

PROSIDING  
SEMINAR NASIONAL TEKNIK PERTANIAN  
& PAMERAN ALSINTAN  
2015



TEMA:

“Dukungan Mekanisasi Pertanian  
dalam Kedaulatan Pangan”

Palembang 24 - 26 November 2015

dialenggarakan oleh :  
Jurusan Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian Uneri &  
Perhimpunan Teknik Pertanian



NO. ISBN : 979-587-589-2



---

## STUDI PENDAHULUAN TENTANG ANALISIS KEKERINGAN HIDROLOGI DI JAWA TIMUR: APLIKASI METODE AMBANG BERTINGKAT

Indarto<sup>1\*</sup>, Sri Wahyuningsih, Muhardjo Pudjojono, Hamid Ahmad, Ahmad Yusron, Kholid B.W, Afif Amiluddin, Ahmad Faruq

<sup>1</sup>Lab. Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan, Jurusan Teknik Pertanian - Fakultas Teknologi Pertanian - Universitas Jember. Jl. Kalimantan no. 37 Kampus Tegalboto – Jember 68121 \*Penulis Korespondensi, Email: indarto.ftp@unej.ac.id

### ABSTRAK

Penelitian bertujuan untuk mengidentifikasi potensi kekeringan hidrologi di wilayah Provinsi Jawa Timur. Pada penelitian ini, kekeringan hidrologi ditunjukkan dengan adanya deficit air pada sungai utama DAS. Data debit dari sejumlah DAS yang ada di Jawa Timur digunakan sebagai masukan utama untuk analisis. Analisis potensi deficit air dilakukan menggunakan Metode ambang bertingkat (MAB) atau *Threshold Level Method (TLM)* yang ada pada aplikasi Hydrooffice. Defisit air ditentukan jika nilai debit selama satu minggu kurang dari ambang debit. Nilai ambang debit menggunakan nilai debit pada percentile ke 90 (Q90) dan ditentukan konstan sepanjang tahun. Nilai Q90 merupakan nilai percentile ke 90, dari rekaman data debit yang diurutkan dari terbesar ke terkecil. Hasil analisis selanjutnya diolah dengan EXCEL. Selanjutnya, perangkat lunak GIS (QGIS dan ARCGIS) digunakan untuk menampilkan sebaran spasial hasil analisis. Hasil penelitian berupa peta sebaran spasial nilai statistik debit (rerata, maksimal, Q90), nilai rerata tahunan frekuensi dan lama kejadian deficit air (*kekeringan hidrologi*) pada DAS – DAS yang ada di Jawa Timur.

**Kata Kunci:** MAB, kekeringan hidrologi, percentile 90, debit, Jawa Timur

### ABSTRACT

Aims the study to identify the potential of hydrological drought of East Java province. In this study, hydrological drought indicated by the deficit of water in the main river watershed. Discharge data from a number of watershed in East Java was used as the main input for analysis. Analysis of potential water deficit was performed using multilevel threshold method (MAB) or *Threshold Level Method (TLM)* which was in Hydrooffice application. Water deficit was determined if the value of discharge for one week less than the threshold discharge. Discharge threshold value using a discharge value at the 90th percentile (Q90) and determined constant throughout the year. Q90 value was the value of the 90<sup>th</sup> percentile, from the recording discharge data was sorted from largest to smallest. Subsequent analysis results processed by EXCEL. Furthermore, GIS software (QGIS and ARCGIS) was used to display the spatial distribution analysis results. Results of the research was a map of the spatial distribution discharge statistical values (mean, maximum, Q90), the annual average value of the frequency and duration of occurrence of water deficit (hydrological drought) on DAS - DAS in East Java.

**Keywords:** MAB, hydrological drought, maps, percentile 90 (Q90), debit, East Java



---

## PENDAHULUAN

Di hampir seluruh penjuru dunia, sumberdaya alam dan lingkungannya telah berada pada kondisi yang sangat mencemaskan, yang tidak terbayangkan sebelumnya. Aktivitas manusia telah merubah karakteristik siklus hidrologi dan ekologi yang alami. Suplai air tidak mencukupi untuk semua penduduk dunia. Ber-milyar orang masih dalam status kekurangan air. Resiko banjir meningkat, terjadi penurunan bio-diversivitas sebagai konsekuensi perusakan ekosistem perairan sungai. Dampak aktivitas manusia pada permukaan tanah tidak saja terasa pada tingkat lokal, tetapi juga merambah melalui interaksi permukaan tanah – atmosfer, menyebabkan gangguan iklim, mengakibatkan perubahan besar dan frekuensi banjir dan kekeringan sampai merambah wilayah yang terisolir sekalipun (Sivapalan et al., 2003). Paradigma yang dikembangkan oleh para ahli kebencanaan telah beralih dari “bagaimana menanggulangi bencana” kepada “bagaimana upaya kita secara proaktif dapat mengurangi resiko terhadap bencana”. Kegiatan pengurangan dan manajemen resiko bencana membutuhkan data, sistem pelayanan dan sistem informasi yang memadai berbasis pada penerapan pengetahuan dan teknologi untuk membantu proses pengambilan keputusan (Golnaraghi et al., 2013).

### Definisi Kekeringan

Kekeringan merupakan salah satu masalah serius yang sering muncul ketika musim kemarau tiba. Banyak tempat di Indonesia mengalami masalah kekurangan air atau deficit air atau kekeringan. Terlebih lagi pada tahun 2015 ini, dimana diprediksi bahwa fenomena El-Nino menguat dan masih berlanjut sampai dengan 2016.

Dari perspektif kebencanaan kekeringan didefinisikan sebagai kekurangan curah hujan dalam periode waktu tertentu (umum-nya dalam satu musim atau lebih) yang menyebabkan kekurangan air untuk berbagai kebutuhan (UN-ISDR, 2009).

Kekurangan air tersebut berpengaruh terhadap besarnya aliran permukaan pada suatu DAS. Pada umumnya bencana kekeringan tidak dapat diketahui mulainya, namun dapat dikatakan bahwa kekeringan terjadi saat air yang ada sudah tidak lagi mencukupi untuk kebutuhan sehari-hari. Kerusakan lahan dan dampak kerugian yang diakibatkan oleh kejadian kekeringan sangat luas dan nilai ekonomi kerugian cukup besar.

Selanjutnya, secara umum kejadian kekeringan dapat ditinjau dari aspek: hidro- meteorologi,

---



pertanian, dan hidrologi (Wilhite, 2010). Dari aspek hidro-meteorologi kekeringan timbul dan disebabkan oleh berkurangnya curah hujan selama periode tertentu. Dari aspek pertanian dinyatakan kekeringan jika lengas tanah berkurang sehingga tanaman kekurangan air. Lengas tanah (*soil moisture*) merupakan parameter yang menentukan potensi produksi tanaman. Ketersediaan lengas tanah juga erat kaitannya dengan tingkat kesuburan tanah. Secara hidrologi kekeringan ditandai dengan berkurangnya air pada sungai, waduk dan danau (Nalbantis et al., 2008).

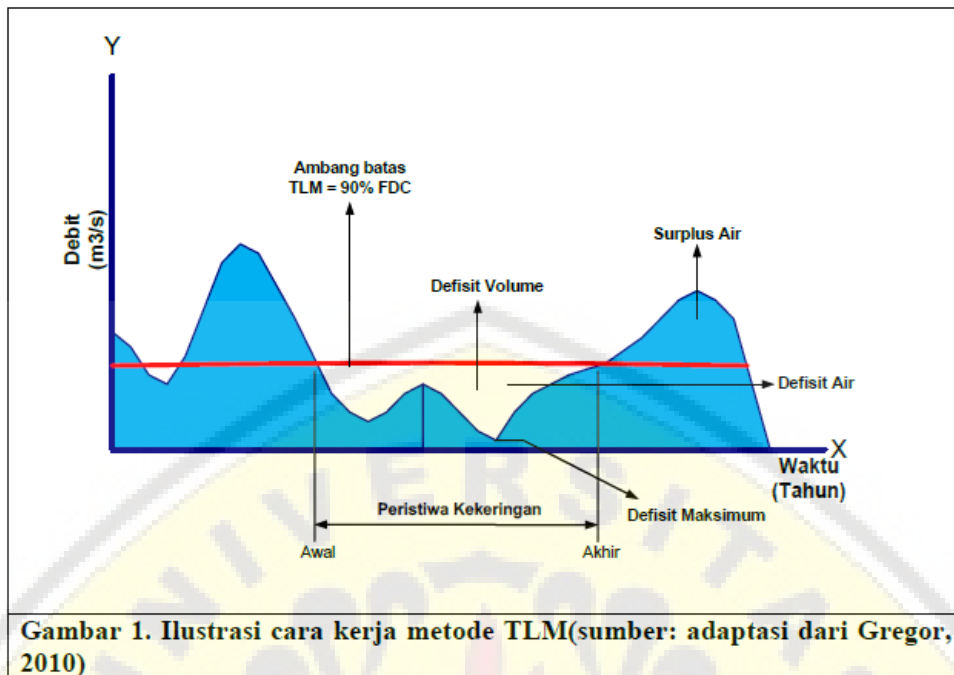
Berbagai macam indeks untuk menyatakan kekeringan telah diusulkan dan digunakan, misalnya: Percent of Normal (PN) (Willeke et al., 1994), Standardized Precipitation Index (SPI) (McKee et al., 1993), Palmer Drought Severity Index (PDSI) (Palmer, 1965), Palmer Hydrological Drought Index (PHDI) (Karl and Knight 1985), Crop Moisture Index (CMI) (Palmer, 1968), Surface Water Supply Index (SWSI) (Shafer and Dezman, 1982), Reclamation Drought Index (RDI), Deciles (Gibbs and Maher, 1967) and TLM (Tallaksen et al., 1997; Lanen et al., 2008).

Penelitian ini bertujuan menguji metode TLM sebagai dasar untuk menyatakan potensi kekeringan di Jawa Timur. Adapun tujuan khususnya adalah: (1) menentukan nilai ambang batas debit (Q90) untuk tiap DAS; (2) menentukan frekuensi dan lama kejadian kekeringan pada tiap DAS, dan (3) memetakan variabilitas spasial nilai ambang batas debit, frekuensi dan lama kejadian kekeringan DAS-DAS di Jawa Timur.

### **Metode Ambang Bertingkat (MAB)**

Metode ambang bertingkat (MAB) atau *Thershold Level Method (TLM)* (Tallaksen et al., 1997; Hisdal & Tallaksen, 2000; Thallaksen et al., 2004) menyatakan kekeringan hidrologi sebagai defisit atau berkurangnya air sungai sampai di bawah batas atau ambang tertentu. *TLM* menggunakan data debit rekaman dari suatu DAS sebagai masukan utama untuk analisis surplus atau defisit air. Debit yang berpotensi menghasilkan banjir atau kekeringan diidentifikasi secara statistik menggunakan metode ambang bertingkat. Gambar 1, menampilkan potongan hidrograf aliran sungai dan prinsip kerja metode *TLM*.



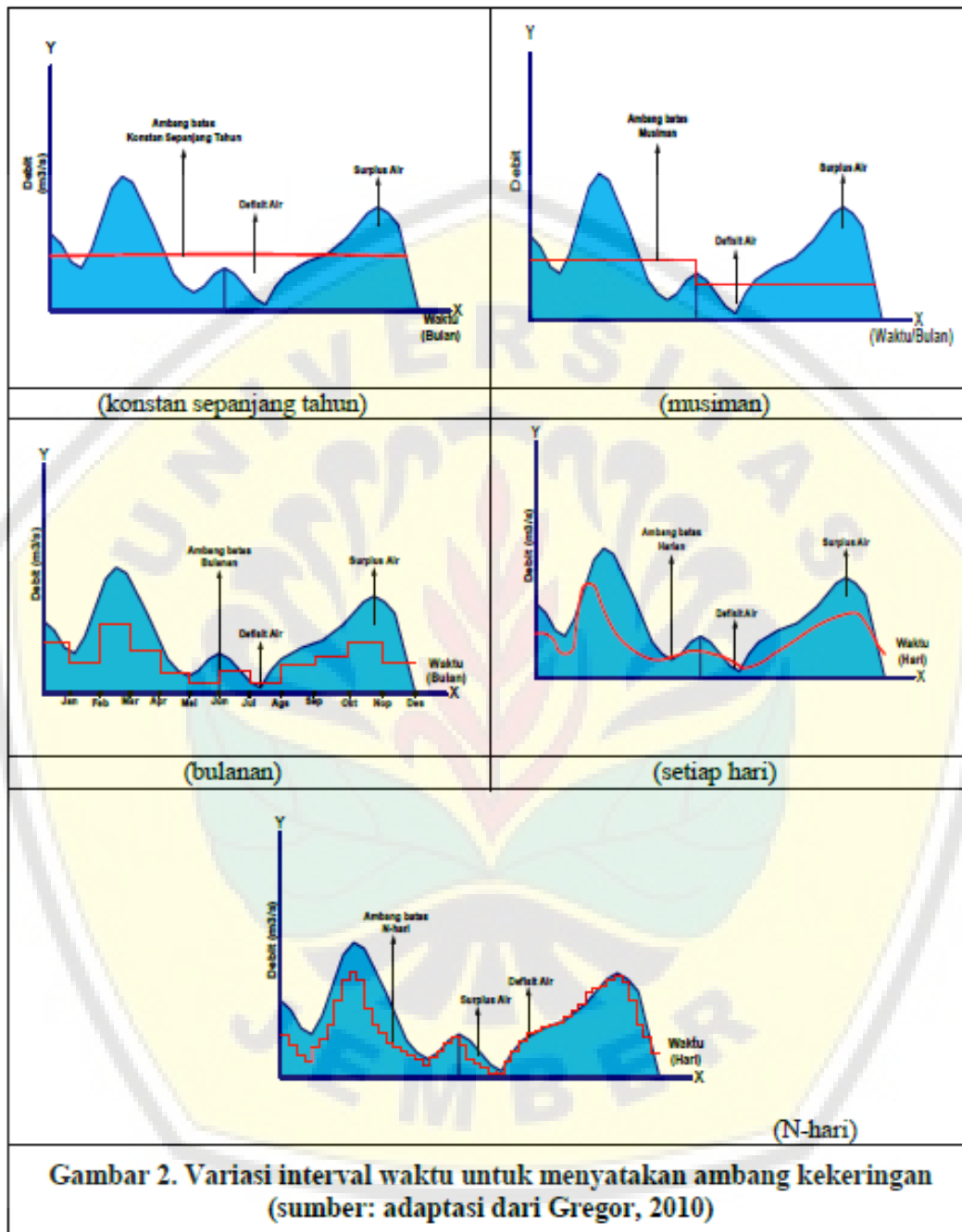


Garis merah pada gambar (1) menunjukkan debit ambang yang ditentukan. Selanjutnya, sepanjang periode rekaman, debit yang ada diidentifikasi secara statistik nilai debit yang berada di bawah ambang batas tersebut. Periode rekaman dimana debit berada di bawah ambang batas disebut sebagai deficit air yang berpotensi menghasilkan kekeringan. Debit harian yang berada di bawah ambang-batas, dinyatakan sebagai kondisi kekurangan debit (*deficit discharge*). Kekurangan debit dapat mengakibatkan kejadian kekeringan (*drought event*) saat periode kekurangan airnya berlangsung cukup lama.

Nilai ambang batas dapat diatur dalam waktu yang tetap sepanjang tahun (konstan), musiman (1-4 musim), bulanan, N-hari dan setiap hari (gambar 2). Pada kasus nilai ambang yang konstan, *Threshold* atau nilai ambang batas untuk menyatakan kekeringan dapat ditentukan menggunakan nilai persentil dari input data debit. Selanjutnya, Tallaksen et al., (2004) membedakan nilai ambang berdasarkan jenis sungai nya, yaitu :

1. Pada sungai abadi (*perennial*), dimana pada sungai tersebut selalu ada debit setiap harinya (berair sepanjang tahun). Nilai ambang ditentukan menggunakan persentil 70% (Q70) sd Persentil 95 % (Q95).
2. Pada sungai periodik (*intermittent*), dimana ada saat tertentu air di sungai tersebut kering atau sungai yang airnya mengalir tidak terus menerus sepanjang tahun. Umumnya, aliran air sungai = 0 ketika musim kemarau, maka dapat digunakan

persentil70 (Q70) digunakan sebagai penentu nilai ambang batas untuk mengetahui indeks kekeringannya.



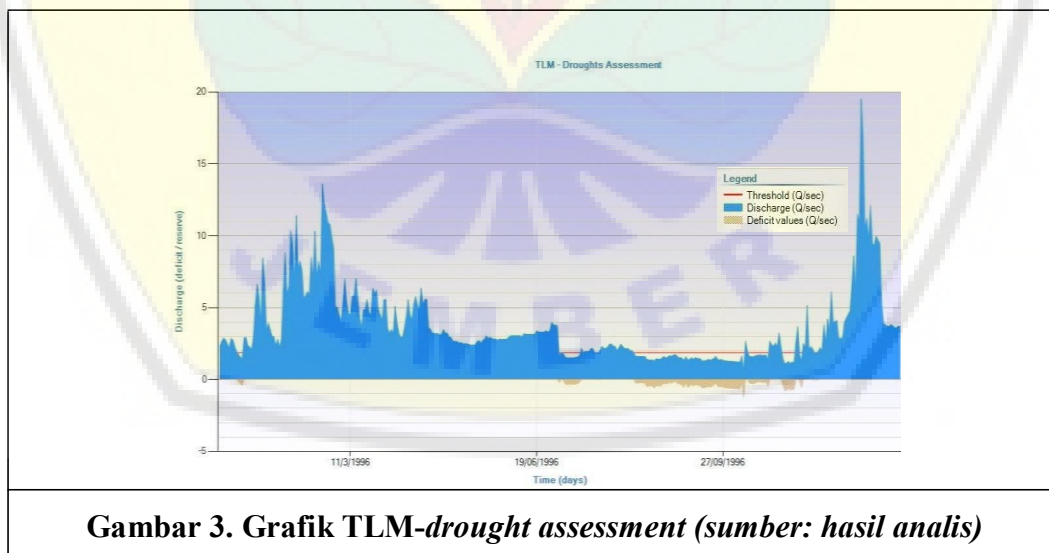
Metode TLM sangat penting digunakan untuk menentukan kondisi awal dan akhir musim kemarau. Metode TLM sangat efektif dalam operasi penyimpanan air pada suatu DAS. Penyimpanan air dimaksudkan sebagai upaya alokasi air yang sesuai dengan kebutuhan dan menghindari kejadian defisit air untuk periode waktu tertentu pada suatu DAS. Adanya ambang-batas debit, maka nilai debit harian pada suatu DAS dapat dikondisikan agar tidak

sampai berada di bawah nilai ambang-batas tersebut. Modul TLM sudah termuat dalam paket aplikasi HidrOffice (Gregor, 2010).

Aplikasi metode ini misalnya dijumpai dalam tulisan Hisdal & Tallaksen (2000) yang menggunakan *TLM* untuk mengkaji periode atau lamanya kekurangan air yang dapat dianggap sebagai kejadian kekeringan di wilayah Amerika Serikat dan Inggris. *TLM* juga pernah digunakan untuk analisis banyaknya kejadian kekeringan pada DAS Zagożdżonka di wilayah Warsawa Polandia (Kaznowska et al., 2011). Penelitian tersebut menggunakan sumber data debit harian sebagai input utama untuk analisis. Di Jawa Timur dan di wilayah Indonesia, umumnya data debit tersedia pada interval waktu harian. Hal ini memungkinkan analisis menggunakan *TLM* pada wilayah yang cukup luas, karena ketersediaan data debit.

Nilai defisit air pada *TLM* ditunjukkan pada grafik *TLM drought assessment* (gambar 3). Defisit air berarti kekurangan air yang terjadi pada waktu tertentu. Sehingga saat debit berada di bawah garis ambang batas, maka terjadi defisit air yang berakibat pada peristiwa kekeringan.

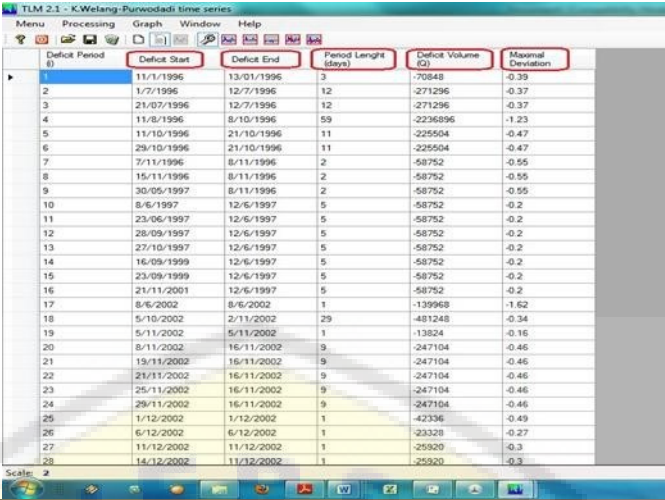
Penentuan awal dan akhir kejadian kekeringan serta defisit volume pada program *TLM* menggunakan menu *TLM – Drought statistic* (gambar 4). Waktu terjadinya kekeringan dan nilai defisit volume tergantung pada data debit yang diinputkan pada program *TLM*.



**Gambar 3. Grafik TLM-drought assessment (sumber: hasil analisis)**

Keterangan:

- = Debit
- = Defisit air
- = *Threshold* (ambang batas)



Deficit Period (t)	Deficit Start	Deficit End	Period Length (days)	Deficit Volume (Q)	Maximal Deviation
1	11/1/1996	13/01/1996	3	-70848	-0.39
2	1/7/1996	12/7/1996	12	-271296	-0.37
3	21/07/1996	12/7/1996	12	-271296	-0.37
4	11/8/1996	8/10/1996	59	-2236896	-1.23
5	11/10/1996	21/10/1996	11	-225504	-0.47
6	29/10/1996	21/10/1996	11	-225504	-0.47
7	7/11/1996	8/11/1996	2	-58752	-0.55
8	15/11/1996	8/11/1996	2	-58752	-0.55
9	30/05/1997	8/11/1996	2	-58752	-0.55
10	8/6/1997	12/6/1997	5	-58752	-0.2
11	23/06/1997	12/6/1997	5	-58752	-0.2
12	28/09/1997	12/6/1997	5	-58752	-0.2
13	27/10/1997	12/6/1997	5	-58752	-0.2
14	16/09/1999	12/6/1997	5	-58752	-0.2
15	23/09/1999	12/6/1997	5	-58752	-0.2
16	21/11/2001	12/6/1997	5	-58752	-0.2
17	8/6/2002	8/6/2002	1	-139968	-1.52
18	5/10/2002	2/11/2002	29	-481248	-0.34
19	5/11/2002	5/11/2002	1	-13824	-0.16
20	8/11/2002	16/11/2002	9	-247104	-0.46
21	19/11/2002	16/11/2002	9	-247104	-0.46
22	21/11/2002	16/11/2002	9	-247104	-0.46
23	25/11/2002	16/11/2002	9	-247104	-0.46
24	29/11/2002	16/11/2002	9	-247104	-0.46
25	1/12/2002	1/12/2002	1	-42336	-0.49
26	6/12/2002	6/12/2002	1	-23328	-0.27
27	11/12/2002	11/12/2002	1	-25920	-0.3
28	14/12/2002	11/12/2002	1	-25920	-0.3

Gambar 4. TLM-drought statistic(sumber: hasil analisis)

Berdasarkan gambar 4, maka *deficit start* dan *deficit end* berarti waktu terjadinya peristiwa kekeringan pada periode tertentu. *Periode length* menunjukkan lamanya waktu kejadian kekeringan. *Deficit volume* menunjukkan jumlah kekurangan debit yang terjadi pada peristiwa kekeringan yang dihitung per hari. Sedangkan *maximal deviation* menunjukkan nilai kekurangan debit yang terbesar selama peristiwa kekeringan.

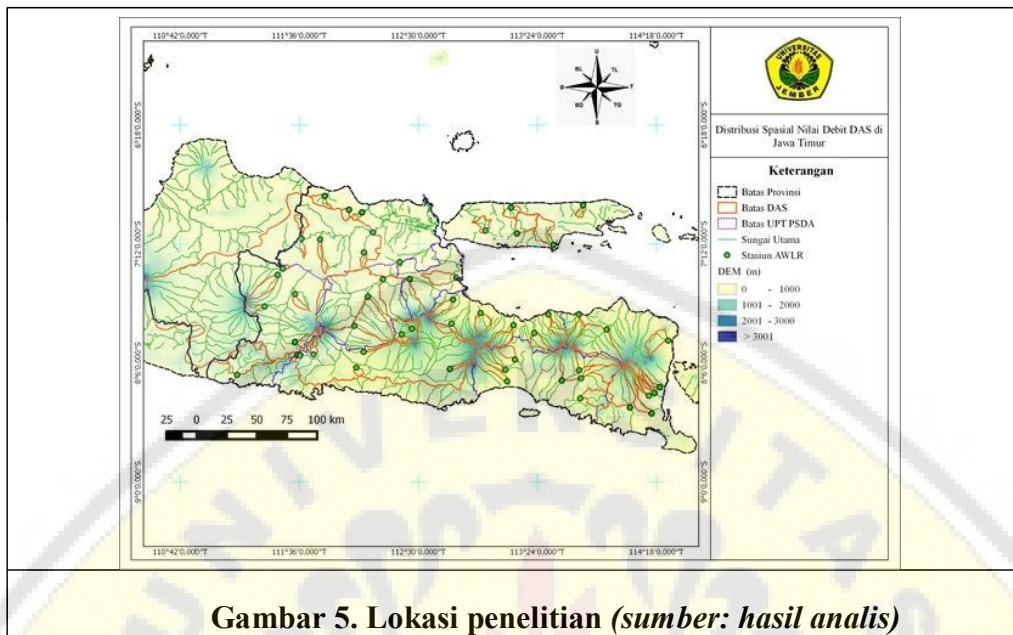
## BAHAN DAN METODE

### Lokasi & Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada DAS-DAS yang ada di seluruh wilayah Provinsi Jawa Timur (gambar 5). Proses pengolahan dan analisis data dilakukan dari tahun 2012 sampai dengan 2014. Semua data debit yang terekam oleh stasiun pengukur debit atau AWLR dari masing-masing DAS digunakan dalam penelitian ini. Data hujan untuk masing-masing DAS dihitung dari nilai rerata data hujan harian yang diperoleh dari sejumlah stasiun yang ada di dalam DAS. Panjang periode rekaman bervariasi antara satu lokasi dengan lokasi lain, dengan rentang sekitar 10 tahun. Keterbatasan data dan ketidakseragaman periode rekaman data diabaikan dalam penelitian ini dengan asumsi bahwa penelitian lebih menekankan pada aspek nilai rerata dalam hal interval waktu dan sebaran data dalam skala ruang, sehingga panjang periode rekaman yang berbeda tetap dapat digunakan.







Gambar 5. Lokasi penelitian (*sumber: hasil analisis*)

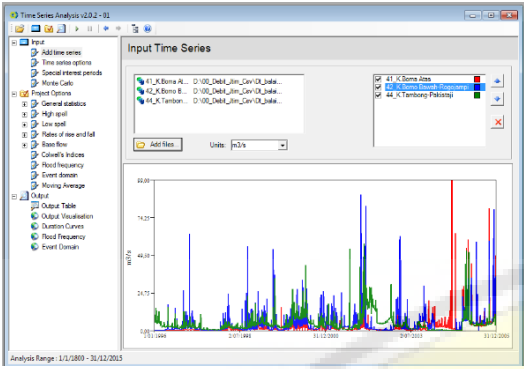
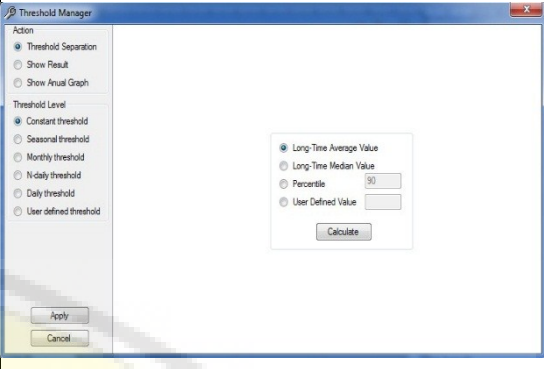
## Tahap Pelaksanaan

### Inventarisasi dan persiapan data

Data debit harian dan data hujan berasal dari Dinas PU Pengairan Provinsi Jawa Timur dan sumber lainnya. Data tersebut dikoleksi sejak tahun 2004 sd 2012. Selanjutnya, data diformat ke dalam Excel sebagaimana format data sumberdaya air yang berlaku di Dinas. Data dari Excel tersebut, selanjutnya diformat ke dalam file text dua kolom (x,y), dimana kolom\_x berisi tanggal (urut dari awal sampai dengan akhir periode rekaman) dan kolom\_y menyatakan nilai data harian tersebut. Selanjutnya, data dua kolom tersebut diformat ke dalam aplikasi River Analysis Package (RAP) ( Marsh et al., 2003) (gambar 6) dan HydroOffice (Gregor, 2010).

### Analisis Statistik

Analisis statistik umum mencakup nilai (rerata, maksimum, minimum, median, standar deviasi, Kuantil 10% ( $Q_{10}$ ) sd Kuantil 90( $Q_{90}$ ) dilakukan secara simultan menggunakan modul “Time Series Analyst” di atas platform RAP (Mars et al., 2003). Analisis ini menghasilkan tabel ringkasan nilai statistik umum data debit dan hujan DAS di Jawa Timur (Tabel 1).

	
<p>Gambar 6. Visualisasi dan analisis data di dalam RAP (sumber : Marsh et al., 2003)</p>	<p>Gambar 7. Visualisasi dan analisis data di dalam HydroOffice (sumber: Gregor, 2010)</p>

### Penentuan Ambang Batas Kekeringan

Nilai  $Q_{90}$  untuk masing-masing DAS, digunakan sebagai dasar untuk penentuan ambang batas kekeringan. Nilai debit pada ( $Q_{90}$ ) dicari dengan mengurutkan data debit harian sepanjang periode rekaman yang tersedia. Selanjutnya, debit harian tersebut dirangking secara statistik dari yang paling besar ke yang terkecil (Walpole, 1995). Ambang batas kekeringan atau nilai  $Q_{90}$ , dihitung menggunakan rumus (pers 1):

$$Q_{xi} = \frac{X_i}{100} (n + 1) \dots \dots \dots \text{(pers 1)}$$

Keterangan :

- $Q_{xi}$  = rangking data yang menunjukkan persentil ke- $x_i$
- $X_i$  = persentil yang akan dicari
- $N$  = jumlah data.

Jika  $Q_{xi}$  menghasilkan bilangan desimal maka dilakukan interpolasi menggunakan persentil terdekat (di atas dan di bawah nilai persentil yang dicari), menggunakan rumus sbb:

$$Q = (Q_{xi}') (P_2 - P_1) + P_1 \dots \dots \dots \text{(pers 2)}$$

Dengan:

- $Q$  = nilai debit (ambang batas)
- $Q_{xi}'$  = nilai desimal dari persentil ke- $x_i$
- $P_1$  = nilai 1 debit hasil pencarian persentil
- $P_2$  = nilai 2 debit hasil pencarian persentil.



Dalam studi ini, nilai ambang batas  $Q_{90}$  ditentukan konstan sepanjang periode analisis. Selanjutnya, frekuensi kejadian kekeringan sepanjang periode rekaman dihitung secara statistik menggunakan HydroOffice (Gambar 7).

Selanjutnya, TLM dapat digunakan untuk : analisis statistik data debit DAS, menentukan kondisi awal dan akhir musim kemarau, menentukan frekuensi dan lama kejadian kekeringan per interval waktu yang bervariasi (bulanan, tahunan) dan analisis terkait dengan frekuensi dan lama kejadian kekeringan.

### **Interpretasi dan Pembuatan peta tematik**

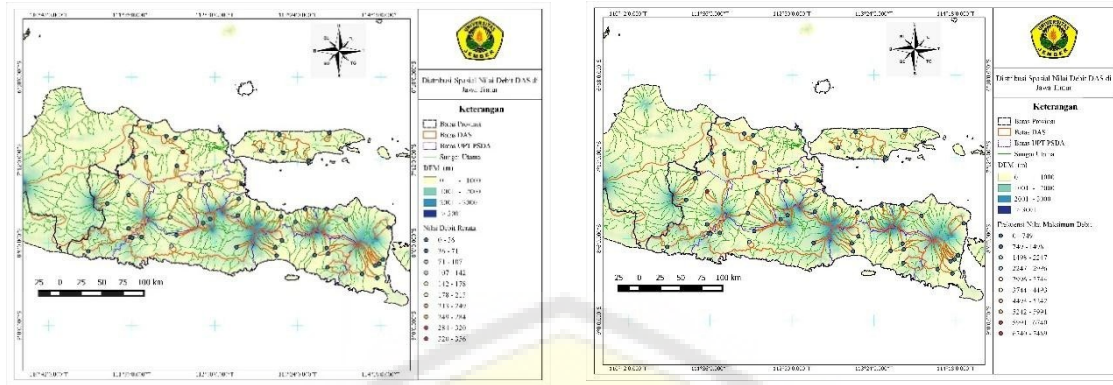
Proses interpretasi dilakukan dengan mengeksport hasil analisis dari HydroOffice ke dalam excel dan dipresentasikan dalam bentuk tabel dan grafik. Pembuatan peta tematik dilakukan di atas platform QGIS/ArcGIS. Hasil analisis dari Excel, RAP dan Hydrooffice dijadikan masukan bagi tabel atribut untuk layer- layer tematik yang menggambarkan distribusi spasial variabel hidrologi dan kejadian kekeringan pada DAS-DAS di Jawa Timur.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penelitian ini menghasilkan database hasil analisis Debit DAS di Jawa Timur, yang berisi antara lain: (1) nilai karakteristik fisik DAS, (2) nilai statistik debit, (3) nilai statistik hujan di dalam DAS, (4) hasil analisis terkait dengan kejadian banjir, (5) hasil analisis kekeringan hidrologi, dan (6) peta tematik terkait dengan variabilitas data hidro-meteorologi DAS di Jawa Timur.

Tabel (1) pada lampiran, meringkaskan nilai statistik tentang: (a) karakteristik fisik (luas, bentuk, panjang sungai utama), (b) debit (maksimum, minimum, rerata dan nilai  $Q_{90}$ ) dan (3) karakteristik hujan (rerata dan maksimal) pada sejumlah DAS. Analisis statistik dapat diperpanjang untuk berbagai parameter yang dapat menyatakan: karakteristik fisik, morfometrik dan hidrologi DAS. Peta pada Gambar (8) memperlihatkan distribusi spasial debit rerata dan maksimal pada DAS di Jawa Timur.



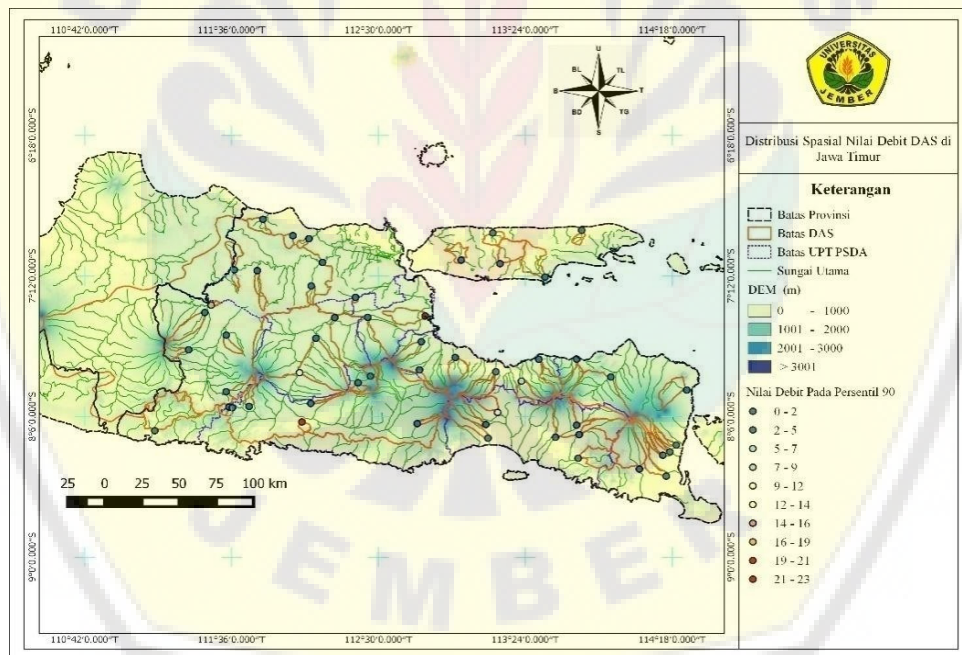


(a) Debit rerata

(b) Debit maksimum

**Gambar 8. Distribusi spasial nilai debit rerata dan maksimum DAS- DAS di Jawa Timur**

Selanjutnya, Gambar (9) memuat distribusi spasial nilai debit pada percentile 90 ( $Q_{90}$ ) yang digunakan sebagai ambang batas kekeringan.

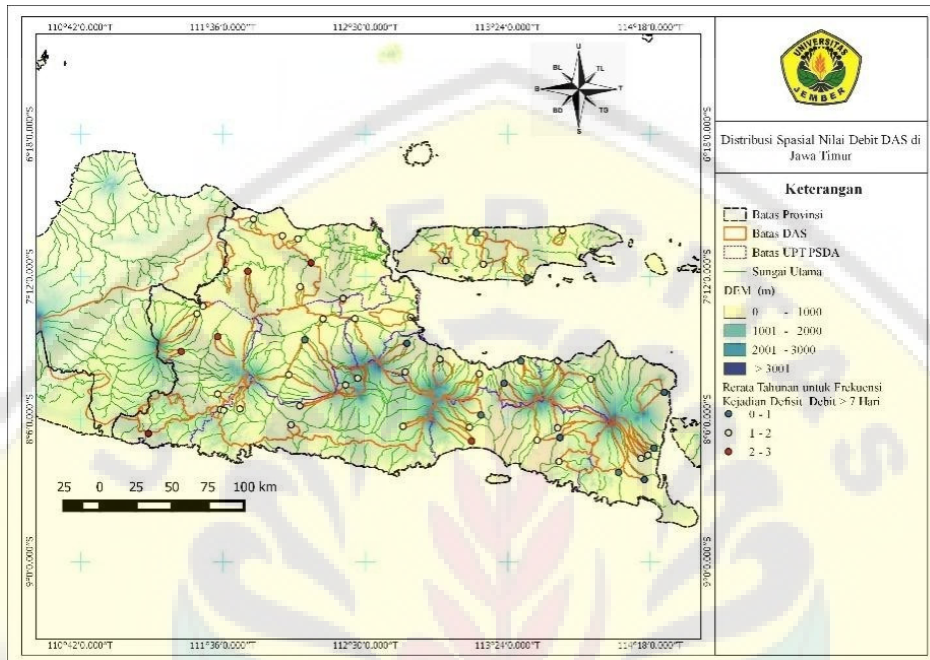


**Gambar 9. Distribusi spasial Nilai debit pada percentile 90 ( $Q_{90}$ )**

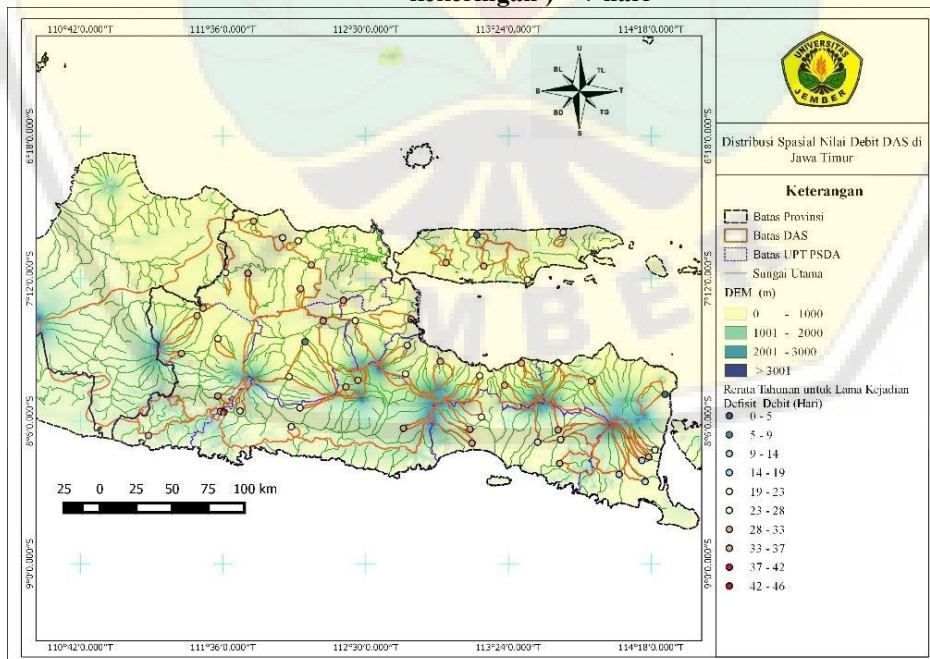
Peta tematik terkait dengan variasi atau distribusi spasial tentang karakteristik fisik, variabel hidrologi dan hujan di dalam DAS dapat dibuat dan ditampilkan dengan cara yang serupa. Selanjutnya, gambar 10 menampilkan potensi kejadian kekeringan pada tiap DAS dinyatakan dalam rerata frekuensi deficit air selama setahun (Januari sampai dengan desember). Defisit air, dimana nilai debit di bawah  $Q_{90}$  lebih dari tujuh hari lamanya dan dalam satu periode terjadi antara 1 sampai dengan 3 kali dalam setahun.



Durasi tiap kejadian (defisit air atau kekeringan) dapat dinyatakan dalam rerata lama kejadian deficit air per tahun (gambar 11). Durasi atau lama tiap kejadian deficit dapat berlangsung antara 5 sd 46 hari.



Gambar 10. Distribusi spasial rerata frekuensi kejadian deficit air (kekeringan) > 7 hari



Gambar 11. Distribusi spasial rerata tahunan durasi kejadian deficit air (Kekeringan).

## SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan ambang batas debit pada percentile 90%, kejadian deficit air pada DAS – DAS yang diteliti, terjadi antar 1 sd 3 kali dalam setahun dengan durasi bervariasi antara 5 sampai dengan 46 hari per kejadian. Metode TLM dapat digunakan untuk menyatakan potensi kejadian kekeringan, namun demikian hasilnya akan lebih valid jika data lebih panjang periode nya. Hasil penelitian juga perlu dicek dengan indikator yang dipakai di lapangan untuk menyatakan kekeringan. Secara umum, database dan peta-peta tematik yang dihasilkan dapat bermanfaat untuk menyatakan variabilitas spasial data hidrologi, potensi kejadian banjir dan kekeringan di Jawa Timur.

## DAFTAR PUSTAKA

- Gibbs, W. J. and J. V. Maher, 1967. Rainfall deciles as drought indicators. *Bureau of Meteorology Bulletin*, No. 48, Commonwealth of Australia, Melbourne.
- Golnaraghi, M., A WMO Factsheet 2013. WMO Disaster Risk Reduction Programme <http://www.wmo.int>.
- Gregor, M. 2010. User Manual TLM 2.1. Department of Hydrogeology-Faculty of Natural Science-Comenius University. Slovakia.
- Hisdal, H dan Tallaksen, L. M. 2000. *Jurnal :Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe: Drought Event Definition*. Norwegia: Department of Geophysics, University of Oslo.
- Karl, T. R. and R. W. Knight, 1985. Atlas of Monthly Palmer Hydrological Drought Indices (1931-1983) for the Contiguous United States. Historical Climatology Series 3-7, National Climatic Data Center, Asheville, NC.
- Lanen, Kundzewicz, Tallaksen, Hisdal, Fendekova, dan Prudhomme. 2008. Indice for Different Types of Drought and Flood at Different Scale. Water and Global Change. Technical Report No. 11.
- Marsh, N,A, Stewardson, M,J, Kennard, M,J, (2003), River Analysis Package, Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Monash University Melbourne.
- McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist, 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA, pp. 179-184.
- Nalbantis, I, and G. Tsakiris. 2008. *Assessment of Hydrological Drought Revisited*. Water Resources Management 23 (5) (July 22): 881-897.
- Palmer, W. C., 1968. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: the new Crop Moisture Index, *Weatherwise*, 21:156-161.
- Palmer, W. C., 1965. Meteorological Drought. Research Paper No. 45, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, D.C.



---

Shafer, B. A. and L. E. Dezman, 1982. Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. *Proceedings of the Western Snow Conference*, pp. 164-175.

SIVAPALAN, M, K. TAKEUCHI, S. W. FRANKS, V. K. GUPTA, H.

KARAMBIRI, V. LAKSHMI, X. LIANG, J. J. McDONNELL, E. M. MENDIONDO, P. E. O'CONNELL, T. OKI, J. W. POMEROY, D. SCHERTZER, S. UHLENBROOK & E. ZEHE (2003) IAHS Decade on Predictions in Ungauged Basins (PUB), 2003–2012: Shaping an exciting future for the hydrological sciences, *Hydrological Sciences Journal*, 48:6,

857-880, DOI:10.1623/hysj.48.6.857.51421

<http://dx.doi.org/10.1623/hysj.48.6.857.51421>.

Tallaksen, L. M. Van Lanen, H. A. J. van eds. 2004: *Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*. Developments in water Science, 48. Amsterdam: Elsevier Science B.V, ISBN 0-444-51688-3, pp. 579.

TALLAKSEN, L.M., MADSEN, H, CLAUSEN, B., 1997. On the definition and modelling of streamflow drought duration and deficit volume. *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*, 42(1) February, 1997.

UN-ISDR, 2009. *Drought Risk Reduction Framework and Practices*. United Nations International Strategy for Disaster Reduction.

Wilhite, D A, 2010. *Quantification of Agricultural Drought for Effective Drought Mitigation, in Agricultural Drought Indices*, Proceedings of an Expert Meeting 2-4 June, 2010, Murcia, Spain, WMO, Geneva.

Willeke, G., J. R. M. Hosking, J. R. Wallis, and N. B. Guttman, 1994. *The National Drought Atlas*. Institute for Water Resources Report 94-NDS-4, U.S. Army Corps of Engineers.

