

# INDEKS KEKERINGAN HIDROLOGI BERDASARKAN DEBIT DI DAS KEDUANG KABUPATEN WONOGIRI

Putri Pramudya Wardhani<sup>1)</sup>, Rintis Hadiani<sup>2)</sup>, Solichin<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

<sup>2), 3)</sup> Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jln Ir Sutami 36 A, Surakarta 57126

e-mail : ardha3491@yahoo.co.id

## Abstrak

Dampak kekeringan yang di timbulkan sangat merugikan makhluk hidup dan alam sekitar, sehingga indeks kekeringan hidrologi dari daerah aliran sungai (DAS) perlu dikaji dalam mengantisipasi musim kemarau kedepannya. Karena aliran sungai Keduang ini masuk ke waduk Wonogiri maka daerah aliran sungai ini dipilih agar pengendalian bencana kekeringan di wilayah Wonogiri dan sekitarnya dapat berjalan lancar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui indeks kekeringan hidrologi menggunakan data debit simulasi dari hasil metode mock yang digunakan untuk membantu mencari debit normal  $Q_{50}$  sebagai ambang batas threshold. Besar nilai defisit adalah selisih volume kekurangan air dan threshold. Durasi adalah total waktu terjadinya defisit. Indeks kekeringan di dapat dari defisit di bagi luas DAS. Setelah itu mencari ketajaman kekeringan menggunakan batas kriteria kering. Dari hasil analisis menunjukkan kekeringan yang parah terjadi pada tahun 2010. Selama tahun 2000-2013 terjadi durasi kekeringan rata-rata selama 5-6 bulan yang menunjukkan termasuk kriteria zona 3 menurut Oldeman. Indeks kekeringan tahun 2010 menghasilkan  $-0,024$  dimana  $Q_{\text{defisit}} < 11,061 \text{ m}^3/\text{s}$  yang setara amat sangat kering.

Kata kunci : Indeks Kekeringan Hidrologi, Data debit simulasi metode mock, Kriteria kekeringan

## Abstrack

*The effect of drought is very harmful to living organism and surrounding nature, so the hydrology drought index of river flow area (DAS) should be studied for anticipating the future dry season. Due to Keduang river flow area belongs to Wonogiri dam, this study was chosen to make the drought disaster controlling in Wonogiri Regency area and surrounding run smoothly.*

*This research employed data of discharge (flow rate) resulting from Mock method used to help find the mean normal discharge  $Q_{50}$  as the threshold. The deficit value was the difference of water shortage volume and the threshold. Duration was the total length of time when deficit occurred. Drought index was obtained from deficit divided by DAS width. Thereafter, the drought severity was found using dry criterion limit. From the result of analysis, it could be found that the severe drought occurred in 2010. The duration of drought was 5 and 6 months indicating that drought belonged to zone 3, according to Oldeman. The drought index was  $-0.024$  in 2010 in which  $Q_{\text{deficit}} < 11,061 \text{ m}^3/\text{s}$  equivalent to very dry.*

*Keywords: Hydrology Drought Index, Discharge Date of Mock Method, Drought Criteria*

## 1. PENDAHULUAN

Kekeringan merupakan suatu fenomena alam yang ekstrim dimana kurangnya ketersediaan air di alam. Faktor penyebab kekeringan sangat kompleks karena melibatkan alam (meteorologi dan hidrologi), tata guna lahan, kegiatan manusia, pembangunan infrastruktur dan lain-lain. Faktor-faktor inilah yang saling berinteraksi dan menyebabkan kerentanan terjadinya kekeringan sehingga merugikan makhluk hidup di bumi.

Penelitian dan pengembangan mengenai indeks kekeringan diperlukan sebagai indikator untuk mendeteksi, memantau dan mengevaluasi kejadian kekeringan (Wahyu Hatmoko, 2012)

Sungai Bengawan Solo adalah sungai terpenting di pulau Jawa yang merupakan pusat penghidupan sebagian masyarakat Jawa Tengah dan Jawa Timur.

Apabila kekeringan dapat diperkirakan, maka mitigasi bencana kekeringan dapat diantisipasi. Perkiraan kekeringan dapat dilakukan berdasarkan pola hujan, iklim maupun pola debit yang pernah terjadi (Hadiani, 2009).

Terdapat kecenderungan pola hujan atau debit yang akan berulang dalam kurun waktu tertentu menjadikan analisis pada kondisi ini didasarkan pada kondisi hidrologi dengan parameter hujan, debit, dan elevasi muka air waduk yang disebut kekeringan hidrologi. Dari data ini akan didapat indeks kekeringan yang disebut indeks kekeringan hidrologi (IKH) (Hadiani, 2009).

Penelitian ini dilakukan karena mengingat dampak kekeringan yang di timbulkan sangat merugikan makhluk hidup dan alam sekitar, sehingga dianggap perlu mengkaji indeks kekeringan dari daerah aliran sungai (DAS) dalam menghadapi musim kemarau. Sungai Bengawan Solo adalah sungai terpenting di pulau Jawa yang merupakan pusat penghidupan sebagian masyarakat Jawa Tengah dan Jawa Timur, maka daerah aliran Sungai Bengawan Solo dipilih sebagai lokasi penelitian khususnya DAS Kedung yang memiliki outlet dari Waduk Wonogiri dan data terlengkap dari peneliti.

Pemilihan *threshold* pada probabilitas tertentu atau berdasarkan karakteristik statistik tertentu adalah tergantung kebutuhan. (Tallaksen, et al, 1997; Tallaksen, 2006). Pemilihan *threshold* (ambang batas) pada probabilitas 50 dan karakteristik statistik menggunakan rumus *weibull*.

Indeks kekeringan merupakan perbandingan defisit terhadap luas DAS (Tallaksen, 2005)

Kriteria Kering dapat ditentukan dengan berbagai cara antara lain kriteria kering berdasarkan data debit normal sama dengan  $Q_{50}$  dengan kriteria (Hadiani, 2009): Disebut kering (K) apabila  $Q_{80} < Q < Q_{50}$ . Disebut sangat kering (SK) apabila  $(71- 100\%) Q_{80}$ . Disebut amat sangat kering (ASK) apabila  $Q < (70\%) Q_{80}$ .

## 2. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Kekeringan merupakan suatu fenomena alam yang berhubungan dengan periode musim kering panjang yang mengakibatkan defisit ketersediaan air di bawah normal dan juga bisa dicirikan dengan penyimpangan variabel seperti presipitasi, kelembaban tanah, debit sungai, dan air bumi dari kondisi normal (Tallaksen *et al.* 2009, Tallaksen dan Van Lanen 2004).

### Karakteristik Hujan

Hasil metode poligon Thiessen lebih akurat dibandingkan dengan metode rata-rata aljabar. Cara ini cocok untuk daerah datar dengan luas 500 - 5.000 km<sup>2</sup>, dan jumlah pos penakar hujan terbatas dibandingkan luasnya.

Hujan rerata daerah aliran dapat dihitung sebagai berikut:

$$\bar{P} = \frac{1}{A_w} \sum_{N=1}^N A_N \cdot P_N \dots\dots\dots(1)$$

dengan  $\bar{P}$  = hujan wilayah (mm);  $P_N$  = hujan masing-masing stasiun pencatat hujan (mm);  $A_w$  = luas wilayah (Km<sup>2</sup>);  $A_N$  = luas masing-masing poligon (Km<sup>2</sup>);  $N$  = jumlah stasiun pencatat hujan.

### Evaporasi

Evapotranspirasi dihitung dengan menggunakan metode *Penman* yang dimodifikasi oleh *Nedeco / Prosida* seperti diuraikan dalam PSA – 010.

Rumus evapotranspirasi *Penman* yang telah dimodifikasi adalah sebagai berikut (PSA-010 Dirjen Pengairan, Bina Program, 1985):

$$E_{to} = \frac{\Delta E_q + \Delta L^{-1} X (H_{sh}^{ne} - H_{lo}^{ne})}{\delta + \Delta} \dots \dots \dots (2)$$

dengan :

- E<sub>to</sub> = Indeks evaporasi yang besarnya sama dengan evapotranspirasi dari rumput yang dipotong pendek (mm/hr),
  - ΔL-1 = panas laten dari penguapan (longley/minutes),
  - δ = konstanta Bowen (0,49 mmHg/°C),
  - Δ = kemiringan tekanan uap air jenuh yang berlawanan dengan dengan kurva temperatur pada temperature udara (mmHg/°C),
  - δ + Δ = berdasarkan suhu udara rata-rata bulanan ,
  - H<sub>sh</sub><sup>ne</sup> = jaringan radiasi gelombang pendek (longley/day)  
 = { 1,75 { 0,29 cos Ω + 0,52 r x 10<sup>-2</sup> } } x α ahsh x 10<sup>-2</sup>  
 = { ash x f(r) } x α ahsh x 10<sup>-2</sup>
  - ash x f(r) = berdasarkan letak lintang dan radiasi matahari,
  - α ahsh x 10<sup>-2</sup> = berdasarkan letak lintang,
  - α = albedo (koefisien reaksi), tergantung pada lapisan permukaan, yang ada untuk rumput = 0,25
  - H<sub>lo</sub><sup>ne</sup> = f (T<sub>ai</sub>) x f (T<sub>dp</sub>) x f (m) ,
  - f (T<sub>ai</sub>) = α T<sub>ai</sub><sup>4</sup>,  
 = efek dari temperatur radiasi gelombang panjang ,
  - f (T<sub>dp</sub>) = berdasarkan harga Pzwa,
  - m = 8 (1 - r),
  - f (m) = 1 - m/10 ,  
 = efek dari angka nyata dan jam penyinaran matahari terang maksimum pada radiasi gelombang panjang,
  - r = lama penyinaran matahari relatif ,
  - E<sub>q</sub> = evaporasi terhitung pada saat temperatur permukaan sama dengan temperatur udara (mm/hr),  
 = 0,35 (0,50 + 0,54 μ<sub>2</sub>) x (e<sub>a</sub> - e<sub>d</sub>)  
 = f (μ<sub>2</sub>) x PZwa] sa - PZwa
  - μ<sub>2</sub> = kecepatan angin pada ketinggian 2m di atas tanah,
  - f(μ<sub>2</sub>) = berdasarkan μ<sub>2</sub> ,
  - PZwa] sa = berdasarkan suhu udara rata-rata bulanan,
  - PZwa = PZwa] sa x kelembaban udara relatif rata-rata bulanan,
- catatan : 1 longley/day = 1 kal/cm<sup>2</sup>hari.

**Metode Mock**

F.J. Mock (1973) mengusulkan suatu model simulasi keseimbangan air bulanan untuk daerah pengaliran di Indonesia, cara ini dikenal dengan nama simulasi debit Mock. Model ini khusus digunakan untuk sungai-sungai yang ada di Indonesia (Bappenas, 2006).

Dalam Anonim, 1986 data dan asumsi yang diperlukan untuk perhitungan Metode Mock adalah:

1. Data curah hujan,
2. Evapotranspirasi terbatas (E<sub>t</sub>),
3. Faktor karakteristik hidrologi faktor bukaan lahan,
4. Luas daerah pengaliran,
5. Kapasitas kelembaban tanah (SMC),
6. Keseimbangan air di permukaan tanah,
7. Kandungan air tanah,
8. Aliran dan penyimpangan air tanah,
9. Aliran sungai.

### Debit Andalan dan Debit Normal ( $Q_{80}$ dan $Q_{50}$ )

Debit andalan diperoleh dengan mengurutkan debit rata-rata bulanan dari urutan besar ke urutan kecil. Nomor urut data yang merupakan debit andalan Dr. Mock dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Standar Perencanaan Irigasi, 1986):

$$Pr = \frac{m}{n + 1} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

Dengan :

- Pr : probabilitas, %,
- n : jumlah tahun data,
- m : nomor urut data setelah diurutkan dari besar ke kecil.

### Perhitungan Ambang Batas (*Threshold*)

Analisis statistik bertujuan untuk menentukan :

1. *Threshold*, ( $X_0$ ), yang merupakan nilai batas yang ditentukan berdasarkan keperluan analisis (Fleig, A.K., *et al*, 2006), sesuai distribusi terpilih.
2.  $X_0$  merupakan  $Q_{50}$  atau  $Q_{80}$ , karena  $Q_{50}$  adalah  $Q_{normal}$  dengan probabilitas 0,5 atau merupakan median data sedangkan  $Q_{80}$  adalah  $Q_{andalan}$  dengan probabilitas 0,2.

### Defisit dan Durasi Kering

Besar nilai defisit adalah selisih volume kekurangan air dan *threshold*. Durasi adalah total waktu terjadinya defisit. Defisit terjadi apabila nilai  $Q$  dibawah nilai  $Q_{50}$  (nilai ambang batas yang didapat dari *threshold*)

Durasi kekeringan adalah lamanya curah hujan bulanan mengalami defisit (berada di bawah) terhadap nilai pemepatan yang dipilih seperti rata-rata, median atau besaran hujan dengan kemungkinan lainnya.

### Kriteria Kering

Kriteria kering berdasarkan durasi kering mengacu oldeman dalam hadiani,2009 dianalogan sebagai berikut:

1. Disebut Kering (K) zone 3 bila durasi lebih kecil atau sama dengan 7 bulan;
2. Disebut Kering (K) zone 2 bila durasi kering 9 bulan,
3. Kering (K) Zone 1 bila durasi kering lebih besar dari 9 bulan.

### Perhitungan Indeks Kekeringan Hidrologi (IKH)

Debit merupakan semua aliran yang masuk ke sungai dari DAS. Sehingga indeks kekeringan merupakan perbandingan defisit terhadap luas DAS, ditulis sebagai berikut (Tallaksen, 2005) :

$$IKH = \frac{\text{defisit } m^3/det}{\text{luas das } km^2} \dots\dots\dots(4)$$

Dengan:

- IKH = indeks kekeringan hidrologi,
- defisit = selisih  $X_0$  dengan  $X_t$

### Menentukan Drajad Ketajaman Kekeringan

Kriteria Kering dapat ditentukan dengan berbagai cara antara lain kriteria kering berdasarkan data debit normal sama dengan  $Q_{50}$  dengan kriteria (Hadiani, 2009):

1. Disebut kering (K) apabila  $Q_{80} < Q < Q_{50}$ ,
2. Disebut sangat kering (SK) apabila (71- 100%)  $Q_{80}$ ,
3. Disebut amat sangat kering (ASK) apabila  $Q < (70\%) Q_{80}$ .

### 3. METODE PENELITIAN

#### Data

Data yang dibutuhkan dalam analisis adalah:

- Peta Rupa Bumi Indonesia skala 1: 25000,
- Data curah hujan harian 3 stasiun hujan manual yaitu stasiun hujan Ngadirojo(125f), stasiun hujan Jatisrono (131) dan stasiun hujan Jatiroto (130c) di DAS Bengawan Solo Hulu 3 pada DAS Keduang dalam kurun waktu 14 tahun (2000- 2013 yang diperoleh dari Dinas Pengairan, Energi dan Sumber Daya Mineral Kabupaten Wonogiri,
- Data klimatologi dan data koordinat stasiun klimatologi di DAS Bengawan Solo Hulu 3 pada DAS Keduang dalam kurun waktu 14 tahun (2000- 2013)
- Data klimatologi diperoleh dari Kantor Mateo Landasan Udara Adi Soemarmo Boyolali

#### Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di DAS Keduang Kabupaten Wonogiri Jawa Tengah.

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### a. Analisis Hujan Titik menjadi Hujan Wilayah

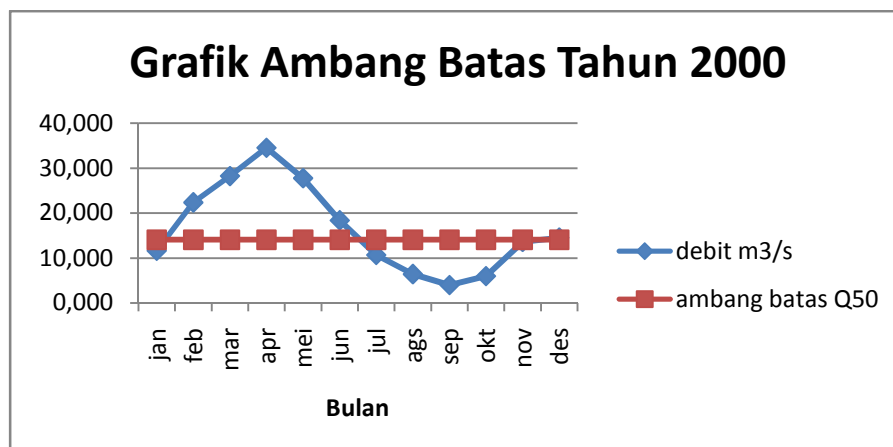
Untuk Menentukan Hujan Wilayah Di Das Keduang Digunakan Metode Poligon Thiessen Dengan 3 Stasiun Hujan dan Luasan Das Keduang Sebesar 420,982 Km<sup>2</sup>. Perhitungan menunjukkan bahwa Sta. Ngadirojo (125f) = 96,447km<sup>2</sup> dengan koefisien Thiessen 0,229; Sta. Jatisrono (131) = 220,170 km<sup>2</sup> dengan koefisien Thiessen 0,523; Sta.Hujan Jatiroto (130c) = 104,365 km<sup>2</sup> dengan koefisien Thiessen 0,248.

Evapotranspirasi potensial dihitung dengan metode penman menggunakan data klimatologi: suhu udara, kelembaban udara relatif, penyinaran matahari dan kecepatan angin.

#### b. Debit Simulasi Bulanan Dengan Metode Mock

Untuk menghitung debit simulasi bulanan dengan metode mock, harus dipastikan parameter berupa faktor resensi aliran tanah (k), kapasitas kelembaban tanah (SMC), Koefisien Infiltrasi (I) dan tumpungan awal (IS) harus sama setiap tahunnya, apabila terjadi perbedaan maka ditolerir 20% kesalahan.

Hasil perhitungan debit simulasi bulanan metode mock dapat dilihat pada grafik gambar 1



Gambar 1. Grafik Ambang Batas Tahun 2000

Garis berwarna biru menunjukkan hasil debit simulasi metode mock sedangkan garis berwarna merah menunjukkan hasil ambang batas  $Q_{50}$  yang dihitung dengan metode *weibull*. Gambar grafik diambil contoh tahun 2000. Dapat ditarik kesimpulan apabila garis biru yang menunjukkan debit simulasi diatas garis merah yang merupakan ambang batas maka disebut surplus yang mana pada bulan itu mengalami kelebihan air dan apabila sebaliknya maka disebut defisit yang mana pada bulan itu mengalami kekurangan air.

### c. Defisit dan Durasi Kering

Defisit dicari dengan pengurangan debit simulasi metode mock dengan ambang batas (*threshold*) dan durasi adalah lamanya waktu defisit itu terjadi berturut-turut tiap bulan selama setahun.

Tabel 1. Defisit dan Durasi Tahun 2000

Tahun	Bulan	Defisit dan Surplus ( $m^3/s$ )	Kode	Durasi defisit	Total defisit ( $m^3/s$ )	Defisit max ( $m^3/s$ )	
2000	jan	-2,440	1				
	feb	8,307	0				
	mar	14,172	0				
	apr	20,446	0				
	mei	13,687	0				
	jun	4,317	0				
	jul	-3,381	1				
	ags	-7,644	1				
	sep	-10,074	1				
	okt	-8,083	1				
	nov	-0,470	1		5	-29,651	-10,074
	des	0,470	0				

Catatan: kode 1 untuk surplus dan kode 0 untuk defisit

Dari hasil diatas didapat defisit total  $-29,651 m^3/s$  dengan durasi kekeringan selama 5 bulan yang masuk kedalam zonz 3 menurut oldeman dan defisit maksimal  $-10,074$

### d. Indeks Kekeringan Hidrologi

indeks kekeringan merupakan perbandingan defisit terhadap luas DAS. Perhitungan dalam penelitian ini menghasilkann dua hasil IKH yaitu IKH 1 dari defisit total dibandingkan luasan DAS dan IKH 2 dari defisit Makasimal dibandingkan luas DAS. Hasil IKH 1 dan IKH 2 dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 2. Nilai IKH 1 DAN IKH 2

Tahun	IKH 1	IKH 2
2000	-0,070	-0,024
2001	-0,023	-0,016
2002	-0,047	-0,012
2003	-0,034	-0,011
2004	-0,048	-0,014
2005	-0,016	-0,016
2006	-0,054	-0,016

2007	-0,021	-0,009
2008	-0,042	-0,014
2009	-0,044	-0,030
2010	-0,024	-0,009
2011	-0,024	-0,033
2012	-0,053	-0,017
2013	-0,037	-0,011

#### e. Derajat Ketajaman Kekeringan

Kriteria Kering dapat ditentukan dengan berbagai cara antara lain kriteria kering berdasarkan data debit normal sama dengan  $Q_{50}$  dengan kriteria (Hadiani, 2009):

1. Disebut kering (K) apabila  $Q_{80} < Q < Q_{50}$ ,
2. Disebut sangat kering (SK) apabila (71- 100%)  $Q_{80}$ ,
3. Disebut amat sangat kering (ASK) apabila  $Q < (70\%) Q_{80}$ .

Tabel 3. Rekapitulasi Derajat Ketajaman Kekeringan Selama Tahun 2000-2013

Tahun	$Q_{\text{defisit}}$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	$Q_{80}$	$Q_{50}$	$Q_{80}$ (71%)	$Q_{80}$ (70%)	Kriteria Kering
2000	29,6513	6,2187	14,0383	4,4153	4,3531	B
2001	9,6741	7,7607	10,3562	5,5101	5,4325	K
2002	19,6146	7,0827	11,6191	5,0287	4,9579	B
2003	14,3420	7,2976	10,2958	5,1813	5,1083	B
2004	20,1243	7,1724	11,3153	5,0924	5,0207	B
2005	6,7319	7,8142	12,9270	5,5481	5,4699	SK
2006	22,6576	7,8142	12,9270	5,5481	5,4699	B
2007	8,6853	7,4970	9,6176	5,3229	5,2479	K
2008	17,6809	7,4933	12,5456	5,3202	5,2453	B
2009	18,4949	7,2205	12,5914	5,1265	5,0543	B
2011	9,9184	6,4225	14,8698	4,5600	4,4957	K
2012	22,2315	10,3296	15,0418	7,3340	7,2308	B
2013	15,7268	11,2923	14,6511	8,0175	7,9046	B

## 5. KESIMPULAN

1. Hasil perhitungan menunjukkan defisit di tahun 2000-2013 sebesar  $29,651 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $9,674 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $15,607 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $11,744 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $20,124 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $6,732 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $22,658 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $8,685 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $23,007 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $18,495 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $10,016 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $9,918 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $16,212 \text{ m}^3/\text{s}$  dan  $15,727 \text{ m}^3/\text{s}$ . Terjadi durasi kekeringan rata-rata selama 5 dan 6 bulan yang menunjukkan bahwa kekeringan berada zona 3 menurut oldeman.
2. Indeks kekeringan hidrologi tahun 2000-2013 berturut-turut -0,070, -0,023, -0,037 -0,028 -0,048,-0,016,-0,054,-0,021,-0,055,-0,044 -0,024,-0,024,-0,039 dan -0,037. Indeks kekeringan terparah terjadi tahun 2010 menghasilkan -0,024 dimana  $Q_{\text{defisit}} < 70\% Q_{80}$  yang setara amat sangat kering .

## 3. UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti berterimakasih kepada dosen pembimbing skripsi Dr.Ir. Rr.RintisHadiani,MT dan Ir. Solichin, M.T yang telah membimbing dengan sabar dan seluruh pihak yang membantu.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim 1, 1986. *Standar Perencanaan Irigasi KP-01*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Bappenas, 2006. <http://www.air.bappenas.go.id>.
- Dinas Pekerjaan Umum, Dirjen Sumber Daya Air, KP-01 Perencanaan Irigasi
- Fleig, A.K. (2006) *A Global Evaluation of Streamflow drought Characteristics*, <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/10/535/2006/hess-10-535-2006.html>.
- Hadiani, Rr. Rintis. 2009. *Analisis Kekeringan Berdasarkan Data Hidrologi*. Disertasi, UNIBRAW, Malang.
- Tallaksen, L.M., Madse, 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.
- Tallaksen, L.M. (2006) *A Global Evaluation of Streamflow drought Characteristics*, <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/10/535/2006/hess-10-535-2006.pdf>.
- Tallaksen, L.M., Van Lanen, H. (2005) *Understanding Droughts*, International Water Management Institute, [www.iwmi.cgiar.org/drw/info/default.asp?PGID=2.htm](http://www.iwmi.cgiar.org/drw/info/default.asp?PGID=2.htm).
- Wahyu Hatmoko, 2012. <http://www.mdpi.com/2071-1050/2/7/2176>.