

Model Hidrologi Terdistribusi untuk Simulasi Hidrograf Banjir Menggunakan Data Radar

Yusuf Aji Pamungkas

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia
yusuf.aji.p@mail.ugm.ac.id

Rachmad Jayadi

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Joko Sujono

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Abstrak

Penerapan model hidrologi hujan-aliran terdistribusi sebagai bagian penting dari sistem peringatan dini banjir di wilayah lereng Gunung Merapi, membutuhkan input data hujan dengan resolusi spasial yang memadai. Oleh karena itu penggunaan data hujan dari ARR yang memiliki resolusi spasial yang rendah akan menyebabkan hasil hitungan hujan rata-ratanya (DAS) menjadi kurang teliti. Alternatif yang dapat dilakukan adalah menggunakan data hujan radar yang memiliki resolusi spasial dan temporal yang jauh lebih baik dibandingkan ARR. Pada penelitian ini dilakukan kajian hasil hitungan hidrograf banjir di wilayah lereng Gunung Merapi. Pemodelan hujan-aliran secara terdistribusi dilakukan dengan menentukan resolusi grid dari DAS dengan titik tinjau hitungan pada pos AWLR. Hujan pada setiap grid DAS dihitung sebagai rata-rata data hujan radar semua piksel di area masing-masing grid DAS. Simulasi limpasan permukaan DAS menggunakan paket perangkat lunak WMS v.10.1 dengan metode Hidrograf Satuan ModClark. Evaluasi ketelitian hidrograf banjir hasil simulasi didasarkan pada indikator kesalahan relatif debit puncak (peak discharge), waktu puncak (time to peak) dan volume limpasan permukaan (direct runoff volume). Hasil hitungan simulasi limpasan permukaan DAS menunjukkan bahwa perlu dilakukan telaah yang rinci terhadap faktor losses dan kesesuaian parameter hidrograf satuan, untuk menghasilkan kalibrasi model yang akurat.

Kata-kata Kunci: Model hidrologi hujan-aliran terdistribusi, hujan radar, hidrograf satuan ModClark, kalibrasi.

Abstract

The application of the distributed rainflow-runoff hydrological model as an important part of the early flood warning system in the slopes of Mount Merapi, requires rainfall data input with adequate spatial resolution. Therefore, the use of rainfall data from ARR which has a low spatial resolution will cause the results of the average rainfall (watershed) to be less precise. An alternative that can be done is to use radar rainfall data that has a far better spatial and temporal resolutions than the data from ARR. In this research, a study of the results of the flood hydrograph calculation in the slopes of Mount Merapi was conducted. The distributed rainflow-runoff modeling was done by determining the grid resolution of the watershed with a reference point of the calculation in the AWLR. Rain on each watershed grid was calculated as the average radar rainfall data of all pixels in the area of each watershed grid. Watershed surface runoff simulation used the WMS v.10.1 software package with the ModClark Unit Hydrograph method. The evaluation of the flood hydrograph simulation results' accuracy was based on indicators of the relative error of peak discharge, time to peak and direct runoff volume. The results of the watershed surface runoff simulation showed that a detailed study of the loss factors and the compatibility of the unit hydrograph parameter is necessary to produce an accurate model calibration.

Keywords: Distributed rainflow-runoff hydrological model, radar rainfall, ModClark's unit hydrograph, calibration.

1. Latar Belakang

Data hujan merupakan data pokok yang menjadi awal masukan dalam analisis hidrologi. Permasalahan yang seringkali dihadapi di Indonesia dalam analisis hidrologi adalah dalam hal ketersediaan data yang sangat terbatas baik data hujan maupun data debit. Data hujan yang biasanya dipakai untuk analisis hidrologi adalah data hujan yang diperoleh dari pengamatan

langsung di lapangan melalui stasiun-stasiun hujan yang dikelola oleh instansi tertentu. Data hujan biasanya bersumber dari penakar hujan tipe manual dan penakar hujan otomatis atau automatic rainfall recorder (ARR) yang ditempatkan pada stasiun hujan.

Analisis model hidrologi hujan-aliran terdistribusi membutuhkan input data hujan dengan resolusi spasial yang memadai. Data hujan permukaan yang diukur

dengan ARR untuk input simulasi model hidrologi hujan-aliran terdistribusi memiliki beberapa kelemahan. Resolusi spasial dari data hujan permukaan (ARR) menghasilkan resolusi spasial yang rendah, sehingga menyebabkan hasil hitungan hujan rata-ratanya (DAS) menjadi tidak teliti. Kelemahan kedua yaitu data ARR tidak mewakili distribusi spasial yang akurat sehingga tidak akurat jika digunakan untuk model hidrologi hujan-aliran terdistribusi.

Data hujan radar digunakan sebagai alternatif untuk perhitungan model hidrologi hujan-aliran terdistribusi. Radar hujan mampu mengukur curah hujan dengan resolusi spasial dan temporal yang jauh lebih baik dibandingkan ARR (Sebastianelli, dkk, 2013), namun data hujan radar terukur di atas permukaan pada rentang ketinggian tertentu, sehingga terdapat beberapa faktor antara lain arah dan kecepatan angin serta waktu jatuh butir hujan ke permukaan, yang menyebabkan ketidaksamaan dengan data terukur di permukaan (Burcea, dkk.,2012). Oleh karena itu perlu dilakukan analisis hasil hitungan hidrograf banjir menggunakan input data hujan radar tanpa koreksi.

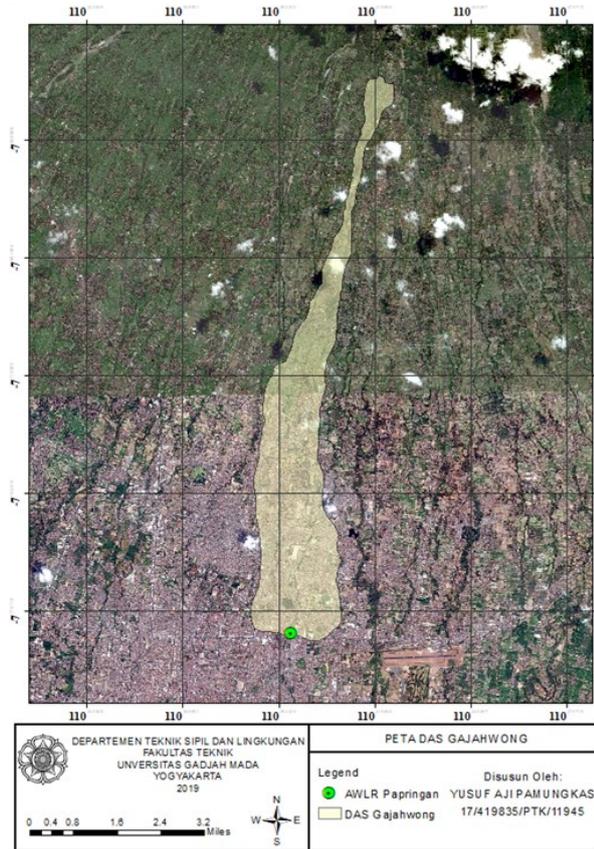
Tipe radar hujan yang digunakan dalam penelitian ini adalah X-band radar dengan rentang pendek (short range radar) yang menggunakan gelombang horizontal dan vertical secara bersamaan. Kelebihan X-band radar yaitu dapat menghasilkan solusi yang baik dalam mengamati dan mengobservasi kejadian hujan dengan resolusi waktu dan jarak yang baik dan dengan biaya yang murah (Allegretti, dkk., 2012).

2. Metodologi Studi

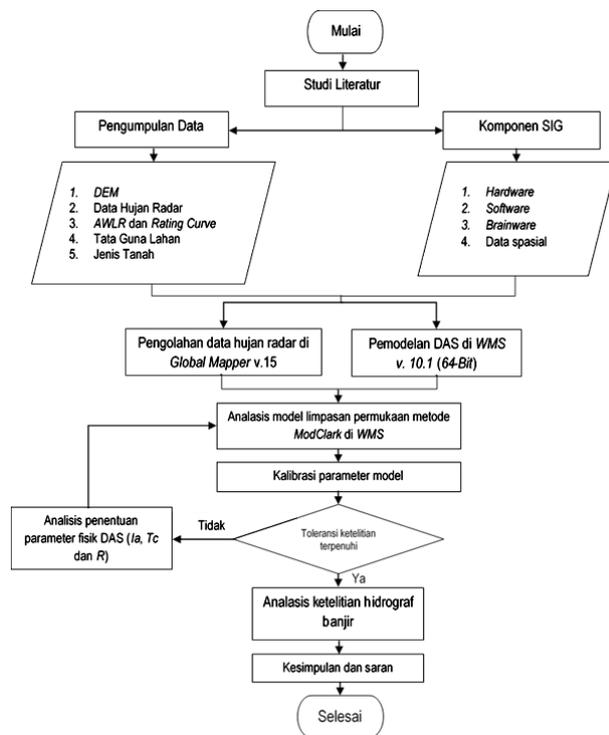
Lokasi penelitian terletak di DAS Gajahwong, Daerah Istimewa Yogyakarta. Sungai Gajahwong adalah salah satu sungai yang membelah kota Yogyakarta. Secara administratif DAS Gajahwong meliputi daerah Kabupaten Sleman (bagian hulu), Kota Yogyakarta (bagian tengah), dan kabupaten Bantul (bagian hilir). Luas DAS Gajahwong adalah 48.84 km². Batasan penelitian yang akan dilakukan di DAS Gajahwong adalah pada bagian hulu sampai dengan bagian tengah seperti pada **Gambar 1**, dengan lokasi titik AWLR di Papringan, Desa Caturtunggal, Kecamatan Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta dengan luas sub DAS adalah 21.5 km².

Penelitian ini dilakukan sesuai dengan bagan alir seperti ditunjukkan pada **Gambar 2**. Tahap awal yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengumpulan dan pemilihan data hidrograf banjir terukur di pos duga air AWLR Papringan sungai Gajahwong. Pemodelan hujan-aliran secara terdistribusi dilakukan dengan menentukan resolusi grid dari DAS dengan titik tinjau hitungan pada pos duga tersebut. Hujan pada setiap grid DAS dihitung sebagai rata-rata data hujan radar semua piksel di area masing-masing grid DAS. Hitungan simulasi limpasan permukaan DAS menggunakan metode Hidrograf Satuan ModClark pada software WMS v.10.1. Evaluasi ketelitian hidrograf banjir hasil simulasi terhadap hidrograf banjir terukur didasarkan pada indikator perbedaan

nilai (error) dari debit puncak (peak discharge), waktu puncak (time to peak) dan volume limpasan (runoff volume).



Gambar 1. Lokasi penelitian



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Perhitungan limpasan model ModClark (Modified Clark) secara eksplisit mewakili 2 proses yang kritis dalam transformasi kelebihan presipitasi menjadi limpasan (Feldman, 2000).

1. Translation atau pergerakan kelebihan presipitasi (curah hujan efektif) dari daerah asal sepanjang drainase (seluruh DAS) menuju ke titik outlet DAS (sering disebut terjemahan atau konsentrasi, komponen konveksi). Proses translation berdasarkan kurva waktu-luas (time-area) yang mencirikan kontribusi luas simpanan DAS terhadap debit aliran sebagai fungsi dari perjalanan waktu dan waktu konsentrasi (tc),
2. Attenuation atau pengurangan besarnya debit aliran sebagai kelebihannya presipitasi yang disimpan (storage) di seluruh wilayah DAS (sering disebut sebagai pelembahan atau penyimpanan, komponen difusi).

Beberapa data parameter fisik DAS seperti luas, Panjang, lebar dan keliling DAS, slope DAS, luas klasifikasi tata guna lahan dan jenis tanah akan menjadi parameter model hujan-aliran Modclark seperti LC, HSG, Ia, AMC, CN, α , tc dan R.

Berikut ini adalah langkah-langkah yang dilakukan dalam analisis.

1. Menentukan curah hujan dan parameter fisik DAS.
2. Menentukan limpasan permukaan DAS.

- a. Precipitation: hyetograph (MAP grid); volume runoff: gridded SCS-CN

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}; P > I_a \quad (1)$$

dimana P_e = akumulasi curah hujan berlebih (mm) pada waktu t; P = akumulasi/total kedalaman curah hujan (mm) pada waktu t; I_a = abstraksi awal (mm); dan S = retensi potensial maksimum (mm).

- b. Direct runoff dan routing:

$$S_t = R \cdot O_t \quad (2)$$

$$O_t = C_A I_t + C_B O_{t-1} \quad (3)$$

dimana S_t = penyimpanan pada waktu t; R = konstanta parameter linear reservoir; O_t = outflow penyimpanan pada waktu t; C_A dan C_B = koefisien routing; I_t = rata-rata inflow dalam penyimpanan pada waktu t.

$$t_{cell} = t_c \frac{d_{cell}}{d_{max}} \quad (4)$$

dimana t_{cell} = waktu perjalanan untuk sebuah cell, t_c = waktu konsentrasi untuk DAS, d_{cell} = jarak perjalanan dari cell menuju outlet, dan d_{max} = jarak perjalanan.

Ada 4 parameter hidrologi yang harus disiapkan untuk menerapkan model Clark (Ponce dan Nuccitelli, 2013):

1. spesifikasi dari luas DAS (watershed/basin drainage area [A]),
2. waktu konsentrasi (time of concentration [tc]),
3. koefisien tampungan (linear reservoir's storage coefficient [R]),
4. histogram hubungan waktu dengan luas (time-area histogram).

Kalibrasi model

Uji kalibrasi model bertujuan untuk mengetahui kesesuaian dari estimasi nilai parameter-parameter model dengan nilai parameter-parameter terukur. Uji ini dilakukan dengan membandingkan data hidrograf hasil model dengan data hidrograf terukur pada waktu yang sama. Adapun kriteria yang digunakan untuk menyatakan hasil valid/sesuai adalah sebagai berikut.

1. Kemiripan bentuk hidrograf banjir model dengan hidrograf banjir terukur.
2. Besarnya selisih debit puncak (peak of flow), volume, waktu puncak (time to peak) dan titik berat massanya (time to center of mass hidrograf) pada model sama dengan hidrograf terukur.
3. Nilai objective function < 10%, seperti pada **Tabel 1** (Feldman, 2000).

Tabel 1. Kriteria ketelitian untuk evaluasi hasil kalibrasi

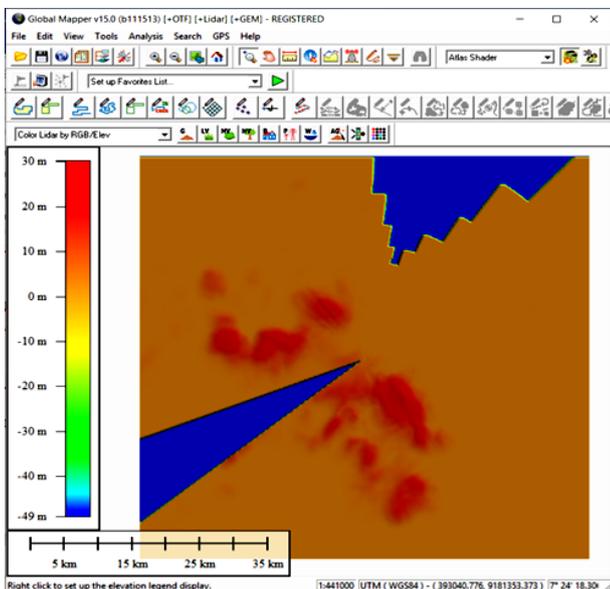
Kriteria	Rumus
Jumlah Absolut nilai kesalahan (sum of absolute errors) (Stephenson, 1979)	$Z = \sum_{i=1}^{NQ} q_o(i) - q_s(i) $
Jumlah kuadrat nilai sisa (sum of squared residuals) (Diskin & Simon, 1977)	$Z = \sum_{i=1}^{NQ} [q_o(i) - q_s(i)]^2$
Persen kesalahan pada puncak (percent error in peak)	$Z = 100 \left \frac{q_s(peak) - q_o(peak)}{q_s(peak)} \right $
Fungsi objektif kesalahan akar kuadrat rata-rata puncak tertimbang (peak-weighted root mean square error objective function) (USACE, 1998)	$Z = \left\{ \frac{1}{NQ} \left[\sum_{i=1}^{NQ} (q_o(i) - q_s(i))^2 \left(\frac{q_o(i) + q_o(mean)}{2q_o(mean)} \right) \right] \right\}^{1/2}$

Dimana Z adalah objective function, NQ adalah jumlah ordinat hasil hitungan, $q_o(i)$ adalah debit terukur, $q_s(i)$ adalah debit terhitung, $q_o(peak)$ adalah debit puncak terukur, $q_s(peak)$ adalah debit puncak terhitung dan $q_o(mean)$ adalah debit terukur rerata.

3. Hasil Studi dan Pembahasan

3.1 Pengolahan data radar hujan

Data hujan radar yang diperoleh dari *drive* milik *website monitoring system* Laboratorium Hidraulika Departemen Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada memiliki format file *.CSV* dengan interval waktu 2 menit. Data hujan radar tersebut tidak bisa langsung digunakan sebagai input model hujan-aliran terdistribusi di *software WMS v. 10.1*. Proses awal yang harus dilakukan terhadap data radar tersebut adalah merubah intensitas hujan 2 menit menjadi kedalaman hujan radar 30 menit sesuai dengan durasi data *AWLR* serta merubah satuan hujan kedalaman satuan *inch* sesuai dengan standar satuan di *software WMS*. Langkah selanjutnya yaitu merubah format file data radar dari file *CSV* menjadi *file Text*, kemudian informasi *header* dari data hujan radar diubah sesuai dengan klasifikasi radar yang terpasang di Museum Gunung Merapi. Konversi (*convert*) data hujan radar format *text* menjadi *ASC II* dengan menggunakan *software Global Mapper v.15* seperti dilihat pada Gambar 3. File data hujan radar dengan format *ASC II* tersebut telah dapat digunakan sebagai input model hidrologi hujan-aliran terdistribusi di *software WMS*.

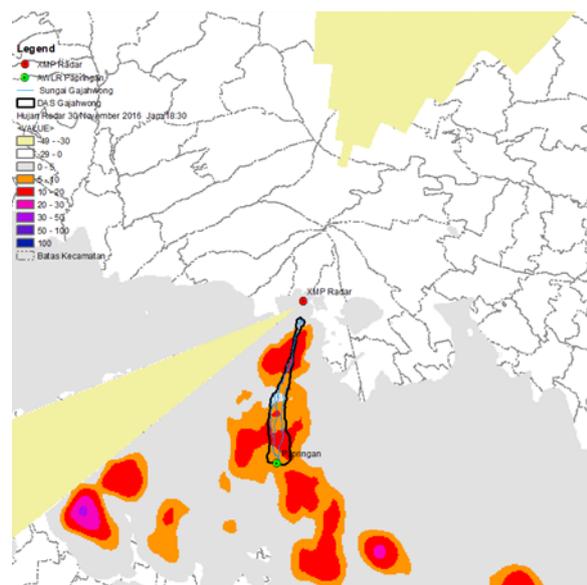


Gambar 3. Hasil konversi data hujan radar ke ASCII di global mapper v.15

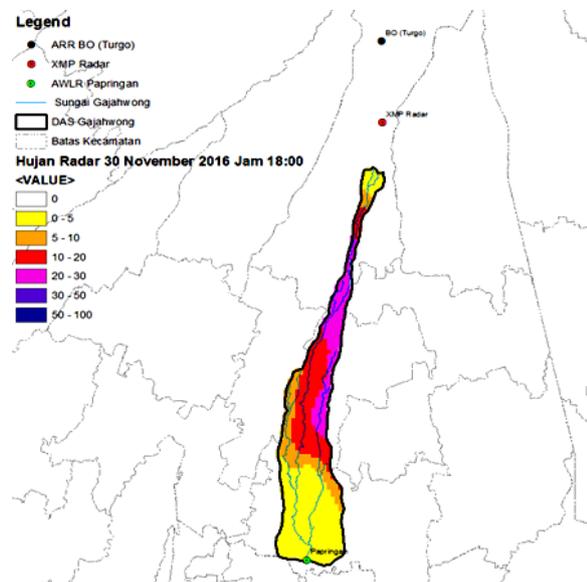
3.2 Penentuan dan pemilihan DAS

DAS adalah daerah yang mengalirkan air ke aliran di lokasi tertentu. Salah satu morfologi DAS yang mencerminkan debit aliran adalah panjang dan kemiringan hidrologi DAS. Kemiringan daerah aliran sungai merupakan faktor penting yang mempengaruhi momentum runoff (Widowati, 2017). Penentuan dan pemilihan DAS berdasarkan ketersediaan data *AWLR* dan data curah hujan radar di wilayah lereng selatan Gunung Merapi, kemudian dimodelkan menggunakan metode *ModClark* di *software WMS*. Pada penelitian ini dipilih Data *AWLR* di paprangan dengan kejadian hujan terpilih yaitu 30 november 2016 dengan interval

waktu 30 menit. Kriteria pemilihan data *AWLR* ini didasarkan pada tidak berada diluar jangkauan dari radar hujan (radius $XMPR = 30 km^2$), data hujan radar juga harus mempunyai nilai intensitas hujan (tidak error), selain itu intensitas hujan pada tanggal 30 november 2016 yang terjadi cukup tinggi. Data hujan radar yang telah diolah di *Global Mapper* dengan format *ASC II* kemudian di export ke *ArcMap* dan di overlay dengan batas *DAS Gajahwong* yang bertujuan untuk mengetahui letak *DAS Gajahwong* pada data hujan radar, hasil overlay dapat dilihat pada Gambar 4. Distribusi hujan radar di *DAS Gajahwong* dapat dilihat pada Gambar 5. Dari hasil overlay antara data hujan radar dengan batas *DAS Gajahwong* menunjukkan lokasi *DAS Gajahwong* terletak di area dari jangkauan radar hujan, dengan demikian lokasi *DAS Gajahwong* dapat digunakan sebagai lokasi penelitian.



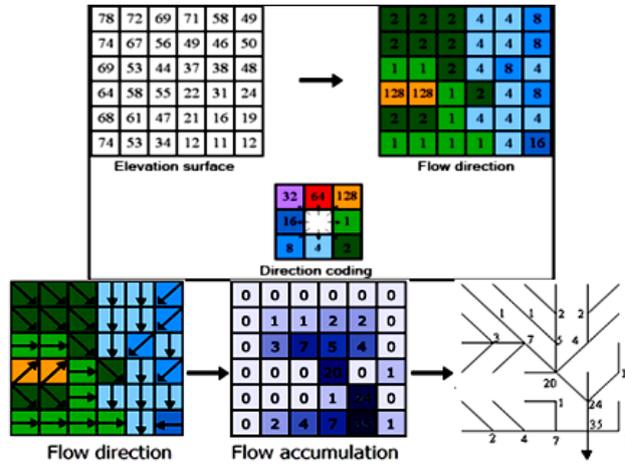
Gambar 4. Hasil overlay data hujan radar dengan batas DAS Gajahwong



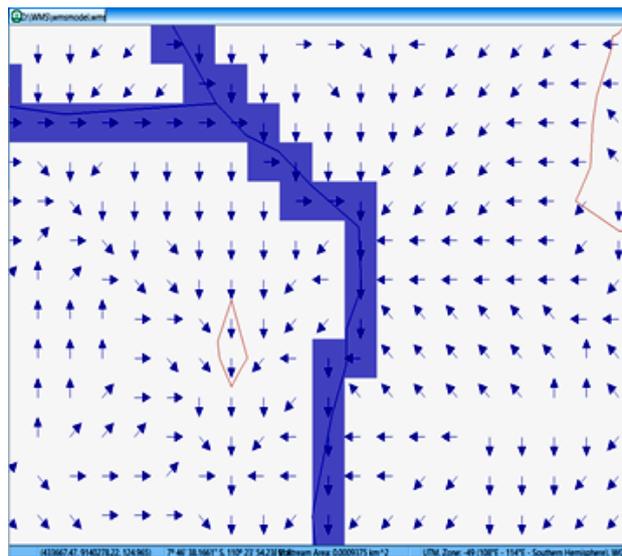
Gambar 5. Distribusi hujan radar di DAS Gajahwong

3.3 Pemodelan DAS (watershed modeling-DEM deleneation) di software WMS

Analisis GIS Spasial digunakan untuk menentukan arah aliran dan akumulasi aliran serta menciptakan alur sungai, sehingga batas DAS dapat ditentukan secara otomatis beserta nilai parameter fisik DAS yang akan dibutuhkan untuk analisis model limpasan (Saifurridzal, 2017). Pemodelan DAS pada software WMS membutuhkan data DEM yang dapat menggambarkan topografi secara spasial dan digital. Proses dan hasil analisis GIS dapat dilihat pada **Gambar 6** sampai dengan **Gambar 9**.



Gambar 6. Menghitung arah aliran dan akumulasi aliran dari nilai cell grid dalam data raster (DEM) dengan metode TOPAZ Algorithms (Saifurridzal, 2017)

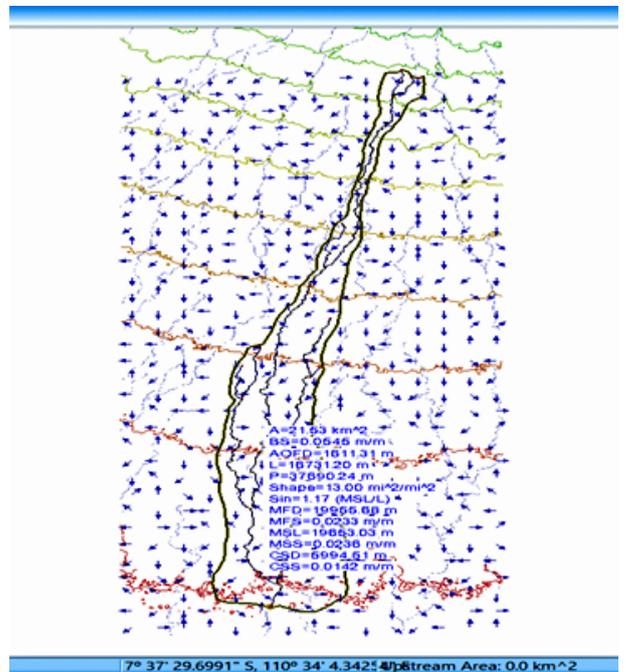


Gambar 7. Tampilan komputasi arah aliran dan akumulasi aliran data raster di WMS

Hasil Klasifikasi tata guna lahan dan jenis tanah dapat dilihat pada **Gambar 10** dan **Gambar 11**. Hasil runoff curve number kawasan DAS Gajahwong dapat dilihat pada **Gambar 12**. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pemukiman dan tempat kegiatan serta sawah memiliki pengaruh yang dominan 88.51% pada Kawasan



Gambar 8. Struktur komponen model DAS

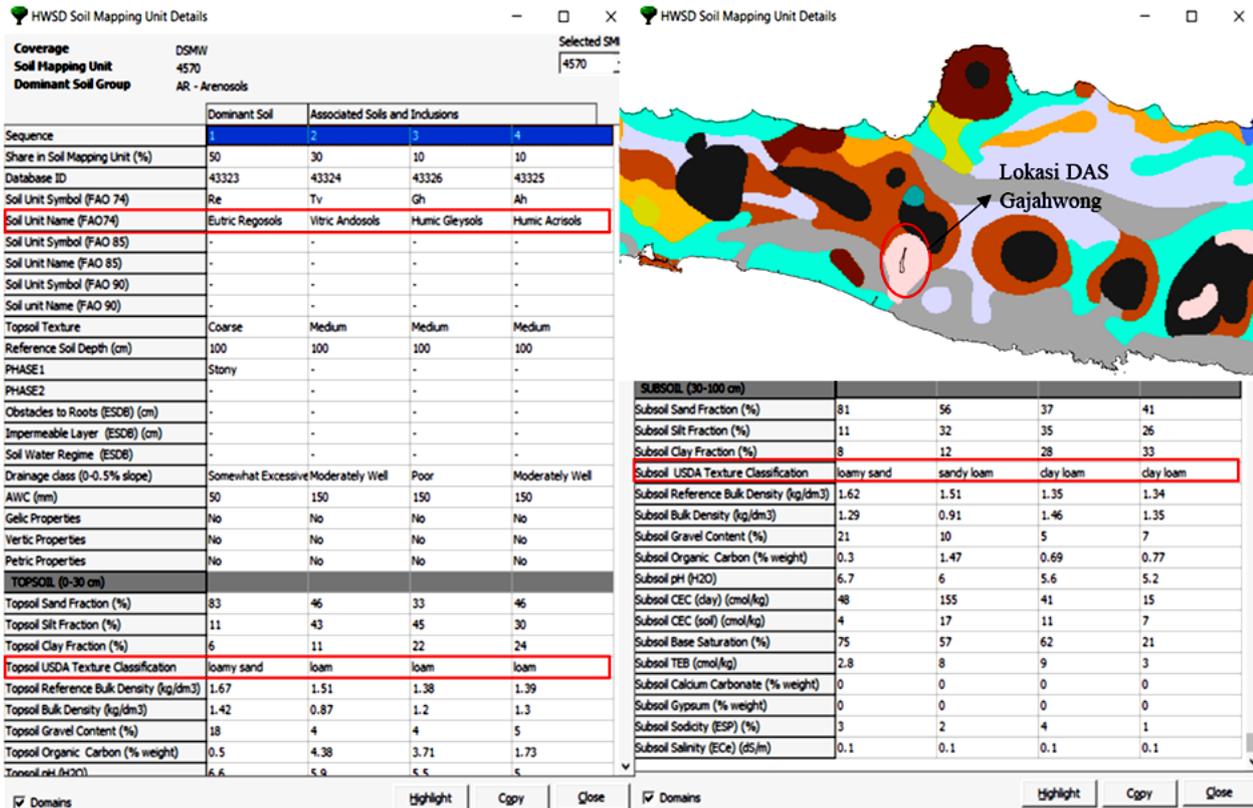


Gambar 9. Tampilan model DAS dengan keterangan parameter fisik DAS di WMS

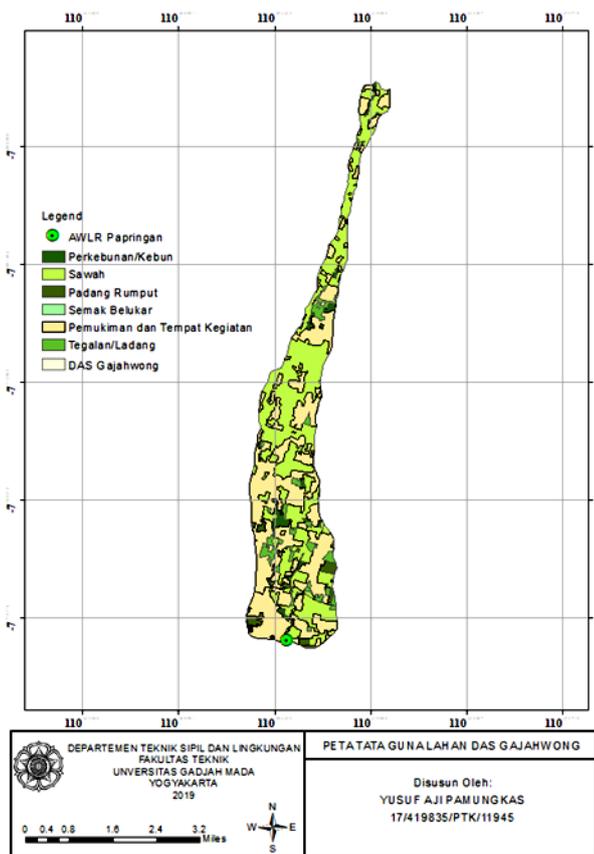
DAS Gajahwong terhadap pola dan sifat limpasan. Jenis tanah di lokasi penelitian masuk dalam kelompok tanah jenis regosol untuk seluruh Kawasan DAS Gajahwong.

3.4 Analisis model limpasan DAS metode ModClark

Tahap awal dilakukan simulasi dengan nilai parameter-parameter awal yang ditentukan oleh software WMS. Hasil hidrograf limpasan langsung metode



Gambar 10. Klasifikasi jenis tanah di DAS Gajahwong



Gambar 11. Klasifikasi tata guna lahan di DAS Gajahwong

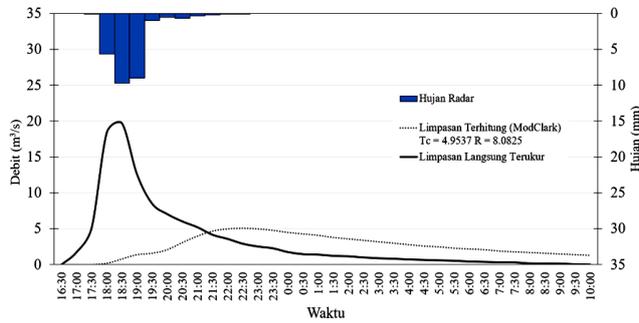
Runoff Curve Number Report (Generated by WMS)			
Sun Sep 01 22:02:02 2019			
Runoff Curve Number Report for Basin 2B			
HSG	Land Use Description	CN	Product CN x A
C	Padang Rumput	79	0.604 47.727
C	Pemukiman dan Tempat Kegiatan	94	9.872 927.993
C	Sawah	83	9.183 762.153
C	Perkebunan/Kebun	76	0.803 61.043
C	Ladang	83	1.058 87.824
C	Semak Belukar	81	0.009 0.707
CN (Weighted) = Total Product \ Total Area			
87.6699			

Gambar 12. Hasil running runoff curve number

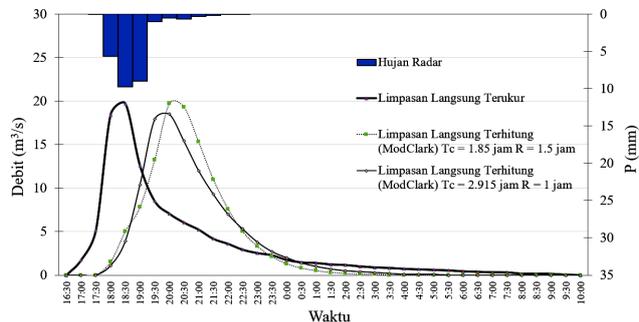
ModClark pada tanggal 30 November 2016 mempunyai hubungan yang tidak cukup baik dengan hidrograf limpasan langsung terukurnya seperti ditunjukkan pada Gambar 13. Pada simulasi awal ini didapat nilai $R = 8.083$ jam, $T_c = 4.594$ jam dan $I_a = 0.2$ S. Berdasarkan hasil simulasi hidrograf banjir, terlihat bahwa debit puncak (Q_p) dan waktu puncak (T_p) lebih lambat dari pada hidrograf banjir terukur.

Tahap selanjutnya dilakukan kalibrasi untuk parameter-parameter fisik DAS dan hasil simulasi hidrograf banjir terhitung kemudian dibandingkan dengan hidrograf terukur. Parameter-parameter fisik DAS yang perlu dikalibrasi adalah parameter dari initial

abstraction (I_a), time of concentration (t_c), dan linear reservoir's storage coefficient (R). Proses kalibrasi dilakukan dengan cara coba ulang untuk mendapatkan hasil yang baik. Setelah dilakukan beberapa pengulangan simulasi dengan parameter-parameter fisik DAS yang berbeda, didapat nilai $I_a = 0.199$ S, $T_c = 2.915$ jam dan $R = 1$ jam. Hasil simulasi hidrograf limpasan langsung dapat dilihat pada **Gambar 14**.



Gambar 13. Hidrograf limpasan langsung



Gambar 14. Hidrograf limpasan langsung

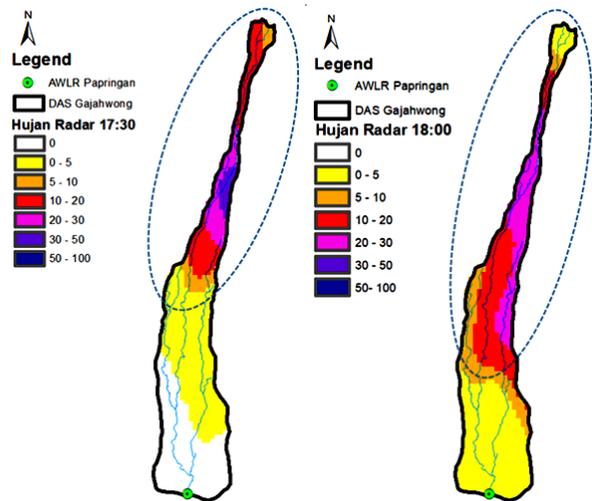
Dari beberapa hasil simulasi yang telah dilakukan, menghasilkan 2 simulasi yang menghasilkan nilai parameter yang mendekati dengan hasil simulasi hidrograf banjir terkait pola dan bentuk limpasan terhadap hidrograf banjir terukur. Namun, dari beberapa hasil tersebut dipilih nilai parameter yang paling mendekati, seperti ditunjukkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Rekapitulasi kinerja model

No.	Indikator ketelitian	Hidrograf terukur (m ³ /s)	Hidrograf simulasi Tc = 2.915 jam R = 1 jam (m ³ /s)	Kesalahan relatif (%)
1	Debit puncak Qp (m ³ /s)	19.73	19.7	0.15
2	Waktu puncak Tc (jam)	18:30	20:00	7.50
3	Volume runoff (m ³)	9.55	9.55	0.00

Tabel 2. menunjukkan hasil kinerja model berdasarkan nilai parameter-parameter fisik DAS yang telah dikalibrasi dan diverifikasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa selisih volume runoff mendapat

nilai yang sama, selisih volume atau volume error (VE) dikatakan baik apabila dapat menunjukkan angka tidak lebih dari 5 % (sutikno, dkk 2014). Untuk debit puncak (Qp) dari hasil simulasi menunjukkan hasil yang baik dimana kesalahan relatif yang diperoleh sebesar 0.15%. Namun, untuk waktu puncak (Tc) diperoleh hasil yang berbeda, dimana waktu puncak terhitung lebih lambat dibandingkan dengan waktu puncak terukur. Seperti ditunjukkan pada **Gambar 14**, waktu puncak terukur dan waktu puncak terhitung masih belum bisa mendapatkan korelasi yang baik. Berdasarkan hasil simulasi hujan radar tanggal 30 November 2016 di software WMS, kedalaman hujan radar yang memiliki nilai precipitation terbesar atau mulai hujan terjadi pada jam 18:00 sampai dengan jam 19:00. Hal itu mengakibatkan sumbangan precipitation terbesar untuk menjadi limpasan permukaan menjadi lebih lambat untuk sampai ke titik outlet, sehingga waktu puncak dari simulasi hidrograf limpasan langsung menjadi lebih lambat dari waktu puncak terukur. Faktor lain yang mengakibatkan perbedaan waktu puncak terukur dan waktu puncak terhitung yaitu DAS Gajahwong memiliki bentuk DAS yang memanjang dan curah hujan pada tanggal 30 November 2016 yang terjadi di wilayah DAS Gajahwong memiliki curah yang tidak merata diseluruh wilayah DAS seperti dilihat pada **Gambar 14** sampai dengan **Gambar 15**, dapat dilihat bahwa hujan dengan intensitas yang tinggi terjadi di bagian hulu sampai dengan bagian tengah DAS. Dengan kondisi tersebut mengakibatkan perjalanan aliran membutuhkan waktu yang lebih lama untuk sampai atau terkonsentrasi (time of concentration) pada titik outlet DAS.



Gambar 15. Distribusi hujan radar di DAS Gajahwong tanggal 30 November 2016

4. Kesimpulan dan Rekomendasi

4.1 Kesimpulan

- Berdasarkan hasil kalibrasi yang telah dilakukan untuk nilai initial abstraction (I_a), time of concentration (t_c), dan linear reservoir's storage coefficient (R), diperoleh hasil nilai debit puncak (Qp) dan volume limpasan permukaan yang akurat,

namun untuk waktu puncak (T_p) masih belum baik dan sulit untuk ditingkatkan ketelitiannya. Berdasarkan data hujan radar tanggal 30 november 2016, kedalaman hujan yang memiliki nilai precipitation terbesar terjadi pada jam 18:30, sehingga sumbangan precipitation terbesar untuk menjadi limpasan permukaan menjadi lebih lambat yang mengakibatkan waktu puncak dari simulasi hidrograf limpasan langsung lebih lambat dari waktu puncak terukur.

2. Metode hidrograf satuan Modclark dapat diterapkan di semua kondisi DAS. Kelebihan dari model hidrologi hujan-aliran terdistribusi yaitu variasi spasial dari karakteristik dan proses hidrologi diterapkan dalam analisis. Namun dalam pemodelan karakteristik DAS seperti tata guna lahan, alur sungai dan batas DAS Gajahwong yang dapat menggambarkan kondisi DAS model dengan kondisi kenyataan di lapangan masih belum akurat.

4.2 Rekomendasi

Hasil hitungan simulasi limpasan permukaan DAS menunjukkan bahwa perlu dilakukan telaah yang rinci terhadap faktor losses dan kesesuaian parameter hidrograf satuan terutama untuk waktu konsentrasi (T_c), untuk menghasilkan kalibrasi model yang akurat. Data hujan dimungkinkan dilakukan koreksi terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai input model hidrologi hujan-aliran terdistribusi. Perlu dilakukan verifikasi hasil karakteristik DAS model dengan kondisi di lapangan atau kenyataan sehingga akan menunjang hasil penelitian yang lebih akurat.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada dosen pembimbing dari Departemen Teknik sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta yang telah memberikan arahan dan masukan dalam penyusunan penelitian ini. penulis juga mengucapkan terimakasih kepada

Referensi

Allegretti, M., Bertoldo, S., Prato, A., Lucianaz, C., Rorato, O., Notarpietro, R. dan Gabella, M. 2012. X-Band Mini Radar for Observing and Monitoring Rainfall Events. *Atmospheric and Climate Sciences*, 2(3), pp. 290– 297. doi: 10.4236/acs.2012.23026.

Burcea, S., Cheval, S., Dumitrescu, A., Antonescu, B., Bell, A. dan Breza, T., 2012. Comparison between radar estimations and rain gauge precipitations in the Moldavian Plateau (Romania). *Environmental Engineering and Management Journal*, 11(4), pp. 723–731.

Feldman, Arlen D., 2000. *Hydrologic Modeling System Technical Reference Manual*. Davis, USA: U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, HEC.

Ponce, Victor M., and Nuccitelli, Nicole R., 2013. Comparison of two types of Clark unit hydrographs. Virginia, USA: http://ponce.sdsu.edu/comparison_of_two_clark_unit_hydrographs.html. (diakses 12 Agustus 2019).

Saifurridzal, 2017. *Model Hujan-Aliran Terdistribusi Berbasis Analisis dan Interpretasi Parameter Fisik DAS*. Tesis. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

Sebastianelli, S., Russo, F., Napolitano, F. dan Baldini, L. 2013. On Precipitation Measurements Collected by a Weather Radar and a Rain Gauge Network. *Natural Hazards and Earth System Science*, 13(3), pp. 605–623. doi: 10.5194/nhess-13-605-2013.

Sutikno S., Fauzi M., Hamiduddin., 2014, Kalibrasi dan Validasi Model Hidrologi Hujan-Aliran dengan Menggunakan Data Satelit, *Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) XXXI HATHI*, Padang: Agustus 2014. DOI: 10.13140/RG.2.1.2287.5689.

Widowati, A. P. A., 2017. Hydraulic and Hydrologic Modeling of steep Channel of putih River, Magelang District, Central Java Province, Indonesia. *Journal of the Civil Engineering Forum*. Vol. 3 No. 3.