanpa memperhitungkan infiltrasi, evaporasi ataupun jenis kehilangan volume lainnya (Halwatura & Najim, 2013). Metode SCS *curve number* (CN) dianggap paling mudah di aplikasikan dalam perhitungan. Metode ini mempunyai konsep bahwa hujan yang menghasilkan limpasan merupakan fungsi dari hujan kumulatif, tata guna lahan, jenis tanah serta kelembaban. Model perhitungannya adalah sebagai berikut (HEC-HMS *Technical Reference Manual*, 2011):

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \dots \dots \dots (2)$$

dengan: P_e = Hujan kumulatif pada waktu t , P = Kedalaman hujan kumulatif pada waktu t , I_a = Kehilangan mula-mula (*initial loss*), S = Kemampuan penyimpanan maksimum.

Hubungan antara nilai kemampuan penyimpanan maksimum dengan nilai dari karakteristik DAS yang diwakili oleh nilai *CN* (*curve number*) adalah sebagai berikut:

$$s = \frac{25400 - 254 \cdot CN}{CN} \text{ (metric unit)} \dots\dots\dots(3)$$

Nilai dari CN bervariasi dari 100 (untuk permukaan yang digenangi air) hingga sekitar 30 (untuk permukaan tak kedap air dengan nilai infiltrasi tinggi).

Transformasi hidrograf limpasan

Metode Clark pada umumnya banyak diterapkan pada hitungan dengan pertimbangan pengguna tidak disyaratkan menganalisis data dalam waktu lampau. Sebagai gantinya kurva waktu versus area yang dibuat di dalam program digunakan untuk menganalisis hujan limpasan dalam bentuk hidrograf satuan. Hidrograf yang dihasilkan berdasarkan parameter waktu konsentrasi, koefisien simpanan DAS dan diagram luasan waktu. Perkiraan unit hidrograf model Clark (Halwatura & Najim, 2013).

$$S_t = R O_t \dots\dots\dots(4)$$

Dimana R adalah parameter konstan reservoir, O_t adalah debit luaran reservoir.

$$O_t = C_A I_t + C_B O_{t-1} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana C_A , C_B adalah koefisien *routing*, I adalah debit masukan.

Model Penelusuran Banjir (Routing Model)

Penelusuran aliran adalah prosedur atau analisis matematik yang digunakan untuk melacak jalannya aliran melalui sistem hidrologis. Cara penelusuran aliran yang paling banyak digunakan yang juga diakomodasi oleh HEC-HMS adalah cara Muskingum yang dikembangkan oleh Mc Charty (1938). Cara ini mendasarkan pada persamaan sebagai fungsi masukan dan keluaran, dalam perhitungan Muskingum tampungan dinyatakan sebagai fungsi linier dari tampungan baji dan tampungan prisma. Perhitungan rambatan gelombang aliran sungai (*routing*) dalam HEC-HMS dituangkan pada routing model (*channel flow model*). Parameter yang diperlukan adalah travel time dan faktor pembobot. Travel time (k) atau waktu tempuh aliran dari titik inlet sampai outlet, ditentukan melalui hubungan antara kecepatan aliran dengan panjang sungai. Faktor pembobot (x)

dalam metode Muskingum berkisar antara 0 sampai 0,5 dengan rata-rata 0,2 untuk aliran alami (Putra, 2016). Penentuan nilai x diperoleh dari hasil *trial-error* pada saat kalibrasi, dengan menggunakan nilai rata-rata sebagai nilai masukan awal sebagaimana rumus:

$$O_t = \left(\frac{\Delta t - 2KX}{2K(1-X) + \Delta t} \right) I_t + \left(\frac{\Delta t + 2KX}{2K(1-X) + \Delta t} \right) I_{t-1} + \left(\frac{2K(1-X) - \Delta t}{2K(1-X) + \Delta t} \right) O_{t-1} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

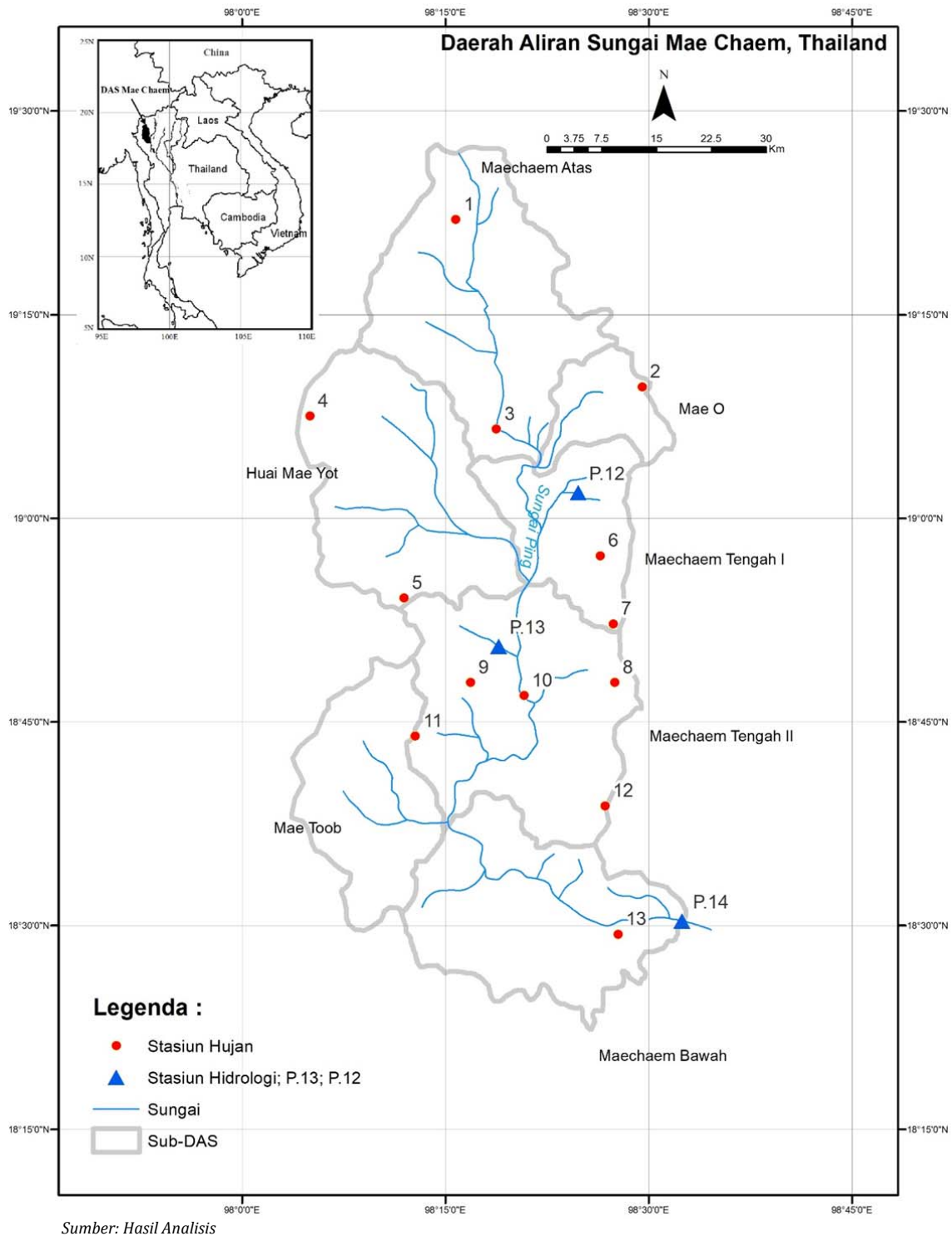
O adalah debit luaran, I adalah debit masukan, Δt adalah selisih waktu, K adalah waktu tempuh, dan X adalah bobot.

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi

Penelitian dilaksanakan di DAS Mae Chaem, yang terletak di Thailand Utara dengan luas geografis 3,826 km². DAS terletak pada koordinat 18° 06' - 19° 10' N dan 98° 04' - 98° 34' E. Daerah ini merupakan pegunungan dengan 90% tutupan lahan didominasi hutan. Sisa Areal merupakan daerah datar sampai berbukit dengan 6,7% dan dataran rendah hanya 3,3% (Jothityangkoon et al., 2013). Titik tertinggi di DAS Mae Chaem adalah puncak Doi Inthanon dengan ketinggian 2,565 m di atas permukaan laut (Thanapakpawin et al., 2007). Titik terendah di daerah aliran sungai adalah 282 m di atas permukaan laut. Air mengalir melalui DAS Mae Chaem sepanjang 135 kilometer sebelum bertemu dengan sungai Ping, salah satu anak sungai Chao Phraya yang merupakan sungai utama Thailand (Kuraji K. et al., 2004).

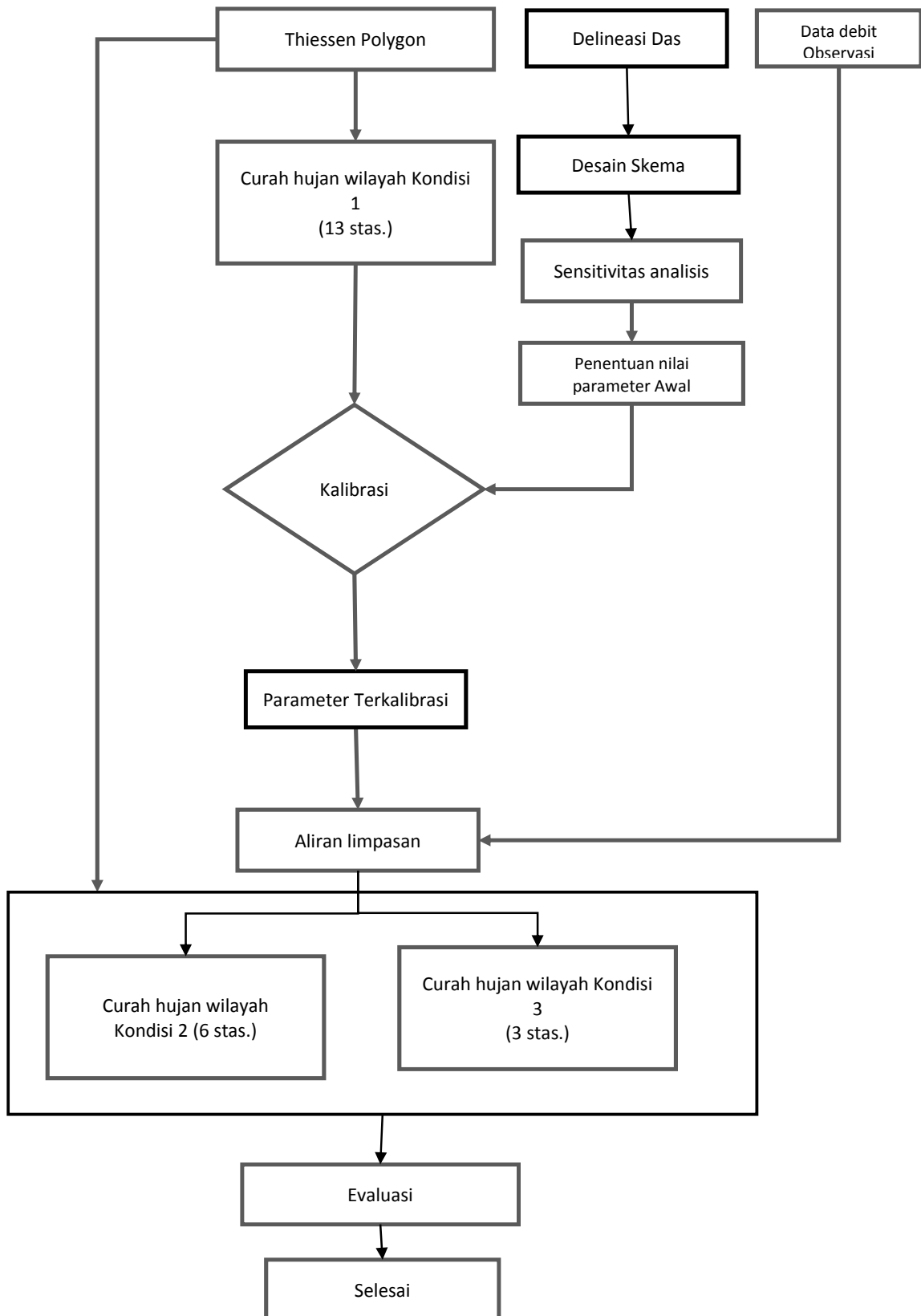
Rata-rata curah hujan tahunan sebesar 1000-1200 mm dan lebih dari 80 % terjadi selama monsoon barat laut dan siklon tropis (Dairaku, 2004). DAS ini memiliki stasiun pengamat hujan dengan sistem otomatis *tipping bucket* sejumlah 13 stasiun dan 3 stasiun pengukur debit dari *Royal Irrigation Department* (RID) Tahun 1999. Pada kajian ini, digunakan 1 stasiun pengukur debit jam-jaman di kumpulkan di P14 outlet DAS Mae Chaem, di karenakan kelengkapan data paling memadai. Gambar 1.



Gambar1 Posisi Stasiun curah hujan dan pos duga air DAS Mae Chaem

Data yang digunakan pada kajian ini pada periode 15-18 September 1999. Penelitian ini hanya mengkaji periode pendek puncak hujan, sehingga data yang digunakan dalam kisaran 4

hari. Untuk secara keseluruhan, metode penelitian seperti tersaji pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Diagram metodologi penelitian

Polygon Thiessen

Stasiun-stasiun pengamat hujan yang tersebar pada suatu daerah aliran ditinjau sebagai hujan titik (*point rainfall*). Untuk mengubah hujan titik menjadi hujan wilayah (*areal rainfall*) digunakan pendekatan dengan metode polygon Thiessen. Metode ini adalah sederhana untuk menghitung hujan rerata pada suatu daerah dengan cara membuat poligon yang mewakili luas persebaran hujan masing-masing stasiun pencatat hujan (Olawayin, 2017). Dari masing-masing stasiun hujan dihubungkan satu sama lain dengan garis. Pada garis penghubung tersebut ditarik garis tegak lurus pada titik tengahnya sehingga garis-garis yang tegak lurus tersebut akan berpotongan pada suatu titik. Dari banyak perpotongan garis pada titik-titik di antara tiga stasiun pencatat hujan tersebut akan membentuk suatu poligon yang banyak.

Lima kondisi dalam menghitung curah hujan wilayah, kondisi 1 melibatkan 13 stasiun hujan, kondisi 2 menggunakan 6 stasiun yang sudah dipilih berdasarkan distribusinya, serta kondisi 3 dengan jumlah 3 stasiun pada posisi yang berbeda. Kondisi 3, 4, dan 5 sejumlah 3 stasiun pada posisi yang berbeda dengan pemilihan nomor stasiun mempertimbangkan representasi dari elevasi DAS bagian atas, tengah, dan bawah, secara ringkas disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Penentuan curah hujan dengan 5 kondisi

Kondisi	Jumlah stasiun Hujan	Nomor Stasiun
1	13	Semua 1,2,5,8, 11, dan 13
2	6	2, 5, dan 13
3	3	3,10, dan 13
4	3	1, 6, dan 11
5	3	

Delineasi DAS dan Desain model

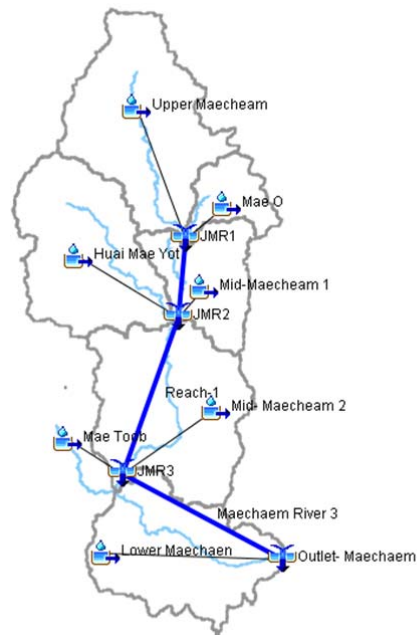
Delineasi dengan menggunakan perangkat *tool Geographic Information System (GIS)* HEC – GeoHMS yang terintegrasi pada program ArcMap dan DEM SRTM dengan resolusi 90 x 90m. DEM di unduh tidak berbayar melalui internet dari alamat *U.S. Geological Survey (USGS) website*(<http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>.)

Skema pemodelan DAS Mae Chaem di buat seperti yang disajikan pada Gambar3, termasuk elemen hidrologi dan jaringannya. Ada tiga reach network: Sungai Mae Chaem 1, Sungai Mae Chaem 2, dan Sungai Mae Chaem 3. Model meliputi basin model, model meteorologi, spesifikasi kontrol dan time series data, curah hujan dan debit di outlet.

Metode yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada Tabel2. Untuk mempermudah estimasi, aliran dasar diasumsikan tidak berpengaruh secara signifikan.

Tabel 2 Setup model HEC-HMS di DAS Mae Chaem

Model	Method
Volume Runoff	SCS CN
Direct runoff	Clark
Aliran dasar	No baseflow
Channel flow	Muskingum



Gambar 3 Skema model Hec HMS DAS

Parameter awal

Parameter awal diperlukan untuk menentukan beberapa nilai awal sebagai input dalam suatu model sebelum dilakukan kalibrasi dan simulasi. Pada penelitian ini parameter awal yang dibutuhkan yaitu *initial loss*, koefisien penyimpanan, dan waktu konsentrasi untuk semua sub DAS ditentukan sebagai input awal dengan rumus awal (United States Department of Agriculture/USDA, 1985)

Untuk *initial loss* :

$$I_a = \frac{0.2 * (25400 - 254CN)}{CN} \dots\dots\dots(7)$$

CN untuk nilai *curve number*. Sedang untuk waktu konsentrasi :

$$T_c = \frac{3.97 \cdot L^{0.77}}{S^{0.385}} \dots\dots\dots(8)$$

Dengan L adalah panjang sungai dan S adalah slope. Setelah ditentukan parameter awal kemudian dilakukan uji sensitivitas parameter terhadap model.

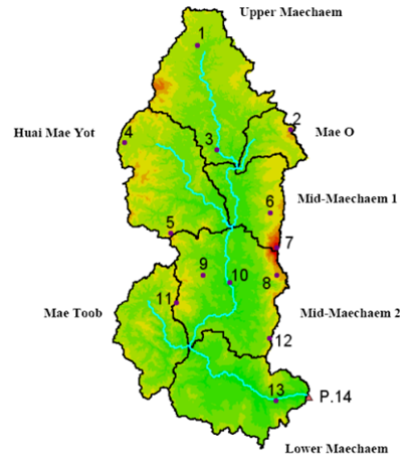
Kalibrasi

Parameter awal yang terseleksi dari uji sensitivitas digunakan sebagai nilai input awal untuk menjalankan model. Kalibrasi dilakukan dengan cara merubah nilai parameter untuk semua sub-das pada 13 stasiun hujan supaya hasil dari model dapat seoptimummungkin mendekati nilai debit observasi (selisih keduanya seminimum mungkin).

Parameter kalibrasi dipilih melalui rentang yang diberikan dalam literatur yaitu faktor pembobotan (X) antara 0-0,5 (Chow et. al., 1988) dan K adalah waktu tempuh yang dibutuhkan aliran untuk mencapai jangkauannya. Hal ini dapat diperkirakan sebagai waktu yang teramati dari puncak gelombang banjir yang mengalir (Chow et.al., 1988). Ditentukan nilai K awal menjadi 5 dan 9.

HASIL DAN PEMBAHASAN

DAS Mae Chaem didelineasi menjadi 7 sub-DAS dari analisis GIS (Gambar 4). Karakteristik sub DAS disajikan seperti pada Tabel 3. Curve Number ditentukan dari (Croke et al., 2004), hasil pengamatan survei tanah dan peta tutupan lahan Thailand menggunakan HEC-GEOHMS untuk menentukan Curve Number.



Gambar 4 Hasil delineasi sub-das

Tabel 3 Karakteristik masing-masing sub-DAS

Sub-DAS	Slope	CN	Panjang aliran km	Area km ²
Upper Maechaem	0.016	70	63	766
Mae O	0.028	69	31	168
Huai Mae Yot	0.019	70	61	681
Mid-Mae Chaem 1	0.026	72	37	339
Mid-Mae Chaem 2	0.012	70	56	787
Mae Toob	0.026	72	39	438
Lower Maechaem	0.017	76	56	646
Total				3,826

Analisis Hujan

Analisis diawali dengan membuat polygon Thiessen. Polygon dibuat dengan menggunakan tool SIG *polygon thiessen ARCMAP* (Gambar 5). Perhitungan wilayah dibutuhkan untuk mendapatkan bobot untuk masing-masing stasiun curah hujan. Analisis berdasarkan scenario jumlah stasiun dan posisi stasiun.

Dari 5 kondisi hasil penghitungan Thiessen, dilakukan analisis curah hujan wilayah dalam rentang waktu pukul 08.24 tanggal 15 september 1999 sampai pukul 20.24 tanggal 19 september 1999 seperti disajikan pada Gambar 6.

Berdasarkan grafik curah hujan wilayah untuk masing-masing kondisi, secara keseluruhan menunjukkan pola hujan yang hamper mirip untuk periode 4 hari. Namun, untuk curah hujan kumulatif pada saat curah hujan maksimum pada jam 00 tanggal 17 september 1999, kondisi 3 memberikan hasil hujan kumulatif tertinggi diikuti, kondisi 1, kemudian kondisi 2. Kondisi 1 dan 2 menghasilkan nilai yang relative sedikit perbedaannya. Namun, kondisi 3, 4 dan 5 memberikan hasil relative besar, berarti posisi stasiun memberikan pengaruh dalam perhitungan curah hujan wilayah. Jumlah dan posisi stasiun curah hujan berpengaruh signifikan terhadap keakuratan perkiraan curah hujan wilayah.

Analisis Sensitivitas

Karena parameter yang ditentukan pada saat menjalankan model cukup banyak, sehingga dilakukan analisis sensitivitas yang mana analisis ini untuk menguji secara sistematis perilaku model akibat perubahan input awal parameter. Perilaku model harus dipelajari berdasarkan perubahan variabel output. Analisis sensitivitas dilakukan dengan mengubah abstraksi awal (Ia), waktu Konsentrasi (Tc), koefisien penyimpanan (R), dan faktor Muskingum (K dan X). Setiap perubahan nilai variabel dijalankan pada model HEC-HMS, kemudian dilihat perubahan volume debit pada outlet. Perubahan nilai parameter dengan menambah dan mengurangi nilai awal sebesar 5, 10, 25, dan 50 %, perubahan nilai parameter ditunjukkan seperti pada grafik (Gambar 7). Berdasarkan grafik tersebut, parameter yang paling sensitif adalah R, K, dan Ia. Nilai R paling berpengaruh terhadap model diikuti K, dan Ia. Pada saat nilai parameter dikurangi sebesar 50 %, dimana deviasi volume debit mencapai 140 dan 90 untuk K dan X. Berdasarkan analisis ini digunakan untuk mengkalibrasi pada 13 stasiun dengan mengubah nilai parameter untuk mendapatkan

model terbaik. Tc dan X tidak terlalu berpengaruh secara signifikan terhadap hasil analisis. Sedangkan volume max debit terhadap perubahan parameter awal adalah 545,6 m³/s, dan volume minimum adalah 337 m³/s perubahan secara signifikan tersebut terjadi pada saat nilai R di diubah sebesar 50 % **Tabel 5**.

Parameter Kalibrasi

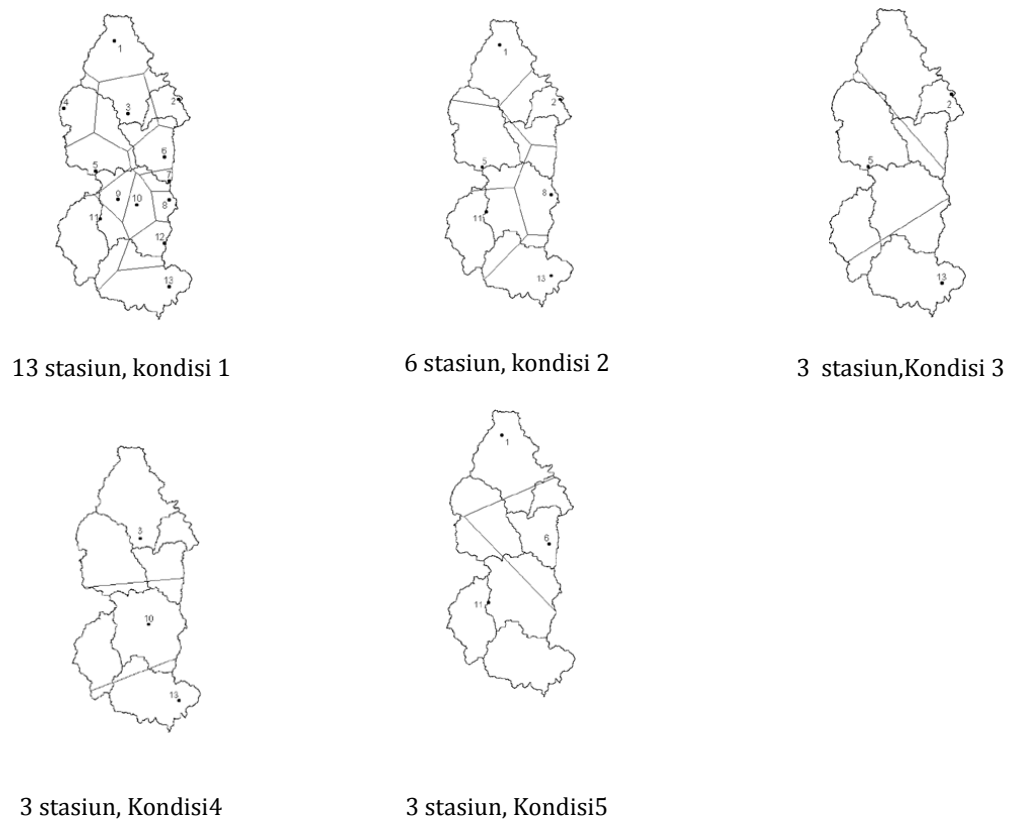
Proses kalibrasi mempertimbangkan empat parameter, yaitu stabilitas Muskingum, debit puncak, neraca air, waktu puncak. Kalibrasi dilakukan untuk masing-masing sub-das sesuai skema model. Model dikalibrasi dengan mengubah nilai awal R, K, Ia, dan Tc, nilai masing-masing parameter terkalibrasi pada **Tabel 4**.

Tabel 4 Parameter terkalibrasi pada 13 stasiun

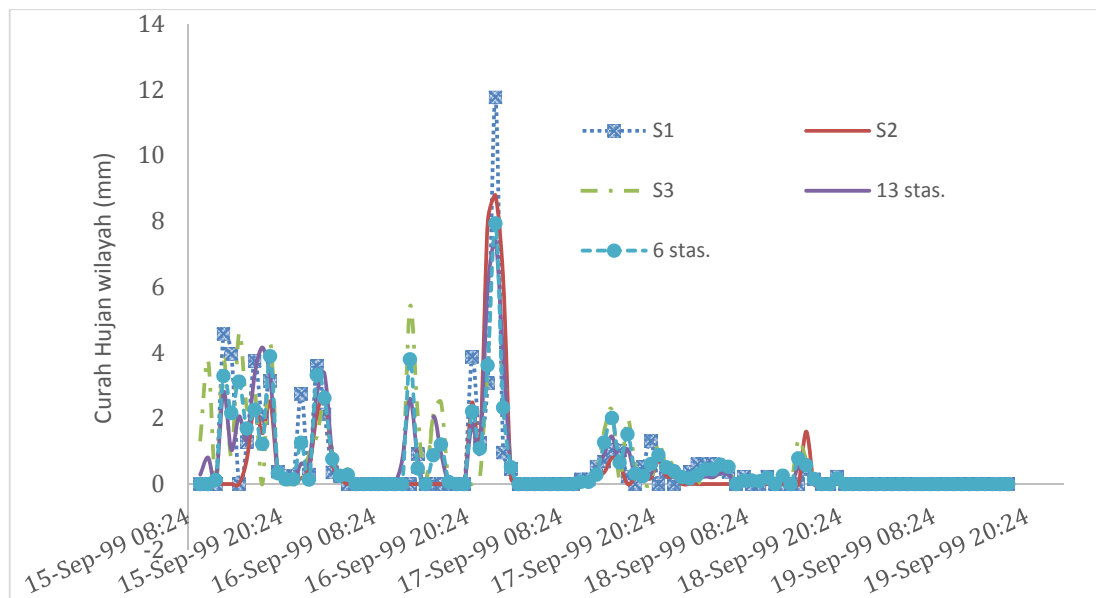
No	Sub - DAS	Parameter terkalibrasi			
		Ia (mm)	Tc (jam)	R (jam)	K
1	Maechaem bawah	21.77	4.74	13.43	-
2	Mae O	22.82	2.21	6.27	-
3	Huai Mae Yot	21.77	4.32	12.24	-
4	Maechaem 1 tengah	19.76	2.63	7.44	-
5	Maechaem 2 tengah	21.77	4.82	13.64	-
6	Mae Toob	19.76	2.74	7.76	-
7	Maechaem bawah	16.04	4.22	11.95	-
8	Maechaem sungai 1	-	-	-	40
9	Maechaem sungai 2	-	-	-	60
10	Maechaem sungai 3	-	-	-	90

Kalibrasi dilakukan dengan trial and error nilai parameter dilakukan berulang-ulang sampai memenuhi kriteria performa model. Berdasarkan hasil kalibrasi yang diperoleh, hidrograf debit simulasi mendekati debit observasi. Debit simulasi di simbolkan dengan garis biru sedang debit observasi garis yang berwarna hitam. Hal ini berarti bahwa model kalibrasi telah menunjukkan unjuk kerja yang baik.

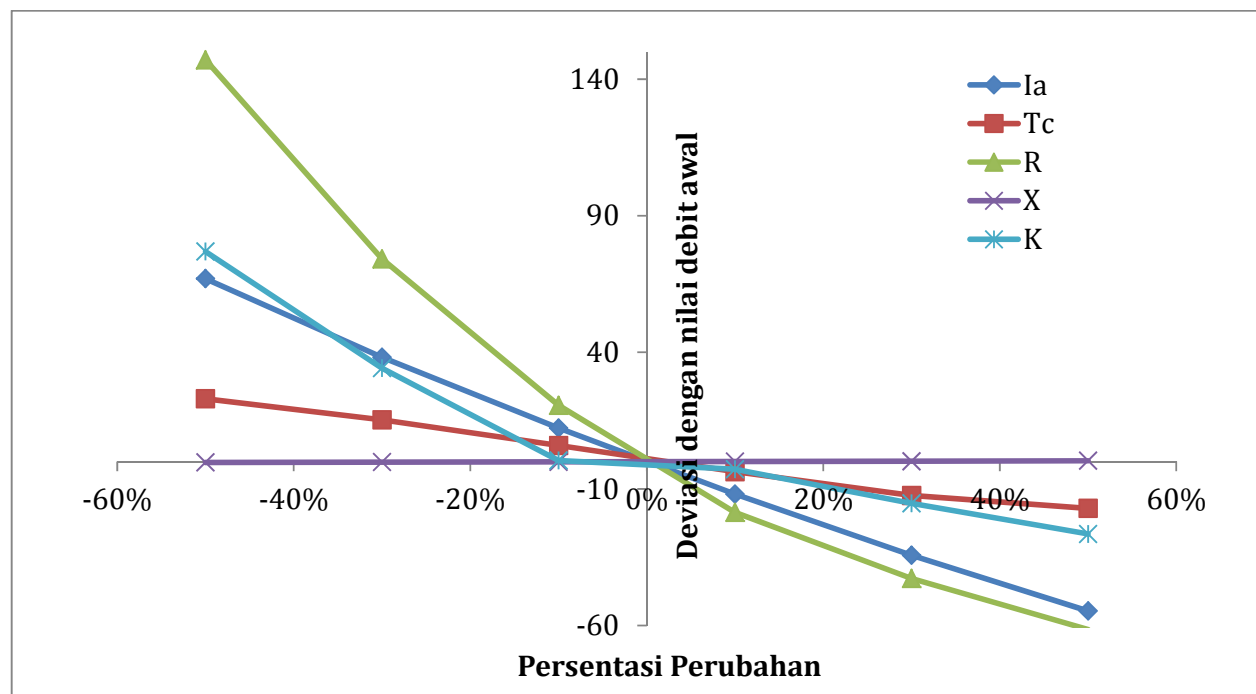
Kalibrasi hanya dilakukan untuk kondisi 1, diasumsikan jumlah dan sebaran stasiun curah hujan merupakan kondisi maksimum di lapangan. Kemudian parameter kalibrasi sebagai input pada simulasi jumlah dan stasiun yang lebih sedikit. Hasil kalibrasi disajikan pada **Gambar 8**.



Gambar 5 Polygon thiessen pada 5 kondisi berdasarkan letak stasiun hujan



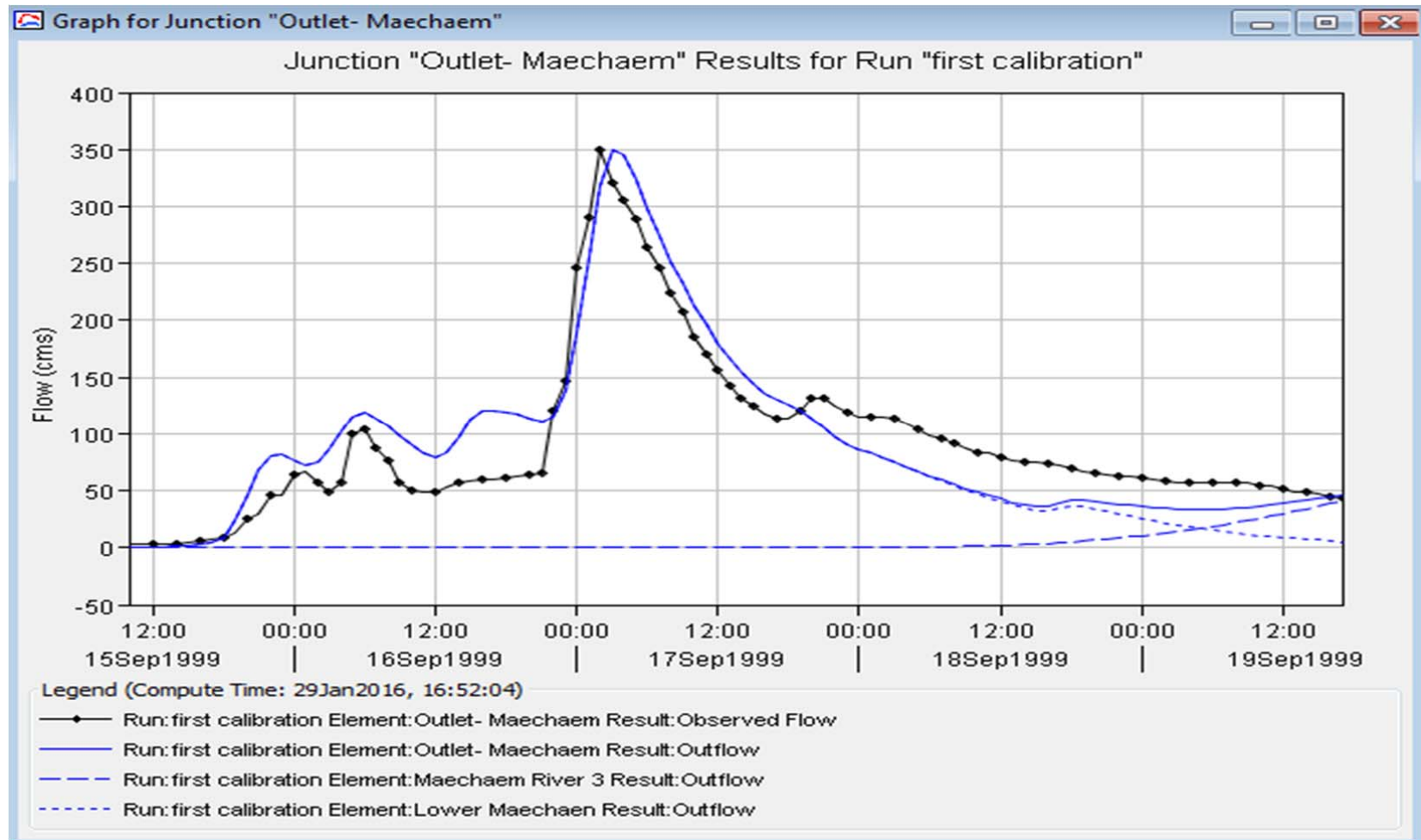
Gambar 6 Grafik curah hujan dengan 5 kondisi stasiun hujan



Gambar 7 Deviasi masing-masing parameter terhadap hasil running model

Tabel 5 Perubahan volume debit terhadap perubahan parameter awal

Perubahan volume Parameter	Debit (m ³ /s)						
	Awal	10%	30%	50%	-10%	-30%	-50%
Abstraksi Awal (Ia)	398.5	386.6	364.2	343.8	410.8	436.7	465.5
Waktu konsentrasi (Tc)	398.5	394.8	386.1	381.4	404.4	413.8	421.5
Koefisien Penyimpanan (R)	398.5	379.9	355.7	337	419.1	472.7	545.6
Muskingum K	398.5	395.7	383.2	372	398.9	432.7	475.4
Muskingum X	398.5	398.5	398.6	398.8	398.4	398.3	398.2



Gambar 8 Hasil kalibrasi dan data pengamatan

Berdasarkan grafik hasil kalibrasi tersebut dapat dilihat perbedaan debit puncak antara data pengamatan dan hasil kalibrasi adalah $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Waktu debit puncak antara kedua hidrograf terdapat selang waktu 1 jam lebih lambat dari debit observasi yang mana debit puncak observasi terjadi pada pukul 2:00 AM (**Tabel 6**). Untuk menilai kinerja hasil kalibrasi digunakan nilai korelasi antara model dan observasi (Moriassi et al., 2007) (**Tabel 7**).

Tabel 6 Performa model kalibrasi

Indikator	nilai
RMSE	$29.8 \text{ m}^3/\text{s}$
Mean absolute error	$26.1 \text{ m}^3/\text{s}$
Nash Correlation	0.826
Waktu deviasi	1 jam
% volume terhadap Observasi	0.001 %

Tabel 7 Kriteria performa model (Moriassi et al., 2007)

Kinerja	NSE
Sangat Baik	$0.75 < \text{NSE} < 1.00$
Baik	$0.65 < \text{NSE} < 0.75$
Layak	$0.50 < \text{NSE} < 0.65$
Tidak layak	$\text{NSE} < 0.5$

Berdasarkan kriteria tersebut, Secara umum kalibrasi dalam kajian ini memiliki kinerja yang baik, sehingga model dapat digunakan untuk simulasi kondisi selanjutnya.

Simulasi aliran limpasan

Simulasi aliran limpasan dilakukan dengan 5 kondisi seperti yang telah disebutkan. Dari hasil simulasi didapatkan *error* indikator (**Tabel 8**). *Error* terbesar pada kondisi 5 dengan nilai RMSE = $53.3 \text{ m}^3/\text{s}$, sedangkan *error* terkecil pada kondisi 2 dengan nilai RMSE = 25.6 . Hasil debit puncak

kondisi 1 paling mendekati debit puncak observasi dengan volume $349.3 \text{ m}^3/\text{detik}$.

Berdasarkan analisis regresi, korelasi terbesar terhadap debit observasi adalah pada kondisi 6 stasiun yaitu R^2 adalah 0.920, korelasi terkecil pada kondisi 5 dengan R^2 adalah 0.795 (**Gambar 9**). Secara umum menurut kriteria, kondisi 1, 2, 3 serta 4 mempunyai korelasi yang hampir sama dengan data observasi dengan kriteria sangat baik, sedangkan, kondisi 5 dikategorikan tidak layak.

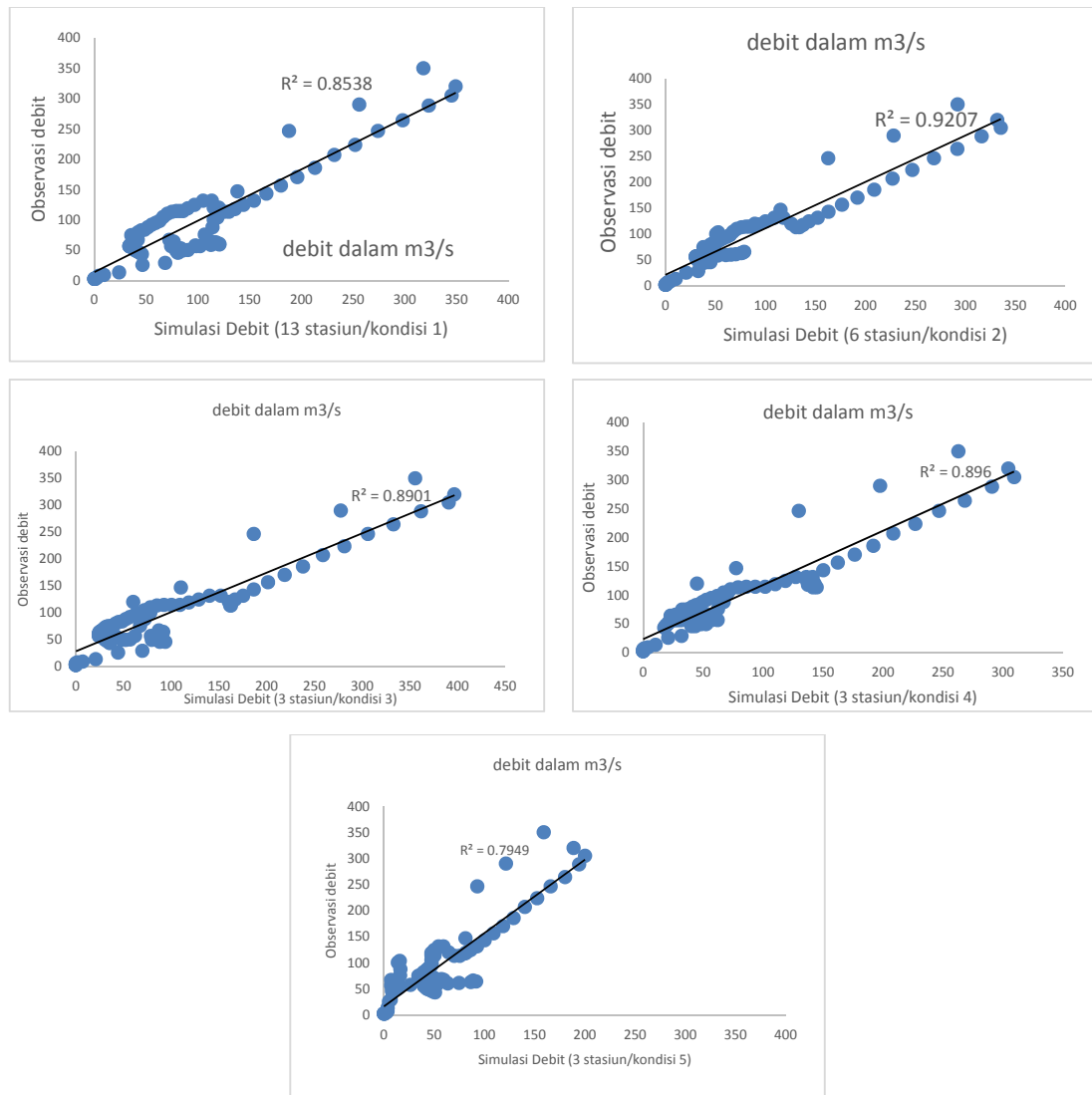
Sedangkan berdasarkan hidrograf debit yang diperoleh dari simulasi pada **Gambar 10**, simulasi aliran limpasan untuk 6 stasiun (kondisi 2) menunjukkan hasil yang mendekati dengan debit observasi. Sedangkan kondisi 1 (13 stasiun) agak lebih tinggi daripada kondisi 2, baik pola maupun debit puncaknya. Sedangkan untuk kondisi 3 simulasi debit puncak menunjukkan overestimate terhadap debit observasi. Kondisi 4 dan 5 menunjukkan underestimate terhadap debit observasi.

Grafik hubungan curah hujan dengan debit aliran limpasan untuk masing-masing simulasi ditunjukkan pada grafik (**Gambar 11**). Grafik tersebut menggambarkan bahwa lokasi pengukur curah hujan berpengaruh pada simulasi aliran sungai. Dari hasil yang diperoleh, untuk kondisi 1 dan 2 memperlihatkan pola yang hampir mirip, tetapi diantara 3 stasiun hujan dengan posisi yang berbeda mempunyai hasil yang signifikan pada simulasi aliran limpasan. Hal ini dapat dilihat pada kondisi 3 mempunyai nilai hujan wilayah dan aliran debit yang tinggi dibanding kondisi 4 dan 5.

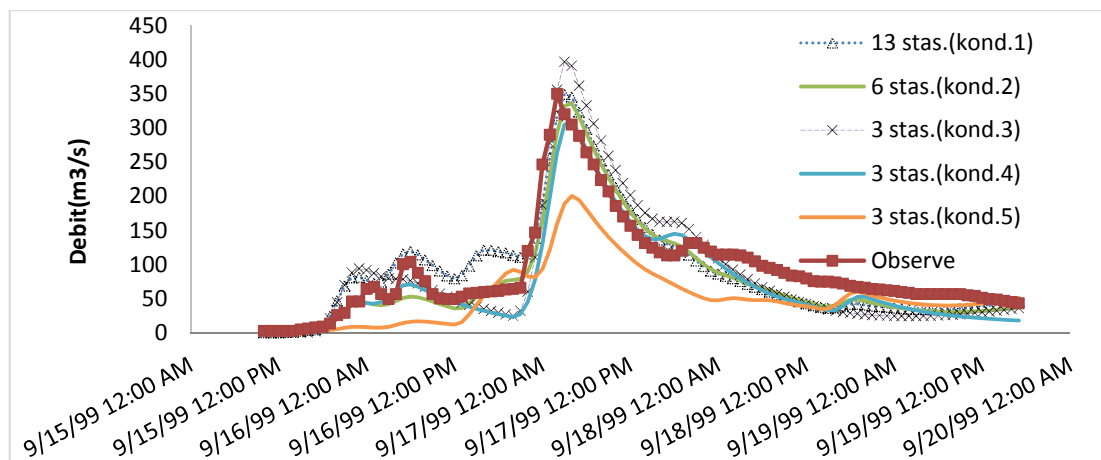
Secara umum ditunjukkan bahwa dari grafik simulasi limpasan ketika intensitas curah hujan yang tinggi menghasilkan limpasan yang tinggi pula. Hal ini sangatlah mencolok ditunjukkan pada kondisi 3. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa jumlah pengukur hujan bukanlah faktor tunggal yang mempengaruhi analisis aliran limpasan, tetapi posisi stasiun yang tepat juga mempengaruhi hasil yang mendekati nilai observasi.

Tabel 8 Kinerja simulasi dari 5 kondisi

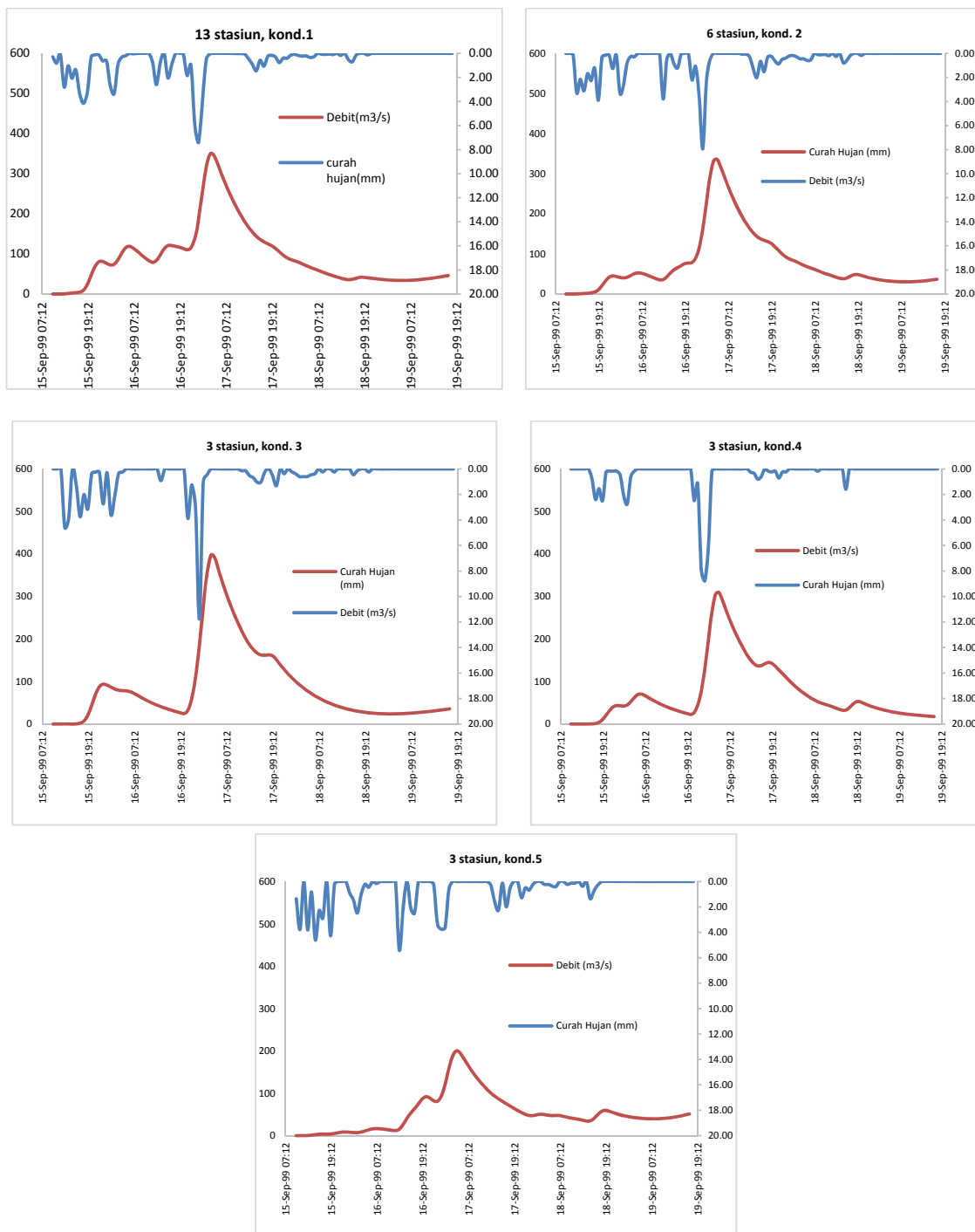
Jumlah stasiun	RMSE (m^3/s)	Mean Absolute Error (m^3/s)	Nash Sutcliffe Correlation	Waktu deviasi debit puncak (jam)	Volume (m^3)	% debit Puncak
13(kondisi 1)	29.8	26.1	0.826	+1	349.3	0.2
6 (kondisi 2)	25.6	21.5	0.872	+2	335.6	4.1
3 (kondisi 3)	34.6	29.5	0.765	+1	396.7	13.3
3 (kondisi 4)	30.3	22.8	0.820	+2	309.5	11.6
3 (kondisi 5)	53.3	40.2	0.443	+2	200.2	42.8



Gambar 9 Korelasi debit simulasi dengan observasi pada 5 kondisi



Gambar 10 Hidrograf aliran dari 5 kondisi



Gambar 11 Hubungan curah hujan dan aliran limpasan untuk 5 kondisi

KESIMPULAN

Kajian ini mengevaluasi pengaruh jumlah dan sebaran stasiun curah hujan terhadap pemodelan aliran limpasan dengan menggunakan model HEC-HMS. Beberapa skenario dibuat berdasarkan jumlah dan posisi stasiun yang terkalibrasi dengan 13 stasiun, kemudian parameter terkalibrasi digunakan untuk simulasi 6 dan 3 stasiun dengan 3 posisi stasiun yang berbeda. Berdasarkan hasil analisis, untuk mendapatkan hasil yang akurat dari pemodelan hidrologi di DAS *Mae Chaem* diperlukan kalibrasi yang tepat. Pada penelitian ini model telah terkalibrasi dengan memenuhi persyaratan sangat layak dengan nilai koefisien Nash, 0.826. Parameter yang paling berpengaruh pada proses kalibrasi adalah nilai *R*. Berdasarkan 5 kondisi, jumlah 6 stasiun (kondisi 2) memberikan hasil yang paling baik mendekati nilai pengamatan, dengan $R^2 = 0,927$, sedang nilai korelasi paling rendah kondisi 5 (3 stasiun curah hujan), $R^2 = 0,795$. Dari hasil debit hidrograf, kondisi 1 (13 stasiun) agak lebih tinggi daripada kondisi 2, baik pola maupun debit puncaknya. Simulasi debit menunjukkan puncak kondisi 3 memiliki *overestimate* terhadap debit observasi dan kondisi 5 menunjukkan hasil *underestimate* terhadap debit observasi.

Secara keseluruhan posisi dan jumlah stasiun curah hujan memberikan pengaruh signifikan dalam pemodelan curah hujan limpasan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa ketika jumlah alat pengukur hujan lebih banyak, nilai aliran limpasan simulasi menjadi lebih dekat dengan data pengamatan. Perubahan jumlah stasiun akan merubah ketelitian terhadap besaran volume dan pola hidrograf. Lokasi alat pengukur curah hujan turut mempengaruhi hasil simulasi, dari 3 stasiun dengan posisi yang berbeda menunjukkan hasil yang beragam. Berdasarkan kajian ini, posisi dan jumlah stasiun hujan yang memberikan estimasi aliran limpasan optimal pada kondisi 2 dan kondisi 4.

Pada setiap kajian estimasi curah hujan limpasan diperlukan analisa jumlah dan sebaran stasiun hujan. Banyaknya jumlah stasiun belum tentu menghasilkan model yang optimal. Hal lain yang perlu dipertimbangkan adalah sebaran optimal stasiun pada suatu DAS.

UCAPAN TERIMA KASIH

Studi ini bagian project riset di *Water Engineering and Management, Asian Institute of Technology, Thailand* yang di dukung oleh Pemerintah Kerajaan Thailand. Ucapan terima kasih disampaikan kepada *Royal Irrigation Department (RID)* Thailand atas dukungan data.

Serta Prof. Mukand S. Babel atas bimbingan yang diberikan dalam mempelajari program HEC-HMS. Teman-teman group Mitra, Yusuke, Bayezid, dan Nidhi atas bantuan dan sarannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Clark, C. O., (1945). Storage and the unit hydrograph. Trans., ASCE, 110: 1419-1446.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., and Mays, L.W. (1988). Applied hydrology, McGraw-Hill, Singapore.
- Croke, B.F.W., Merritt, W.S., Jakeman, A.J., (2004). A dynamic model for predicting hydrologic response to landcover changes in gauged and ungauged catchments. Journal of Hydrology 291 (1-2), 115-131.
- Daeraku K., Emori S., dan Oki T. (2004). Rainfall Amount, Intensity, Duration, and Frequency Relationships in the Mae Chaem Watershed in Southeast Asia. Journal Of Hydrometeorology. 5(1), 458-470.
- G L Asawa. (2005). *Irrigation and Water Resources Engineering*. New Age International Limited. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Halwatura, D., & Najim, M. M. M. (2013). Application of the HEC-HMS model for runoff simulation in a tropical catchment. *Environmental Modelling and Software*, 46, 155-162. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.03.006>
- Jothityangkoon C., Hirunteeyakul C., Boonrawd K., Sivapalan M. (2013). Assessing the impact of climate and land use changes on extreme floods in a large tropical catchment. Journal of Hydrology 490, 88-105.
- Kuraji, K., Punyatrong, K., and Sirisiyard, I. (2004). "Six years intensive rainfall observation in Mae Chaem Watershed, Northern Thailand." 6th Int. Study Conf. on GEWEX in Asia and GAME, World Climate Research Programme, World Meteorological Association, United Nations, Geneva, Switzerland, 1-3.
- Nugroho P.S. (2001). Analisis Hidrograf Satuan Sintetik Metode Snyder , Clark Dan Scs Dengan Menggunakan Model Hec-1. Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca, 2(1), 57-67

- Putra W.S., Handayani Y.L., dan Fauzi M., (2016). Kalibrasi Parameter Terhadap Debit Banjir di Sub Das Siak Bagian Hulu. *Jurnal Forum Teknik* 3 (2), 1-6.
- Rossi, G., Vega, T., & Bonaccorso, B. (2007). *Methods and Tools For Drought Analysis And Management* (Vol. 62). Springer. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Suripin. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Andi. Yogyakarta. Ugro Hari Murtiono, dkk 2001. *Laporan Penelitian. Studi Karakteristik Hujan Dan Regim Sungai DAS*. Surakarta: Balai Teknologi Pengelolaan DAS Departemen Kehutanan.
- Thanapakpawin, P., Richey, J., Thomas, D., Rodda, S., Campbell, B., & Logsdon, M. (2007). Effects of landuse change on the hydrologic regime of the Mae Chaem river basin, NW Thailand. *Journal of Hydrology*, 334(1-2), 215-230. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.10.012>
- McCarthy, G.T. (1938). 'The unit hydrograph and flood routing.' Unpublished m/s conference of US Army Corps of Engineers
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Liew, M. W. Van, Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model Evaluation Guidelines For Systematic Quantification Of Accuracy In Watershed Simulations, 50(3), 885-900.
- Olawoyin, R.,(2017). Objective assessment of the Thiessen polygon method for estimating areal rainfall depths in the River Volta catchment in Ghana. *Ghana Journal of Geography* 9(2),151-174.
- Thailand Royal Irrigation Department. (1999). *Discharge and Rainfall Data Set 1999*.
- Tunas, G. (2005). Kalibrasi parameter model hec-hms untuk menghitung aliran banjir das bengkulu. *Majalah Ilmiah MEKTEK*, 1, 20-27.
- US Army Corps of Engineers. (2011). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual*. Hydrologic Engineering Center, USA.
- U.S. Geological Survey (USGS). (2015). Aster Global DEM. Di unduh 4 Pebruari 2015 dari <http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>.
- USDA, Soil Conservation Service. (1985). *National Engineering Handbook*, Section 4 "Hydrology".