

Penentuan Nilai Ambang Curah Hujan untuk Deteksi Dini Kekeringan pada Tanaman Padi Sawah: Studi Kasus Provinsi Jawa Barat dan Sulawesi Selatan

Rainfall Threshold Assessment for Early Detection of Drought on Rice Paddies : Case Study in West Java and South Sulawesi Provinces

Elza Surmaini^{*1}, Tri Wahyu Hadi², Kasdi Subagyo³, Nanang Tyasbudi Puspito²

¹ Peneliti Badan Litbang Pertanian di Balai Penelitian Agroklimate dan Hidrologi, Jl. Tentara Pelajar No. 1a, Bogor 16111

² Program Studi Sains Kebumihan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10, Bandung

³ Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jl. Ragunan No. 29, Jakarta

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 1 April 2014

Disetujui: 15 Agustus 2014

Kata kunci:

Kekeringan agronomis

Deteksi dini

Padi sawah

Nilai ambang curah hujan

Debit sungai

Keywords:

Agronomic drought

Early detection

Paddy rice

Rainfall threshold

River discharge

Abstrak. Defisit curah hujan dalam periode tertentu merupakan faktor dominan yang menentukan kekeringan agronomis. Oleh karena itu, nilai ambang curah hujan sebelum waktu tanam yang berpotensi menyebabkan kekeringan perlu diketahui untuk deteksi dini. Penelitian ini bertujuan untuk mengkonfirmasi bahwa penurunan curah hujan menyebabkan kekeringan agronomis pada tanaman padi sawah dan menentukan nilai ambang curah hujan yang berpotensi menyebabkan pada musim kemarau. Nilai ambang curah hujan dianalisis secara statistik menggunakan persamaan regresi polinomial antara Indeks Dampak Kekeringan Padi (IDKP) dengan curah hujan dan debit sungai. Model GR4J digunakan untuk menentukan korelasi antara curah hujan dan debit serta mensimulasi debit sungai pada tahun-tahun El Niño. Hasil analisis menunjukkan bahwa curah hujan cukup akurat digunakan sebagai indikator untuk deteksi dini kekeringan agronomis tanaman padi pada sawah tadah hujan dan sawah irigasi. Nilai ambang curah hujan pada sawah tadah hujan adalah 60-70 mm, sedangkan untuk sawah irigasi adalah 20 mm.

Abstract. Prolonged deficit of rainfall is a dominant factor affecting drought severity. Therefore, rainfall threshold prior to planting time that potentially lead to agronomic drought need to be identified for early detection purpose. This research aimed to confirm the adequacy of rainfall for measuring drought on paddy rice, and to assess rainfall thresholds as indicator of drought on paddy rice during dry season planting. Rainfall thresholds were statistically analyzed using a polynomial regression between Paddy Drought Impact Index (PDII) and rainfall and river discharge. GR4J model was used to assess correlation between rainfall and river discharge and to simulate river discharge in El Niño years. We deduce that rainfall is an appropriate indicator for early detection agronomic drought for both rainfed and irrigated paddy rice. We also emphasize that the drought events should be predicted by rainfall thresholds whose values are 20 mm for irrigated paddy field and between 60 mm to 70 mm in rainfed paddy field.

Pendahuluan

Berbagai bukti ilmiah telah menunjukkan bahwa kekeringan menyebabkan pertumbuhan yang tidak normal, kerusakan tanaman, dan penurunan produksi pangan. Secara global, dampak kekeringan terhadap produksi tanaman telah didokumentasikan dengan baik (Sivakumar *et al.* 2005; Li *et al.* 2009). Kekeringan dalam skala luas dilaporkan telah terjadi di semua benua dan biaya ekonomi dan sosial yang ditimbulkan menyebabkan besarnya perhatian terhadap kekeringan (Downing and Bakker 2000). Besarnya dampak kekeringan terhadap ketahanan

pangan memerlukan penanganan yang terencana dan tepat waktu. Menurut Morid *et al.* (2006), keberhasilan upaya mitigasi kekeringan sangat ditentukan oleh informasi mengenai awal, perkembangan, intensitas dan luasnya dampak bencana kekeringan yang dapat diakses dan tersedia tepat waktu.

Curah hujan merupakan faktor penting yang mempengaruhi awal, lama, dan intensitas kekeringan (Lloyd-Hughes and Saunders 2002; Msangi 2004; Sonmez *et al.* 2005), luas wilayah yang terdampak kekeringan dan kerentanan sumberdaya masyarakat (Rouault and Richard 2003; Tadesse *et al.* 2004). Menurut Mishra dan Cherkauer (2010), kekeringan merupakan kejadian ekstrim yang disebabkan defisit curah hujan yang panjang

* Corresponding author: e_surmaini@yahoo.com

(kekeringan meteorologis) dengan suhu diatas normal yang menyebabkan berkurangnya ketersediaan air tanah dan meningkatnya evapotranspirasi. Jika kekeringan meteorologis tersebut berlanjut, akan menyebabkan berkurangnya aliran dasar (kekeringan hidrologis) dan meningkatkan cekaman air tanaman (kekeringan agronomis). Cekaman air yang berlangsung pada awal tanam dan fase pembungaan atau terjadi berulang selama masa tanam dapat menyebabkan berkurangnya pembentukan biomassa dan anakan (Garrity and O'Toole 1994; Atlin *et al.* 2006).

Fase hangat *El Niño Southern Oscillation* (ENSO), dikenal sebagai *El Niño*, berkorelasi negatif dengan curah hujan di Indonesia (Hamada *et al.* 2002; McBride *et al.* 2003; Boer *et al.* 2014). Korelasi spasial antara anomali curah hujan dengan ENSO selama periode kering (Juni-Agustus) dan periode transisi (September-November) lebih kuat daripada musim hujan (MH) seperti yang dinyatakan oleh Haylock dan McBride (2001); Aldrian dan Susanto (2003); Aldrian *et al.* (2007); Giannini *et al.* (2007); Moron *et al.* (2009). Lebih jauh, D'Arrigo *et al.* (2008) melaporkan bahwa frekuensi kekeringan yang berasosiasi dengan *El Niño* antara tahun 1844 dan 1960 terjadi setiap tiga sampai empat tahun sekali. Frekuensi tersebut meningkat menjadi setiap dua sampai tiga tahun sekali antara tahun 1961 and 2006.

Hasil penelitian terdahulu menunjukkan bahwa produksi padi di Indonesia berkorelasi negatif dengan fenomena *El Niño*. Menurut Naylor *et al.* (2002), pada *El Niño* kuat tahun 1997/1998, selama periode Mei sampai September 1997 terjadi penurunan luas tanam sebesar 925.000 ha yang menyebabkan defisit produksi padi periode September 1997-April 1998 mencapai 4,80 juta ton. Falcon *et al.* (2004) menyimpulkan bahwa setiap kenaikan 1°C indeks *Niño* 3.4 pada bulan Agustus menyebabkan penurunan 1,32 juta ton produksi padi pada tahun berikutnya. Kajian lain menyatakan bahwa pada kondisi *El Niño* sebagian besar tanaman padi musim kemarau (MK) mengalami kekeringan (Alimoeso *et al.* 2002; Meinke and Boer 2002).

Data dari Kementerian Pertanian menunjukkan bahwa pada tahun-tahun *El Niño* yang terjadi dalam rentang waktu 1989-2010, tanaman padi yang terkena kekeringan mencapai 350.000-870.000 ha, yang sebagian besar terjadi pada bulan Mei sampai Oktober. Menurut Surmaini *et al.* (2014), kekeringan padi lebih luas pada kejadian *El Niño* dengan intensitas lemah atau sedang seperti tahun 1991, 1994, 2002, dan 2004. Berbeda dengan *El Niño* kuat tahun 1997, penurunan produksi padi lebih disebabkan oleh berkurangnya luas tanam (Naylor *et al.* 2001; Falcon *et al.* 2004). Selanjutnya, Surmaini *et al.* (2014) menyatakan bahwa indeks *Niño* 3.4 dengan kisaran 0-0,5°C pada pemantauan bulan Maret dan kisaran 0,5-1,0°C pada bulan

Juni yang diikuti oleh tren yang meningkat pada lima bulan berikutnya, berturut-turut berpotensi menyebabkan kekeringan padi pada Mei-Juli (MK1) dan Agustus-Oktober (MK2).

Pemantauan indeks *Niño* 3.4 dinilai cukup efektif untuk mendeteksi kekeringan agronomis dalam skala nasional. Namun, bagi penyuluh dan petani indikator tersebut sulit dipahami dan diakses sehingga perlu digunakan parameter lain. Di daerah tropis, curah hujan merupakan unsur iklim yang paling berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Selain itu, curah hujan lebih dipahami dan mudah diakses karena datanya tersedia hampir di setiap kecamatan, terutama di daerah sentra produksi padi di Indonesia.

Hubungan cuaca dengan dinamika air tanah dan nutrisi, fenologi dan fisiologi tanaman adalah dinamis dan non-linier (Hattendorf *et al.* 1988; Hansen and Indeje 2004). Dengan demikian, pendekatan statistik dapat digunakan untuk melihat hubungan langsung curah hujan dan debit sungai dengan kekeringan agronomis. Penelitian ini bertujuan mengkonfirmasi bahwa curah hujan berkorelasi dengan kekeringan agronomis, dan menentukan nilai ambang curah hujan yang berpotensi menyebabkan kekeringan agronomis pada padi sawah irigasi dan tadah hujan.

Metodologi

Lokasi penelitian

Lokasi penelitian meliputi Kabupaten Indramayu, Cirebon, Sumedang dan Majalengka yang terletak di DAS Cimanuk (bagian utara Provinsi Jawa Barat) dan Kabupaten Sidrap, Soppeng, Bone, dan Wajo yang termasuk wilayah DAS Walanae-Cenranae (bagian timur Provinsi Sulawesi Selatan). Lokasi tersebut merupakan sentra produksi padi yang rentan mengalami kekeringan (Surmaini *et al.* 2014). Provinsi Jawa Barat rentan mengalami kekeringan pada MK1 dan MK2, sedangkan Provinsi Sulawesi Selatan hanya pada MK2 yang merupakan puncak MH di wilayah tersebut.

Data penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah 1) data luas terkena kekeringan padi sawah bulanan pada rentang waktu 1989-2010 dari Direktorat Perlindungan Tanaman Pangan, Kementerian Pertanian, 2) data luas tanam padi sawah bulanan tingkat kabupaten dari Badan Pusat Statistik, 3) data curah hujan bulanan 43 stasiun hujan di Kabupaten Indramayu, Cirebon, Sumedang dan Majalengka, dan 32 stasiun hujan di Kabupaten Sidrap, Soppeng, Bone, dan Wajo pada periode 1982-2010 dikumpulkan dari Dinas PU Pengairan dan Badan

Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), dan 4) data debit sungai di wilayah DAS Cimanuk, Jawa Barat yang didapatkan dari dokumentasi Dinas PU Pengairan Provinsi Jawa Barat.

Metode Penelitian

Indeks dampak kekeringan padi

Indeks Dampak Kekeringan pada Padi (IDKP) merupakan rasio antara akumulasi tiga bulan luas kekeringan dengan luas tanam. Indeks ini dapat menggambarkan dampak kekeringan terhadap tanaman padi secara proporsional. Luas Kekeringan Padi (LKP) dibagi menjadi akumulasi luas kekeringan pada Mei-Juli ($LKP_{Mei-Juli}$) dan Agustus-Oktober ($LKP_{Agustus-Oktober}$). Kekeringan tersebut terjadi pada padi yang ditanam pada bulan Maret-Mei ($LTP_{Maret-Mei}$) dan Juni-Agustus ($LTP_{Juni-Agustus}$). Perhitungan tersebut dengan mempertimbangkan umur tanaman padi yang berkisar 100-110 hari dan periode kritis terhadap kebutuhan air adalah dari mulai tanam sampai umur 90 hari (Vergara 1976). Surmaini *et al.* (2014) menghitung IDKP Mei-Juli dan IDKP Agustus-Oktober dengan persamaan sebagai berikut:

$$IDKP_{Mei-Juli} = \frac{LKP_{Mei-Juli}}{LTP_{Maret-Mei}}$$

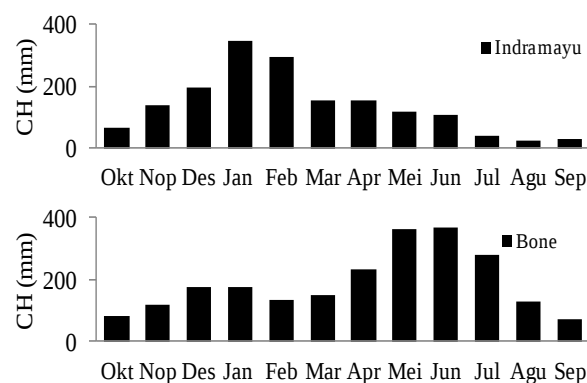
$$IDKP_{Agustus-Oktober} = \frac{LKP_{Agustus-Oktober}}{LTP_{Juni-Agustus}}$$

Pada prinsipnya, persamaan tersebut dapat digunakan untuk menghitung IDKP untuk setiap musim, namun pada penelitian ini difokuskan untuk MK1 dan MK2 seperti diuraikan sebelumnya.

Nilai ambang curah hujan yang berpotensi menyebabkan kekeringan agronomis

Di bagian utara Provinsi Jawa Barat, pada MK1 sawah yang berisiko tinggi mengalami kekeringan adalah sawah tadah hujan. Pada MK2 penanaman padi hanya dilakukan pada sawah irigasi. Namun, periode ini sangat rawan mengalami kekeringan, terutama apabila intensitas El Niño menguat yang menyebabkan suplai air irigasi berkurang. Sebaliknya di wilayah bagian timur Provinsi Sulawesi Selatan, MK2 pada sebagian besar wilayah Indonesia merupakan puncak MH dan sekaligus puncak musim tanam. Namun periode ini juga rawan mengalami kekeringan apabila terjadi El Niño, terutama pada sawah tadah hujan. Pola hujan di kedua wilayah tersebut disajikan pada Gambar 1.

Untuk mendeteksi kekeringan pada Mei-Juli dan Agustus-Oktober dilakukan masing masing pada bulan Maret dan Juni berdasarkan periode indeks ENSO yang mempunyai korelasi tinggi dengan IDKP Mei-Juli dan Agustus-Oktober (Surmaini *et al.* 2014). Pada penelitian ini nilai ambang curah hujan ditentukan dalam selang dasarian agar dapat diaplikasikan pada prediksi operasional yang tersedia yaitu prediksi awal musim BMKG dan Kalender Tanam Terpadu Kementerian Pertanian. Penentuan dasarian bulan Maret dan Juni berdasarkan persentase jumlah stasiun dengan nilai koefisien korelasi ($r \geq 0,5$) dari persamaan regresi antara curah hujan dasarian 1, 2, dan 3 bulan Maret dan Juni masing-masing dengan IDKP Mei-Juli dan IDKP Agustus-Oktober.



Gambar 1. Pola hujan bulanan di Kabupaten Indramayu dan Kabupaten Bone

Figure 1. Monthly rainfall pattern in Indramayu and Bone Districts

Nilai ambang curah hujan pada sawah tadah hujan

Nilai ambang curah hujan ditentukan berdasarkan perpotongan antara garis persamaan regresi curah hujan dasarian dengan IDKP 5%, dengan asumsi IDKP 5% merupakan dampak kekeringan yang masih bisa ditoleransi. Oleh karena hubungan cuaca, air tanah, dan fenologi tanaman dengan mekanisme nutrisi dan biomassa adalah non-linier, maka hubungan curah hujan dasarian bulan Maret dan Juni (y) dengan IDKP (x) menggunakan regresi polinomial dengan persamaan sebagai berikut:

$$Y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + \dots + b_kx^k$$

dimana: b_1 sampai b_k adalah koefisien regresi, b_0 adalah intersep. Orde ke-2 ($k = 2$) adalah bentuk kuadrat (kurva parabolik), dan orde 3 ($k = 3$) adalah bentuk kubik.

Nilai ambang curah hujan pada sawah irigasi

Pada sawah irigasi, ketersediaan air tidak hanya dipengaruhi oleh curah hujan, tetapi juga oleh debit sungai. Namun, debit sungai sebagai indikator kekeringan padi tidak mudah dipahami dan diakses petani. Untuk menggunakan curah hujan sebagai indikator, perlu dibuktikan bahwa terdapat korelasi yang signifikan antara debit sungai dengan curah hujan di wilayah penelitian. Korelasi debit sungai dan curah hujan dianalisis dengan menggunakan model *Génie Rural à 4 paramètres Journalier* atau GR4J (Perrin *et al.* 2003). Model ini telah diaplikasikan pada berbagai DAS seperti DAS Rhine di Jerman (Lerat *et al.* 2006), DAS Rheraya di Maroko (Simonneaux *et al.* 2008) dan DAS di Perancis, Slovenia dan Australia (Mathevet *et al.* 2004). Model ini juga sudah diuji pada berbagai DAS di Indonesia dan mempunyai akurasi yang tinggi pada DAS Citarum (Harlan *et al.* 2010), dan DAS Cisangkuy (Ilhamsyah 2012).

Kalibrasi debit observasi dengan simulasi dilakukan untuk mendapatkan koefisien transfer yang digunakan untuk mensimulasi debit pada tahun-tahun dengan IDKP tinggi. Validasi antara debit sungai harian observasi dan simulasi menggunakan koefisien efisiensi Nash-Sutcliffe, E_{NS} (Nash and Sutcliffe 1970). Menurut Boone *et al.* (2004) dan Oleson *et al.* (2008), nilai E_{NS} antara 0,5 sampai 0,7 dikategorikan baik dan lebih dari 0,7 adalah sangat baik (Boone *et al.* 2004; Oleson *et al.* 2008). Persamaan koefisien efisiensi Nash-Sutcliffe adalah :

$$E_{NS} = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - Q_m^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - \bar{Q}_0)^2}$$

dimana: Q_0^t adalah debit observasi, Q_m^t adalah data debit hasil simulasi menggunakan model GR4J, dan $\bar{Q}_0$ adalah rata-rata debit observasi.

Untuk melihat apakah perubahan jumlah dan distribusi hujan juga diikuti oleh penurunan debit sungai, maka

dilakukan simulasi pola debit menggunakan curah hujan harian pada tahun-tahun El Niño periode tahun 1989-2010 dengan menggunakan koefisien transfer yang telah didapatkan sebelumnya. Jika korelasi kedua curah hujan dan debit sungai signifikan, maka penentuan nilai ambang curah hujan pada sawah tadah hujan dapat diterapkan pada sawah tadah irigasi.

Hasil dan Pembahasan

Pemilihan dasarian untuk deteksi dini potensi kekeringan agronomis

Hasil analisis korelasi antara curah hujan Maret dasarian 1, 2, dan 3 dengan IDKP Mei-Juli dan curah hujan Juni dasarian 1, 2, dan 3 dengan IDKP Agustus-Oktober menunjukkan bahwa nilai $r \geq 0,5$ berkisar 60-70%, lebih tinggi daripada nilai $r < 0,5$ (Tabel 1). Jumlah stasiun dengan nilai $r \geq 0,5$ yang lebih banyak, maka disimpulkan curah hujan dapat dijadikan indikator untuk mendeteksi IDKP. Tabel 1 juga dapat menjelaskan bahwa tidak terdapat perbedaan nilai r yang signifikan antara curah hujan pada dasarian 1, 2, dan 3 dengan IDKP. Oleh karena itu, curah hujan dasarian 1 Maret dan Juni dipilih untuk menentukan nilai ambang curah hujan karena mempunyai *lead time* yang lebih panjang. Diagram pencar antara curah hujan dasarian Maret dengan IDKP Mei-Juli dan dasarian Juni dengan IDKP Agustus-Oktober disajikan pada Gambar 2.

Nilai ambang curah hujan pada sawah tadah hujan

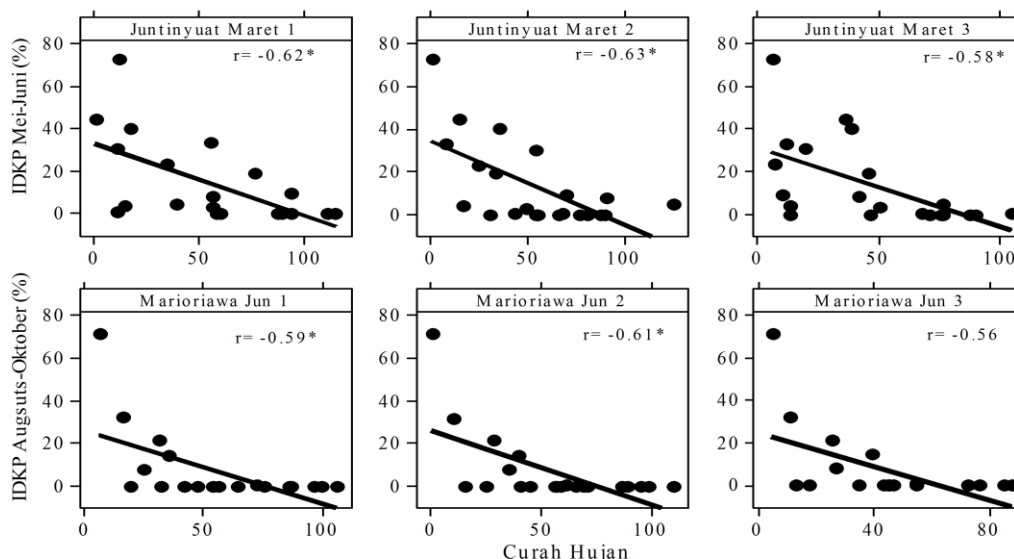
Nilai ambang curah hujan ditentukan berdasarkan hasil korelasi curah hujan dasarian 1 pada bulan Maret dan Juni dengan IDKP pada semua titik pengamatan hujan dengan nilai $r \geq 0,5$. Sebagai contoh, persamaan regresi polinomial antara curah hujan Maret 1 stasiun Parakan Kondang dengan IDKP Mei-Juli Kabupaten Sumedang dan curah hujan Juni 1 stasiun Umpungeng dengan IDKP Agustus-

Tabel 1. Persentase nilai koefisien korelasi (r) curah hujan dasarian dengan Indeks Dampak Kekeringan Padi (IDKP) pada semua stasiun hujan di lokasi penelitian

Table 1. Percentage correlation coefficient (r) of decadal rainfall and Paddy Drought Impact Index (PDII) for all rain-gauges in the study sites

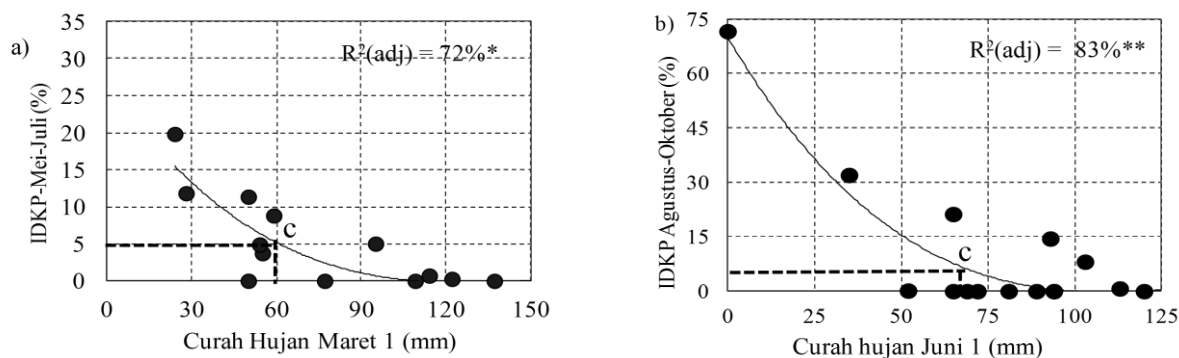
r	IDKP Mei-Juli (Jawa Barat)			IDKP Agustus-Oktober (Jawa Barat)			IDKP Agustus-Oktober (Sulawesi Selatan)		
	M1	M2	M3	J1	J2	J3	J1	J2	J3
< 0,5	34	42	39	28	30	35	46	41	48
≥ 0,5	66	68	61	72	70	65	64	59	62

Keterangan : Persentase r dihitung pada 43 stasiun pengamatan hujan di Kabupaten Indramayu, Cirebon, Sumedang dan Majalengka dan 32 stasiun pengamat hujan di Kabupaten Sidrap, Soppeng, Bone dan Wajo. M1 (curah hujan pada Maret dasarian 1), M2, M3 dikorelasikan dengan IDKP Mei-Juli. Curah hujan Juni dasarian 1 (J1), J2 dan J3 dikorelasikan dengan IDKP Agustus-Oktober. Setiap stasiun hujan dikorelasikan dengan IDKP kabupaten di lokasi stasiun.



Gambar 2. Diagram pencar antara curah hujan Maret dasarian 1, 2, dan 3 dengan Indeks Dampak Kekeringan Padi (IDKP) Mei-Juni pada Kecamatan Juntinyuat, Kabupaten Indramayu dan curah hujan Juni dasarian 1, 2, dan 3 dengan IDKP Agustus-Oktober pada Kecamatan Marioriawa, Kabupaten Soppeng. Tanda * menunjukkan perbedaan yang signifikan berdasarkan korelasi Pearson pada peluang 0,05

Figure 2. Scatter plots of decadal 1, 2, and 3 of March rainfall and Paddy Drought Impact Index (PDII) May-July in Juntinyuat sub-District, Indramayu District and decadal 1, 2 and 3 of June rainfall and PDII August-October in Marioriawa sub-District, Soppeng District. * indicate statistical significance at 0.05 probability level



Gambar 3. Diagram pencar antara (a) curah hujan Maret dasarian 1 pada stasiun Parakan Kondang dengan Indeks Dampak Kekeringan Padi (IDKP) Mei-Juli Kabupaten Sumedang, dan b) curah hujan Juni dasarian 1 pada stasiun Umpungeng dengan IDKP Agustus-Oktober Kabupaten Soppeng. Nilai ambang curah hujan (c) merupakan perpotongan antara IDKP 5% dengan garis persamaan regresi. Tanda * dan ** berturut-turut menunjukkan perbedaan yang nyata pada peluang 0.01 dan 0.05

Figure 3. Scatter plots of a) decadal 1 of March rainfall of Parakan Kondang rain-gauge and Paddy Drought Impact Index (PDII) May-July of Sumedang District, and b) decadal 1 of June rainfall of Umpungeng rain-gauge and PDII August-October of Soppeng District. Rainfall thresholds were defined by cut point between PDII 5% and regression line. * and ** indicate statistical significance at 0.01 and 0.05 probability level, respectively

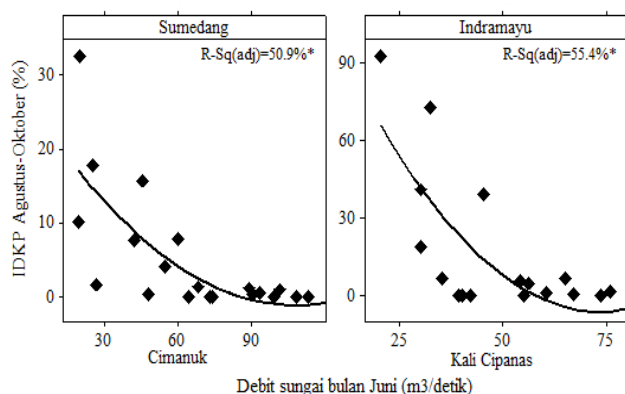
Oktober Kabupaten Soppeng digunakan untuk menentukan nilai ambang curah hujan yang berpotensi menyebabkan kekeringan padi pada MK1 dan MK2 (Gambar 3). Gambar 3 menunjukkan curah hujan dapat menggambarkan keragaman IDKP di Kabupaten Sumedang dan Soppeng masing-masing sebesar 72% dan

83%. Berdasarkan perpotongan IDKP 5% dengan garis regresi didapatkan nilai ambang curah hujan bulan Maret dasarian 1 sebesar 60 mm untuk MK1 di Provinsi Jawa Barat dan bulan Juni dasarian 1 sebesar 70 mm untuk MK2 di Provinsi Sulawesi Selatan.

Nilai ambang curah hujan pada sawah irigasi

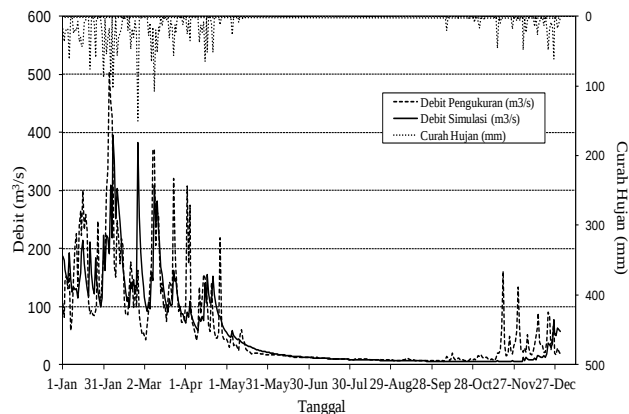
Koefisien korelasi antara beberapa debit sungai bulan Juni di Kabupaten Indramayu, Sumedang, Cirebon dan Majalengka dengan IDKP Agustus-Oktobre yang berkisar antara 0,65-0,86 mengindikasikan bahwa kekeringan padi pada sawah irigasi juga dipengaruhi oleh debit sungai. Sebagai contoh, diagram pencar antara debit Sungai Cimanuk bulan Juni dengan IDKP Agustus-Oktobre Kabupaten Sumedang dan debit Sungai Cipanas dengan IDKP Kabupaten Indramayu disajikan pada Gambar 4.

Hasil simulasi debit sungai harian dengan menggunakan curah hujan harian menunjukkan pola yang mendekati debit observasi dengan nilai E_{NS} berkisar 0,52-0,76. Sebagai contoh, Gambar 5 menunjukkan kalibrasi model debit Sungai Cimanuk di stasiun pengamatan Eretan, Kabupaten Sumedang pada tahun 1994 mempunyai E_{NS} sebesar 0,66. Hasil penelitian terdahulu yang menggunakan model yang sama di beberapa sungai di Indonesia juga menunjukkan nilai E_{NS} yang cukup tinggi, seperti Harlan dkk. (2010) mendapatkan nilai E_{NS} 0,75 pada DAS Citahun Hulu dan Ilhamsyah (2012) mendapatkan nilai E_{NS} sebesar 0,70 pada DAS Cisangkuy. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan curah hujan cukup relevan digunakan sebagai indikator kekeringan agronomis pada sawah irigasi.



Gambar 4. Diagram pencar antara (a) debit Sungai Cimanuk bulan Juni dengan Indeks Dampak Kekeringan Padi (IDKP) Agustus-Oktobre Kabupaten Sumedang, (b) debit Kali Cipanas bulan Juni dengan IDKP Agustus-Oktobre Kabupaten Indramayu. Tanda * menunjukkan perbedaan signifikan berdasarkan korelasi Pearson pada peluang 0,05

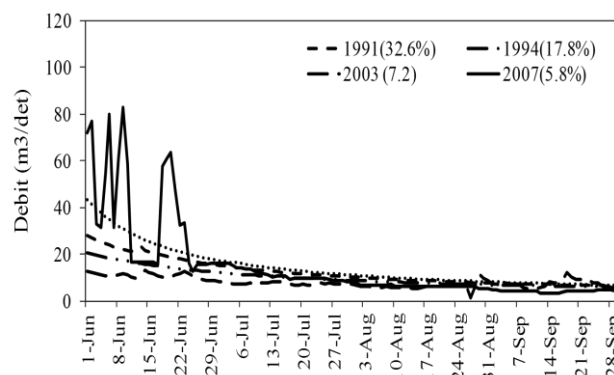
Figure 4. Scatter plots of a) June Cimanuk River discharge and Paddy Drought Impact Index (PDII) August-October of Sumedang District, b) June Kali Cipanas discharge and PDII August-October of Indramayu District. * indicate statistical significance at 0.05 probability level



Gambar 5. Kalibrasi model debit harian Sungai Cimanuk berdasarkan curah hujan harian menggunakan model GR4J

Figure 5. Calibration of rainfall-run off model in Cimanuk River using GR4J model

Untuk menggambarkan perubahan pola debit sungai akibat penurunan curah hujan, dilakukan simulasi debit sungai pada beberapa tahun El Niño. Gambar 6 menunjukkan bahwa pada awal bulan Juni debit sungai masih di atas aliran dasar, namun selanjutnya turun secara konsisten sampai mencapai aliran dasar mulai bulan Juli. Gambar 6 juga mengindikasikan penurunan debit yang konsisten pada tahun-tahun El Niño yang diikuti dengan meningkatnya IDKP. Menurut Loebis (2001), jumlah sungai dengan debit minimum berpotensi menimbulkan kekeringan meningkat 35% pada tahun El Niño. Keil *et al.* (2009) menyatakan pada kondisi El Niño di DAS Palu, Sulawesi Tengah penurunan curah hujan berkisar 45-70% yang menyebabkan penurunan air irigasi 28-75%.



Gambar 6. Pola debit harian Sungai Cimanuk periode Musim Kemarau (MK) 2 pada tahun-tahun El Niño. Angka dalam tanda kurung adalah Indeks Dampak Kekeringan Padi (IDKP)

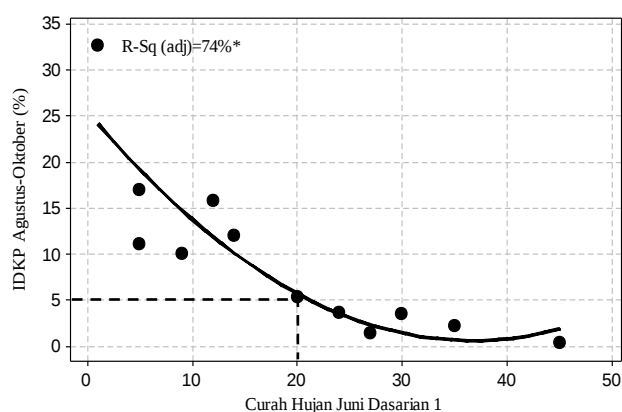
Figure 6. Daily discharge of Cimanuk River during the second dry season planting in El Niño years. Numbers in the brackets are Paddy Drought Impact Index (PDII)

Tabel 2. Nilai ambang curah hujan pada Musim Kemarau (MK) 1 dan MK2 yang berpotensi menyebabkan kekeringan agronomis pada sawah tadah hujan dan sawah irigasi

Table 2. Rainfall thresholds of paddy drought for rainfed and irrigated paddy rice in dry season planting (DSP) 1 and DSP2

Provinsi (Kabupaten)	Musim tanam	Jenis sawah	Nilai ambang
Jawa Barat (Indramayu, Sumedang, Majalengka, Cirebon)	MK1	Tadah hujan	60 mm/dasarian (Maret1)
	MK2	Irigasi	20 mm/dasarian (Juni1)
Sulawesi Selatan (Sidrap, Soppeng, Bone, Wajo)	MK2	Tadah hujan	70 mm/dasarian (Juni1)

Nilai ambang bawah curah hujan pada sawah irigasi yang berpotensi menyebabkan kekeringan padi pada MK2 disajikan pada Gambar 7. Titik potong pada persamaan regresi antara IDKP Agustus-Oktober 5% dengan curah hujan Juni dasarian 1 digunakan untuk menentukan nilai ambang curah hujan yang berpotensi menyebabkan kekeringan padi yaitu 20 mm. Debit sungai akan berpengaruh positif pada ketersediaan air lahan sawah jika sistem irigasi berfungsi baik. Oleh karena itu, nilai ambang curah hujan sebesar 20 mm berlaku untuk sawah yang terjamin ketersediaan air irigasinya.



Gambar 7. Nilai ambang curah hujan Juni dasarian 1 yang berpotensi menyebabkan Indeks Dampak Kekeringan Padi (IDKP) Agustus-Oktober 5 % pada sawah irigasi Tanda * menunjukkan perbedaan nyata pada peluang 0,05

Figure 7. Rainfall threshold of first decadal of June rainfall correspond to Paddy Drought Impact Index (PDII) August-October 5% in irrigated paddy field. * indicate statistical significance at 0.05 probability level

Penggunaan nilai ambang curah hujan dapat diaplikasi oleh petani dan penyuluh karena curah hujan lebih mudah dipahami dan diakses. Petani dapat dengan cepat mengetahui jumlah curah hujan dengan mengukur sendiri menggunakan alat yang sederhana atau mendapatkan informasi tersebut dari dinas pertanian setempat. Jika

curah hujan di bawah nilai ambang, petani dapat segera menyusun strategi untuk meminimalkan dampak kekeringan seperti menanam varietas padi yang lebih toleran kekeringan serta menyiapkan input dan teknologi yang diperlukan untuk menekan risiko kekeringan.

Kesimpulan

1. Curah hujan dapat menggambarkan kekeringan agronomis padi sawah. Korelasi yang tinggi antara curah hujan dan debit sungai dengan IDKP mengindikasikan bahwa curah hujan dapat digunakan sebagai indikator untuk mengetahui potensi kekeringan pada sawah irigasi dan tadah hujan. Pola debit sungai yang menurun secara konsisten dengan penurunan curah hujan pada tahun-tahun El Niño menunjukkan bahwa kekeringan juga berpotensi terjadi pada sawah irigasi di musim tanam MK.
2. Nilai ambang curah hujan yang berpotensi menyebabkan kekeringan padi sawah tadah adalah 60 mm pada Maret dasarian 1 untuk MK1, sedangkan pada sawah irigasi adalah 20 mm pada Juni dasarian 1 untuk MK2 di Provinsi Jawa Barat. Di Provinsi Sulawesi Selatan pada sawah tadah hujan, nilai ambang curah hujan adalah 70 mm pada Juni dasarian 1 untuk MK2.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Budi Kartiwa atas saran-saran yang sangat berharga dalam penulisan makalah ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dua orang *reviewer* atas koreksi dan masukannya sehingga tulisan ini menjadi lebih baik. Penelitian ini didanai oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian melalui program KKP3N dengan kontrak no 749/LB.620/I.1/2/2013.

Daftar Pustaka

- Aldrian, E. and R.D. Susanto. 2003. Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *Int. J. Climatol.* 23:1435-1452.

- Aldrian, E., G.L. Du'menil, and F.H.Widodo. 2007. Seasonal variability of Indonesian rainfall in ECHAM4 simulations and in the reanalyses: the role of ENSO. *Theor. Appl. Climatol.* 87:41-59.
- Alimoeso, S., R. Boer, S.W.G. Subroto, E.T. Purwani, Y. Sugiarto, R.M.K. Rahadiyan, and Suciantini. 2002. Distribution of Drought Prone Rice Growing Area in Indonesia. Directorate of Plant Protection, Ministry of Agriculture, Jakarta.
- Atlin, G.N., H.R. Lafitte, D. Tao, M. Laza, M. Amante, and B. Courtois. 2006. Developing rice cultivars for high-fertility upland systems in the Asian tropics. *Field Crops Res.* 97:43-52.
- Badan Pusat Statistik. 2008. Survei Pertanian: Luas Lahan Menurut Penggunaannya. Badan Pusat Statistik. Jakarta.
- Boone, A.F. and co-authors. 2004. The rhone-aggregation land surface scheme intercomparison project: an overview. *Journal of Climate* 17:187-208.
- D'Arrigo, R., R. Wilson, J. Palmer, P. Krusic, A. Curtis, J. Sakulich, S. Bijaksana, and O. Ngkoimani. 2008. Monsoon drought over Java, Indonesia during the past two centuries. *Geoph Res Lett.* 33:L04709.
- Downing, T.E. and K. Bakker. 2000. Drought discourse and vulnerability. In Wilhite, D.A. (Ed.), *Drought: A Global Assessment, Natural Hazards and Disasters Series*. Routledge Publishers, UK.
- Falcon W.P., R.L. Naylor, W.L. Smith, M.B. Burke, and E.B. McCullough. 2004. Using climate models to improve Indonesian food security. *Bull Indones Econ Stud.* 40(3):355-377.
- Garrrity, D.P. and J.C. O'Toole. 1994. Screening for drought resistance at the reproductive phase. *Field Crops Res.* 39:99-110.
- Giannini, A., A.W. Robertson, and J.H. Qian. 2007. A role for tropical tropospheric temperature adjustment to El Niño Southern Oscillation in the seasonality of monsoonal Indonesia precipitation predictability. *J Geophys Res.* 112: D16110.
- Hamada, J.I., M.D. Yamanaka, J. Matsumoto, S. Fukao, P.A. Winarso, and T. Sribimawati. 2002. Spatial and temporal variations of the rainy season over Indonesia and their link to ENSO. *J. Meteor. Soc. Japan.* 80:285-310.
- Hansen, J.W. and M. Indeje. 2004. Linking dynamic seasonal climate forecasts with crop simulation for maize yield prediction in semi-arid Kenya. *Agric For Meteorol.* 125:143-157.
- Harlan, D., M. Wangsadipura, and C.M. Munajat. 2010. Rainfall-runoff modeling of Citarum Hulu River basin by using GR4J. In *Proceedings of the World Congress on Engineering 2010 Vol II WCE 2010*, June 30-July 2, 2010, London, UK.
- Hattendorf, M.J., R.E. Carlson, R.A. Halim, and D.R. Buxton. 1988. Crop water stress index and yield of water-deficit-stressed alfalfa. *Agron J.* 80:871-875.
- Haylock, M. and J. McBride. 2001. Spatial coherence and predictability of Indonesian wet season rainfall. *J. Clim.* 14: 3882-3887.
- Hendon, H.H. 2003. Indonesian rainfall variability: impacts of ENSO and local Air-sea interaction. *J. Clim.* 16:1775-1790.
- Ilhamsyah, Y. 2012. Analisis dampak ENSO terhadap debit aliran DAS Cisangkuy Jawa Barat menggunakan model Rainfall-Runoff. *Depik.* 1(3):165-174.
- Keil, A., N. Teufel, D. Gunawan, and C. Leemhuis. 2009. Vulnerability of smallholder farmers to ENSO-related drought in Indonesia. *Clim. Res.* 38:155-169.
- Li, Y.P., W. Ye, M. Wang, and X.D. Yan. 2009. Climate change and drought: a risk assessment of crop-yield impacts. *Climate Research* 39(1):31-46.
- Lerat, J., B. Abadie, V. Andreassian, and C. Perrin. 2006. Catchment Domain Model: Part A. Focus on the Rhine Basin What to Expect from Simple Approaches in Hydrological Modelling? NeWater project report, European Commission.
- Lloyd-Hughes, B. and M.A. Saunders. 2002. A drought climatology for Europe. *Int. J. Climatol.* 22:1571-1592.
- Loebies, J. 2001. Pengaruh kejadian iklim ekstrim terhadap sumber daya air. Paper disajikan dalam Seminar Nasional Peningkatan Kesiapan Indonesia dalam Implementasi Kebijakan Perubahan Iklim. Bogor.
- Mathevet, T., C. Michel, C. Perrin, and V. Andreassian. 2004. Experimental design of a lumped hydrological model representing the rainfall-runoff transformation at the hourly time-step. Pp 1-10 In *Hydrological Modeling Papers of BALWOIS 2004*. Ohrid, Republic of Macedonia 25-29 Mei 2004.
- McBride, J.L., M.R. Haylock, and N. Nicholls. 2003. Relationships between the maritime continent heat source and the El Niño Southern Oscillation phenomenon. *J. Clim.* 16:2905-2914.
- Moron, V., A.W. Robertson, and R. Boer. 2009. Spatial coherence and seasonal predictability of monsoon onset over Indonesia. *J. Clim.* 22:840-850.
- Meinke, H. and R. Boer. 2002. Plant growth and the SOI. Pp 25-28. In Partridge, I.J., Ma'shum M. (ed). *Will It Rain? The effect of the Southern Oscillation and El Niño in Indonesia*. Queensland Government, Department of Primary Industry, Australia.
- Mishra, V. and K.A. Cherkauer. 2010. Retrospective droughts in the crop growing season: implications to corn and soybean yield in the Midwestern United States *Agric. For. Meteorol.* 150:1030-1045.
- Morid, S., V. Smakhtin, and M. Moghaddasi. 2006. Comparison of seven meteorology-cal indices for drought monitoring in Iran. *Int. J. Climatol* 26:97-985.
- Msangi, J.P. 2004. Drought hazard and desertification management in the drylands of Southern Africa. *Environ Monit Assess.* 99:75-87.
- Nash, J.E. and J.V. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting through conceptual model part 1. A discussion of principles. *J. Hydrol.* 10(3):282-290.
- Naylor, R.L., W. Falcon, N. Wada, and D. Rochberg. 2002. Using El-Niño Southern Oscillation climate data to improve food policy planning in Indonesia. *Bull. Indones. Econ. Stud.* 38:75-91.
- Oleson, K.W. and co-authors. 2008. Improvements to the community land model and their impact on the hydrological cycle. *J. Geophys. Res.* 113:G01021.

- Perrin, C., C. Michel, and V. Andréassian. 2003. Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *J. Hydrol.* 279(1-4):275-289.
- Rouault, M. and Y. Richard. 2003. Intensity and spatial extension of drought in South Africa at different time scales. *Water SA.* 29(4):489-500.
- Simonneaux, V., L. Hanich, G. Boulet, and S. Thomas. 2008. Modelling runoff in the Rheraya Catchment (High Atlas, Morocco) using the simple daily model GR4J: trends over the last decades. *In* Complete Final Reports of IWRA 13th World Water Congress. Montpellier, France 1-4 September 2008.
- Sivakumar, M., H. Das, and O. Brunini. 2005. Impacts of Present and future climate variability and change on agriculture and forestry in the arid and semi-arid tropics. *Climatic Change* 70(1):31-72.
- Sonmez, F.K., A.U. Komuscu, A. Erkan, and E. Turgu. 2005. An analysis of spatial and temporal dimension of drought vulnerability in Turkey using the standardized precipitation index. *Nat Hazards* 35:243-264.
- Surmaini, E., T.W. Hadi, K. Subagyono, and N.T. Puspito. 2014. Early detection of drought impact on rice paddies in Indonesia. *Theor. Appl. Climatol.* DOI 10.1007/s00704-014-1258-0.
- Tadesse, T., D.A. Wilhite, S.K. Harms, M.J. Hayes, and S. Goddard. 2004. Drought monitoring using data mining techniques: a case study for Nebraska, U.S.A. *Nat Hazards.* 33(1):137-159.