

**STUDI PENDAHULUAN TENTANG PENERAPAN METODE AMBANG
BERTINGKAT UNTUK ANALISIS KEKERINGAN HIDROLOGI
PADA 15 DAS DI WILAYAH JAWA TIMUR**

*Application of Threshold Level Method for Hydrological Drought Analysis: Preliminary
Study at 15 Watershed in Eastern Part of East Java*

Indarto^{1)*}, Sri Wahyuningsih¹⁾, Muhardjo Pudjojono¹⁾, Hamid Ahmad¹⁾, Ahmad Yusron¹⁾

¹⁾Lab. Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas
Teknologi Pertanian, Universitas Jember

Jalan Kalimantan No. 37 Kampus Tegalboto, Jember 68121

*E-mail: indarto.ftp@unej.ac.id

ABSTRACT

This research deals with identification of potential hydrological drought at 15 watersheds in Eastern part of East Java Province. Hydrological drought events is indicated by water deficits at the main river of the watersheds during certain period of record. Discharge data from 15 watersheds in East Java are used as main input for this analysis. TLM modul based on HydroOffice platform is used to calculate the deficit. Deficit event is counted when the discharge during more than > 7 days is below the threshold level. The threshold level is set up using percentile 90% (Q_{90}). The value of Q_{90} is determined from discharge times series. Furthermore, the discharge is ranged from high to low flow. Results from TLM are then imported to EXCEL for further analysis. Furthermore, GIS software package (Quantum GIS) is used for mapping the spatial variation of discharge values (average, maximum, Q_{90}), frequency and duration of deficits events. This analysis produces the spatial maps of discharge value and deficit events (averaged annually).

Keywords: TLM, hydrological drought, percentile 90 (Q_{90}), discharge

PENDAHULUAN

Definisi Kekeringan

Kekeringan merupakan salah satu masalah serius yang sering muncul ketika musim kemarau tiba. Banyak tempat di Indonesia mengalami masalah kekurangan air atau defisit air atau kekeringan.

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.

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 berkurang-nya air pada sungai, waduk dan danau (Nalbantis *et al.*, 2008).

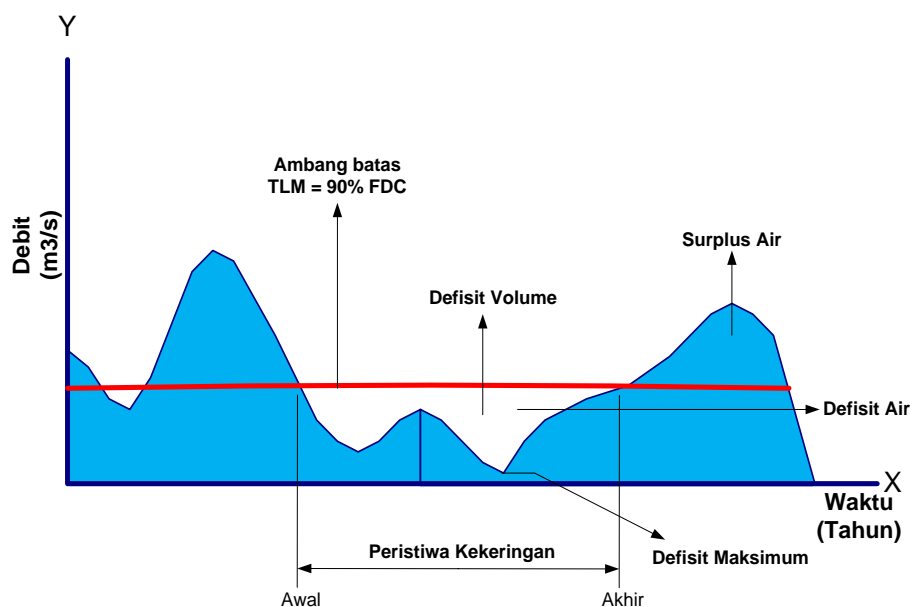
Berbagai macam indeks untuk menyatakan kekeringan telah diusulkan dan digunakan, misalnya Percent of Normal (PN) (Willeke *et al.*, 1994), Standardized Precipitation Index (SPI) (McKee *et al.*, 1993), Palmer Drought Severity Index (PDSI) (Palmer, 1965), Palmer Hydrological Drought Index (PHDI) (Karl 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 (Q_{90}) pada 15 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 pada 15 DAS sampel tersebut.

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 berkurang-nya 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* untuk menganalisis kejadian kekeringan. 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



Gambar 1. Ilustrasi cara kerja metode TLM (Sumber: adaptasi dari Gregor, 2010)

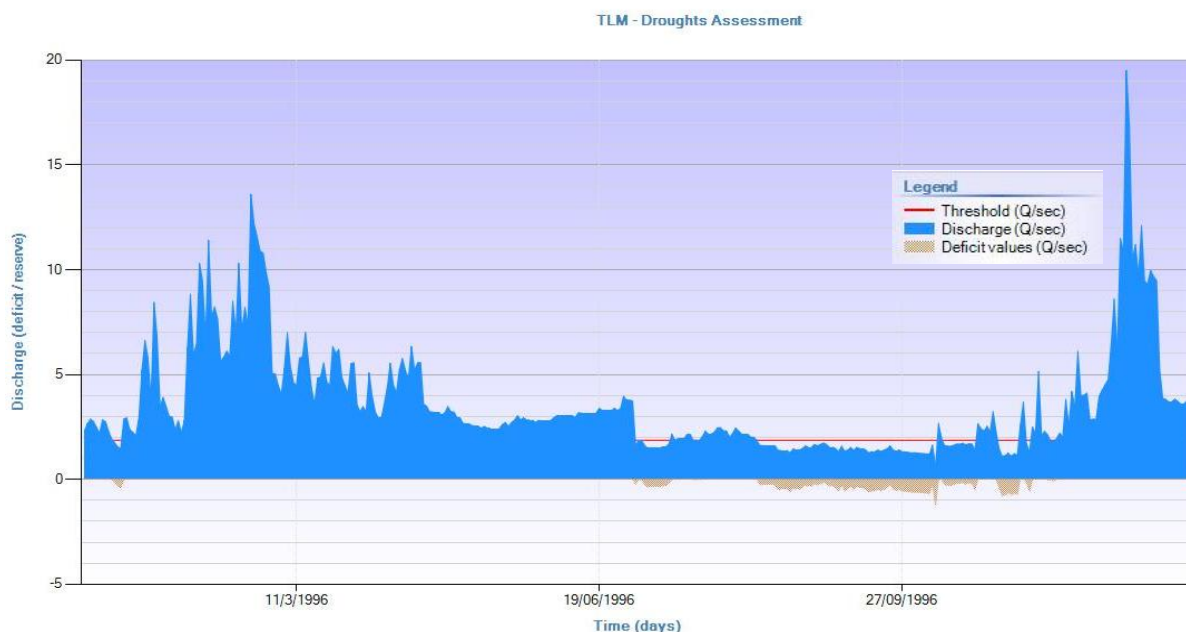
ambang batas disebut sebagai deficit air yang berpotensi menghasilkan kekeringan. Debit harian yang berada di bawah ambang-batas, dinyatakan sebagai kondisi kekurangan debit. Kekurangan debit dapat mengakibatkan kejadian kekeringan (*drought event*) saat periode kekurangan airnya berlangsung cukup lama. Nilai ambang batas dapat diatur dalam waktu yang tetap sepanjang tahun (konstan), musiman (1-4 musim), bulanan, N-hari dan setiap hari. Pada kasus nilai ambang yang konstan, *Threshold* atau nilai ambang batas untuk menyatakan kekeringan dapat ditentukan menggunakan nilai persentil dari input data debit.

Tallaksen *et al.*, (2004) membedakan nilai ambang berdasarkan jenis sungainya, yaitu:

1. Pada sungai abadi (*perennial*), dimana pada sungai tersebut selalu ada debit setiap harinya (berair sepanjang tahun). Nilai ambang ditentukan menggunakan persentil 70% (Q_{70}) sd Persentil 95 % (Q_{95}).
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 persentil 70 (Q_{70}) 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 HidroOffice (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



Gambar 2. Grafik TLM-drought assessment (Sumber: Hasil analisis): ■ = debit, ■ = defisit air, — = *Threshold* (ambang batas)

dan Inggris. 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 2**). 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 3**). Waktu terjadinya kekeringan dan nilai defisit volume tergantung pada data debit yang diinputkan pada program TLM.

Berdasarkan **Gambar 3**, 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.

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	-1.62
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 3. TLM-drought Statistic

METODE PENELITIAN

Lokasi & Waktu Penelitian

Penelitian pendahuluan ini dilakukan pada 15 DAS di wilayah timur Jawa Timur. Lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 4**.

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 (1996 sd 2005). 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.

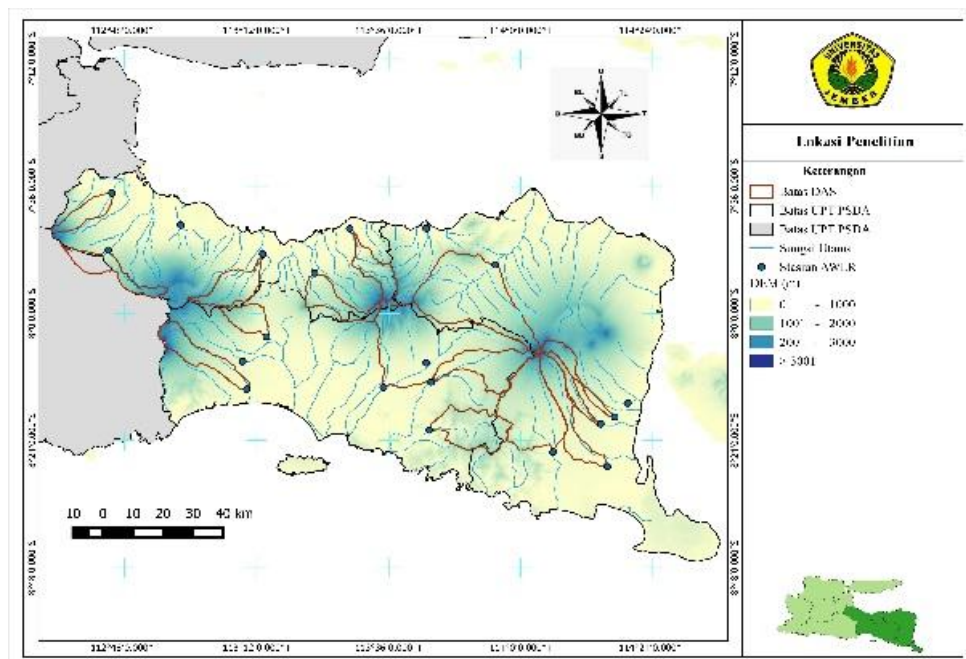
Rancangan Percobaan

Percobaan dilakukan dengan menguji metode TLM pada 15 DAS terpiih sebagai sampel pengujian.

Tahapan Penelitian

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) dan *HydroOffice* (Gregor, 2010).



Gambar 4. Lokasi penelitian

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 nilai statistik debit pada 15 DAS tersebut.

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 sebagai berikut:

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

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.

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.

Selanjutnya pure diangkat kemudian dituangkan pada loyang yang telah dilapisi plastik tahan panas, dan diratakan sesuai ukuran loyang. Pure yang telah menjendal, kemudian dikeringkan dengan *tunnel dryer* selama 9 jam dengan suhu 60°C. Kemudian *leather* dikelupas dari plastik, dan dipotong sesuai dengan bentuk yang diharapkan, kemudian ditaburi gula kastor. Dan selanjutnya dikeringkan lagi pada *tunnel dryer* dengan suhu 50°C selama 5 jam.

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 hidrometeorologi DAS di Jawa Timur.

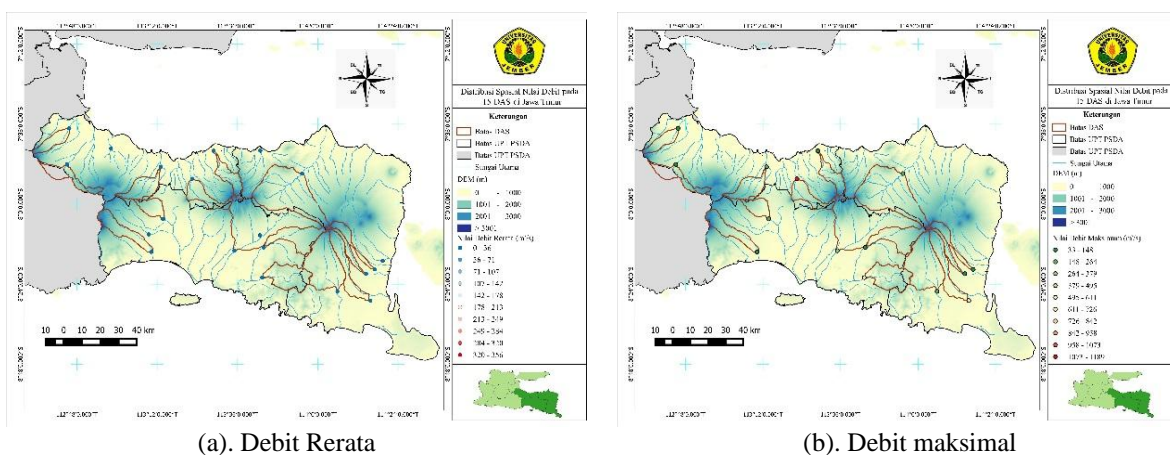
Tabel 1 menampilkan hasil analisis statistik debit pada ke 15 DAS tersebut. Analisis statistik dapat diperpanjang untuk berbagai parameter yang dapat menyatakan: karakteristik fisik,

morfometrik dan hidrologi DAS.

Peta pada **Gambar 5 (a)** memperlihatkan distribusi spasial debit rerata dan maksimal pada 15 DAS tersebut. Selanjutnya **Gambar 5 (b)** memuat distribusi spasial nilai debit pada percentile 90 (Q_{90}) yang digunakan sebagai ambang batas kekeringan.

Tabel 1. Luas, Q-min, Q-max, Q-rata-rata 15 DAS yang digunakan sebagai sampel pengujian

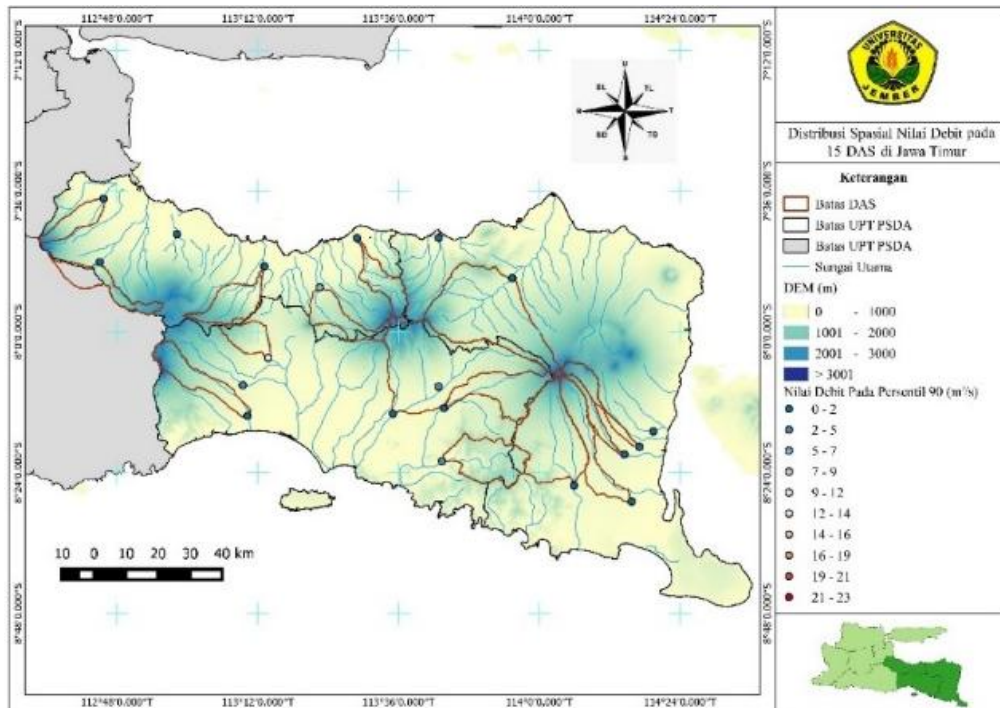
No.	DAS	Luas DAS (km ²)	Debit (m ³ /s)		
			Q _{min}	Q _{max}	Q _{rtt}
1.	Rawatamtu	783	0.1	588	35.25
2.	Mayang	219	0.01	70.45	4.99
3.	Wonorejo	215	2.07	196.06	17.94
4.	Mujur	183	0.2	51.5	4.77
5.	Sanenrejo	291	0.03	184	10.16
6.	Bomo Bawah	138	0.07	89.62	3.93
7.	Bomo Atas	38	0.02	99	2.31
8.	Karangdoro	479	0.07	205.35	17.73
9.	Kloposawit	686	1.29	242.78	10.39
10.	Setail	219	0.11	498	9.24
11.	Kadalpang	206	0.04	69.04	2.91
12.	Welang	387	0.25	32.55	3.89
13.	Kramat	178	0.11	193.03	2.63
14.	Pekalen	166	3.35	94.3	10.95
15.	Rondodingo	136	0.25	101	5.03



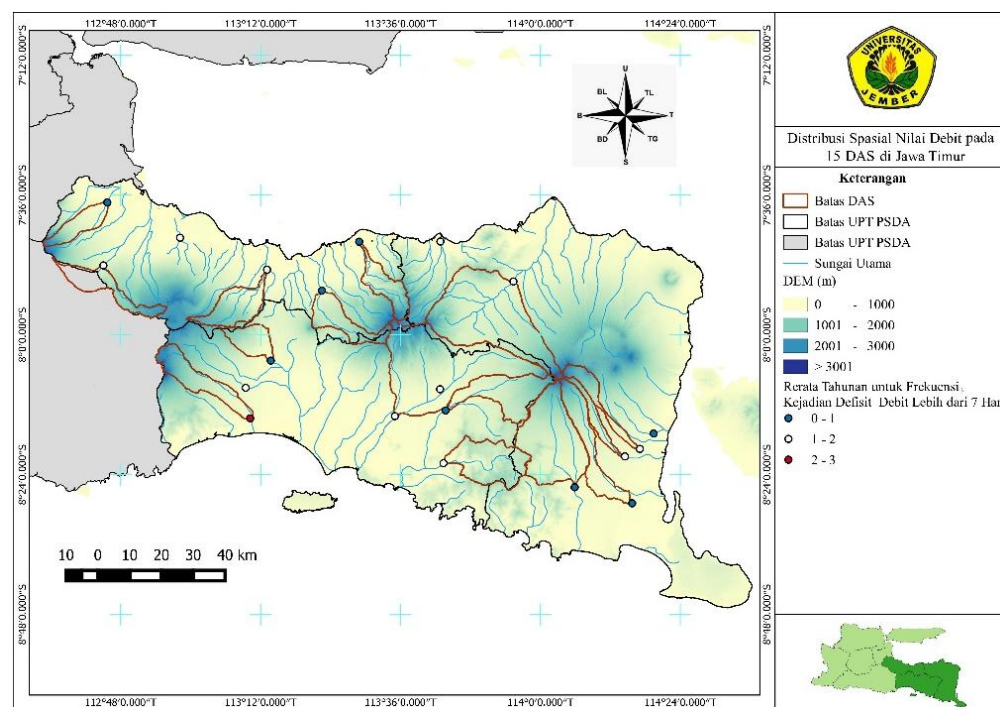
Gambar 5. Distribusi spasial nilai debit rerata dan maksimum DAS-DAS di Jawa Timur

Gambar 6 memuat distribusi spasial nilai debit pada percentile 90 (Q_{90}) yang digunakan sebagai ambang batas kekeringan. 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.

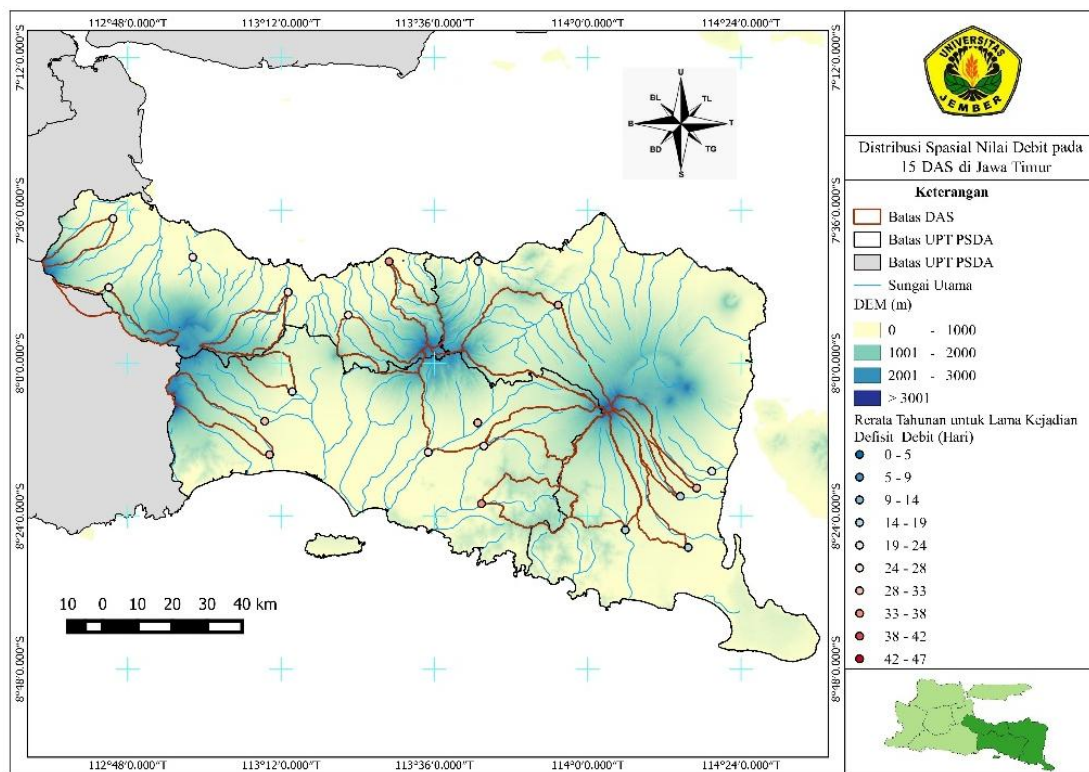
Gambar 7 menampilkan potensi kejadian kekeringan pada tiap DAS dinyatakan dalam rerata frekuensi defisit air selama setahun. Defisit air, dimana nilai debit di bawah Q_{90} lebih dari tujuh hari lamanya dan dalam satu periode terjadi antara 1 sampai dengan 3 kali dalam setahun.



Gambar 6. Distribusi spasial nilai debit pada precentile 90 (Q_{90})



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



Gambar 8. Distribusi spasial rerata tahunan durasi kejadian defisit air (kekeringan)

Durasi tiap kejadian (defisit air atau kekeringan) dapat dinyatakan dalam rerata lama kejadian defisit air per tahun (**Gambar 8**). Durasi atau lama tiap kejadian deficit dapat berlangsung antara 5 sd 46 hari.

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan ambang batas debit pada kuantile 90%, kejadian deficit air pada DAS – DAS yang diteliti, terjadi antar 1 sd 3 kali dalam setahun dengan durasi bervariasi antara 5 sd 46 hari per kejadian. Metode TLM dapat digunakan untuk menyatakan potensi kejadian kekeringan, namun demikian hasilnya akan lebih valid jika data lebih panjang perode 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 of Slovakia.
- Hisdal, H and Tallaksen, L. M. 2000. *Jurnal : Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe: Drought Event Definition*. Department of Geophysics, University of Oslo, Norwegia.
- 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., Doesken N. J., and Kleist, J. 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 Tsakiris, G. 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. Mendiola, P. E. O'Connell, T. Oki, J. W. Pomeroy, D. Schertzer, S. Uhlenbrook and 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, <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.
- Walpole E. Ronald. 1995. *Pengantar Statistik*. PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Wilhite, D. A. 2010. *Quantification of agricultural drought for effective drought mitigation, in agricultural drought indices, Proceedings of an Expert Meeting 2-4 June*. 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.