

## MENGENAL BERBAGAI MODEL HIDROLOGI DI INDONESIA

Yulius PK Suni<sup>1</sup>, Istiarto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Doktor Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Email: [yulius.suni@mail.ugm.ac.id](mailto:yulius.suni@mail.ugm.ac.id)

<sup>2</sup> Dosen Program Studi Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Email: [istiarto@ugm.ac.id](mailto:istiarto@ugm.ac.id)

**Abstrak:** Model hidrologi adalah penyederhanaan kompleksitas sistem hidrologi suatu daerah aliran sungai (DAS). Sejak tahun 1890, telah dikembangkan berbagai model hidrologi untuk membantu para pengambil keputusan merumuskan skenario pengelolaan DAS. Penelitian ini mengkaji sembilan model hidrologi melalui kajian pustaka. Kesembilan model adalah HydroOffice BFI+, HEC-HMS, HEC-SSP, EPA-WMOST, EPA-AGWA, EPA-SWMM, AGNPS, ANSWERS, dan ANFIS. Hasil kajian menunjukkan beberapa hal sebagai berikut. Untuk analisis banjir dapat memilih salah satu perangkat lunak seperti HEC-HMS, AGWA, SWMM, AGNPS, ANSWERS, dan ANFIS. Namun program analisis banjir tertentu perlu dikombinasikan dengan GIS dan HEC-SSP. Analisis pemisahan aliran dasar dapat menggunakan BFI+ dengan data masukan adalah curah hujan harian. Analisis laju erosi dan sedimentasi dapat menggunakan AGWA, AGNPS, ANSWERS. Perbaikan data input dapat dilakukan dengan HEC-SSP apabila kualitas data input kurang baik. Dalam hal upaya pengelolaan sumberdaya air dalam suatu DAS maka model WMOST dan AGNPS dapat digunakan. Namun beberapa jenis software memiliki keterbatasan. Karena itu dalam aplikasi model perlu dikombinasikan dengan model lain untuk mendapatkan hasil yang optimal selain dibandingkan dengan data pengukuran dan observasi lapangan.

**Kata kunci:** model hidrologi, daerah aliran sungai, keunggulan dan kelemahan model hidrologi

**Abstract:** The hydrological model is a simplification of the complexity of a real-world hydrological system of a watershed. Since 1890, various hydrological models have been developed to assist decision makers in formulating watershed management scenarios. This study examines nine hydrological models through a literature review. The nine models are HydroOffice BFI+, HEC-HMS, HEC-SSP, EPA-WMOST, EPA-AGWA, EPA-SWMM, AGNPS, ANSWERS, and ANFIS. The results of the study are briefly explained as follows. Flood analysis could apply one of the tools namely HEC-HMS, AGWA, SWMM, AGNPS, ANSWERS, and ANFIS. However, certain flood analysis programs need to be combined with GIS and HEC-SSP to get an adequate analysis. Baseflow separation analysis could use BFI+ with the daily rainfall as input data. Analysis of the rate of erosion and sedimentation could apply AGWA, AGNPS, ANSWERS. The HEC-SSP model provides assistance in correcting incomplete and inconsistent data. In terms of water resource management on a watershed scale, the WMOST and AGNPS models can be used. However, some types of models have limitations. Therefore, in applying the model, it is necessary to combine several models to get optimal results. In addition, the results of the hydrological model analysis need to be confirmed by field measurements.

**Keywords:** hydrological model, watershed, advantages and disadvantages of hydrological model

### 1. PENDAHULUAN

Model hidrologi merupakan peniruan terhadap sistem hidrologi daerah aliran sungai (DAS) yang kompleks. DAS memiliki berbagai unsur yang dapat dikelompokkan dalam aspek biofisik, politik, dan sosial ekonomi. Aspek

biofisik mencakup manusia, tumbuhan, hewan, air, tanah, tutupan lahan, dan tata guna lahan. Aspek politik meliputi pembagian wilayah air dalam bentuk DAS dan wilayah sungai yang digunakan dalam pengambilan keputusan pengelolaan sumber daya air (Blomquist dan Schlager, 2005 dalam [1]). Aspek sosial

ekonomi meliputi akses terhadap air untuk kebutuhan domestik, pertanian, industri, dan pengelolaan sumber daya air [2]. Kompleksitas ini mendorong para ahli mengembangkan model hidrologi sehingga penyelesaian masalah-masalah keteknikan (*engineering*) menjadi lebih mudah dilakukan.

Todini [3] memberikan narasi riwayat permodelan hidrologi yang bermula dari metode rasional (*rational method*) pada tahun 1890 oleh Mulvany dalam penentuan aliran puncak DAS dan pada tahun 1932 oleh Sherman dalam pengembangan hidrograf satuan. Mulai tahun 1965 dikembangkan model konseptual (*conceptual model*) mekanisme limpasan permukaan. Pada tahun 1970an diperkenalkan model menyatu (*lumped model*), yaitu model yang mengabaikan variabilitas ruang dalam DAS atau elemen dalam suatu DAS dianggap homogen. Sejak tahun 1995, dimulai pengembangan model terdistribusi untuk mengetahui mekanisme hidrologi termasuk peramalan banjir. Model terdistribusi (*distributed model*) yang terinspirasi dari model terdistribusi berbasis fisik oleh Freeze & Harlan (1969) berkembang cukup pesat karena perkembangan teknologi informatika, yaitu komputer, sistem informasi geografis dan peta topografi digital [4]. Model terdistribusi mengandung variabilitas ruang dan waktu. Secara umum perkembangan model hidrologi berevolusi dari model berbasis data (*data driven model*) menjadi model jaringan saraf tiruan (*artificial neural network model-ANN*) dan model mekanistik berbasis data (*data-based mechanistic – DBM*) [3].

Tulisan ini bertujuan mengidentifikasi berbagai perangkat lunak model hidrologi yang digunakan di Indonesia dalam kurun dua dasawarsa terakhir. Paparan menguraikan jenis perangkat lunak beserta kegunaan,

keunggulan, dan kelemahan masing-masing perangkat lunak.

## 2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode studi pustaka dalam mengelompokkan dan mendiskusikan keunggulan serta kelemahan setiap model. Fokus waktu dari kajian ini adalah penggunaan aplikasi dalam kurun waktu 20 tahun terakhir. Lokasi kajian mengutamakan penggunaan aplikasi di Indonesia.

## 3. PEMBAHASAN

Model hidrologi dikelompokkan dalam dua kategori yaitu model deterministik dan stokastik [5]. Model deterministik merujuk ke pendekatan matematik yang hanya dapat menerima peubah yang bebas dari variasi acak (*random variation*). Artinya, model ini memperlakukan proses hidrologi secara konseptual sebagai bagian dari sistem yang bersifat tetap dan mengabaikan proses yang bersifat acak. Model ini dibagi dalam dua kelompok, yaitu model empiris, berdasarkan pengamatan langsung fenomena dalam sistem hidrologi, dan model konseptual, menggambarkan dimensi waktu dan ruang yang mempengaruhi proses hidrologi. Baik model empiris maupun model konseptual memiliki kelompok model menyatu (*lumped*) dan model terdistribusi (*distributed*).

Model-model stokastik dapat menerima variabel acak dan tidak pasti dengan riwayat data yang panjang dan berurutan untuk melakukan analisis statistik. Model ini dapat meramalkan kemungkinan urutan kejadian yang akan terjadi di masa datang. Parameter model ini tidak bergantung waktu (*time-independent*) sekaligus bergantung waktu (*time-correlated*). Masing-masing parameter di atas dapat merujuk pada ruang (*space-correlated*) maupun tidak bergantung ruang (*space-independent*) [5].

Walaupun demikian, klasifikasi model menurut Chow *et al.*[2010] tidak dapat mewakili berbagai model yang berkembang saat ini. Karena itu diusulkan alternatif kelompok model sebagai berikut (1) stokastik murni (*purely stochastic*), (2) integral homogen (*lumped integral*), (3) integral terdistribusi (*distributed integral*), dan (4) diferensial terdistribusi (*distributed differential*) [6]. Model stokastik murni mengandaikan bahwa variabel output dan input tidak memiliki hubungan sebab akibat yang pasti. Data yang diperlukan dalam model 1 adalah minimal sehingga hasilnya valid secara rata-rata. Model integral homogen menggambarkan sistem hidrologi yang dinamis dalam rumus integral dan menghubungkannya dengan DAS dan mempertimbangkan semua perilaku sistem hidrologi. Parameter dalam sistem hidrologi diestimasi menggunakan teknik statistik. Model integral terdistribusi menggambarkan semua fenomena dalam tingkatan Sub DAS menjadi rumus integral dan mengkombinasikan semua komponen dengan batasan tertentu. Model diferensial terdistribusi menggambarkan semua perilaku DAS dalam persamaan diferensial dalam hal waktu dan ruang.

Ada kategori lain selain yang diusulkan oleh Chow *et al.*(1988) seperti model probabilistik, model konseptual, dan model parametrik (Dasanto, 2000 dalam Harsoyo, 2010). Model probabilistik mengandalkan konsep frekuensi dan probabilitas sebagai parameter penting, namun tidak memperhitungkan urutan kejadian. Model konseptual merujuk pada keadaan nyata sistem hidrologi dengan penyederhanaan proses. Model konseptual terdiri dari pendekatan rasional, pendekatan reservoir, dan kombinasi kedua pendekatan tadi. Model parametrik digunakan untuk mendapatkan pernyataan matematik fungsi DAS dalam bentuk input output. Model

terakhir ini memberikan gambaran yang lebih jelas tentang kerja sistem hidrologi.

Paragraf-paragraf di bawah ini memaparkan beberapa model (*software*) hidrologi yang digunakan di Indonesia dalam 20 tahun terakhir. Paparan ini mencakup pengenalan perangkat lunak, kegunaan, keunggulan, keterbatasan, dan contoh aplikasinya di Indonesia atau di negara lain.

### HydroOffice BFI+

BFI+ berfungsi untuk melakukan analisis dan pemisahan aliran dasar dalam suatu daerah aliran sungai [7]. Perkiraan besarnya aliran dasar menjadi penting supaya kita dapat memprediksi besarnya bagian debit yang merupakan kontribusi dari aliran cepat atau *surface run-off* yang berpotensi menghasilkan banjir [8]. Ada berbagai metode pemisahan aliran dasar dalam model BFI+, namun ada dua metode yang sering digunakan karena pertimbangan kemudahan pengoperasiannya yakni metode filter digital (*recursive digital filter/RDF*) dan metode grafis digital yang masing-masing memiliki beberapa algoritma [8].

Jenis – jenis filter RDF adalah algoritma satu parameter (*One-parameter algorithm*), algoritma dua parameter Boughton (*Boughton two-parameter algorithm*), algoritma tiga parameter IHACRES (*IHACRES three-parameter algorithm*), algoritma Lyne dan Hollick (*Lyne and Hollick algorithm*), algoritma Chapman (*Chapman algorithm*). Sloto & Crouse (1996) dalam [8] memberikan contoh tiga metode pemisahan secara grafis yaitu metode interval tetap (*Fixed interval method*), metode interval bergerak (*Sliding interval method*), dan metode minimum lokal (*local minimum method*).

Metode RDF dan grafis digital memiliki parameter-parameter yang ditentukan dengan cara coba-coba (*trial and error*). Selain itu,

data input yang diperlukan adalah curah hujan harian. Sedangkan proses fisika yang terjadi dalam wilayah DAS tidak diperhitungkan.

Model BFI+ telah digunakan dalam beberapa studi di Indonesia, di antaranya di Bondowoso dan di Madiun. Sebuah studi di beberapa DAS dalam wilayah administratif UPT PSDA Bondowoso menemukan bahwa metode grafis digital (terutama algoritma *Fixed Interval Method*) adalah metode yang paling optimal dibandingkan dua metode lain, metode Eckhardt (RDF) dan Local Minimum Method (metode grafis digital) [10]. Penelitian lain menguji sembilan algoritma pemisahan aliran dasar baik metode filter maupun grafis di wilayah Madiun [11]. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada prinsipnya semua algoritma dapat memisahkan aliran dasar dari debit totalnya. Namun demikian, algoritma *Lyne & Hollick and EWMA* menghasilkan kinerja yang lebih baik dari ke tujuh algoritma lainnya.

### HEC-HMS

*Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS) dirancang untuk mensimulasikan proses hidrologi lengkap sistem DAS dendritik. Perangkat lunak ini mencakup banyak prosedur analisis hidrologi seperti infiltrasi, hidrograf satuan, dan routing hidrologi. Model ini dapat pula digunakan untuk simulasi evapo-transpirasi, pencairan salju, penghitungan kelembaban tanah, dan limpasan grid. Untuk simulasi limpasan grid, HEC-HMS menggunakan transformasi limpasan kuasi-terdistribusi linear (ModClark) dalam rangka mendapatkan hasil yang optimal [12].

Penelitian terkini menggunakan perangkat lunak ini dengan kombinasi perangkat lunak lain yaitu HEC-HMS dan RegCM4.3 untuk simulasi perubahan iklim [13]. Namun, model ini perlu dikalibrasi dan divalidasi sesuai

dengan kondisi DAS satu daerah dan hasil observasi langsung lapangan sebagaimana contoh kasus di Sri Lanka. Sebuah studi di Sri Lanka menggunakan tiga metode analisis hidrograf satuan yaitu Soil Conservation Service Curve Number (SCS Curve Number), Snyder, dan Clark [14]. Setelah melalui proses kalibrasi dan validasi, ditemukan bahwa metode Snyder memiliki kinerja lebih baik dari metode Clark. Sementara metode SCS Curve Number tidak memiliki kinerja yang baik.

Penggunaan model HEC-HMS dan model hidrologi lain seperti WEPP (*Water Erosion Prediction Project*) untuk simulasi limpasan dalam DAS di India menunjukkan bahwa semua model memberikan estimasi yang sangat rendah pada periode tertentu dan sangat tinggi untuk tahun tertentu. Persentase deviasi terhadap data ukur curah hujan harian periode muson (*moonson season*) dan data ukur debit selama 6 tahun untuk model HEC-HMS adalah -2.55 dan 31%, sedangkan model WEPP lebih rendah yakni -13.96 sampai 13.05% [15]. Hal ini menunjukkan bahwa untuk kasus di India kinerja HEC-HM lebih rendah dari model WEPP.

### HEC-SSP

Hydrologic Engineering Center (HEC) Statistical Software Package (HEC-SSP) memungkinkan pengguna untuk melakukan analisis statistik data hidrologi. Paket yang ditawarkan antara lain analisis debit banjir, frekuensi volume, durasi, dan analisis hidrograf [16]. Fitur HEC-FFA (*Flood Frequency Analysis*) dan STATS (*Statistical Analysis of Time Series Data*) digabungkan untuk analisis frekuensi debit sedangkan paket perangkat lunak STATS digunakan untuk analisis statistik data *time series* (HEC, 2010 dalam [16]).

Salah satu manfaat HEC-SSP adalah memiliki 'persepsi ambang' (*perception treshold*) dalam USACE HEC-SSP Bulletin 17C. Fasilitas ini dapat digunakan untuk menggantikan data yang hilang saat analisis frekuensi banjir [17]. Karena itu, perangkat lunak ini dapat membantu perbaikan data hidrologi pada daerah-daerah yang memiliki keterbatasan kualitas data.

HEC-SSP diintegrasikan dengan model lain dalam analisis banjir. Analisis pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap potensi banjir di dataran banjir sungai Cikapundung, Jawa Barat menggunakan tiga model yakni GIS untuk data spasial, HEC-SSP untuk analisis data time series dan HEC-RAS untuk prediksi kejadian banjir kala ulang 10 tahun [18].

#### **EPA - WMOST**

*US Environmental Protection Agency – Watershed Management Optimization Support Tool* (WMOST) adalah aplikasi perangkat lunak yang dirancang untuk memfasilitasi manajemen sumber daya air terpadu di wilayah iklim basah dan kering. Alat ini memungkinkan pengelola dan perencana sumber daya air untuk menyeleksi berbagai pilihan pengelolaan sumberdaya air, seperti memenuhi proyeksi permintaan air, mempertahankan target penyediaan air minimum, dan mengurangi banjir yang ada di daerah aliran sungai atau wilayah administratif dalam rangka manajemen dengan biaya efektif dan menjaga kelestarian lingkungan [19].

EPA-WMOST memiliki keunggulan antara lain menggunakan Microsoft Excel 2013 ©, yang dihubungkan secara baik dengan solusi pengoptimalan pemrograman linier gratis, sehingga tidak memerlukan akan perangkat lunak khusus. Perangkat ini dapat mengelola lebih dari dua puluh praktik dan sasaran manajemen potensial yang terkait dengan

pengelolaan air hujan, pasokan air, limbah cair, daur ulang air. Keunggulan lain model ini adalah tahapan waktu pemodelan dapat dilakukan untuk satu hari atau bulan tanpa batasan panjang periode pemodelan dan hanya mempertimbangkan aliran dasar dan aliran air puncak saja.

Aplikasi EPA-WMOST telah digunakan oleh Departemen Lingkungan Maryland (the Maryland Department of Environment) untuk menentukan praktek pengelolaan badai yang berhubungan dengan air secara efektif dalam hal biaya untuk DAS yang padat permukiman [20]. Connecticut Water Company (CWC) menggunakan model WMOST untuk mendapatkan jumlah air yang perlu didistribusikan pada periode tertentu, merekomendasikan perbaikan infrastruktur penyediaan air baku dan air limbah, dan menyarankan pengutan biaya penggunaan air kepada konsumen air dalam upaya penghematan air [21].

#### **EPA-AGWA**

*Automated Geospatial Watershed Assessment* (AGWA) yang dibuat oleh US EPA [22] adalah perangkat lunak berbasis GIS untuk melakukan pemodelan hidrologi dan penilaian limpasan pada berbagai skala temporal dan spasial. Model ini memberikan perkiraan kualitatif limpasan dan erosi relatif terhadap perubahan lanskap. Perangkat lunak ini menyediakan tampilan visual hasil dan informasi yang dapat membantu pembuat keputusan mengidentifikasi daerah bermasalah dan memerlukan pemantauan tambahan atau tindakan mitigasi. Keluaran AGWA berupa skenario tataguna lahan/tutupan lahan alternatif. AGWA menampilkan berbagai output simulasi (perubahan potensial) sehingga pengambil keputusan dapat memilih skenario yang tepat dalam perencanaan pembangunan.

AGWA menggunakan set data spasial terstandarisasi yang tersedia secara daring. Data tersebut digunakan untuk membuat file parameter input untuk dua aliran limpasan dan model erosi: Limpasan Kinematik dan Erosi (KINEROS2) model hidrologi dan Alat Penilaian Tanah dan Air (SWAT) [22].

Kepner, Semmens, Hernandez, & Goodrich (2008) menerapkan AGWA di wilayah barat laut Oregon dan bagian tenggara Arizona, Amerika untuk menguji pengaruh beberapa skenario tataguna lahan terhadap kondisi air permukaan termasuk sedimentasi dan limpasan permukaan. Hasil penelitian ini menampilkan konsekuensi dari setiap pilihan skenario tataguna lahan. Pilihan skenario dengan konsekuensi minimal dapat mejadi referensi pengambil keputusan dalam pengelolaan DAS. Karena itu ke depannya perlu mengintegrasikan pemodelan hidrologi dan skenario perubahan tataguna lahan dalm upaya memelihara layanan ekosistem.

Penelitian di daerah semi-arid wilayah sungai Kufranja, Yordania menemukan bahwa AGWA memiliki kemampuan mengevaluasi keseimbangan air dan proses sedimentasi melalui kalibrasi parameter tertentu, terutama parameter sensitif dalam model SWAT [23].

#### US EPA SWMM

*Storm Water Management Model* (SWMM) adalah perangkat lunak yang dikembangkan oleh US EPA. SWMM digunakan untuk mensimulasikan limpasan air hujan terutama pada sistem drainase perkotaan tetapi dapat juga digunakan di daerah pedesaan baik untuk jangka pendek maupun jangka panjang [24].

Sebuah studi di Pekanbaru menggunakan model SWMM untuk mengevaluasi kemampuan kapasitas drainase dalam menampung limpasan di kawasan permukiman [25]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa program SWMM mempunyai keandalan untuk

mengevaluasi kapasitas saluran drainase pengendali banjir.

#### AGNPS

Model AGNPS (*Agricultural Non-Point Source*) dikembangkan oleh Agricultural Research Service (ARS) yang bekerjasama dengan Minnesota Pollution Control Agency (MPCA) dan Soil Conservation Service (SCS) [26]. AGNPS adalah model hidrologi dengan parameter terdistribusi yang mensimulasikan hubungan antara hujan dan laju erosi lahan. Model AGNPS merupakan model penduga erosi skala DAS yang telah mulai banyak digunakan di Indonesia.

Sebuah penelitian di sebuah DAS seluas 10,4 ha untuk mengestimasi aliran permukaan, erosi, kehilangan nitrogen dan fosfor dan COD di wilayah perbukitan menunjukkan bahwa hasil prediksi model tidak berbeda secara statistik dengan hasil pengukuran (Sinukaban *et al.*, 2000 dalam [25]). Studi lain di sub DAS Dumpul, Jawa Tengah menggunakan model AGNPS. Hasil penelitian ini menyebutkan bahwa perencanaan pengelolaan DAS dapat dilakukan dengan memanfaatkan model AGNPS sehingga kerusakan lingkungan dan lahan kritis yang ada dapat diidentifikasi dan dianalisis lebih lanjut. Disebutkan pula bahwa melalui simulasi model AGNPS dapat digunakan untuk menetapkan tindakan yang tepat untuk konservasi tanah dan air yang sesuai dengan kondisi biogeofisik DAS (Nugroho *et al.*, 2002 dalam [25]).

#### ANSWERS

ANSWERS (*Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation*) adalah salah satu perangkat lunak hidrologi yang digunakan di Indonesia [26]. ANSWERS dapat mensimulasikan karakteristik DAS baik pada saat terjadinya hujan maupun setelah kejadian hujan untuk mengetahui fungsi antara laju aliran air dan parameter hidrologinya,

seperti intensitas hujan, infiltrasi, kondisi topografi dan jenis tanah.

Kelebihan ANSWERS [26] antara lain dapat memberikan keluaran sekaligus, baik berupa debit aliran pada sungai, kehilangan tanah akibat erosi dan sedimentasi; mampu memproses kerja simulasi (skenario) secara serentak dalam berbagai kondisi DAS; mampu menganalisis parameter terdistribusi secara sensitif sehingga dapat menghasilkan simulasi akurat terhadap sifat fisik DAS.

Model ini memiliki beberapa kelemahan sebagaimana ditemukan dalam beberapa penelitian di Indonesia. ANSWERS kurang valid untuk simulasi penggunaan lahan sehingga hasil analisis perlu validasi lebih lanjut sebagaimana penelitian di DAS Siluak (Ginting dan Ilyas, 1997 dalam Harsoyo, 2010). Hasil penelitiandi Sub DAS Cibarengkok-Cimuntur, Jawa Barat, dan di DTA Bodong Jaya dan DAS Way Besay Hulu, menunjukkan model ANSWERS dapat menduga volume aliran permukaan dan erosi dengan baik, tetapi kurang baik apabila digunakan untuk menduga debit puncak, waktu debit puncak, dan waktu dasar (*time base*) aliran permukaan [26]. Erosi dan aliran permukaan hasil dugaan model ANSWERS cukup baik pada jumlah dan intensitas hujan yang relatif tinggi, dan mengalami deviasi yang cukup besar pada curah hujan rendah (Hidayat, 2001 dalam [25]). Untuk DAS berukuran besar ( $> 100 \text{ km}^2$ ) hasilnya kurang akurat dan cukup baik untuk DAS berukuran sedang ( $<100 \text{ km}^2$ ) [26]. ANSWERS bukan merupakan model deret waktu (*time series*), sehingga pendekatan keluarannya hanya sekali atau pada kurun waktu tertentu dan tidak selamanya [26].

#### **ANFIS**

ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*) adalah perangkat lunak hidrologi yang

menggabungkan jaringan neural (neural network) dan logika fuzzy sebagai pendekatan universal (*universal approximator*) [26]. Pendekatan universal adalah kemampuan mendekati suatu fungsi, sehingga dapat melakukan interpolasi dan ekstrapolasi. ANFIS merupakan salah satu model yang dapat digunakan untuk memproses data deret waktu (*time series*).

Perangkat ANFIS dapat digunakan untuk memprediksi kejadian banjir. BPPT menggunakan ANFIS untuk membuat prediksi kejadian banjir di wilayah DKI Jakarta, berdasarkan variabel Tinggi Muka Air (TMA) sungai dan curah hujan [26]. Penelitian di Iran menunjukkan bahwa model regresi non linear (MNL) lebih baik dari pada model ANFIS dalam memprediksi kejadian banjir [28].

#### **4. IMPLIKASI HASIL STUDI**

Melalui tulisan ini diharapkan agar pembaca dapat memahami berbagai model hidrologi dengan lebih baik. Sehingga dalam melakukan analisa untuk mendapatkan hasil yang optimal, dapat mengintegrasikan model yang satu dengan model lainnya. Secara keseluruhan, semua model hidrologi sangat bermanfaat dalam membantu para pengambil kebijakan dan para pemangku kepentingan lainnya dalam suatu DAS untuk mempertahankan layanan ekosistem suatu DAS secara berkelanjutan.

#### **5. PENUTUP**

Berdasarkan pembahasan kesembilan model hidrologi dapat dibuat beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Untuk analisis banjir dapat memilih salah satu perangkat lunak seperti HEC-HMS, AGWA, SWMM, AGNPS, ANSWERS, dan ANFIS. Namun model HEC-HMS dan AGWA memerlukan kalibrasi dan validasi data masukan (input) sesuai kondisi fisik DAS. Sedangkan model

ANSWERS kurang baik apabila digunakan untuk menduga debit puncak, waktu debit puncak, dan waktu dasar (*time base*) aliran permukaan. Model ANSWERS juga kurang baik digunakan pada DAS berukuran besar.

- Untuk prediksi kejadian banjir, model ANFIS memiliki kinerja yang lebih rendah dari model MNLR.
- Analisis pemisahan aliran dasar dapat menggunakan BFI+ dengan data masukan adalah curah hujan harian tetapi model ini mengabaikan proses fisika yang terjadi dalam suatu DAS.
- Analisis lajur erosi dan sedimentasi dapat menggunakan AGWA, AGNPS, ANSWERS.
- Perbaikan data input dapat dilakukan dengan HEC-SSP apabila kualitas data input kurang baik.
- Dalam hal upaya pengelolaan sumberdaya air dalam suatu DAS seperti indentifikasi konsekuensi pilihan tataguna lahan, pemantauan kerusakan lingkungan dan lahan kritis, dan pilihan mitigasi kerusakan lingkungan, maka model WMOST dan AGNPS dapat digunakan.
- Model WMOST menggunakan Microsoft Excel 2013© sehingga tidak perlu perangkat lunak khusus.

Karena itu untuk mendapatkan hasil yang optimal, perlu mengintegrasikan model yang satu dengan model lainnya. Secara keseluruhan, semua model hidrologi sangat bermanfaat dalam membantu para pengambil kebijakan dan para pemangku kepentingan lainnya dalam suatu DAS untuk mempertahankan layanan ekosistem suatu DAS secara berkelanjutan.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Suni, Y.; Legono, D. Manajemen Sumber Daya Air Terpadu Dalam Skala Global, Nasional Dan Regional. **Jurnal Teknik Sipil**, V. 10, N. 1, P. 77-88, 2021.
2. Calder, I. Et Al. Watershed Development In India. 1. Biophysical And Societal Impacts. **Environment, Development And Sustainability**, V. 10, P. 537–557 (2008), 2007. Issn  
<https://doi.org/10.1007/S10668-006-9079-7>.
3. Todini, E. History And Perspectives Of Hydrological Catchment Modelling. **Hydrology Research**, V. 42, N. 2-3, P. 73-85, 2011.
4. Beven, K. J. **Rainfall-Runoff Modelling: The Primer**. Second. Ed. [S.L.]: John Wiley & Sons, 2011. 255-278 P.
5. Chow, V. T.; Maidment, D. R.; Mays, L. W. **Applied Hydrology**. Singapore: Mcgraw-Hill, 2010.
6. Liu, X. Et Al. Modeling The Role Of Vegetation In Hydrological Responses To Climate Change. In: TANG, Q.; OKI, T. **Terrestrial Water Cycle And Climate Change: Natural And Human-Induced Impacts**. [S.L.]: [S.N.], 2016. P. 193-208.
7. Gregor, M. **BFI + Hydro Office Software Package For Water Sciences**. [S.L.]: Hydrooffice, 2010.
8. Indarto Et Al. **Studi Tentang Pemisahan Aliran Dasar: Perbandingan Metode Grafis Dan Filter**. Seminar Nasional PERTETA 2015. Makasar, Sulawesi Selatan: [S.N.]. 2015.
9. Puspitasari, N. D.; Indarto; Wahyuningsih, S. Studi Pendahuluan Pemisahan Aliran Dasar Menggunakan "Metode Grafis Dan Filter" Di Wilayah Administratif UPT PSDA Bondowoso. **Berkala Ilmiah TEKNOLOGI PERTANIAN**, P. 1-6, 2015.

- 10 Wahyuningsih, S.; Indarto; Yudhatama, T.  
. G. Pengujian 9 Algoritma Untuk  
Pemisahan Aliran Dasar : Studi Di Wilayah  
UPT PSDA Di Madiun. **Jurnal Teknik  
Sipil**, P. 129-140, 2018.
- 11 Us Army Corps Of Engineers. Us Army  
. Corps Of Engineers Hydrologic  
Engineering Center. Disponivel Em:  
<<https://www.Hec.Usace.Army.Mil/Software/Hec-Hms/>>. Acesso Em: 26 February  
2020.
- 12 Hassan, M. Et Al. Streamflow Response To  
. Projected Climate Change In The  
Northwestern Upper Indus Basin Based On  
Regional Climate Change Model  
(Regcm4.3) Simulation. **Journal Of  
Hydro-Environment Research**, V. 27, P.  
32-49, 2019.
- 13 Halwatura, D.; Najim, M. M. M.  
. Application Of The HEC-HMS Model For  
Runoff Simulation In A Tropical  
Catchment. **Environmental Modelling &  
Software**, P. 155-162, 2013.
- 14 Verma, A. K.; Jha, M. K.; Mahana, R. K.  
. Evaluation Of HEC-HMS And WEPP For  
Simulating Watershed Runoff Using  
Remote Sensing And Geographical  
Information System. **Paddy And Water  
Environment**, P. 131-144, 2009.
- 15 Bartles, M. Et Al. **HEC-SSP Statistical  
. Software Package**. Davis, CA: US Army  
Corps Of Engineers, Institute For Water  
Resources, Hydrologic Engineering Center  
(HEC), 2016.
- 16 Utama, R. N. **Pemodelan Spasial  
. Pengaruh Perubahan Penggunaan  
Lahan Terhadap Potensi Banjir  
Menggunakan Data Citra Satelit ASTER  
Di Daerah Dataran Banjir Sungai  
Cikapundung**. Bandung: Universitas  
Padjadjaran, 2014.
- 17 Đokić, N.; Blagojević, B.; Mihailović, V.  
. MISSING DATA REPRESENTATION  
BY PERCEPTION THRESHOLDS IN  
FLOOD FLOW FREQUENCY  
ASSESSMENT. **Journal Of Applied  
Engineering Science**, 2021.
- 18 Epa. **Watershed Management  
. Optimization Support Tool Fact Sheet**.  
[S.L.]. Tanpa Tahun.
- 19 Detenbeck, N. Et Al. **User-Friendly  
. Decision Support For Integrated Water  
Management: Epa's Watershed  
Management Optimization Support Tool  
(Wmost)**. International Congress  
Onenvironmental Modelling And Software.  
[S.L.]: Colorado State University & Iemss.  
2018.
- 20 Albanni, J. D. **WMOSt Case Study For  
. Uconn's Storrs Campus To Optimize  
Water Purchases From Connecticut  
Water Company**. [S.L.]. 2014.
- 21 EPA. **Automated Geospatial Watershed  
. Assessment (AGWA) Tool**. [S.L.]. Tanpa  
Tahun.
- 22 Abdulla, F. A.; Eshtawi, T. Application Of  
. Automated Geospatial Watershed  
Assessment (AGWA) Tool To Evaluate  
The Sediment Yield In A Semi-Arid  
Region: Case Study, Kufranja Basin-  
Jordan. **Jordan Journal Of Civil  
Engineering**, P. 234-244, 2007.
- 23 Epa. United States Environmental  
. Protection Agency. **Storm Water  
Management Model (Swmm)**, Tanpa  
Tahun. Disponivel Em:  
<[https://www.Epa.Gov/Water-  
Research/Storm-Water-Management-  
Model-Swmm](https://www.Epa.Gov/Water-Research/Storm-Water-Management-Model-Swmm)>.
- 24 Zarkani, M. R.; Sujatmoko, B.; Rinaldi.  
. Analisa Drainase Untuk Penanggulangan  
Banjir Menggunakan Epa Swmm. **Jom  
Fteknik**, 2016.
- 25 Harsoyo, B. Review Modeling Hidrologi  
. Das Di Indonesia. **Jurnal Sains &**

- Teknologi Modifikasi Cuaca**, V. 11, N. 1, P. 41-47, 2010.
- 26 Rezaeianzadeh, M. Et Al. Flood Flow . Forecasting Using Ann, Anfis And Regression Models. **Neural Computing And Applications**, P. 25–37, 2014.
- 27 Hydro Office. Hydro Office Tools, 2018. . Disponivel Em: <<https://hydrooffice.org/tools>>. Acesso Em: 26 February 2020.
- 28 Thé, J. L.; Thé, C. L.; Johnson, M. A. . **Wplot View User Guide**. Waterloo, Ontario, Canada: Lakes Environmental Software, 2016.
- 29 Hydrooffice. **Hydrooffice**. Disponivel Em: . <<https://hydrooffice.org/>>.
- 30 Prastica, R. M. S. Et Al. **Estimating Design Flood And Hec-Ras Modelling Approach For Flood Analysis In Bojonegoro City**. Iop Conference Series: Materials Science And Engineering. Bali: Iop Science. 2017.
- 31 Marko, K. Et Al. Two Dimensional Flood . Inundation Modelling In Urban Areas Using Wms, Hec-Ras And Gis (Case Study In Jeddah City, Saudi Arabia). In: El-Askary H., L. S. . H. E. . P. B. **Advances In Remote Sensing And Geo Informatics Applications. Cajg 2018. Advances In Science, Technology & Innovation (Ierek Interdisciplinary Series For Sustainable Development)**. [S.L.]: Springer, 2019. P. 265-267.
- 32 Shustikova, I. Et Al. Comparing 2d . Capabilities Of Hec-Ras And Lisflood-Fp On Complex Topography. **Hydrological Sciences Journal**, P. 1769-1782, 2019.
- 33 Kepner, W. G. Et Al. **Evaluating Hydrological Response To Forecasted Land-Use Change: Scenario Testing With The Automated Geospatial Watershed Assessment (Agwa) Tool**. The Third Interagency Conference On Research In The Watersheds. Estes Park, Co: [S.N.]. 2008. P. 79-84.