

UJI KEANDALAN PENGURAIAN DATA HUJAN PENGURAIAN (DISAGREGASI) UNTUK PEMODELAN HIDROGRAF BANJIR DI DAS KELAPA SAWIT

Entin Hidayah

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember
e-mail : Entin_hidayah@yahoo.com

Abstrak: Studi ini menguraikan tentang model penguraian (disaggregation) lama hujan berlangsung pendek dengan pemodelan hujan limpasan. Hidrograf banjir menunjukkan tanggapan yang cepat terhadap lama hujan berlangsung pendek menuju puncak. Proses penguraian hujan spasial (keruangan) menggunakan model multivariate daily rainfall (MuDRain) pada 4 stasiun pengukur hujan manual dan 3 stasiun pengukur hujan otomatis, dan untuk referensi hidrograf terbaik yang dihasilkan digunakan HEC-HMS. Kalibrasi parameter pada kasus 1 dilakukan dengan model limpasan hujan menggunakan data dari 7 stasiun pengukur hujan (manual dan otomatis). Validasi model (kasus 2) menggunakan data hujan dari 3 stasiun pengukur hujan otomatis. Efisiensi indeks dari kasus 1 dan kasus 2 adalah 0,97 dan 0,74. Berdasarkan pada hasil perhitungan awal, dapat di sarankan bahwa penguraian hujan dapat memberikan hasil yang baik bagi fungsi hidrologi

Kata kunci: hujan, limpasan, penguraian, MuDRain

Abstract: This study explores accuracy of short term rainfall disaggregation model by modeling rainfall runoff. Storm hydrographs show rapid responses to rainfall with a short time to peak. The spatial rainfall disaggregation process used multivariate daily rainfall (MuDRain) model on 4 manual rainfall rain gauges (MRR) and 3 automatic rainfall rain gauges (ARR) used as reference the hydrographs were satisfactorily modeled using the Hydrologic Engineering Centre–Hydrologic Modeling System (HEC-HMS). Parameter calibrations were done on case 1 that rainfall runoff modeling used the rainfall data from 7 rain gauges (MRR and ARR). Model validation (case 2) used the rainfall data from 3 rain gauges (ARR). The efficiency indexes of (case 1) and (case 2) are 0.97 and 0.74, respectively. Based on these preliminary findings, it could be suggested that rainfall disaggregation would be able to serve reasonably well in regulating basic hydrological functions.

Key words: rainfall, runoff, disaggregation, MuDRain

Banjir di Indonesia terjadi hampir rutin setiap tahun. Kejadian ini menggambarkan bahwa debit maksimum atau banjir puncak yang terjadi hanya beberapa saat, ternyata mampu menimbulkan kondisi sangat kritis. Dampak dari kejadian ini antara lain: jebolnya tanggul, dan bangunan air lainnya, penggenangan air di wilayah permukiman, pertanian dan lain lain. Berdasarkan kejadian ini, bagi orang teknik sipil yang perlu dipikirkan adalah memprediksi debit banjir dengan akurat untuk mendisain bangunan air dan manajemen sumberdaya air guna mengantisipasi banjir.

Dalam menghitung banjir rancangan selain dengan analisis frekuensi dapat digunakan pendekatan metode hidrograf satuan sintetis dan/atau simulasi hujan aliran dengan menggunakan model hidrologi terdistribusi (lump spasial) dengan input data hujan jam-jaman. Pendekatan pertama dilakukan apabila tidak cukup tersedia data untuk melakukan analisis

dan hitungan penetapan hidrograf satuan terukur yang mewakili respon DAS akibat hujan. Kondisi ini sangat umum dijumpai di Indonesia, karena ketersediaan data hujan jam-jaman (hujan resolusi tinggi) sulit didapatkan. Penggunaan hidrograf satuan sintetis ini mempunyai kelemahan dalam memilih metode atau rumus yang sesuai dengan kondisi DAS. Sebagai contoh hasil aplikasi model hidrograf satuan sintetis Nakayasu yang dilakukan Herlina (2011) pada DAS Klapa Sawit memiliki error sebesar 0,793.

Pendekatan kedua adalah dengan menggunakan model hidrologi distribusi (lump spatial) dengan data hujan resolusi tinggi kontinyu, dimana saat ini sedang populer dan berkembang. Pendekatan ini mempunyai keuntungan, dimana perhitungan debit banjir rancangan dan input data hujan yang dihasilkan sesuai dengan kondisi pengamatan lapangan. Penerapan cara ini di Indonesia memerlukan ketersediaan data hujan re-

solusi tinggi setidaknya jam-jaman yang diperoleh dari hasil pengukuran pada stasiun alat ukur hujan otomatis (ARR). Namun demikian ketersediaan ARR sangat terbatas. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk menyediakan data hujan jam-jaman pada lokasi lain yang tidak memiliki ARR adalah dengan penguraian data hujan harian pada lokasi yang memiliki ARR dan MRR menjadi data hujan jam-jaman pada stasiun lain yang tidak memiliki data hujan jam-jaman. Penguraian seperti ini dinamakan penguraian spasial.

Penguraian data hujan harian ke jam-jaman adalah suatu cara untuk membangkitkan data jam-jaman sintetik yang berasal dari data hujan harian hasil observasi lapangan dengan pendekatan stokastik. Penguraian spasial dapat dilakukan dengan cara mengestimasi parameter model berdasarkan data hujan harian antar stasiun MRR, selanjutnya parameter model tersebut dapat digunakan untuk membangkitkan data hujan sintesis jam-jaman untuk lokasi stasiun hujan tersebut dengan menggunakan acuan data hujan jam-jaman yang telah tersedia. Berbagai model penguraian data hujan spasial multi, telah dikembangkan seperti MuDRain, general linear model (GLM) [Chandler dan Wheeler, 1998], dan sebagainya. MuDRain merupakan salah satu model disagregasi spasial dengan parameter sederhana yang diciptakan oleh Koutsoyianiss dan Onof (2001). Parameter model ini diperoleh dari hasil korelasi silang pada data hujan harian yang akan dibangkitkan pada waktu yang sama.

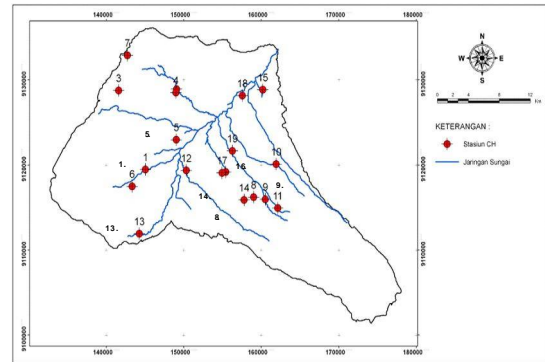
BAHAN DAN METODE

Studi Kasus

Penelitian model disagregasi hujan ini dilakukan di DAS Klapa Sawit bagian dari Sungai Sampean. Sungai Sampean ini merupakan sungai lintas Kabupaten yang terletak di Kabupaten Bondowoso pada bagian hulunya dan Kabupaten Situbondo pada bagian hilirnya. Secara geografis, DAS ini terletak antara $7^{\circ}70' - 8^{\circ}00'$ Lintang Selatan dan antara $113^{\circ}60' - 114^{\circ}12'$ Bujur Timur. Kondisi topografi DAS berupa dataran tinggi dengan elevasi antara 150–1.250 meter dari permukaan air laut. Kondisi kemiringan lahannya, dari seluruh luas lahan, 61,72 persen mempunyai ketinggian 150-500 meter di atas permukaan laut, 22,17 persen mempunyai ketinggian 500-1000 di atas permukaan laut dan 10,11% berada pada ketinggian lebih dari 1000 meter di atas permukaan laut.

DAS Klapa Sawit secara keseluruhan memiliki wilayah seluas 666,636 km². Pada DAS ini, terdapat sebanyak: 17 unit alat ukur hujan manual (MRR) yang tersebar pada seluruh DAS, 3 unit alat ukur

hujan otomatis (ARR) pada bagian hulu yaitu di stasiun Sentral, Maesan dan Pakisan, dan 2 unit alat pengukur ketinggian muka air atau AWLR. Lokasi AWLR dari hulu ke hilir adalah di Klapa Sawit seperti Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Stasiun hujan pada DAS Kelapa Sawit

Mendisagregasi data hujan harian ke jam-jaman

MuDRain adalah suatu metodologi untuk menguraikan data hujan pada ruang atau tempat dengan lama hujan tertentu (*spatial-temporal*). Konsep MuDRain adalah mengkombinasikan model hujan *univariat* dan *multivariat* yang dioperasikan untuk skala waktu berbeda dalam kerangka disagregasi yang keluarannya dimodifikasi sehingga model skala waktu yang lebih rendah konsisten dengan skala waktu yang lebih besar secara series (Koutsoyiannis, 2003). MuDRain ini merupakan program yang dikeluarkan oleh *National Technology University of Athens*.

Model ini mencakup dua model yang memberikan keluaran berupa data hujan series jam-jaman. Model pertama adalah model hujan jam-jaman multivariat yang disederhanakan yang dapat mempertahankan sifat statistik selama proses pemodelan hujan multivariat, secara bersamaan, menggabungkan informasi yang tersedia di satu lokasi, tanpa mengacu pada data hujan harian yang ada pada lokasi lain. Statistik yang dipertimbangkan di sini adalah varians dan koefisien kemencengan, *lag*-satu koefisien autokorelasi dan *lag*-nol koefisien korelasi silang. Semua ini mewakili momen statistik dari proses multivariat. Proporsi interval kering, meskipun dianggap sebagai salah satu parameter harus dipertahankan, sulit untuk memasukkan secara eksplisit. Namun, dapat diselesaikan dengan cara tidak langsung. Model kedua adalah model transformasi yang mengubah series data hujan yang dihasilkan oleh model pertama, sehingga total dalam satu hari adalah sama dengan yang data harian observasi. Ini menggunakan transformasi (multivariat), yang tidak mempengaruhi sifat stokastik dari hujan series (Fytillas, 2002).

Asumsi yang diberikan untuk mengestimasi koefisien korelasi silang adalah:

- menyediakan data hujan series jam-jaman pada stasiun hujan Sentral, Maesan dan Pakisan hasil alat ukur hujan otomatis (ARR)
- menyediakan data hujan series harian pada stasiun tetangga Sukokerto, Maskuning wetan, Ancar dan Kejayan hasil alat ukur hujan manual (MRR).

Berdasarkan data skala harian pada semua stasiun diestimasi koefisien korelasi silang untuk semua data pengukuran pada stasiun Sentral, Maesan dan Pakisan, Sukokerto, Maskuning wetan, Ancar dan Kejayan. Persamaan empiris yang digunakan adalah (Fytilas, 2002):

$$r_y^h = r_y^{d \cdot m} \tag{1}$$

dimana:

adalah koefisien korelasi silang antara alat pengukuran hujan i dan j pada skala waktu jam-jaman.

adalah koefisien korelasi silang antara alat pengukuran hujan i dan j pada skala waktu harian.

m adalah merupakan faktor ekponensial yang dapat diestimasi dengan menggunakan regresi yang diketahui terlebih dahulu koefisien korelasi silang pada skala waktu jam-jaman dan harian atau, jika tidak ada data hujan jam-jaman yang tersedai, nilainya dapat diasumsikan dengan pendekatan pada rentang 2 sampai 3. (Fytilas, 2002)

Rumus korelasi silang hujan antar stasiun adalah seperti persamaan 2 berikut.

$$\text{Korelasi (X, Y)} = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \tag{2}$$

dengan:

- x = data hujan harian pada stasiun hujan A
- y = data hujan harian pada stasiun hujan B

Selanjutnya data yang dimasukkan meliputi 3 file berupa koefisien korelasi silang, data hujan harian dan data hujan jam-jaman. Periode waktu untuk data hujan jam-jaman dan harian harus sama. Berdasarkan hasil pengolahan model maka didapatkan hasil luaran model berupa data hujan jam-jaman pada sta-

siun hujan harian yang tidak memiliki data hujan harian. Pengecekan model disagregasi ini dilakukan dengan mencocokkan jumlah data hujan jam-jaman bangunan terhadap data harian observasi.

Hasil disagregasi data hujan jam-jaman pada masing-masing stasiun hujan dihitung digunakan untuk menghitung curah hujan rata-rata wilayah menggunakan metode rerata aljabar.

Aplikasi Model hujan aliran

Salah satu model transformasi hujan menjadi aliran adalah model HEC-HMS. Model ini merupakan model hidrologi numerik yang dikembangkan oleh Hydrologic Engineering Centre (HEC) dari US Army Corps Of Engineers. Program HEC-HMS merupakan program komputer untuk menghitung transformasi hujan dan proses penelusuran pada suatu sistem DAS. Model ini dapat digunakan untuk menghitung volume limpasan, limpasan langsung, aliran dasar dan aliran saluran. Dalam software HEC-HMS terdapat fasilitas kalibrasi maupun simulasi model distribusi, model menerus dan kemampuan membaca data GIS.

Pendekatan sistem DAS yang digunakan dalam model HEC-HMS dapat didiskripsikan bahwa hujan merupakan input yang diproses berdasarkan properties dari system DAS menghasilkan suatu output berupa debit.

Sesuai dengan fasilitas yang tersedia dalam HEC-HMS dan pertimbangan parameter-parameter yang dibutuhkan dan faktor ketersediaan data, maka model-model hidrologi yang dipilih dalam analisis adalah sebagai berikut ini.

Meteorologic model HEC-HMS adalah komponen utama yang digunakan untuk mendefinisikan kondisi batas meteorologi untuk subbasins. Ini termasuk metode presipitasi, dan evapotranspirasi untuk digunakan dalam simulasi. Metode rerata hujan wilayah juga digunakan dalam model simulasi.

Data hujan dan data debit yang digunakan adalah hasil pencatatan selama 10 kejadian hujan untuk periode bulan Desember dan Januari tahun 2005, 2006 dan 2007. Aplikasi model penguraian (disagregasi) hujan spasial ini akan dicobakan terhadap satu pemodel hujan aliran HEC-HMS pada DAS Klapa Sawit.

Kalibrasi Parameter Model

Setiap metode dalam HEC-HMS memiliki parameter dan nilai-nilai dari parameter ini harus dimasukkan sebagai masukan model untuk memperoleh hidrograf limpasan simulasi. Beberapa parameter dapat diestimasi dengan pengamatan dan pengukuran karakteristik aliran dan cekungan, tetapi beberapa

dari parameter tersebut tidak dapat diperkirakan. Ketika parameter yang diperlukan tidak dapat diperkirakan secara akurat, disinilah parameter model yang dapat dikalibrasi, yang didasarkan pada data hujan dan limpasan parameter optimum ditemukan sebagai hasil dari proses pencarian sistematis yang memberikan hasil paling sesuai antara limpasan pengamatan dan limpasan hasil simulasi.

Kalibrasi model hujan-aliran ini dilakukan terhadap data debit hasil dari tanggapan data hujan hasil disagregasi pada 7 stasiun hujan terhadap debit observasi. Selanjutnya parameter hasil yang duhasilkan digunakan untuk aplikasi data hujan untuk 3 stasiun ARR. Kinerja output model diukur berdasarkan besarnya tingkat kesalahan menggunakan indek efisiensi, EI (Nash and Sutcliffe, 1970), EI mendeteksi kesalahan sistem dan kesesuaian antara debit simulasi terhadap debit observasi. Bentuk persamaan yang digunakan adalah:

$$EI = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - Q_{si})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q}_a)^2} \quad (3)$$

dimana, Q_{oi} debit obeservasi pada waktu ke i , Q_{si} simulasi aliran pada waktu ke i , \bar{Q}_a adalah rata-rata debit observasi dan n adalah jumlah data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Disagregasi Hujan Menggunakan MuDRain

Dari tabel 1 nilai korelasi silang antar stasiun hujan harian ini bervariasi dengan kisaran mulai dari 0,3 sampai dengan 0,7. Berdasarkan tinggi elevasi hujan memiliki korelasi terhadap koefisien korelasi silangnya. Jika elevasinya hampir sama maka koefisien korelasinya bagus tetapi jika posisi elevasi berbeda maka koefisien korelasinya buruk.

Hasil penguraian data hujan ke skala jam-jaman jika dijumlahkan dalam satu hari maka ada konsistensi nilai terhadap data hujan harian sehingga disagregasi spasial ini dikatakan sukses. Perbandingan data hujan rata-rata wilayah antara 7 stasiun dengan 3 stasiun pengamatan terdapat perbedaan tinggi pada jam ke 3, dimana rata-rata wilayah pada 7 stasiun lebih tinggi jika dibandingkan pada 3 stasiun seperti Gambar 2.

Pemodelan hujan aliran

Gambar 2 menunjukkan perbandingan hidrograp banjir observasi dan simulasi dari hasil kalibrasi dan validasi menggunakan pemodelan HEC HMS untuk 7 stasiun hujan dan 3 stasiun pengamatan. Hasilnya menjalankan HEC HMS dengan pengaturan model untuk *loss method* menggunakan SCS bilangan kurva larian (*curve number*), transform method menggu-

Tabel.1. Koefisien korelasi silang data hujan harian untuk 7 stasiun hujan.

SENTRAL	PAKISAN	MAESAN	SUKOKERTO	MASKUNINGWETAN	NCAR	EJAYAN
+260	+475	+350	+545	+410	+435	+496
1	2	3	4	5	6	7
1.000	0.538	0.646	0.527	0.490	0.571	0.421
0.538	1.000	0.407	0.696	0.743	0.729	0.728
0.646	0.407	1.000	0.506	0.490	0.348	0.340
0.527	0.696	0.506	1.000	0.547	0.401	0.706
0.490	0.743	0.490	0.547	1.000	0.591	0.382
0.571	0.729	0.348	0.401	0.591	1.000	0.627
0.421	0.728	0.340	0.706	0.382	0.627	1.000

nakan SCS Unit hidrograf, dan aliran dasar menggunakan data bulanan yang teratur. Parameter model yang digunakan meliputi bilangan kurva larian (*curve number*), lapisan kedap air (*impervious*), dan waktu dimana ordinat inflow yang tertinggal (*lag time*) seperti pada tabel 2.

Tabel. 2. Uji parameter model untuk DAS Klopo Sawit

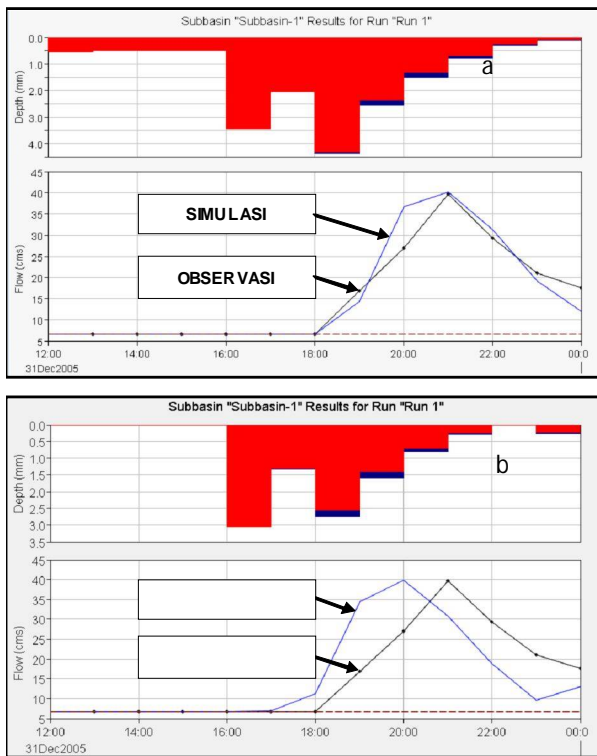
Parameter	Unit	
Aliran Dasar	m ³ /det	6.667-7.89
Lapisan kedap air (<i>impervious</i>)	%	0
Bilangan kurva larian (<i>curve number</i>)		75.508
initial abstraction		
Waktu dimana ordinat inflow yang tertinggal (<i>lag time</i>)	mm min	2,7-9.7 2.25-100

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa kinerja model terdapat sedikit ketidaksamaan pola antara debit observasi dan debit simulasi berdasarkan hujan hasil penguraian atau disagregasi. Dimana debit hasil simulasi berdasarkan hujan disagregasi sedikit lebih tinggi (jika dibandingkan debit banjir observasi). Kelebihan ini terjadi pada jam ke 19.00 sampai dengan jam ke 21.00. Puncak banjir hasil simulasi model sama jika dibandingkan debit observasi seperti pada Gambar 2.

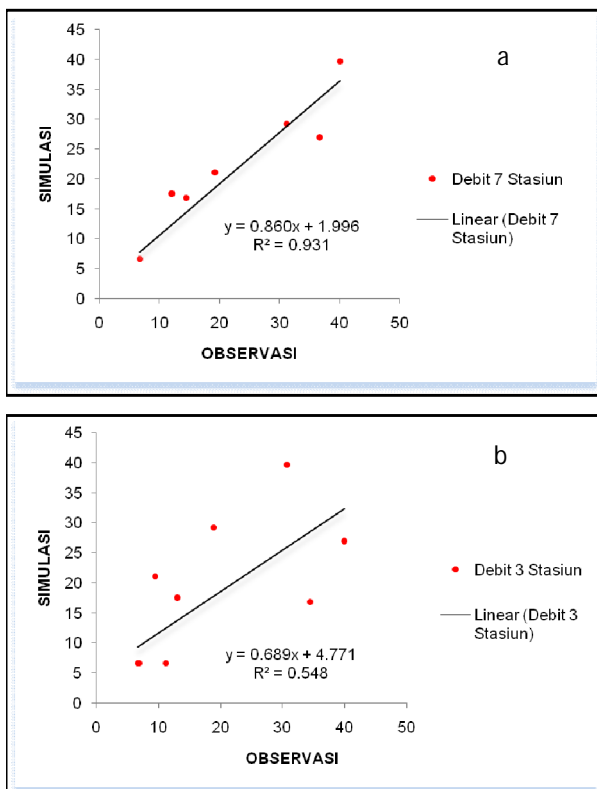
Sedangkan hasil pemodelan dengan data hujan pada 3 stasiun pengamatan menunjukkan bahwa bentuk hidrografnya hampir sama dengan hidrograf 7 stasiun hasil hujan penguraian. Hanya terjadi perbedaan waktu awal dan akhir banjirnya, awal banjir terjadi 2 jam lebih cepat jika dibandingkan observasi. Kelebihan ini terjadi pada jam ke 17 sampai dengan jam ke 21.00 selanjutnya terjadi dibawah taksiran.

Respon hidrograf banjir yang dihasilkan dari input data hujan disagregasi menunjukkan bahwa pola hidrografnya sedikit tidak sama dan didapat nilai

kesalahan EI untuk 7 stasiun dan 3 stasiun secara berurutan sebesar 0.965 dan 0.74 dengan nilai R² sebesar 0,9345 dan 0,6056 seperti terlihat pada gambar 3.



Gambar 2. Hidrograf antara simulasi dan observasi untuk dan stasiun dan 3 stasiun hujan



Gambar 3 Perbandingan nilai R² antara (a) 7 stasiun hujan terhadap (b) 3 stasiun hujan

KESIMPULAN

Studi ini memberikan beberapa hasil yang menarik pada pola tanggapan hujan aliran hasil bangkitan hidrograf banjir dengan disagregasi pada 7 stasiun lebih bagus dibandingkan tanggapan pengamatan pada 3 stasiun pengamatan data hujan jam-jaman. Hidrograf banjir pada DAS Klapa Sawit menunjukkan tanggapan selama 6 jam untuk menajapai puncak banjir. Hidrograf banjir ini cukup sukses dimodelkan dengan menggunakan HEC-HMS. Kalibrasi model memberikan hasil yang bagus dengan index efisiensi untuk kalibrasi dan validasi secara berturutan 0,97 dan 0,74. Oleh karena itu menggunakan MuDRain untuk mendisagregasi data hujan untuk mengatasi ketidakpastian debit atau memprediksi debit dari data hujan hasil disagregasi direkomendasikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Atas terselesaikannya tulisan ini kami ucapkan terima kasih kepada UPT Sampean Baru Bondowoso yang telah mensupport data hujan dan data debit di DAS Sampean.

DAFTAR PUSTAKA

Chandler, R., dan WheaterH. *Climate change detection using Generalized Linear Models for rainfall, A case study from the West of Ireland, I, Preliminary analysis and modelling of rainfall occurrence*, Technical report, no. 194, Department of Statistical Science, University College London, 1998 (<http://www.ucl.ac.uk/Stats/res>)

Fytilas, P. 2002. *Multivariate rainfall disaggregation at a fine time scale*, diploma thesis submitted at the University of Rome “La Sapienza”

Koutsoyiannis, D., dan Onof C. 2001. *Rainfall disaggregation using adjusting procedures on a Poisson cluster model*, Journal of Hydrology, 246, 109-122.

Koutsoyiannis, D. 2003. *Rainfall Disaggregation Methods: Theory And Applications*, Workshop on Statistical and Mathematical Methods for Hydrological Analysis, Roma.

Nash, J.E., dan Sutcliffe, J.V. 1970. *River flow forecasting through conceptual models*, part 1: A discussion on principle. J. Hydrol., 10, 282–290.

Ningsih, H.F. 2011. *Analisis Perbandingan Keandalan Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu Dengan Hidrograf Satuan Sintetik Limantara Pada Sub Das Klopo Sawit Kabupaten Bondowoso*, Laporan Tugas Akhir Jurusan teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

US Army Corps of Engineering. 2001. *Hydrology Modeling System HEC-HMS, User Manual, Version 2.1*.