

**STUDI IDENTIFIKASI INDEKS KEKERINGAN HIDROLOGIS
PADA DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) BERBASIS
SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG)
(Studi Kasus pada DAS Brantas Hulu : Sub-DAS Upper Brantas,
Sub-DAS Amprong dan Sub-DAS Bangosari)**

Ima Sholikhati¹, Donny Harisuseno², Ery Suhartanto²

¹Mahasiswa Program Magister Teknik Pengairan Universitas Brawijaya,
Malang Jawa Timur. e-mail: imajbg54@gmail.com.

²Dosen Fakultas Teknik Jurusan pengairan Universitas Brawijaya

ABSTRAK

Kekeringan merupakan salah satu bencana yang ditunjukkan dengan berkurangnya ketersediaan air terhadap kebutuhan. Penanggulangan bencana kekeringan dengan pendekatan non-struktural melalui monitoring kekeringan berupa informasi kekeringan spatial berbentuk peta indeks kekeringan bulanan dan informasi kekeringan temporal pada masing-masing sub-DAS. Lokasi penelitian ini berada di DAS Brantas Hulu yang terdiri dari 3 sub-DAS dengan 12 pos hujan terpilih yang mampu mengirimkan data hujan harian secara kontinu. Analisa kekeringan menggunakan metode *Thornthwaite* dan *Mather* (1957) yang berupa indeks yang menginformasikan tingkat kekeringan suatu daerah dengan menggunakan parameter neraca air. Hasil studi menunjukkan indeks kekeringan terbesar terjadi pada tahun 1991, 1994, 1997, 2002 dan 2008 (terjadinya *El-Nino*) pada bulan Juli sampai Oktober. Indeks kekeringan sebanding dengan menurunnya debit AWLR Gadang pada tahun-tahun tersebut.

Kata kunci: Indeks kekeringan, *Thornthwaite*, *El-Nino*, Neraca Air, Perubahan Iklim

ABSTRACT

Drought is a natural hazard which is characterized by the scarcity of water. Drought disaster management with non-structural approach through drought monitoring with drought spatial information in monthly drought index map and temporal information for each region in sub-watershed. The location of research is Upstream Brantas River Basin which is divided into 3 (three) sub catchments supplemented with 12 (twelve) selected rainfall stations capable of sending real-time daily rainfall data. The analysis of this drought uses Thornthwaite and Mather's (1957) method, which is an index to inform the drought rate of a region by using water balance parameter. Result of study indicates that the biggest drought index is found in years of 1991, 1994, 1997, 2002 and 2008 (during the happening of El-Nino) from July to October. This high drought index seems following the decrease of the discharge at Gadang AWLR in those years.

Keywords: *Drought Index, Thornthwaite, El-Nino, Water Balance, Climate Change*

1. PENDAHULUAN

Kekeringan merupakan salah satu jenis bencana alam yang terjadi secara perlahan, berlangsung lama sampai musim hujan tiba, berdampak sangat luas dan bersifat lintas sektoral (ekonomi, sosial, kesehatan, pendidikan, dll). Kejadian kekeringan ini terjadi hampir

seluruh dunia akibat jarangny air seperti di Gurun Sahara Afrika dan Asia Barat dan adanya musim kemarau yang berkepanjangan akibat penyimpangan iklim seperti *El-Nino* terjadi pada tahun-tahun tertentu di Australia, Amerika, Meksiko, Filipina dan Indonesia (Anonim, 2003).

Masalah kekeringan tidak boleh dilihat sebagai masalah yang ringan, sebab di Indonesia bencana kekeringan merupakan ancaman yang sering mengganggu sistem produksi pertanian, khususnya fenomena *El-Nino* dimana musim kemarau terjadi lebih panjang daripada musim hujan. Sedangkan *La-Nina* merupakan suatu fenomena alam yang terjadi dimana musim penghujan semakin panjang di Indonesia.

Langkah rehabilitasi kerusakan akibat dampak kekeringan dan perubahan iklim (reaktif) akan jauh lebih mahal dibandingkan dengan langkah adaptasi dan antisipasi kekeringan (mitigasi). Hal ini disebabkan dampak yang ditimbulkan dari peristiwa *El-Nino* yakni mempengaruhi beberapa sektor yang menggunakan ketersediaan air di permukaan tanah (pertanian), disungai (Pertanian, air baku), diwaduk (Pertanian, air baku, PLTA) dan air tanah (air baku, pertanian). Sehingga, dimusim kering sering timbul konflik pengguna air dari berbagai sektor.

Kekeringan yang terjadi di daerah studi yakni DAS Brantas bagian Hulu, dampaknya memang tidak langsung terlihat, namun seiring semakin menyusutnya jumlah mata air yang ada mengindikasikan daerah tersebut mulai mengalami kekeringan. Hal ini di buktikan dengan kawasan resapan air Wilayah DAS Brantas Hulu banyak yang hilang akibat alih fungsi lahan yang menyebabkan penyusutan jumlah mata air. Investigasi yang dilakukan di daerah Toyomerto-Gunung Arjuno dan Gunung Kawi menunjukkan secara jelas mengecilnya mata air yang ada dan bahkan hilangnya beberapa sumber mata air (Survei Ecoton bersama *Intenational Union for Conservation of Nature and Natural Resources* (IUCN) *Ecosystem-Grant Programme* (EGP) Belanda). (Budi K, 2010).

Tingkat kekeringan suatu daerah dapat diketahui dengan menghitung

indeks kekeringannya. Salah satu metode perhitungan indeks kekeringan telah dikemukakan oleh *Thornthwaite (1957)* dengan prinsip neraca air menggunakan faktor evapotraspirasi sebagai faktor utama.

Tujuan dari studi ini adalah:

1. Untuk pemprediksi besarnya potensi daerah rawan kekeringan yang terjadi pada daerah studi.
2. Untuk menggambarkan kondisi dari dampak terjadinya kekeringan.
3. Menjadi *pilot project* dari analisa potensi kekeringan hidrologi yang ada pada DAS Brantas.
4. Untuk memanfaatkan teknologi GIS dalam menyelesaikan suatu masalah sumber daya air khususnya potensi daerah rawan kekeringan.

2. BAHAN DAN METODE

A. Daerah Penelitian

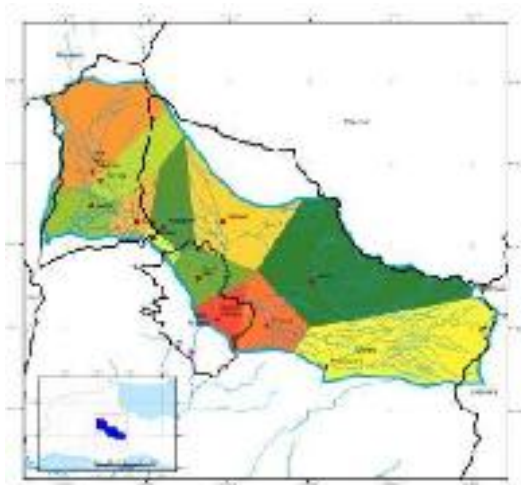
Lokasi Studi yang akan digunakan adalah DAS Brantas Bagian Hulu dengan luas ketiga Sub-DAS sebesar 775,04 km² terdiri dari :

- Sub-DAS Amprong = 353,641 km²,
- Sub-DAS Bango-Sari = 238,44 km²
- Sub-DAS Upper Brantas = 182,96 km².

Adapun batas wilayah hidrologi DAS Brantas Hulu adalah sebagai berikut :

- Sebelah Barat berbatasan dengan Sub-DAS Konto di Kabupaten Malang
- Sebelah Timur berbatasan dengan Kabupaten Malang
- Sebelah Utara berbatasan dengan sub DAS Brangkal dan Sub DAS Sadar Kabupaten Mojokerto dan Pasuruan
- Sebelah Selatan berbatasan dengan Sub DAS Metro Kabupaten Malang

Lokasi studi berada pada DAS Brantas Hulu yang berfungsi sebagai daerah penyangga dan memiliki potensi pengembangan pembangunan wilayah yang baik. Lokasi DAS Brantas Hulu ini ditunjukkan oleh Gambar 1



Gambar 2. Peta Sebaran Pos Hujan
Sumber : Hasil Arcview

b) Suhu Udara

Variasi suhu di Indonesia lebih dipengaruhi oleh ketinggian tempat (*altitude*). Suhu maksimum di Indonesia menurun sebesar $0,6^{\circ}\text{C}$ untuk setiap kenaikan elevasi setinggi 100 meter, sedangkan suhu minimum menurun $0,5^{\circ}\text{C}$ setiap kenaikan elevasi 100 meter.

$$T_{\text{maks}} = 31,3 - 0,006x \quad (1)$$

$$T_{\text{min}} = 22,8 - 0,005x \quad (2)$$

Dimana:

T_{maks} = suhu maksimum ($^{\circ}\text{C}$)

T_{min} = suhu minimum ($^{\circ}\text{C}$)

X = ketinggian tempat (m)

Tidak semua pos stasiun hujan memiliki data suhu udara. Sehingga perlu melakukan pendugaan suhu dari stasiun terdekat dalam lokasi studi yakni pada Stasiun Klimatologi Karangploso Malang dengan cara mempertimbangkan faktor ketinggian tempat. Untuk penyesuaian ini digunakan cara *Mock* (1973).

$$\Delta t = 0,006 (z_1 - z_2) \quad ^{\circ}\text{C} \quad (3)$$

Dimana :

Δt = perbedaan suhu antara stasiun pengukuran dengan stasiun pengukuran yang dianalisa ($^{\circ}\text{C}$)

z_1 = elevasi stasiun pengukuran (m)

z_2 = elevasi stasiun hujan analisa (m)

c) Evapotranspirasi Potensial

Evapotranspirasi potensial (PE) adalah laju evapotranspirasi yang terjadi dengan anggapan persediaan air dan kelembaban tanah cukup sepanjang waktu, sedangkan evapotranspirasi aktual (EA) adalah evapotranspirasi yang terjadi sesungguhnya sesuai dengan keadaan persediaan air/kelembaban tanah yang tersedia. Nilai $EA=PE$ apabila persediaan air tidak terbatas (Soewarno, 2000).

Thornthwaite merupakan metode empiris dengan cara menghitung evapotranspirasi potensial dari data suhu udara rata-rata bulanan, standar bulan 30 hari dan lama penyinarannya 12 jam. Adapun persamaan adalah sebagai berikut :



Dimana :

T_m = suhu udara rerata bulanan ($^{\circ}\text{C}$)

I = indeks panas tahunan.

i = indeks panan bulanan

PE_x = Evapotraspirasi potensial yang belum disesuaikan dengan faktor f (mm/bulan)

Evapotranspirasi potensial terkoreksi dikalikan faktor koreksi yang bisa dilihat pada persamaan 8.

$$PE = f \times PE_x \quad (4)$$

Dimana :

f = Faktor koreksi (tabel Koefesien penyesuaian hubungan antara jumlah jam dan hari terang berdasarkan lokasi)

PE = Nilai Evapotraspirasi potensial (mm/bulan)

d) Air Tersedia Dan Kapasitas Penyimpanan Air (*Water Holding Capacity*)

Pendugaan kapasitas menyimpan air (WHC) dilakukan secara tidak langsung. Cara ini memerlukan Peta Tanah (tekstur tanah) dan Peta Liputan Vegetasi (penggunaan lahan) serta tabel konversi *Thorntwaite Mather*. Adapun cara pendugaan yang dilakukan dengan :

- Membuat peta isohyet pada peta jaringan stasiun hujan.
- Dilakukan overlay peta sebaran hujan, peta jenis tanah (tekstur tanah diketahui) dan peta tutupan lahan.
- Dilakukan perhitungan luas setiap bentuk penggunaan lahan pada setiap potigon dengan mempertimbangkan perbedaan tekstur tanahnya.
- Dengan Tabel Pendugaan Kapasitas Air tersedia berdasarkan kombinasi tipe tanah dan vegetasi, diperoleh nilai air tersedia (mm/m) dan panjang perakaran, maka nilai kapasitas menyimpan air (*water holding capacity*) didapat.

Dengan memanfaatkan sistem informasi geografis (SIG) pendugaan kapasitas menyimpan air (WHC atau ST_0) dapat dilakukan.

D. Metode

Tahapan-tahapan perhitungan Indeks kekeringan adalah sebagai berikut :

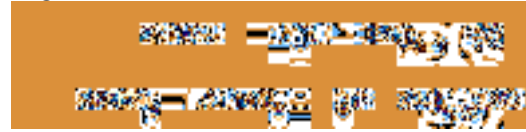
a) Menghitung selisih antara P dan PE tiap bulan

- $(P - PE) > 0$, terjadi surplus curah hujan (periode bulan basah)
- $(P - PE) < 0$, terjadi defisit curah hujan (periode bulan kering)

b) Menghitung jumlah komulatif dari defisit curah hujan (*Accumulation Potential Water Loss, APWL*)

Dengan menjumlahkan angka-angka $(P - PE)$ untuk bulan-bulan yang

mempunyai evapotraspirasi potensial lebih daripada curah hujan (nilai $P - PE$) negatif.



Apabila $P > PE$, seri data ini terputus, $APWL = 0$

c) Kelengasan Tanah

- Pada bulan-bulan basah ($P > PE$), nilai $ST = ST_0$ (*water holding capacity*)
- Bulan-bulan basah ($P > PE$) berakhir digantikan bulan-bulan kering ($P < PE$), pada bulan ini ST tiap bulan dihitung dengan rumus :

$$ST = ST_0 * e^{(APWL_i - ST_0)} \quad (5)$$

Dimana:

ST = Kandungan lengas tanah dalam daerah perakaran (mm)

ST_0 = Kandungan lengas tanah dalam kapasitas lapang (mm)

$APWL$ = Jumlah kumulatif dari defisit curah hujan (mm)

- Selanjutnya apabila bulan kering berakhir digantikan dengan bulan basah kembali, nilai ST tiap bulan dilakukan dengan menjumlahkan selisih $P - PE$ dengan ST bulan sebelumnya, sehingga suatu saat nilai penjumlah tersebut sama dengan nilai ST_0 (apabila nilai ST melebihi nilai ST_0) maka nilai ST tetap dituliskan sama besarnya dengan nilai ST_0 .

$$ST_i = ST_{i-1} + (P - PE) \quad (6)$$

$$ST > ST_0 \text{ maka } ST = ST_0 \quad (7)$$

d) Perubahan Kelengasan Tanah

Perubahan lengas tanah (ΔST) tiap bulan dihitung dengan mengurangi nilai (ST) pada bulan yang bersangkutan dengan (ST) pada bulan sebelumnya ($\Delta ST = ST_i - ST_{i-1}$), tanda nilai negatif menyebabkan tanah menjadi lebih kering.

e) Evapotranspirasi Aktual (E_A)

Besarnya evapotranspirasi aktual tiap bulan yaitu :

- Pada bulan basah $P > PE$, nilai $E_A = PE$
- Pada bulan kering $P < PE$, nilai $E_A = P - \Delta ST$.

f) Perhitungan Defisit (D)

Kekurangan lengas (*moisture deficit*, D) yang terjadi pada bulan-bulan kering $P < PE$, diperoleh dari selisih evapotranspirasi potensial dengan evapotranspirasi aktual ($D = PE - E_A$).

g) Kelebihan Lengas (S)

Kelebihan lengas (*moisture surplus*, S) yang terjadi pada bulan-bulan basah $P > PE$, diperoleh dari $S = (P - PE) - \Delta ST$.

h) Perhitungan Indeks Kekeringan

Dari hasil perhitungan neraca air bila diperoleh nilai D (defisit air), kemudian menjadi variabel masukan untuk menghitung Indeks Kekeringan (%) menurut *Thornthwaite* dihitung dengan rumus :

$$I_a = 100 \frac{D}{PE} \quad (8)$$

Dimana :

I_a = Indeks Kekeringan (%)

D = Kekurangan/defisit air (mm)

Indeks kekeringan (%) diperoleh dari hasil analisa keseimbangan air untuk masing-masing stasiun.

Nilai indeks kekeringan metode *Thornthwaite* tiga tingkat kekeringan, yaitu : ringan, sedang, dan berat.

Tabel 1 Nilai Indeks Kekeringan menurut *Thornthwaite*

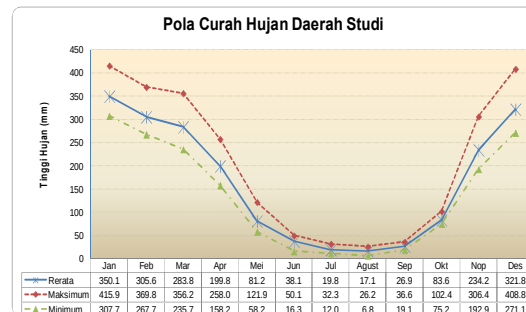
Indeks Kekeringan (I_a) %	Tingkat Kekeringan
0,00 – 16,7	Ringan
16,7 – 33,3	Sedang
> 33,3	Tinggi

Sumber : Iiaco B.V., 1981 Oleh Lasmana, I, 2008

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Data Curah Hujan

Pola dan variasi curah hujan rerata, maksimum dan minimum bulanan di daerah studi dapat dilihat pada gambar 3 dimana grafik besarnya curah hujan dari waktu ke waktu menggambarkan suatu pola dan siklus tertentu. Kadang terjadi penyimpangan pada pola itu, tetapi biasanya kembali lagi pada pola yang teratur. Fluktuasi ini menghasilkan variasi musiman, yaitu musim kering (kemarau) pada bulan Agustus dan musim basah (penghujan) pada bulan Januari.



Gambar 3. Pola Curah Hujan Rata-rata

Sumber : Hasil Analisa

B. Analisa Spatial Curah Hujan

Dalam analisa pola curah hujan dengan metode Mohr membedakan keadaan hujan bulanan menjadi tiga golongan, yaitu bulan basah, bulan kering dan bulan lembab. Bulan basah adalah bulan yang curah hujannya melebihi 100 mm ($P \geq 100$ mm), sedangkan bulan kering adalah bulan yang curah hujannya kurang dari 60 mm ($P \leq 60$ mm). Antara bulan basah dan bulan kering disebut bulan lembab ($60 \leq P \leq 100$ mm). Hasil analisa spatial curah hujan menurut Mohr pada lokasi studi dapat dilihat pada Gambar 4 berikut ini.

Analisa spatial curah hujan dilakukan untuk melihat daerah mana saja yang memiliki potensi kekeringan dengan dilihat dari besar kecilnya nilai curah hujan itu sendiri. Selain itu, analisa ini dilakukan untuk mengetahui besar kecilnya curah hujan tiap titik pos hujan.

Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa curah hujan minimum secara keseluruhan terjadi pada bulan Juni, Juli, Agustus, September dan Oktober.

Pos Jabung berada di sub-DAS Amprong memiliki curah hujan tertinggi 171,2 mm/bulan (Desember), sedangkan Pendem berada pada sub-DAS Upper Brantas dengan curah hujan terendah sebesar 0,9 mm/bulan (Juli dan Agustus).

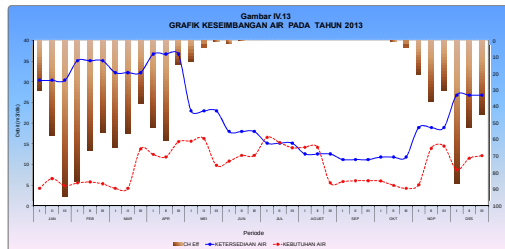
C. Analisa Neraca Air

Kebutuhan air total di lokasi studi tahun 2013 sampai pada akhir tahun proyeksi (tahun 2030), laju pertumbuhan $(r) = 0,25\%$ dapat dilihat pada tabel 2.

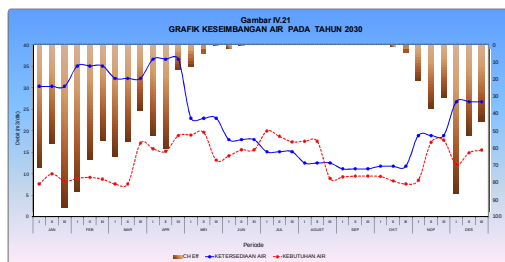
Tabel 2 Perbandingan selisih kebutuhan dan ketersediaan air

Tahun	Outflow	Selisih
2013	307,112	85,202
2015	315,695	75,619
2020	342,847	49,467
2025	377,914	14,400
2030	414,574	-22,259

Sumber : hasil Analisa



Gambar 5. Grafik Keseimbangan Air Bulanan Tahun 2013



Gambar 6. Grafik Keseimbangan Air Bulanan Tahun 2030

Dari grafik didapatkan keseimbangan tahun 2013 sebesar 85,202 juta m^3 /tahun (*surplus*). Mengalami penurunan pada proyeksi tahun 2030 sebesar -22,259 juta m^3 /tahun (*defisit*).

a) Analisa Tata Guna Lahan

Dalam analisa tata guna lahan diperoleh adanya perubahan tata guna lahan tahun 2001 dan 2008 seperti pada tabel 3 berikut ini.

Tabel 3 Perubahan Tata Guna Lahan

No	Penggunaan Lahan	Luas 2001		Luas 2008		Perubahan
		Km ²	(%)	Km ²	(%)	
1	Air Tawar	1.19	0.15	1.19	0.15	0.00
2	Hutan	188.82	24.41	103.01	13.32	-11.09
3	Kebun	61.68	7.97	101.57	13.13	5.16
4	Padang Rumpuk/Tanah Kosong	12.19	1.58	16.04	2.07	0.50
5	Pemukiman	84.00	10.86	88.55	11.45	0.59
6	Sawah Irigasi	117.78	15.23	113.67	14.70	-0.53
7	Sawah Tadah Hujan	2.43	0.31	2.36	0.31	-0.01
8	Semak Belukar	96.80	12.51	87.63	11.33	-1.19
9	Tanah Ladang	208.59	26.97	259.46	33.54	6.58
Jumlah		773.47	100.00	773.47	100.00	

Sumber : Hasil Analisa Arc-View 3.3

Dari tabel 3 di atas, disimpulkan bahwa DAS Brantas Hulu mengalami perubahan tata guna lahan secara signifikan selama kurun waktu 7 tahun, ditunjukkan berkurangnya prosentase hutan sebesar -11,09% dan beralih dengan bertambahnya prosentase kebun dan tanah ladang.

b) Analisa Kapasitas Penyimpanan Air (*water holding capacity*)

Berdasarkan peta penggunaan lahan di atas, maka diperoleh nilai kapasitas air tersedia, panjang zona perakaran dan kelembaban. Rekapitulasi nilai STo tahun 2001 dan tahun 2008 dapat dilihat pada tabel 4 berikut ini.

Tabel 4 Nilai kapasitas penyimpanan air di setiap stasiun hujan

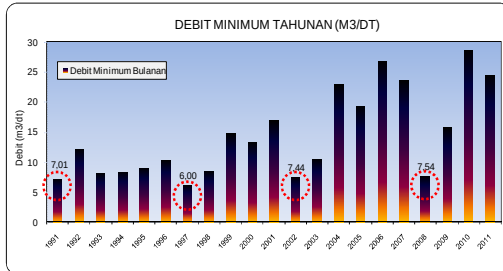
NO	STASIUN	NILAI STo		Perubahan
		Tahun 2001	Tahun 2008	
1	Jabung	215.364	214.831	-0.533
2	Karangploso	150.723	146.939	-3.784
3	Poncokusumo	264.403	263.463	-0.941
4	Tumpang	194.827	194.826	0.000
5	Ngaglik	275.113	265.778	-9.335
6	Ngujung	194.388	192.159	-2.229
7	Pendem	221.981	206.232	-15.749
8	Temas	193.563	193.450	-0.113
9	Tinjumoyo	257.927	254.081	-3.846
10	Kedung Kandang	131.202	131.202	0.000
11	Lowokwaru	171.592	164.018	-7.574
12	Singosari	155.021	154.119	-0.902

Sumber : Hasil Analisa

Dari tabel di atas, dapat diketahui bahwa nilai kapasitas penyimpanan air mengalami penurunan selama kurun waktu 7 tahun.

D. Analisa Data Debit

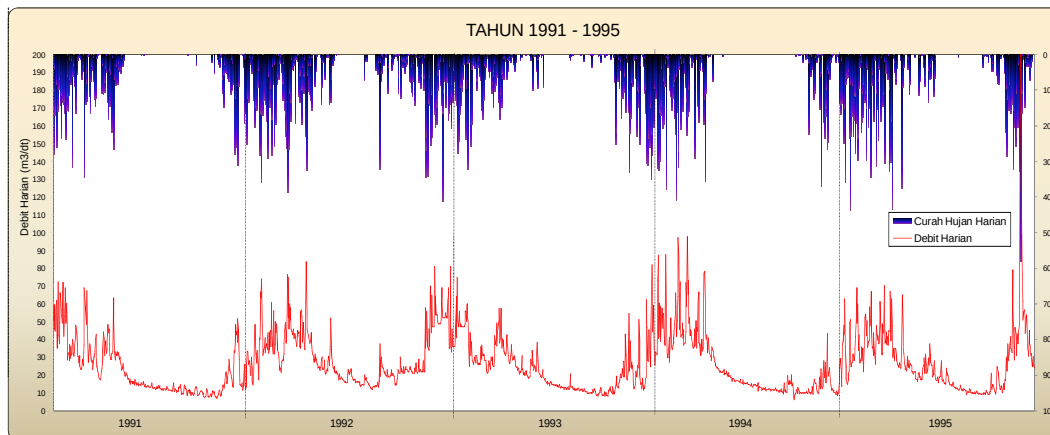
Data debit AWLR Gadang yang digunakan dalam studi ini berada pada outlet DAS Brantas hulu. Berikut ini adalah nilai debit minimum pada tahun 1991 – 2011.



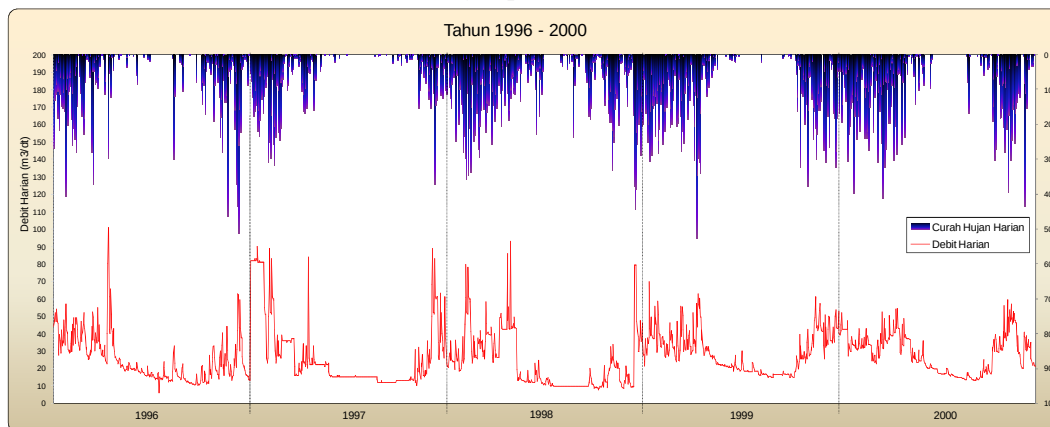
Gambar 7. Debit minimum AWLR Gadang
Sumber : Hasil Analisa

Dari grafik di atas diperoleh nilai debit minimum pada tahun 1991, tahun 1997, tahun 2002 dan tahun 2008.

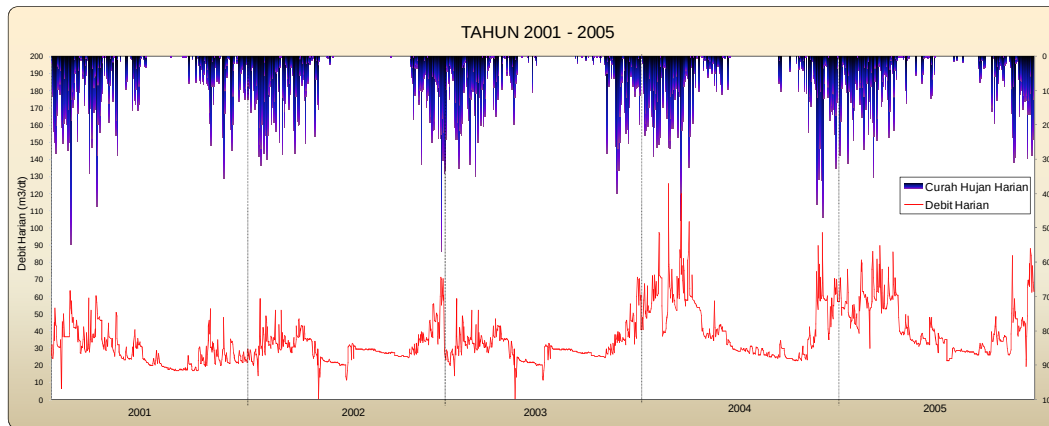
Perubahan besarnya ratio antara debit maksimum dan minimum harian pertahun yang diiringi intensitas curah hujan memperlihatkan adanya perubahan karakteristik aliran yang sangat berarti. Sehingga membutuhkan adanya pengamatan pola aliran harian pada pos AWLR Gadang dan 12 pos hujan yang dianggap mewakili zona hulu DAS Brantas seperti pada gambar 8 sampai dengan gambar 11.



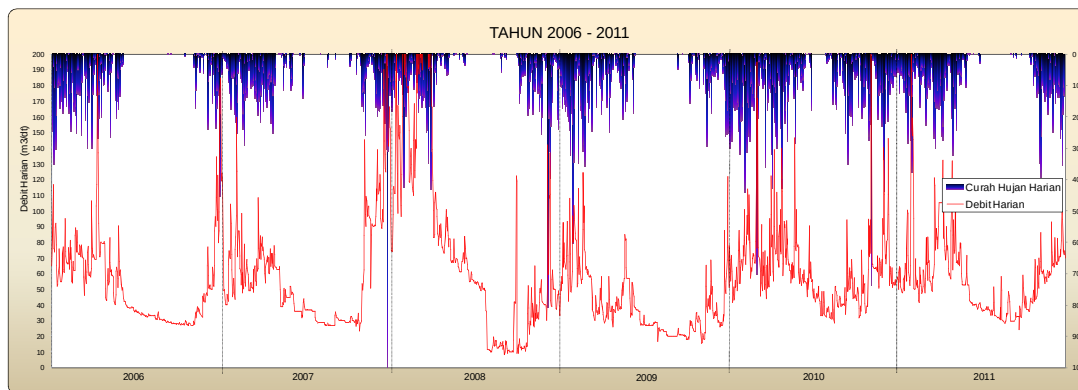
Gambar 8. Perbandingan Debit Harian AWLR Gadang dan Intensitas Hujan 12 Pos Hujan pada Tahun 1991-1995



Gambar 9. Perbandingan Debit Harian AWLR Gadang dan Intensitas Hujan 12 Pos Hujan pada Tahun 1996-2000



Gambar 10. Perbandingan Debit Harian AWLR Gadang dan Intensitas Hujan 12 Pos Hujan pada Tahun 2001-2005



Gambar 11. Perbandingan Debit Harian AWLR Gadang dan Intensitas Hujan 12 Pos Hujan pada Tahun 2006-2011

Perubahan karakteristik aliran yang terindikasi dari debit maksimum pada saat musim hujan dan debit minimum pada musim kemarau merupakan salah satu indikator yang menunjukkan kekritisitas kondisi DAS. Perubahan tersebut dapat dilihat dari data perubahan pola debit rata-rata harian pada pos AWLR yang diiringi dengan fluktuasi hujan yang deras menunjukkan bahwa DAS tersebut mengalami kerusakan akibat perubahan tata guna lahan.

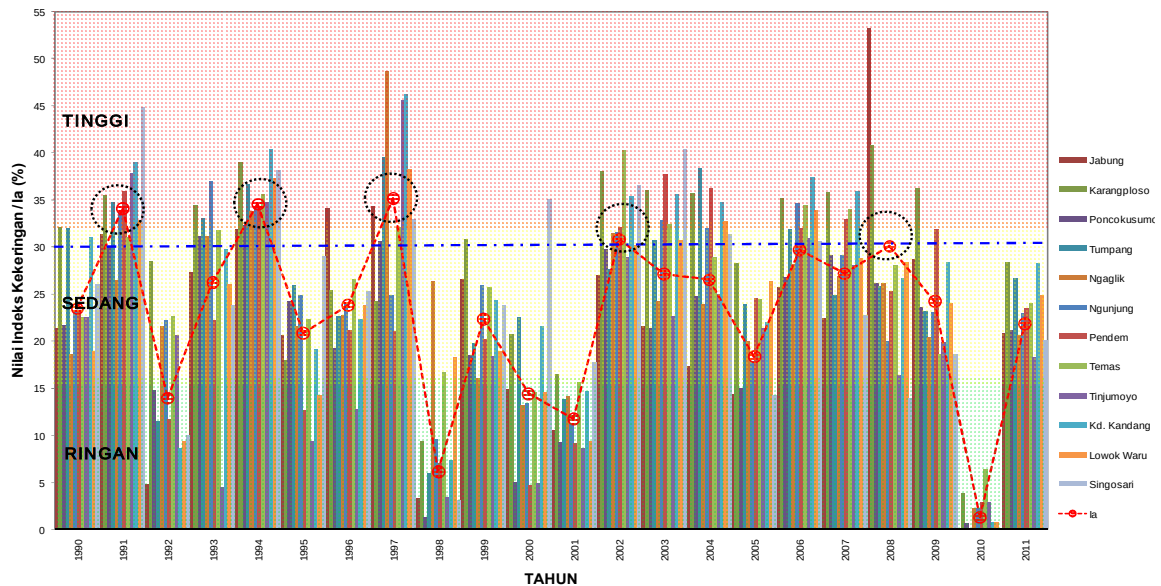
Pada awal tahun 1991 fluktuasi hidrograf dan intensitas hujan terlihat masih menunjukkan bahwa DAS masih dapat menahan atau menyimpan air, sedangkan mulai tahun 2006 intensitas hujan pada DAS sudah tidak dapat

menyimpan air seperti pada tahun sebelumnya, sehingga air langsung mengalir masuk ke sungai.

Dari analisa tata guna lahan sebelumnya terlihat perubahan fungsi hutan menjadi tanah ladang dan kebun sebesar 11,09% telah berakibat pada peningkatan intensitas debit maksimum pada tahun 2006 karena hujan pada DAS tersebut dominan tidak tertahan pada hulu DAS yang berupa hutan.

E. Analisa Spatial Indeks Kekeringan

Analisa spatial indeks kekeringan tahunan ini bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai kekeringan tahun 1990 – 2011, ditunjukkan seperti gambar 12.



Gambar 12. Grafik Indeks Kekeringan Tahunan

a) Analisa Spatial Indeks Kekeringan Tahun 1991

Pada tahun ini terjadi penurunan debit sungai pada bulan Oktober sebesar 7,01 m³/dt. Selain itu pada tahun ini juga mengalami kejadian kekeringan terjadi pada bulan Maret - November mulai dari

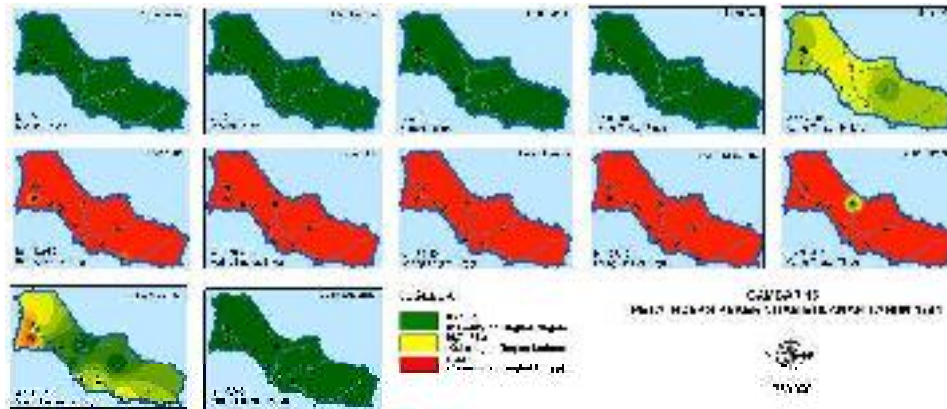
tingkat ringan sampai tinggi dan mencapai puncaknya pada bulan Oktober dimana kekeringan maksimum terjadi hampir merata diseluruh wilayah dengan skala indeks kekeringan skala tinggi mencapai 87,7%.



b) Analisa Spatial Indeks Kekeringan Tahun 1994

Pada tahun ini terjadi debit minimum sungai pada bulan Oktober sebesar 7,97 m³/dt. Selain itu pada tahun ini juga mengalami kejadian kekeringan terjadi pada bulan April - Desember

mulai dari tingkat ringan sampai tinggi dan mencapai puncaknya pada bulan Oktober dimana kekeringan maksimum terjadi hampir merata diseluruh wilayah dengan skala indeks kekeringan skala tinggi mencapai 90,47 %.



c) Analisa Spatial Indeks Kekeringan Tahun 1997

Pada tahun ini merupakan tahun *El-Nino* dimana debit sungai mengalami penurunan pada bulan Oktober sebesar 6,00 m³/dt. Selain itu pada tahun ini juga mengalami kejadian kekeringan terjadi

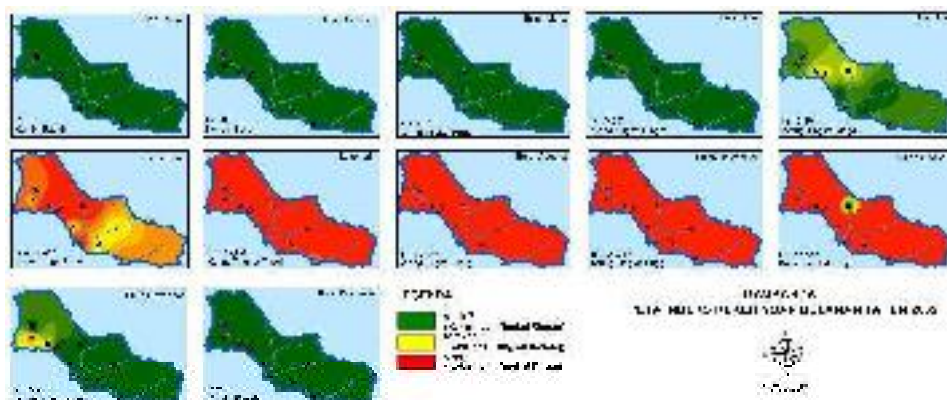
pada bulan Maret - Desember mulai dari tingkat ringan sampai tinggi dan mencapai puncaknya pada bulan September dimana kekeringan maksimum terjadi hampir merata diseluruh wilayah dengan skala indeks kekeringan skala tinggi mencapai 83,52%



d) Analisa Spatial Indeks Kekeringan Tahun 2002

Pada tahun ini terjadi penurunan debit sungai pada Mei sebesar 7,44 m³/dt. Selain itu pada tahun ini juga mengalami kejadian kekeringan terjadi pada bulan Maret - November mulai dari tingkat ringan sampai tinggi dan mencapai

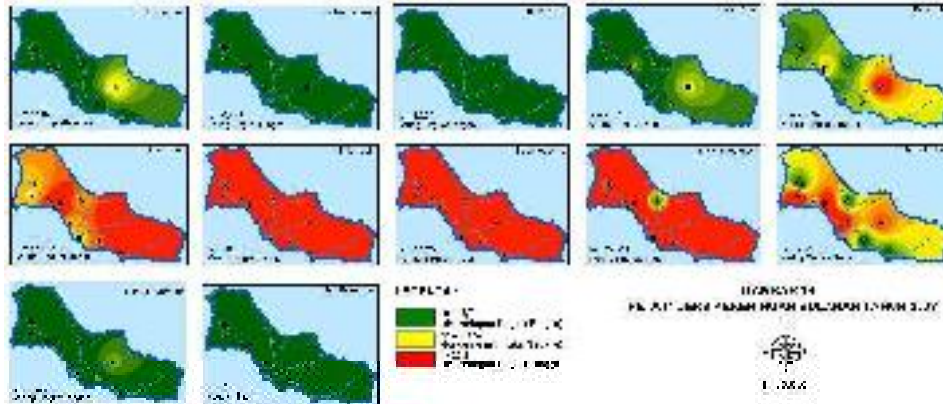
puncaknya pada bulan Oktober dimana kekeringan maksimum terjadi hampir merata diseluruh wilayah dengan skala indeks kekeringan skala tinggi mencapai 89,585%



e) Analisa Spatial Indeks Kekeringan Tahun 2008

Pada tahun ini terjadi penurunan debit sungai pada bulan September sebesar $7,54 \text{ m}^3/\text{dt}$. Selain itu pada tahun ini juga mengalami kejadian kekeringan terjadi pada bulan Januari - November

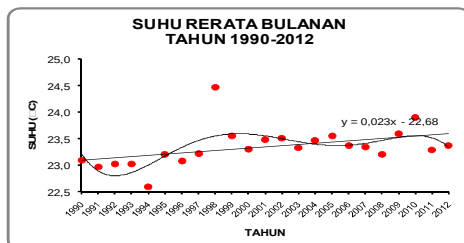
mulai dari tingkat ringan sampai tinggi dan mencapai puncaknya pada bulan September dimana kekeringan maksimum terjadi hampir merata diseluruh wilayah dengan skala indeks kekeringan skala tinggi mencapai 76,223%



F. Analisa Variabilitas Iklim

Analisa perubahan iklim yang terjadi pada wilayah studi dapat ditunjukkan pada hal-hal sebagai berikut.

a) Tren Perubahan Suhu



Gambar 17. Tren perubahan suhu

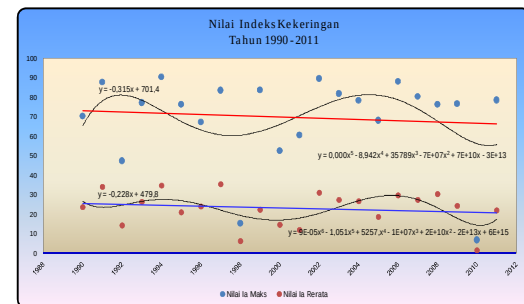
Sumber : Hasil Analisa

Dari analisa suhu selama 23 tahun pada grafik diatas, terlihat bahwa suhu mulai dari tahun 1990 – 2012 mengalami kenaikan sebesar 0,023 per tahun. Hal ini menunjukkan adanya pemanasan global pada wilayah studi.

b) Analisa Tren Kekeringan

Tren kekeringan merupakan suatu analisa yang menunjukkan variasi kejadian kekeringan yang terjadi selama kurung waktu tertentu dan bisa digunakan sebagai prediksi kejadian kekeringan selama 5 tahun kedepan.

Tren indeks kekeringan yang terjadi dilokasi studi seperti pada gambar 19 berikut ini.



Gambar 18 Tren Indeks Kekeringan

Sumber : Hasil Analisa

Dari kedua garis polinomial diketahui :

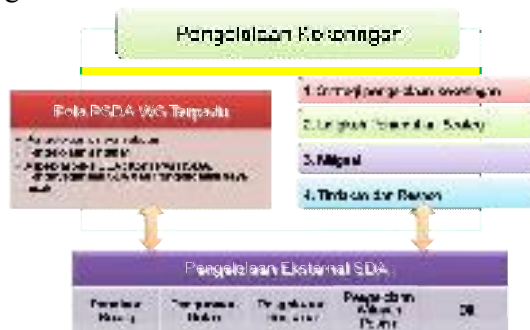
- puncak kejadian kekeringan terjadi pada tahun 1994 dan 2005 dengan rentan waktu selama 11 tahun, sehingga kejadian puncak kekeringan akan terjadi lagi pada tahun 2016.
- Tahun basah terjadi pada tahun 1998 dan 2010 dengan rentan waktu selama 12 tahun, sehingga tahun basah akan terjadi lagi pada tahun 2022.

G. Sistem Pengelolaan Kekeringan

Sistem pengelolaan kekeringan merupakan suatu pendekatan dengan

konsep keseimbangan antara suplai sumber daya air dan kebutuhan air sertaantisipasi atau menghindari ancaman dari dampak kekeringan.

Pengelolaan masalah kekeringan harus menetapkan taraf resiko kegagalan dari suplai air berupa resiko kekurangan air dan keamanan suplai air seperti pada gambar 19.



Gambar 19 Kaitan Pengelolaan Kekeringan dengan Aspek Lainnya (R.J.Kodoatie et.al, 2010)

H. Arahan Tata Ruang Wilayah

a) Konservasi Vegetatif

Salah satu konservasi vegetatif yang sesuai di lokasi studi adalah Jenis *Agroforestry*. *Agroforestry* dikenal dengan istilah wanatani atau *Agroforestry* adalah menanam pepohonan di lahan pertanian. *Agroforestry* dapat terbagi menjadi dua sistem, yaitu sistem *Agroforestry* sederhana dan sistem *Agroforestry* kompleks.



Gambar 20 Sistem *Agroforestry* yang banyak dikembangkan

b) Konservasi Mekanik

Bentuk konservasi mekanik yang bisa diterapkan pada lahan kemiringan 10%-60% adalah Sistem teras bangku seperti pada gambar 21.



Gambar 21 Contoh Teras Bangku

Sumber : Petunjuk Teknis Konservasi Tanah

c) Konservasi Air

Teknologi konservasi air adalah upaya untuk mengatur penyediaan air khususnya pada saat musim kemarau (kekurangan air), meningkatkan volume air tanah juga memperbesar daya simpan air. Beberapa bangunan konservasi air yang murah dan mudah untuk mengatur ketersediaan air sepanjang tahun adalah Embung/Dam ataupun Danau buatan.

Dari analisa indeks kekeringan nilai terbesar terjadi pada stasiun hujan Karangploso (10 kali), Kedung Kandang (8 kali) dan Singosari (5 kali) selama kurun waktu 22 tahun. Sehingga perlu adanya bangunan embung pada wilayah ketiga stasiun hujan tersebut. Dengan mempertimbangkan adanya alur sungai dan jauh dari pemukiman penduduk. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 22 Peta Arahan Penempatan Titik Embung dan Danau Buatan

Dari peta di atas, dapat diketahui rencana penempatan embung dan danau buatan sebagai berikut :

- 1 Embung di Karangploso
- 3 Embung di Singosari
- 1 Danau Buatan di Kedung Kandang

4. PENUTUP

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

a) Besaran Indeks kekeringan

Besaran indeks kekeringan rata-rata (I_a) dihitung dengan menggunakan metode *Thornthwaite* menunjukkan periode bulan basah pada bulan November – April ($I_a = 0,043-6,492$). Nilai indeks kekeringan mulai meningkat pada bulan Mei ($I_a=10,715$). Pada periode bulan Juni – Oktober defisit air mulai meningkat dari klasifikasi ringan sampai tinggi. Puncak kekeringan terjadi pada bulan September dengan nilai indeks kekeringan mencapai ($I_a=66,876$).

Trend Indeks kekeringan

- ❖ Kejadian *El-Nino* (Tahun kering) terjadi tahun 1991, 1997, 2002 dan 2008 dengan rata-rata kejadian kekeringan tingkat tinggi selama 5 bulan dalam setahun. Trend kekeringan terjadi pada lokasi studi dengan rentan waktu 6 – 5 – 6 tahun. Sehingga tahun kering diprediksi akan terjadi lagi pada tahun 2014.
- ❖ Tahun basah (*La Nina*) terjadi pada tahun 1998 dan 2010 dengan rentan waktu selama 12 tahun, sehingga tahun basah diprediksi akan terjadi lagi pada tahun 2022.

b) Selisih Kebutuhan dan Ketersediaan Air

Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa ketersediaan air total tahun 2013 sebesar 392,314 juta m^3 /tahun nilai ini dianggap tetap selama proyeksi, sedangkan kebutuhan air total tahun 2013 sebesar 307,11 juta m^3 /tahun dan meningkat menjadi 414,57 juta m^3 /tahun (tahun 2030) dengan laju pertumbuhan (r) mencapai 0,25%.

c) Hubungan kondisi tata guna lahan, Indeks Kekeringan dan ketersediaan debit

Berdasarkan analisa tata guna lahan tahun 2001 dan 2008 terdapat perubahan kondisi hutan sebesar -11,09% berubah menjadi kebun dan tanah ladang. Sehingga mengalami penurunan nilai STo , terutama pada stasiun hujan Pendem sebesar -15,7491 yang berakibat meningkatnya nilai Indeks Kekeringan dan ditandai dengan penurunan jumlah debit yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2003. *Permasalahan Kekeringan dan Cara Mengatasinya*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air. Bandung.
- Budi K. 2010. *Mata Air Brantas Menyusut Drastis*. <http://entertainment.kompas.com/read/2010/03/22/21184259/Mata.Air.Brantas.Menyusut.Drastis> Tanggal akses 02 Maret 2013 jam 15.15 WIB
- Calvo, J.C. 1986. *An Evalution of Thornthwaite's water balance technique in predeceting stream ruoff in Costa Rica*. J. Hydrological Sci. 31:51-60.
- Kodoatie, R.J dan Sjarief R. 2010. *Tata Ruang Air*. Andi. Yogyakarta
- Lasmana, I. 2008. *Analisis Kekeringan di Kabupaten Kupang dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG)*. Tesis. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang.
- Soewarno. 2000. *Hidrologi : Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data Jilid 2*. Bandung: Nova.
- Soemarto, CD. 1987. *Hidrologi Teknik*. Usaha Nasional. Surabaya.