

MODEL HIDROLOGI DAS DI SEBAGIAN DAERAH INDONESIA BERDASARKAN KAJIAN ILMU STATISTIKA

Sri Enny Triwidiastuti,
Universitas Terbuka, Tangerang Selatan

Email: srienny@ecampus.ut.ac.id

Beberapa model hidrologi telah dikembangkan untuk menggambarkan dengan jelas proses mengubah *input* (curah hujan) menjadi *output* (debit aliran sungai) dengan mempertimbangkan berbagai karakteristik fisik Daerah Aliran Sungai (DAS). Model hidrologi dirancang untuk menyederhanakan suatu sistem hidrologi, sehingga perilaku dari beberapa komponen dalam sistem dapat diketahui. Tulisan ini membahas model dalam studi hidrologi berbasis pendekatan pembentukan model dan beberapa model hidrologi yang sudah diterapkan di Indonesia (Harsoyo, 2010). Kekurangan dan kelebihan beberapa model hidrologi yang sudah diterapkan tersebut ditinjau dari sudut pandang ilmu Statistika. Menjadi tantangan bagi para statistisi untuk mencari model dengan data terbatas, tetapi menghasilkan model yang dapat diterapkan, akurat dan sesuai dengan hasil pengukuran dilapangan. Selain itu dari keseluruhan model yang dikaji, belum ada yang mempertimbangkan perubahan iklim (*climate change*).

Kata kunci: *model Hidrologi, data stokastik, data deterministik, statistika*

PENDAHULUAN

Keberadaan dan kondisi eksosistem Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan salah satu isu nasional dalam beberapa tahun terakhir, karena salah satu variabel terjadinya banjir dan longsor adalah kondisi DAS yang kritis, salah satu penyebabnya adalah penyimpangan tata guna lahan. Kondisi ini menyebabkan berkurangnya daerah resapan sebagai penyangga terhadap beban banjir yang terlalu besar akibat curah hujan yang tinggi. Tulisan ini membahas pemodelan sistem hidrologi yang sudah diterapkan di Indonesia, dari sudut pandang ilmu statistika, mereview tulisan Harsoyo (2010). Dimulai dengan peninjauan definisi dan klasifikasi model hidrologi dan dilanjutkan dengan ulasan beberapa model hidrologi DAS untuk skala bersama dengan beberapa contoh aplikasi yang telah dilakukan di Indonesia.

Permodelan adalah rencana, representasi atau deskripsi yang menjelaskan suatu obyek, sistem atau konsep yang sering kali berupa penyederhanaan atau idealisasi. Bentuknya dapat berupa model fisik (maket, *prototype*), model citra (gambar, komputerisasi, grafis dan lain-lainnya) atau rumus matematis. Pemodelan dirancang sebagai suatu penggambaran operasi dari suatu sistem nyata secara ideal dengan tujuan untuk menjelaskan atau menunjukkan hubungan-hubungan penting yang terkait (Definisi, Karakteristik dan Prinsip-Prinsip Permodelan Sistem, 2010). Prinsip-prinsip dasar pengembangan model ada tiga yaitu elaborasi, analogi dan dinamis. Elaborasi adalah pengembangan model dimulai dari yang sederhana sampai didapatkan model yang representatif. Analogi adalah pengembangan menggunakan prinsip-prinsip dan teori yang sudah dikenal luas sedangkan Dinamis adalah pengembangan model dimana ada kemungkinan untuk dapat diulang. Taksonomi model atau klasifikasi model terdiri atas delapan yaitu :

1. berdasarkan fungsinya, model dibedakan menjadi 3 jenis yaitu: (a) model deskriptif, adalah model yang hanya menggambarkan situasi sebuah sistem tanpa rekomendasi dan peramalan. Contohnya adalah peta organisasi; (b) model prediktif, adalah model yang menunjukkan apa yang akan terjadi bila sesuatu terjadi; (c) model normatif, adalah model yang menyediakan

jawaban terbaik terhadap satu persoalan. Model ini memberikan rekomendasi tindakan-tindakan yang perlu diambil. Contohnya adalah model *budget* advertensi, model *economic lot size*, model marketing *mix*.

2. berdasarkan strukturnya model dibedakan menjadi 3 jenis yaitu: (a) model ikonik, yaitu model yang menirukan sistem aslinya, tapi dalam suatu skala tertentu. Contohnya adalah model pesawat; (b) model analog, yaitu suatu model yang menirukan sistem aslinya dengan hanya mengambil beberapa karakteristik utama dan menggambarkannya dengan benda atau sistem lain secara analog. Contohnya adalah aliran lalu lintas di jalan dianalogkan dengan aliran air dalam sistem pipa; (c) model simbolis, yaitu suatu model yang menggambarkan sistem yang ditinjau dengan simbol-simbol biasanya dengan simbol-simbol matematik. Dalam hal ini sistem diwakili oleh variabel-variabel dari karakteristik sistem yang ditinjau.

3. berdasarkan referensi waktu terdapat 2 jenis model yaitu: (a) model statis, yaitu model yang tidak memasukkan faktor waktu dalam perumusannya; (b) model dinamis, yaitu mempunyai unsur waktu dalam perumusannya.

4. berdasarkan referensi kepastian dibedakan menjadi 4 jenis model yaitu: (a) model deterministik, dalam model ini pada setiap kumpulan nilai *input*, hanya ada satu *output* yang unik, yang merupakan solusi dari model dalam keadaan pasti. Contohnya adalah model persediaan; (b) model probabilistik, yaitu model yang menyangkut distribusi probabilistik dari *input* atau proses dan menghasilkan suatu deretan harga bagi, paling tidak satu variabel yang disertai dengan kemungkinan-kemungkinan dari harga-harga tersebut. Contohnya adalah diagram pohon keputusan, peta pengendalian; (c) model konflik, dalam model ini sifat alamiah pengambil keputusan berada dalam pengendalian lawan. Contohnya adalah perang; (d) Model Tak Pasti/ *Uncertainly*, yaitu model yang dikembangkan untuk menghadapi ketidakpastian mutlak. Pemilihan jawaban berdasarkan pertimbangan, utilitas, dan resiko melalui probabilitas subjektif.

5. berdasarkan tingkat generalitas ada 2 jenis model yaitu (a) Model umum, yaitu model yang dapat diterapkan pada berbagai bidang untuk beberapa jenis masalah yang berbeda. Contohnya adalah program linier, PERT, model antrian, kasus personalia dan pemasaran serta distribusi barang. (b) Model khusus, yaitu model yang dapat diterapkan terhadap sebuah bidang atau yang unik saja dan hanya digunakan pada masalah-masalah tertentu. Contohnya adalah model persediaan probabilistik.

6. berdasarkan acuan lingkungan ada 2 jenis model yaitu: (a) model terbuka, yaitu model yang memiliki interaksi dengan lingkungannya berupa pertukaran informasi, material atau energi yang mempunyai satu variabel eksogen yaitu variabel yang berasal dari lingkungan eksternal. Contohnya adalah Model Sosial; (b) model tertutup, yaitu model yang tidak memiliki interaksi dengan lingkungannya, memiliki variabel yang seluruhnya *endogen*, yang terkendali dan internal. Contohnya adalah Model *Thermostat*.

7. berdasarkan derajat kuantifikasi dibedakan:

a. model kualitatif, yaitu model yang menggambarkan mutu suatu realita. Model ini terdiri atas 2 jenis model yaitu: (1) model mental: model yang menggambarkan titik awal dari abstraksi, dalam memahami masalah dan situasi. Contohnya adalah proses berpikir manusia tentang sesuatu; (2) model verbal, yaitu model yang disajikan dalam bahasa sehari-hari dan tidak dalam bahasa logika atau simbolis atau matematis. Analisis bersandar pada pertimbangan yang masuk akal dan bernalar. Contohnya adalah model konseptual.

b. model kuantitatif, yaitu model yang variabelnya dapat dikuantitatifkan, model kuantitatif terbagi menjadi 4 yaitu: (1) model statistik, yaitu model yang mendeskripsikan dan menyimpulkan data; (2) model optimasi, yaitu model yang digunakan untuk menentukan jawaban terbaik, terdiri atas optimasi analitik dan logaritmik; (3) model Heuristik, yaitu model yang digunakan untuk mencari jawaban yang baik tapi bukan optimum, merupakan pendekatan praktis; (4) model simulasi, yaitu model yang digunakan untuk mencari jawaban yang baik dan menguntungkan.

8. berdasarkan dimensinya, ada 2 jenis model yaitu (a) Dua dimensi, contoh: photo dan peta; (b) Tiga dimensi, contoh: *prototype* jembatan dan maket rumah.

Sistem adalah suatu kesatuan yang terdiri atas komponen atau elemen yang dihubungkan bersama untuk memudahkan aliran informasi, materi atau energi untuk mencapai suatu tujuan. Permodelan sistem adalah suatu bentuk penyederhanaan dari beberapa elemen dan komponen yang sangat kompleks untuk memudahkan pemahaman pembaca dari seluruh informasi yang dibutuhkan. Karakteristik permodelan sistem yaitu:

1. dibuat dalam bentuk grafis dan tambahan narasi berupa penjelasan ringkas,
2. dapat diamati dengan pola *top down* dan *partitioned* (sebagian- sebagian),
3. memenuhi persyaratan minimal *redundancy*,
4. dapat merepresentasikan tingkah laku sistem dengan cara yang transparan.

Berdasarkan karakteristik permodelan tersebut, model dapat dibuat dalam bentuk grafis atau bergambar dan dilengkapi dengan keterangan, sehingga dapat memudahkan pembaca. Alur dari proses model tersebut dapat dilihat dan diamati, memenuhi syarat minimal *redundancy* dan dapat merepresentasikan proses dari suatu sistem yang mudah dipahami. Prinsip permodelan adalah:

1. memilih model apa yang akan digunakan, bagaimana masalah dan solusinya,
2. setiap model dapat dinyatakan dalam tingkatan yang berbeda,
3. model terbaik adalah model yang berhubungan atau menyatakan realitas,
4. tidak ada model tunggal yang cukup baik, sehingga setiap sistem yang baik memiliki serangkaian model kecil yang independen. Prinsip permodelan sistem tidak terlalu menitik beratkan pada bentuk-bentuk model tertentu yang akan merancang sebuah sistem. Bentuk model ini bebas, dapat menggunakan apa saja sesuai keinginan kita, contohnya berupa gambar, *prototype* dan narasi, gabungan kedua atau ketiganya. Model yang baik harus dapat merepresentasikan visualisasi bentuk sistem yang diinginkan, karena sistem akhir yang akan dibuat harus dapat diturunkan berdasarkan hasil model tersebut.

Daerah aliran sungai (DAS) adalah daerah kesatuan tata air yang terbentuk secara alamiah di sekitar sungai. DAS dibatasi bentuk topografi yang curah hujannya jatuh di sebelah dalam dengan cara meresap, atau mengalir ke dalam satu sistem pengaliran melalui lahan, anak sungai, sungai induk, dan ke muaranya (laut, danau, atau waduk). Menurut para pakar, terdapat beberapa istilah yang digunakan dalam menyebutkan DAS diantaranya *watershed* dalam artian fisik dan diartikan sebagai sistem air; *catchment* area dalam artian sebagai daerah tangkapan hujan; *drainage basin* dalam artian sebagai ledok pengatusan; dan *river basin* dalam artian sebagai regime sungai (Kemen Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2017). Pengelolaan suatu DAS diperlukan pemahaman menyeluruh mengenai karakteristik variabel-variabel yang dipertimbangkan pada DAS tersebut. Hal ini relatif sulit dilakukan karena setiap variabel memiliki keragaman secara spasial dan temporal. Sifat variabel tersebut berbeda setiap DAS

dalam tinjauan interdependensi dan interaksi masing-masing. Pemahaman mengenai karakteristik variabel-variabel tersebut diperlukan model untuk pendekatan pengelolaan DAS yang optimal. Suatu siklus hidrologi pada daerah tertentu dapat dinyatakan dalam sistem permodelan untuk menggambarkan dan menghitung pengelolaan DAS yang optimal tersebut.

Model hidrologi pada dasarnya dibuat untuk menyederhanakan sistem hidrologi, sehingga perilaku sebagian variabel di dalam sistem dapat diketahui. Variabel yang diperlukan sebagai data lebih sederhana, mudah diukur dan cepat diperoleh hasilnya. Model semacam ini diharapkan dapat digunakan untuk memecahkan masalah pada suatu DAS yang kurang lengkap atau tidak tersedia datanya, seperti halnya kebanyakan DAS di Indonesia. Adapun tantangan penelitian hidrologi DAS di Indonesia saat ini adalah kebutuhan data dasar terkait dengan identifikasi dan karakterisasi DAS serta kalibrasi variabel-variabel berbagai model yang ada (apakah sudah sesuai dengan kondisi DAS di Indonesia). Menurut Dasanto (2000), model sistem hidrologi berbasis pendekatan pembentukan model, dapat dikelompokkan menjadi lima, yaitu :

1. model stokastik adalah suatu model matematik yang dapat menerima sebarang peubah, yaitu sebagai peubah acak (*random variable*) yang mempunyai sebaran acak. Model ini umumnya digunakan untuk menganalisis sifat fisik statistik *output* dari suatu sistem yang berdasar urutan kejadian karena perubahan waktu dan menghasilkan satu set data jangka panjang dengan sifat yang sama. Set data tersebut dapat dipergunakan untuk memperoleh kemungkinan urutan kejadian di masa datang, misalnya frekuensi harapan dari debit air.
2. model probabilitas, dalam model ini frekuensi dan probabilitas dipandang penting seperti dalam model stokastik, tetapi tidak memperhitungkan urutan kejadian. Misalnya suatu kejadian diperlakukan sebagai *time independent* dan dapat dipergunakan untuk memperkirakan kejadian yang paling ekstrim berdasarkan karakteristik populasi data yang tersedia.
3. model konseptual berbasis keadaan sebenarnya dari sistem dengan kondisi yang lebih sederhana, misalnya penyederhanaan proses di dalam DAS dan modelnya antara lain : (a) pendekatan model rasional, (b) pendekatan linear dan *non linear* dari suatu *reservoir*, (c) kombinasi model rasional dan pendekatan *reservoir*.
4. model parametrik dipergunakan untuk mendapatkan hubungan matematis yang menyatakan fungsi dari DAS kedalam input dan *output (black box models)*. Selanjutnya model tersebut akan menjadi lebih rumit apabila terdapat variabel-variabel DAS penting yang muncul kemudian karena respon yang berbeda dari DAS lain, untuk *input* yang sama. Model ini memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai bagaimana sistem bekerja.
5. model deterministik adalah suatu model matematik yang hanya dapat menerima peubah yang bebas dari variasi acak (*random variation*). Model ini berbasis struktur sistem yang sebenarnya dan kaidah fisika yang mengatur perilaku sistem tersebut. Berdasarkan variabel dan parameter *input* atau *output* maka model dapat dikelompokkan dalam dua bentuk, yaitu *lumped* (tidak mempunyai variabilitas ruang) dan terdistribusi (*distributed*) yang mempunyai variabilitas ruang dan waktu. Contoh variabel *lumped* adalah data hujan rata-rata DAS. Pengertian parameter adalah suatu besaran yang menandai suatu sistem hidrologi yang memiliki nilai tetap, tidak tergantung pada waktu. Variabel adalah besaran yang menandai suatu sistem yang dapat diukur dan memiliki nilai berbeda pada waktu berbeda

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tulisan ini membahas tentang model hidologi pada DAS di sebagian daerah Indonesia dengan sudut pandang tinjauan ilmu statistika. Model-model hidologi yang dibahas (Harsoyo, 2010) disajikan dalam tabel *state of the art* sebagai berikut:

Tabel 1. *State of the Art* Model Hidrologi dan tinjauan berdasarkan permodelan sistem

No	Nama Model	Pokok Bahasan	Diterapkan hasilnya	Kelebihan	Kekurangan	Pengelompokan berbasis Permodelan Sistem
1.	AGNPS (<i>Agricultural Non-Point Source</i>)	Penduga erosi skala DAS f (hujan limpasan, dugaan dari hasil sediment, hara). Luas dlm satuan sel tiap titik dalam DAS= f (laju aliran permukaan + parameter hidrologi)	Sinukaban <i>et al.</i> (2000), daerah perbukitan, hasil prediksi model tidak berbeda secara statistik dengan hasil pengukuran. Nugroho <i>et al.</i> (2002), model berhasil baik untuk mengidentifikasi kerusakan lingkungan/lahan kritis dan dapat dipergunakan untuk mencari solusi sesuai karakteristik DAS (di sub DAS Dumpul).	Model sesuai pengukuran di lapangan. Sehingga model dapat dipergunakan untuk skala luasan yang lebih besar	keseluruhan luas apakah sudah memperhitungkan galat (<i>error</i>) perhitungan	Model stokastik
2.	ANSWERS (<i>Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation</i>)	membagi DAS dalam luas elemen yang homogen Tiap titik (<i>point</i>) pada DAS; laju aliran air = f (intensitas hujan, infiltrasi, kondisi topografi dan jenis tanah). laju aliran air = f (erosi, sedimen dan gerakan partikel-partikel zat kimia)	Salim <i>et al.</i> (2006), model simulasi kontinu runoff dan erosi rata-rata tahunan jangka panjang (<i>long term average annual</i>) DAS.	Tikno (1996) di Sub DAS Cibarengkok-Cimuntur, Jawa Barat, dan Hidayat (2001) di DTA Bodong Jaya dan DAS Way Besay Hulu, model dapat menduga volume aliran permukaan dan erosi dengan baik, pada jumlah dan intensitas hujan yang relatif tinggi, tapi mengalami deviasi yang cukup besar pada curah hujan rendah.	Ginting dan Ilyas (1997), simulasi penggunaan lahan di DAS Siluak, memerlukan validasi lebih lanjut . Tikno (1996) dan Hidayat (2001): model kurang baik bila digunakan untuk menduga debit puncak, waktu debit puncak dan <i>time base</i> aliran permukaan.	model deterministik
3.	HEC-HMS (<i>Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System</i>)	Program komputer, pengalihragaman hujan dan proses <i>routing</i> (volume <i>runoff</i> , <i>direct runoff</i> , <i>baseflow</i> dan <i>channel flow</i>) pada suatu sistem DAS besar.	Dasanto (2006), data hidrograf dgn <i>software</i> lain untuk masalah hidrologi, (ketersediaan air, drainase kota dan peramalan aliran) Widodo (2006), sistem drainase di kota pesisir di Medokan, Surabaya merancang <i>flood design</i> dan penelusuran banjir dilakukan dengan program HEC - RAS, dan beban hidrologi menggunakan model HEC			Data <i>Time series</i> , model hidrologi deterministik dengan parameter terdistribusi

No	Nama Model	Pokok Bahasan	Diterapkan hasilnya	Kelebihan	Kekurangan	Pengelompokan berbasis Permodelan Sistem
4.	TOPOG	<p>Analisis topografi (<i>terrain analysis</i>) digunakan untuk: diskripsi bentuk wilayah yang berkaitan dengan topografi menduga penyebaran tempat-tempat yang mungkin terjadi genangan air, erosi dan longsor; simulasi kelakuan hidrologi suatu daerah tangkapan, yang dipengaruhi oleh perubahan penggunaan lahan merancang model pertumbuhan vegetasi dan bagaimana pengaruhnya terhadap keseimbangan air prediksi pengaruh penambahan pada tempat-tempat tertentu terhadap aliran air bawah tanah. TOPOG mendiskripsikan air bergerak dalam tiga dimensi suatu wilayah; melalui permukaan ke dalam tanah, dan melalui tanah dan kembali ke atmosfer sebagai evaporasi.</p>	<p>Model TOPOG sangat relevan untuk pengelolaan:</p> <ol style="list-style-type: none"> genangan air dan salinitas lahan kering produksi air dari suatu DAS erosi dan sedimentasi peramalan banjir pembuangan limbah cair rumah tangga, pertanian dan industri pada lahan penghutan kembali dan penanaman hutan penilaian kemungkinan longsor penilaian habitat ekologi 	<p>Kekuatan utama TOPOG adalah pada prosesnya yang didasarkan pada model digital <i>terrain analysis</i> yang rumit secara tepat/teliti mendiskripsikan hal-hal yang berkaitan dengan topografi dari suatu bentuk wilayah dengan tiga dimensi.</p> <p>TOPOG= simulasi perubahan kelembaban tanah dan kecepatan pergerakan air dalam tanah akibat perubahan pengelolaan lahan.</p> <p>TOPOG = diskripsik proses-proses dalam <i>landscape</i> yang berkaitan dengan air seperti erosi, salinitasi, dan gerakan <i>pollutant</i> dalam tanah.</p>	Belum ada kajian	Model hidrologi deterministik dengan parameter terdistribusi
5.	USLE (<i>Universal Soil Loss Equation</i>)	<p>Model empiris penduga erosi, Erosi = f (curah hujan, tanah, topografi, pengelolaan lahan).</p> <p>Formulasi model</p> $A = R K L S C P$	<ol style="list-style-type: none"> Tahun 1970, model penduga erosi lembar (<i>sheet erosion</i>) dan erosi alur (<i>rill erosion</i>) dalam rangka mengaplikasikan kebijakan Menduga erosi dari lahan-lahan pertanian, tetapi kemudian digunakan pada daerah-daerah pengembalaan, hutan, 	Kegunaannya meluas	<p>Ketepatan model dalam memprediksi erosi DAS masih diragukan. Karena hanya dapat memprediksi rata-rata kehilangan tanah dari erosi lembar dan erosi</p>	Model parametrik (<i>input, output</i>) data <i>time series</i>

No	Nama Model	Pokok Bahasan	Diterapkan hasilnya	Kelebihan	Kekurangan	Pengelompokan berbasis Permodelan Sistem
		<p>A : jumlah tanah yang tererosi (ton/ha/tahun)</p> <p>R : faktor erosivitas hujan</p> <p>K : faktor erodibilitas tanah</p> <p>L : faktor panjang lereng</p> <p>S : faktor kemiringan lereng</p> <p>C : faktor penutupan & pengelolaan tanaman</p> <p>P : faktor tindakan konservasi tanah</p>	<p>pemukiman, tempat rekreasi, erosi tebing jalan tol, daerah pertambangan dan lain-lain.</p>		<p>alur, tidak mampu memprediksi pengendapan sedimen dan tidak menghitung hasil sedimen dari erosi parit,tebing sungai dan dasar sungai.</p> <p>Faktor C sering berasal dari data hasil interpretasi citra satelit/foto udara, seharusnya menggambarkan kondisi penanaman selama satu tahun, (tidak hanya kondisi sesaat seperti hasil interpretasi citra satelit/foto udara).</p> <p>Faktor LS ditentukan berdasarkan peta topografi, sehingga bias dan kurang akurat (karena faktor skala peta). Seharusnya LS ditentukan berdasarkan hasil pengukuran langsung di lapangan</p>	
6.	ANFIS (<i>Adaptive Neuro Fuzzy Inference System</i>) atau Metode Jaringan Syaraf Tiruan	Metode penggabungan dari kemampuan jaringan <i>neural (neural network)</i> dan logika samar (<i>fuzzy</i>) sebagai <i>universal</i>	BPPT dan ITB (2002) = prediksi kejadian banjir di DKI Jakarta (Ciliwung, Sunter dan Pesanggrahan), variabel: tinggi muka air (TMA) sungai dan	ANFIS + model dinamis = memperkuat hasil keluaran prediksi banjir berupa	Belum ada kajian	Digunakan untuk memproses data deret waktu dengan struktur pengolahan data yang paralel.

No	Nama Model	Pokok Bahasan	Diterapkan dihasilnya	Kelebihan	Kekurangan	Pengelompokan berbasis Permodelan Sistem
		<p><i>approximator</i> (kemampuan mendekati suatu fungsi, sehingga dapat melakukan interpolasi dan ekstrapolasi). Model yg digunakan untuk memproses data deret waktu dengan struktur pengolahan data yang paralel.</p>	curah hujan.	simulasi jumlah aliran permukaan dan lama genangan yang akan terjadi		

KESIMPULAN

Berdasarkan paparan tersebut dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. tantangan statistisi (*statistician*) untuk mencari model dengan data terbatas, tetapi menghasilkan model yang dapat diterapkan, akurat dan sesuai dengan hasil pengukuran di lapangan.
2. dari keseluruhan model yang dikaji, semuanya termasuk dalam kategori Model kuantitatif, belum ada yang mempertimbangkan perubahan iklim (*climate change*), misalnya banjir bandang, topan/badai, cuaca ekstrem dan sebagainya. Sehingga perlu dikembangkan sebuah model berbasis ketidakpastian (Model Tak Pasti/*Uncertainly*), yaitu model yang dikembangkan untuk menghadapi ketidakpastian mutlak.
3. model hidrologi yang terdekat dengan permodelan adalah model TOPOG yang mendiskripsikan air bergerak dalam tiga dimensi suatu wilayah; melalui permukaan ke dalam tanah, dan melalui tanah dan kembali ke atmosfer sebagai evaporasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2010). Definisi, Karakteristik dan Prinsip-Prinsip Permodelan Sistem (Juni 21). Retrieved From <http://info-pemodelan-sistem.blogspot.co.id/2010/06/definisi-karakteristik-dan-prinsip.html>
- Deviana, A., Kridasantausa, I., & Suryadi, Y. (2012) *Kajian Permodelan Spasial Banjir untuk mendukung Kebijakan Sempadan Sungai dan Tata Ruang Wilayah (Studi Kasus Wilayah Pengembangan Bale Endah)*, diakses dari <https://ftsl.itb.ac.id/wpcontent/uploads/sites/8/2012/07/95010011-Aninda-Deviana.pdf>.
- Harsoyo, B. (2010), *Review Modeling Hidrologi DAS di Indonesia*, Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca, 11, no. 1. diakses dari <http://ejurnal.bppt.go.id/index.php/JSTMC/article/view/2179>.
- Keputusan Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah, Nomor : 360/KPTS/M/2004, (2004), Pedoman Konstruksi dan Bangunan, Peramalan debit aliran sungai, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. Definisi Model dan Klasifikasi model (2012, October 31). Diakses dari <https://alena02.wordpress.com/2012/10/31/definisi-model-dan-klasifikasi-model>
- Rizda. (2017) *Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Pengelolaan DAS Terpadu Perlu Didasarkan pada Pengelolaan Tata Ruang DAS*, 2017, February 10. Diakses dari <https://www.forda-mof.org/index.php/berita/post/3410>.
- Salim., H.T., Kusuma., M.S.B., & Nazili. (2016) *Pemodelan Hubungan Hujan, Limpasan dan Kapasitas Erosi pada Suatu DAS yang Masuk ke Palung Sungai*, PROC. ITB Sains & Tek. Vol. 38 A, No. 1, 2006, 51-72, diakses dari <file:///C:/Users/user/Downloads/A05006.pdf>.
- Sanusi, W., & Side, S. (2016). *Buku Ajar Statistika untuk Permodelan Data Curah Hujan*, Cet. 1, Badan Penerbit UNM.

- Triwidiastuti, S. E. (2016). *Model Degradasi Kualitas Lingkungan Hidup Di Perkotaan Pada Waktu Tertentu*, Buku Seminar Nasional bab 09, Universitas Terbuka.
- Wei, H. P., Li, H. C., Yeh, K. C., Liou, J. J., Chen, Y. M., & Lin, H. J. (2016), *Using Structural Measures to Reduce Flood Losses in a Future Extreme Weather Event*, *Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences* 27(5):757 , diakses dari https://www.researchgate.net/publication/311499533_Using_Structural_Measures_to_Reduce_Flood_Losses_in_a_Future_Extreme_Weather_Event.