

Analisis Ketersediaan dan Kebutuhan Air Irigasi pada Lahan Sawah: Studi Kasus di Provinsi Sulawesi Selatan

Analysis of Availability and Requirement of Irrigation Water on Rice Field: Case Study in South Sulawesi

Nani Heryani, Budi Kartiwa, Adang Hamdani, Budi Rahayu

Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Jl. Tentara Pelajar No. 1A, Kampus Penelitian Pertanian Cimanggu, Bogor 16124, Jawa Barat

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 27 Maret 2017
Direview: 03 Mei 2017
Disetujui: 02 Januari 2018

Katakunci:

IFAS
Indeks kecukupan irigasi
Pola tanam
Ketersediaan air
Kebutuhan air

Keywords:

IFAS
Irrigation sufficiency index
Cropping pattern
Water availability
Water requirement

Abstrak: Data dan informasi sumber daya air dalam suatu kawasan dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan teknologi pengelolaan air yang tepat sehingga dapat menjamin keberlanjutan ketersediaan sumber daya airnya. Teknologi pengelolaan air tersebut perlu diaplikasikan pada skala petani untuk menjawab permasalahan aktual di lapangan. Penelitian dilaksanakan di Provinsi Sulawesi Selatan pada bulan Januari sampai dengan Desember 2015 dengan tujuan untuk mengetahui ketersediaan dan kebutuhan air irigasi pada budidaya padi dan jagung di Provinsi Sulawesi Selatan. Penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahapan yaitu: a) persiapan dan pengumpulan Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) dan peta sebaran daerah irigasi, b) survei dan pengumpulan data lapang, dan c) analisis data dan pemetaan. Ketersediaan air irigasi diketahui melalui pemodelan hidrologi menggunakan model *Integrated Flood Analysis System* (IFAS), sedangkan kebutuhan air ditentukan berdasarkan kebutuhan air tanaman padi dan jagung pada satu siklus pertanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Provinsi Sulawesi Selatan memiliki 4 golongan ketersediaan irigasi (1-4) dengan debit air antara $<0,3$ sampai $>0,9$ l dt⁻¹ ha⁻¹, dan 4 indeks kecukupan irigasi A1 sampai A4, yaitu wilayah yang memiliki IP (indeks pertanaman) 300 dengan pola tanam berturut-turut padi-padi-padi; padi-padi-palawija; padi-palawija-palawija; dan palawija-palawija-palawija. Studi kasus di lima kabupaten yaitu: Gowa, Jeneponto, Kota Makassar, Maros dan Takalar menunjukkan bahwa di kelima kabupaten tersebut dengan 31 kecamatan memiliki indeks kecukupan irigasi A1. Ini berarti bahwa di semua kabupaten dan kecamatan areal penelitian ini dapat diterapkan pola tanam padi-padi-padi.

Abstract. Water resources data and informations can be used as a basis for determining the technology of water resources management to ensure the sustainability of water resource availability. Water management technology should be applied on farmers' scale to address the actual problems in the field. This research was conducted from Januari to December 2015, aiming at determining irrigation water availability and crop water requirement in the Province of South Sulawesi. The research was conducted in a few steps: a) the preparation and collection of supporting data, including Indonesian Land Form map and the map of irrigation distribution areas, b) field surveys, and c) data analysis and mapping. Irrigation water availability was estimated by using *Integrated Flood Analysis System* (IFAS) hydrological modeling. Water demand is determined based on crop water requirement of rice and corn in one cropping cycle. Result showed that South Sulawesi Province has 4 irrigation availability group with water discharge ranging from <0.3 to >0.9 l sec⁻¹ ha⁻¹, and 4 irrigation sufficiency indeces (A1 to A4) namely areas with 300 cropping index with annual crop rotation of rice-rice-rice; rice-rice-secondary crops, rice-secondary crops-secondary crops; and secondary crops-secondary crops-secondary crops, respectively. Case studies in the five districts (Gowa, Jeneponto, Kota Makassar, Maros and Takalar) showed 31 sub-districts with A1 irrigation sufficiency index. This research suggests that the annual cropping pattern of rice-rice-rice can be implemented in these study area.

Pendahuluan

Pada bidang pertanian, air merupakan faktor utama penentu kelangsungan produksi pertanian, namun pengelolaannya untuk menjamin keberlanjutan sumber daya air masih menghadapi banyak kendala baik pada skala daerah irigasi maupun daerah aliran sungai (DAS). Kendala yang sering dihadapi antara lain kelangkaan air,

kekeringan dan banjir, serta persaingan penggunaan air untuk berbagai kepentingan. Beberapa upaya yang telah dilakukan untuk menghadapi kendala tersebut antara lain mengembangkan teknologi panen air dengan mengkuantifikasi ketersediaan dan kebutuhan air untuk mengantisipasi kelangkaan air, kekeringan dan banjir (Heryani *et al.* 2013, 2002a, 2002b, Irianto *et al.* 2001, 2000), serta melakukan analisis proporsi penggunaan air untuk kebutuhan industri, pertanian, dan domestik (Rejekiingrum 2011, Sosiawan 2005).

*Corresponding author: naniheryanids@gmail.com

Indonesia memiliki potensi sumber daya air (SDA) yang berlimpah, termasuk lima terbesar di dunia yaitu sekitar 3.200 miliar m³/tahun yang tersebar dalam 7.956 sungai dan 521 danau, namun ketersediaannya bervariasi antar wilayah dan antar waktu, sehingga pada wilayah tertentu sering terjadi kekurangan air atau sebaliknya (Hasan 2012). Potensi SDA yang besar tersebut belum dapat dimanfaatkan sebesar-besarnya untuk penyediaan air bagi berbagai keperluan, seperti penyediaan irigasi, air baku untuk rumah tangga, perkotaan, dan industri serta penyediaan untuk energi listrik. Secara umum, total ketersediaan air baru dapat dimanfaatkan sekitar 25% yakni untuk penyediaan irigasi, air baku untuk rumah tangga, perkotaan, dan industri (Kirmanto 2012).

Air yang dapat dimanfaatkan untuk keperluan pertanian antara lain dapat diketahui melalui neraca ketersediaan (limpasan) dan kebutuhan air. Sugiura *et al.* (2009) membuat suatu model analisis limpasan yang efektif dan efisien untuk memprediksi banjir; di negara-negara berkembang dimana ketersediaan data pencatatan sumber daya air sangat terbatas. Model yang dikembangkan tersebut menggunakan data masukan tidak hanya bersumber dari data lapangan tetapi juga kombinasi dengan data dari satelit yang berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Temuan penting yang didapat dari penelitiannya, bahwa verifikasi hasil prediksi banjir yang dapat mengilustrasikan ketersediaan air di suatu wilayah, menunjukkan hasil yang sangat mirip dengan kondisi di lapangan.

Chuenhooklin dan Pangnakorn (2015) mengemukakan bahwa model hidrologi dapat digunakan untuk memprediksi banjir pada DAS mikro, karena pada umumnya DAS Mikro tidak dilengkapi dengan alat pengukur debit sehingga data pengamatan hidrologinya terbatas. Beberapa penelitian yang telah berhasil memanfaatkan model hidrologi melalui teknologi penggunaan data satelit di antaranya adalah Harris *et al.* (2007), Li *et al.* (2009), Sugiura *et al.* (2009), Khan *et al.* (2011), Kartiwa dan Murniati (2011), serta Handayani *et al.* (2015).

Salah satu model prediksi banjir yang dapat menyajikan hidrograf aliran selama periode banjir adalah model IFAS (*Integrated Flood Analysis System*). Model IFAS telah digunakan dalam pemodelan hujan dan aliran permukaan (Aziz 2014; Sugiura *et al.* 2010, Hendra *et al.* 2015), dan memprediksi debit banjir (Chinh *et al.* 2014; Sugiura *et al.* 2010a, 2014; Kimura *et al.* 2014). Model IFAS juga digunakan untuk analisis banjir menggunakan data satelit, diaplikasikan pada wilayah yang memiliki alat pengukur debit terbatas (Miyamoto *et al.* 2012, 2014; Handayani *et al.* 2015). Sugiura *et al.* (2014a)

menggunakan model IFAS untuk analisis hujan-aliran permukaan di DAS bagian hulu (India dan China) sampai ke bagian tengah di daerah Taunsa (DAS bagian tengah di Indus Pakistan) dengan hasil baik dan lengkap. Dari analisis hujan-limpasan dapat diduga jumlah aliran yang dapat dimanfaatkan untuk suatu keperluan seperti kebutuhan air irigasi, rumah tangga dll.

Menurut Lilianti *et al.* (2015), penggunaan Software IFAS telah banyak diaplikasikan di beberapa DAS di Provinsi Riau, namun hanya sebatas analisis banjir berdasarkan kondisi data satelit dan atau data lapangan saja, serta tidak untuk keperluan menduga kebutuhan air irigasi, seperti juga dilaporkan oleh Hamiduddin (2013), Isnaini (2013), Hasan (2013), Mardhotillah (2014), dan Linggasari (2015). Dalam pertanian, informasi ketersediaan dan kebutuhan air irigasi sangat diperlukan karena pola tanam yang akan diaplikasikan harus disesuaikan dengan neraca ketersediaan dan kebutuhan air irigasi. Pola tanam akan memberikan gambaran tentang jenis tanaman dan luas tanam yang akan diusahakan dalam satu tahun. Kebutuhan Air Irigasi (Q_{irigasi}) di lahan sawah pada umumnya dicukupi dari air permukaan. Kebutuhan air irigasi tersebut dipengaruhi berbagai faktor seperti klimatologi, kondisi tanah, koefisien tanaman, pola tanam, pasokan air yang diberikan, luas daerah irigasi, efisiensi irigasi, sistem penggolongan, dan jadwal tanam (Zulkipli *et al.* 2012).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis neraca ketersediaan-kebutuhan air lahan sawah serta menetapkan indeks kecukupan irigasi pada beberapa jenis pola tanam pada lahan sawah di Provinsi Sulawesi Selatan. Indeks kecukupan irigasi merupakan konsep yang menggambarkan ketersediaan air irigasi yang berasal dari curah hujan dan aliran permukaan secara temporal yang dikaitkan dengan kebutuhan air tanaman dan pola tanam.

Bahan dan Metode

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dan pengumpulan data dilaksanakan di Provinsi Sulawesi Selatan, pada bulan Januari sampai Desember 2015. Pada makalah ini, disajikan analisis ketersediaan dan kebutuhan air untuk lahan sawah di lima kabupaten di Provinsi Sulawesi Selatan yaitu: Gowa, Jeneponto, Kota Makassar, Maros dan Takalar, menurut batas administrasi hingga level kecamatan. Wilayah penelitian tergolong kepada zona agroklimat B2 memiliki 10 bulan basah berurutan, mewakili pantai barat provinsi Sulawesi Selatan dan menjadi contoh studi kasus pada penelitian ini.

Provinsi Sulawesi Selatan memiliki 4 wilayah sungai (WS) yaitu: WS Jeneberang, WS Saddang, WS Walanae-Cenranae, dan WS Pompengan-Larona. Pada penelitian ini, kondisi wilayah dan karakteristik hidrologis provinsi Sulawesi Selatan direpresentasikan oleh DAS Saddang dan DAS Walanae-Cenranae. DAS Saddang memiliki luas 6.975,7 km², dengan keliling DAS sepanjang 544,9 km. Elevasi tempat di DAS Saddang bervariasi antara 0 m dpl hingga elevasi 3.250 m dpl. DAS Saddang berada pada posisi geografis 119°14'56" - 120°03'32" BT dan 2°43'41" - 3°57'22" LS. Sedangkan DAS Walanae-Cenranae berada pada posisi geografis 119°45'04" - 120°09'58" BT dan 4°04'48" - 5°09'14" LS. Luas DAS Walanae 3.608,3 Km², dengan keliling DAS sepanjang 358,3 Km. Elevasi tempat di DAS Walanae bervariasi antara 0 m dpl hingga 1920 mdpl.

Pengolahan dan analisis data dilakukan terhadap 5 kabupaten yaitu Gowa, Jeneponto, Kota Makassar, Maros, dan Takalar, serta pembuatan peta sumber daya air dilaksanakan di Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian, Bogor.

Bahan dan Alat

Bahan-bahan dan peralatan yang dipergunakan dalam penelitian yaitu: 1) peta digital Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1:25.000 (BIG, 2012), 2) peta tanah skala 1:250.000 (Puslittanak 2002), 3) peta geologi Sulawesi Selatan skala 1:250.000 (Puslitbang Geologi 2009), 4) data curah hujan dan debit (BBWS Pompengan Jeneberang, 2011; 2014), 5) Shuttle Radar Topografi Mission (USGS 2009), 6) peta penggunaan lahan, peta jenis tanah, dan peta jaringan sungai, 7) data debit sungai dan mata air, 8) data curah hujan, 9) kabupaten dalam angka (data BPS 2014). Sedangkan peralatan yang digunakan yaitu: 1) GPS Geodetik, 2) seperangkat komputer, plotter, dan digitizer, 3) software ArcGis ver. 8 dan Arc-View ver. 3.2, dan 4) software IFAS.

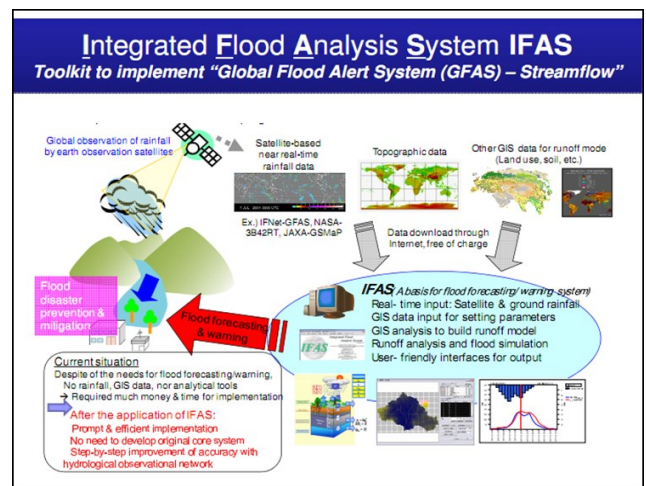
Metodologi

Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan di provinsi Sulawesi Selatan dan Puslitbang Air Bandung, yaitu: data curah hujan; data debit sungai, bendung, dan mata air harian. Data hidrologi yang diperlukan cukup mewakili pola siklus hidrologi selama 1 tahun. Data terbaru yang tersedia lengkap di instansi terkait adalah data tahun 2013. Selain itu dikumpulkan pula data ketersediaan dan kebutuhan air provinsi Sulawesi Selatan berdasarkan BPS; data waktu dan pola tanam.

Analisis Ketersediaan Air

Ketersediaan air irigasi dihitung berdasarkan aplikasi model hidrologi IFAS. Gambaran umum model analisis distribusi Hidrologi IFAS disajikan pada Gambar 1. Model hidrologi ini memberikan informasi tentang ketersediaan air melalui informasi debit dan aliran permukaan yang tersaji dalam model banjir. Simulasi model hidrograf pada titik perpotongan jaringan sungai dengan batas administrasi adalah untuk memprediksi ketersediaan air tingkat kecamatan disajikan pada Gambar 2. Ketersediaan air kemudian dikelaskan berdasarkan indeks ketersediaan irigasi seperti disajikan pada Tabel 1.



Gambar 1. Gambaran umum model hidrologi terdistribusi IFAS

Figure 1. An overview of the distributed hydrological model

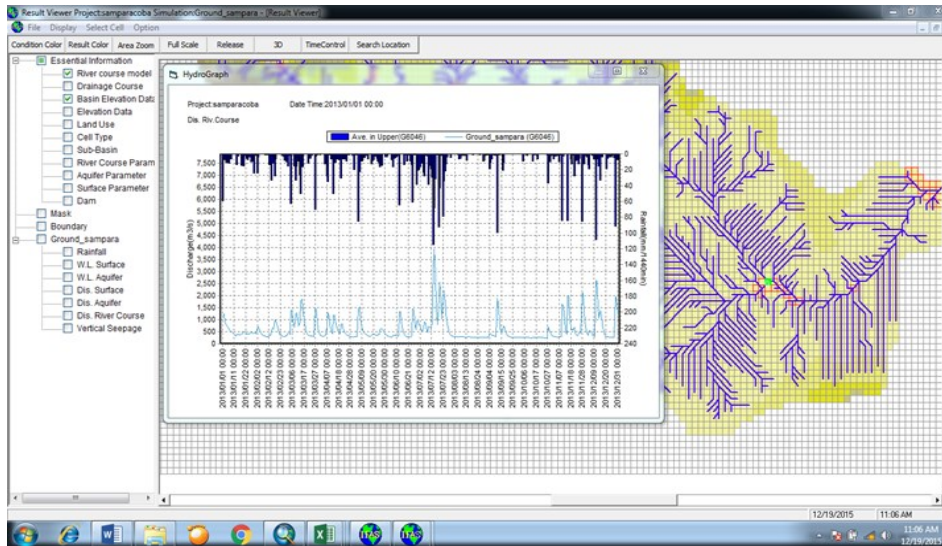
Tabel 1. Indeks ketersediaan irigasi

Table 1. Indeks of irrigation availability

No.	Ketersediaan Air Irigasi (l dt ⁻¹ ha ⁻¹)	Indeks Ketersediaan Air Irigasi
1.	< 0.3	5
2.	0.3 - 0.5	4
3.	0.5 - 0.7	3
4.	0.7 - 0.9	2
5.	> 0.9	1

Analisis Kebutuhan Air

Kebutuhan irigasi terdiri dari kebutuhan air untuk tanaman, kebutuhan air untuk pengolahan tanah, sedangkan kehilangan air biasanya terjadi karena perkolasi. Analisis kebutuhan air tanaman dilakukan berdasarkan estimasi kebutuhan air tanaman menurut Metode Buletin FAO No. 56 (Allen *et al.* 1998). Kebutuhan air tanaman dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut:



Gambar 2. Pembangkitan hidrograf pada titik perpotongan jaringan sungai dengan batas administrasi untuk memprediksi ketersediaan air tingkat kecamatan

Figure 2. Hydrograph generation at the point of intersection of the drainage network with administrative boundaries to predict water availability at the sub-district level

$$ET_{tan} = Kc \times ET_o$$

dalam hal ini:

- ET_{tan} : evapotranspirasi tanaman
- ET_o : evapotranspirasi referensi
- Kc : koefisien tanaman

Perc : perkolasi (mm)

ET_{c_i} : evapotranspirasi tanaman pada hari ke-i (mm),

CH_i : curah hujan pada hari ke-i (mm)

Pembagian kelas ketersediaan air ditetapkan berdasarkan kebutuhan air tanaman padi berdasarkan uji lapang dikaitkan dengan ketersediaan air di lapangan. Kebutuhan air untuk pengolahan dan penggenangan lahan dihitung berdasarkan rekomendasi PU, sedangkan perkolasi ditetapkan berdasarkan survei lapang. Untuk menghitung kebutuhan irigasi lahan sawah dihitung berdasarkan ketentuan sebagai berikut:

- Irigasi diberikan apabila tinggi genangan pada lahan sawah lebih rendah dari batas ketinggian genangan terendah yang diperkenankan :

$$G_i > G_{min}$$

$$G_i = G_{i-1} - Perc_i - ET_{c_i} + CH_i$$

G_i: tinggi genangan air lahan sawah pada hari ke-i (mm)

G_{min}: tinggi genangan air lahan sawah minimum (mm)

- Irigasi dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_r_i = G_{max} - (G_{i-1} - Perc_i - ET_{c_i} + CH_i)$$

I_{r_i} : kebutuhan irigasi pada hari ke-i (mm)

G_{max} : tinggi genangan air lahan sawah maksimum (mm)

G_{i-1} : tinggi genangan air lahan sawah pada hari ke-(i-1) (mm)

Indeks Kecukupan Irigasi

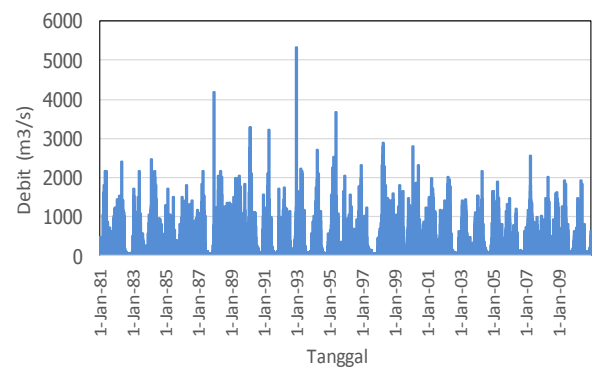
Indeks kecukupan irigasi adalah indeks yang menunjukkan perbandingan antara ketersediaan air dengan kebutuhan air yang dihitung menggunakan modul neraca air (Tabel 2). Indeks kecukupan irigasi dikelompokkan menjadi 9 indeks yang masing-masing merepresentasikan 9 rekomendasi pola tanam (Tabel 3). Dasar penetapan indeks kecukupan irigasi adalah berdasarkan kondisi pola tanam yang selama ini terdapat di lapang sesuai kondisi iklim wilayah masing-masing. Pada kondisi lapang dijumpai 3 jenis pola tanam yaitu tiga, dua, dan satu kali tanam dalam satu siklus masa tanam dalam setahun. Berdasarkan distribusi debit dan curah hujan yang diwakili oleh DAS Saddang (Gambar 3 dan 4), serta DAS Walanae (Gambar 5 dan 6), beberapa pola tanam yang ditemui di lapang antara lain: 1) padi-padi-padi (Okt-Jan; Feb-Mei, dan Juni-Sept), 2) padi-padi-palawija (Nop-Feb; Mar-Jul; Agus-Okt), 3) padi-palawija-palawija (Des-Apr; Mei-Agus; Sept-Nop). Indeks kecukupan irigasi merupakan konsep baru untuk melengkapi alternatif penentuan pola tanam tanaman pangan berdasarkan Zona Agroklimat oleh Oldeman dan Darmijati (1977) yang hanya memperhitungkan curah hujan. Konsep baru ini melengkapi dari aspek ketersediaan air melalui data debit selain dari curah hujan.

Tabel 2. Modul perhitungan neraca air
Table 2. Water balance calculation module

Kecamatan			INDEKS KEKUCUKAPAN											A1			Padi-Padi-Padi			Jumlah Dasarian		
Luas Sawah Baku			A1											A2			Padi-Padi-Palawija					
Efisiensi Distribusi Iriga			80%											B1			Padi-Padi-Bera					
Musim	Dekad	Musim Tanam	CH Dasarian	Ketersediaan Air Irigasi Dasarian	ETP Dasarian	KC Padi	ET Padi Dasarian	Genangan	Perkolasi Dasarian	Genangan Sebelum Irigasi	Genangan setelah Irigasi	Kebutuhan Irigasi Dasarian	Kebutuhan Irigasi Dasarian	Total Kebutuhan Irigasi Dasarian	Kecukupan Irigasi	Kecukupan Irigasi MT III						
																< 50	50 - 75	75 - 100				
			mm	lt/dt	mm											lt det-1 ha-1	lt/dt	%	0	0	12	
OKTOBER - MARET	1	MT I : PADI	0.0	1.2	47.5	0.00	0.0	75	5.0	0	75	75	0.87	1.1	100.0							
	2		0.0	1.0	42.7	1.05	44.8	75	5.0	25	75	50	0.58	0.7	100.0							
	3		0.0	1.0	38.1	1.05	40.0	75	5.0	30	75	45	0.52	0.7	100.0							
	4		0.0	1.0	46.6	1.08	50.2	75	5.0	20	75	55	0.64	0.8	100.0							
	5		0.0	1.0	43.6	1.13	49.2	75	5.0	21	75	54	0.63	0.8	100.0							
	6		0.0	1.0	42.1	1.20	50.5	75	5.0	19	75	56	0.64	0.8	100.0							
	7		0.0	1.0	46.5	1.20	55.7	75	5.0	14	75	61	0.70	0.9	100.0							
	8		0.0	1.0	50.2	1.18	59.0	75	5.0	11	75	64	0.74	0.9	100.0							
	9		0.0	1.0	46.6	1.03	48.1	75	5.0	22	75	53	0.61	0.8	100.0							
	10		0.0	1.0	43.6	0.87	38.0	75	5.0	32	75	43	0.50	0.6	100.0							
	11		0.0	1.0	42.1	0.72	30.3	0	0.0	0	0	0	0.00	0.0	100.0							
	12		0.0	1.0	46.5		0.0	0	0.0	0	0	0	0.00	0.0	100.0							
	13		0.0	1.2	47.5	0.00	0.0	75	5.0	0	75	75	0.87	1.1	100.0							
	14		0.0	1.0	42.7	1.05	44.8	75	5.0	25	75	50	0.58	0.7	100.0							
	15		0.0	1.0	38.1	1.05	40.0	75	5.0	30	75	45	0.52	0.7	100.0							
	16		0.0	1.0	46.6	1.08	50.2	75	5.0	20	75	55	0.64	0.8	100.0							
	17		0.0	1.0	43.6	1.13	49.2	75	5.0	21	75	54	0.63	0.8	100.0							
	18		0.0	1.0	42.1	1.20	50.5	75	5.0	19	75	56	0.64	0.8	100.0							
APRIL - SEPTEMBER	19	MT II : PADI	0.0	1.0	46.5	1.20	55.7	75	5.0	14	75	61	0.70	0.9	100.0							
	20		0.0	1.0	50.2	1.18	59.0	75	5.0	11	75	64	0.74	0.9	100.0							
	21		0.0	1.0	46.6	1.03	48.1	75	5.0	22	75	53	0.61	0.8	100.0							
	22		0.0	1.0	43.6	0.87	38.0	75	5.0	32	75	43	0.50	0.6	100.0							
	23		0.0	1.0	42.1	0.72	30.3	0	0.0	0	0	0	0.00	0.0	100.0							
	24		0.0	1.0	46.5		0.0	0	0.0	0	0	0	0.00	0.0	100.0							
	25		0.0	1.0	47.5	0.00	0.0	75	5.0	0	75	75	0.87	1.1	92.2	0	0	1				
	26		0.0	1.0	42.7	1.05	44.8	75	5.0	25	75	50	0.58	0.7	100.0	0	0	1				
	27		0.0	1.0	38.1	1.05	40.0	75	5.0	30	75	45	0.52	0.7	100.0	0	0	1				
	28		0.0	1.0	46.6	1.08	50.2	75	5.0	20	75	55	0.64	0.8	100.0	0	0	1				
	29		0.0	1.0	43.6	1.13	49.2	75	5.0	21	75	54	0.63	0.8	100.0	0	0	1				
	30		0.0	1.0	42.1	1.20	50.5	75	5.0	19	75	56	0.64	0.8	100.0	0	0	1				
	31		0.0	1.0	46.5	1.20	55.7	75	5.0	14	75	61	0.70	0.9	100.0	0	0	1				
	32		0.0	1.0	50.2	1.18	59.0	75	5.0	11	75	64	0.74	0.9	100.0	0	0	1				
	33		0.0	1.0	46.6	1.03	48.1	75	5.0	22	75	53	0.61	0.8	100.0	0	0	1				
	34		0.0	1.0	43.6	0.87	38.0	75	5.0	32	75	43	0.50	0.6	100.0	0	0	1				
	35		0.0	1.0	42.1	0.72	30.3	0	0.0	0	0	0	0.00	0.0	100.0	0	0	1				
	36		0.0	1.0	46.5		0.0	0	0.0	0	0	0	0.00	0.0	100.0	0	0	1				

Tabel 3. Indeks kecukupan irigasi
Table 3. Irrigation Sufficiency Index

No.	Indeks Kecukupan Irigasi	Pola Tanam
1.	A1	Padi-Padi-Padi
2.	A2	Padi-Padi-Palawija
3.	A3	Padi-Palawija-Palawija
4.	A4	Palawija-Palawija-Palawija
5.	B1	Padi-Padi-Bera
6.	B2	Padi-Palawija-Bera
7.	B3	Palawija-Palawija-Bera
8.	C1	Padi-Bera-Bera
9.	C2	Palawija-Bera-Bera



Gambar 3. Fluktuasi debit harian Sungai Saddang periode 1981-2010

Figure 3. Daily discharge fluctuation of Saddang River, for the period of 1981-2010

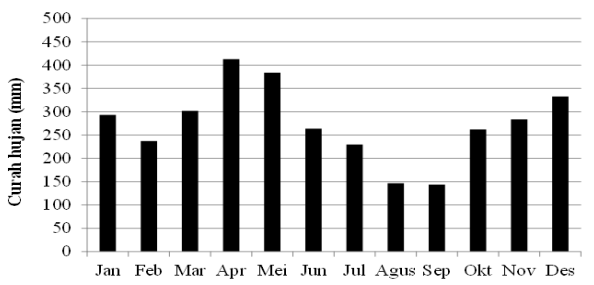
Hasil dan Pembahasan

Potensi Ketersediaan Air Permukaan

Karakteristik debit harian Sungai Saddang digambarkan dari data hasil pengamatan tinggi muka air harian di Bendung Benteng, Kabupaten Pinrang. Data yang terinventarisasi oleh UPTD Balai PSDA WS Saddang, Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Pompengan-Jeneberang, adalah data debit harian Sungai Saddang dari tahun 1981 hingga 2010. Berdasarkan data pengamatan selama 1981-2010, debit maksimum absolut harian Sungai Saddang mencapai 5.312 m³/s terjadi pada

tanggal 16 Desember 1992, debit minimum absolut harian sebesar 21 m³/s terjadi pada 11 Februari 1981, sedangkan debit rata-rata selama periode tersebut sebesar 297,2 m³/s (Gambar 3). Distribusi curah hujan bulanan DAS Saddang disajikan pada Gambar 4.

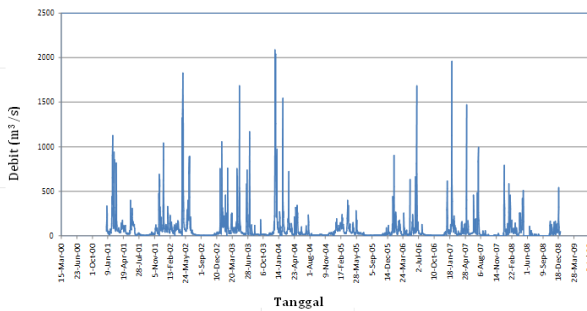
Karakteristik debit harian Sungai Walanae berdasarkan data hasil pengamatan tinggi muka air harian di Stasiun Debit Sempajeruk, Kecamatan Lilirilau, Kabupaten Soppeng. Data yang terinventarisasi oleh UPTD Balai



Gambar 4. Distribusi curah hujan bulanan DAS Saddang periode 1981-2010

Figure 4. Monthly rainfall distribution of Saddang Watershed, for the period of 1981-2010

PSDA WS Walanae, BBWS Pompengan-Jeneberang, adalah data debit harian Sungai Walanae dari tahun 2001 hingga 2008. Berdasarkan data pengamatan selama 2001-2008, debit maksimum absolut harian Sungai Walanae mencapai 2088,2 m³ det⁻¹ terjadi pada tanggal 21 Desember 2003, debit minimum absolut harian sebesar 0,4 m³ det⁻¹ terjadi pada 28 Oktober 2007, sedangkan debit rata-rata selama periode tersebut sebesar 84.0 m³ det⁻¹ (Gambar 5). Distribusi curah hujan bulanan DAS Walanae disajikan pada Gambar 6.

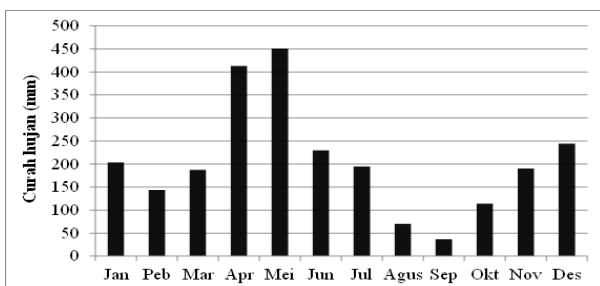


Gambar 5. Fluktuasi debit harian Sungai Walanae periode 2001-2008

(Sumber: BBWS Pompengan Jeneberang, 2011)

Figure 5. Daily discharge fluctuation of Walanae River, for the period of 2001-2008

(Source: BBWS Pompengan Jeneberang, 2011)

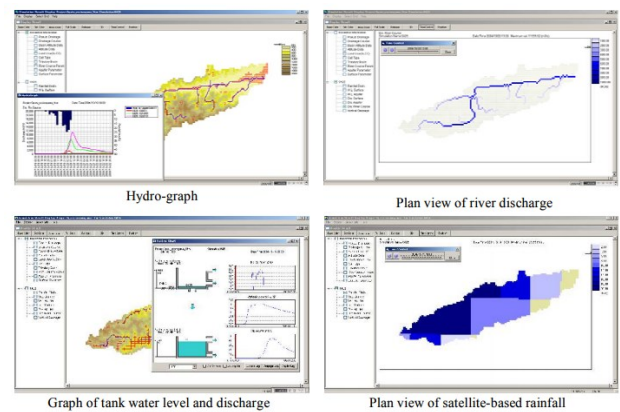


Gambar 6. Distribusi curah hujan bulanan DAS Wallanae periode 2001-2008

Figure 6. Monthly rainfall distribution of Wallanae Watershed, for the period of 1981-2010

Ketersediaan Air Irigasi dan Indeks Kecukupan Irigasi

Ketersediaan air irigasi menggambarkan potensi air permukaan yang dapat digunakan sebagai sumber irigasi. Ketersediaan air irigasi merepresentasikan debit irigasi yang tersedia per satuan luas lahan pertanian (dinyatakan dalam satuan l det⁻¹ ha⁻¹). Contoh hasil analisis IFAS meliputi hidrograf, tampilan distribusi spasial debit sungai, grafik tinggi muka air, dan distribusi spasial curah hujan data satelit disajikan pada Gambar 7. Tabel 4 menyajikan ketersediaan irigasi tingkat kecamatan di beberapa kabupaten di Provinsi Sulawesi Selatan yang dihitung menggunakan model IFAS. Penggunaan model IFAS untuk menduga debit telah dilakukan oleh Risnayanti (2013) dan Hendra *et al.* (2015). Selain itu juga dipergunakan untuk menduga debit irigasi (ketersediaan air) dan kebutuhannya (Febrianto, 2016). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa aplikasi model IFAS dapat digunakan dalam memprediksi debit air irigasi dengan tingkat keakuratan 0,72 (72%), serta debit simulasi ketersediaan dan kebutuhan air Daerah Irigasi (DI) di DAS Ciliwung.



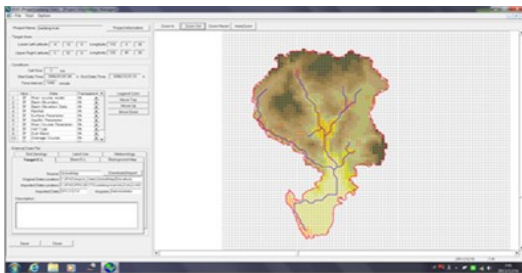
Gambar 7. Tampilan hasil perhitungan model IFAS

Figure 7. Display of the results of calculations of IFAS model

Pada musim tanam pertama beberapa Bendung di DAS Ciliwung seperti Bendung Cibanon mengalami defisit air sebesar 122 (l det⁻¹ ha⁻¹), sedangkan Bendung Cibalok, Katulampa, Bantarjati dan Kranji memiliki surplus dengan nilai kecukupan berturut-turut 914; 1677,15; 3705,5; dan 4355,5 l det⁻¹ ha⁻¹. Pada musim tanam ke-2 keseluruhan bendung berada pada kondisi surplus. Menurut Sutikno *et al.* (2014) program IFAS memiliki keunggulan diantaranya: 1) Ketersediaan data yang diakses melalui satelit yang cukup luas, seperti: data curah hujan, data topografi, data tata guna lahan. Keseluruhan data-data tersebut dapat diunduh melalui jaringan internet dan tersedia di dalam model IFAS, 2) Ketersediaan pengaturan parameter-parameter data hidrologi dan data SIG dapat

dikombinasikan untuk memudahkan pengguna dalam menganalisa pengembangan sumber daya air, khususnya penerapan pemodelan hidrologi pada Daerah Aliran Sungai, 3) IFAS memiliki *interface* untuk menampilkan hasil output dalam format grafik dalam peta digital, 4) Hak bebas pengguna aplikasi IFAS untuk menggunakan, memodifikasi dan mendistribusikan hasil pemodelan.

Gambar 8 menunjukkan tampilan karakteristik DAS pada Basin Data Manager, salah satu sub menu IFAS untuk studi Kasus prediksi debit banjir DAS Saddang (6.242 km²), Provinsi Sulawesi Selatan. Sedangkan Gambar 9 menyajikan perbandingan debit harian hasil pengamatan dan hasil simulasi IFAS.



Gambar 8. Tampilan Karakteristik DAS Saddang
Figure 8. Representation of Saddang watershed

Debit harian sungai Saddang hasil pengamatan dan simulasi menurut model IFAS menunjukkan kemiripan. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Sugiura *et al.* (2009), serta Aziz dan Tanaka (2010) yang menyatakan bahwa model analisis limpasan ini efektif dan efisien untuk memprediksi banjir khusus untuk negara-negara berkembang dimana ketersediaan data pencatatan sangat terbatas. Hasil analisis limpasan dapat memberikan informasi tentang pendugaan data ketersediaan air irigasi. Hal ini dikarenakan hasil simulasi debit berupa grafik yang cenderung fluktuatif memungkinkan untuk di tumpangtindihkan dengan grafik kebutuhan air irigasi yang relatif konstan. Model dikembangkan menggunakan data masukan tidak hanya bersumber dari data lapangan tetapi juga kombinasi dengan data dari satelit yang berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Data yang dimaksud berupa data hujan spasial dari pengamatan satelit, ataupun data hujan dari stasiun iklim, serta data spasial karakteristik DAS (penggunaan lahan, geologi, jenis tanah) yang telah disimpan dalam basis data IFAS. Kelebihan model IFAS dibandingkan dengan model hidrologi lainnya adalah kemampuannya dalam membangkitkan data hidrograf debit pada titik di sepanjang jaringan sungai. Kemampuan ini dapat digunakan untuk memprediksi data ketersediaan air pada level batas administrasi kecamatan bahkan desa dengan cara mensimulasi debit pada titik perpotongan antar jaringan sungai dengan batas administrasi. Simulasi debit model IFAS pada titik yang kita tetapkan pada semua titik

outlet di dalam DAS dihitung berdasarkan aplikasi konsep Tank Model, menggunakan masukan data karakteristik DAS serta iklim (curah hujan dan evapotranspirasi harian).



Gambar 9. Perbandingan debit harian sungai Saddang hasil pengamatan dan simulasi menurut model IFAS berdasarkan input data hujan dari satelit

Figure 9. Comparison of observation and simulation daily discharge of Saddang River by IFAS model based on satellite's rainfall data input

Data ketersediaan air irigasi selanjutnya dimanfaatkan untuk menghitung neraca irigasi pada lahan sawah. Neraca irigasi adalah perimbangan antara ketersediaan air irigasi dengan kebutuhan irigasi. Kebutuhan irigasi meliputi kebutuhan air untuk pengolahan tanah, penggenangan pada sistem lahan sawah, perkolasi, serta kebutuhan air untuk tanaman. Perhitungan neraca irigasi mempertimbangkan faktor-faktor sebagai berikut: ketersediaan air irigasi, curah hujan, evapotranspirasi, fase pertumbuhan, koefisien tanaman (Kc), teknik pengelolaan air (tinggi penggenangan), karakteristik fisika tanah, efisiensi distribusi irigasi serta luas baku sawah. Beberapa faktor tersebut sejalan dan melengkapi hasil penelitian yang dikemukakan oleh Zulklipl *et al.* (2012) seperti iklim (curah hujan, evapotranspirasi), Kc, pasokan air/tinggi genangan, dan kondisi tanah/karakteristik fisika tanah.

Hasil perhitungan neraca irigasi selanjutnya digunakan untuk menentukan indek kecukupan irigasi yang dibagi menjadi 9 indeks yang mana masing-masing merepresentasikan 9 rekomendasi pola tanam. Tabel 5 menyajikan analisis neraca irigasi untuk menetapkan indeks kecukupan irigasi di Kecamatan Bontonompo, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulsel. Pada kasus di Kecamatan Bontonompo, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulsel, berdasarkan skenario pola tanam Padi-Padi-Padi, ketersediaan irigasi cukup melimpah sehingga dapat memenuhi seluruh kebutuhan irigasi lahan di Kecamatan Bontonompo. Hal ini sejalan dengan distribusi curah hujan di wilayah Sulawesi Selatan yang direpresentasikan oleh distribusi curah hujan dari DAS Saddang termasuk Zona Agroklimat B2 (Oldeman dan Darmijati 1977), dan beriklim agak basah (Schmidt dan Fergusson 1951). Indek kecukupan irigasi tingkat kecamatan di Sulawesi Selatan disajikan pada Tabel 6.

Tabel 5. Analisis Neraca Irigasi Lahan Sawah untuk menentukan Indeks Kecukupan Irigasi Kecamatan Bontonompo, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan

Table 5. Analysis of Irrigation Balance of Rice Field to Determine Irrigation Sufficiency Index of Bontonompo Sub-district, Gowa Distric, South Sulawesi Province

Kecamatan			Bontonompo		INDEKS KECUKUPAN IRIGAS							A1	Padi-Padi-Padi		
Luas Sawah Baku			2670.1	ha	A1							A2	Padi-Padi-Palawija		
Efisiensi Distribusi Irigasi			80%									B1	Padi-Padi-Bera		
Musim	Dekad	Musim Tanam	CH Dasarian	Ketersediaan Air Irigasi Dasarian	ETP Dasarian	KC Padi	ET Padi Dasarian	Genangan	Perkolasi Dasarian	Genangan Sebelum Irigasi	Genangan setelah Irigasi	Kebutuhan Irigasi Dasarian	Kebutuhan Irigasi Dasarian	Total Kebutuhan Irigasi Dasarian	Kecukupan Irigasi
			mm	lt/dt	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	lt/dt/ha	lt/dt	%
OKTOBER - MARET	1	MT I : PADI	0.0	45,870	47.5	0.00	0.0	75	5.0	0	75	75	0.87	2,897.2	100.0
	2		0.0	44,930	42.7	1.05	44.8	75	5.0	25	75	50	0.58	1,925.2	100.0
	3		0.0	43,999	38.1	1.05	40.0	75	5.0	30	75	45	0.52	1,737.1	100.0
	4		5.0	48,388	46.6	1.08	50.2	75	5.0	25	75	50	0.58	1,938.6	100.0
	5		6.5	50,883	43.6	1.13	49.2	75	5.0	27	75	48	0.55	1,842.2	100.0
	6		11.0	62,320	42.1	1.20	50.5	75	5.0	30	75	45	0.52	1,720.6	100.0
	7		25.3	127,747	46.5	1.20	55.7	75	5.0	40	75	35	0.41	1,369.2	100.0
	8		0.6	84,265	50.2	1.18	59.0	75	5.0	12	75	63	0.73	2,449.9	100.0
	9		15.3	119,792	46.6	1.03	48.1	75	5.0	37	75	38	0.44	1,459.9	100.0
	10		78.7	847,847	43.6	0.87	38.0	75	5.0	75	75	0	0.00	0.0	100.0
	11		30.8	320,517	42.1	0.72	30.3	0	0.0	0	0	0	0.00	0.0	100.0
	12		22.3	330,180	46.5		0.0	0	0.0	0	0	0	0.00	0.0	100.0
	13	16.0	164,536	47.5	0.00	0.0	75	5.0	0	59	59	0.68	2,279.2	100.0	
	14	8.1	107,242	42.7	1.05	44.8	75	5.0	17	75	58	0.67	2,230.3	100.0	
	15	23.9	266,346	38.1	1.05	40.0	75	5.0	54	75	21	0.24	814.8	100.0	
	16	15.2	152,934	46.6	1.08	50.2	75	5.0	35	75	40	0.46	1,544.5	100.0	
	17	2.2	118,933	43.6	1.13	49.2	75	5.0	23	75	52	0.60	2,008.3	100.0	
	18	1.2	58,597	42.1	1.20	50.5	75	5.0	21	75	54	0.63	2,099.8	100.0	
	19	MT II : PADI	8.0	70,541	46.5	1.20	55.7	75	5.0	22	75	53	0.61	2,037.5	100.0
	20		8.0	110,403	50.2	1.18	59.0	75	5.0	19	75	56	0.65	2,164.0	100.0
	21		4.5	73,586	46.6	1.03	48.1	75	5.0	26	75	49	0.56	1,876.0	100.0
	22		8.4	92,372	43.6	0.87	38.0	75	5.0	40	75	35	0.40	1,338.2	100.0
	23		15.7	134,056	42.1	0.72	30.3	0	0.0	0	0	0	0.00	0.0	100.0
	24		7.4	76,716	46.5		0.0	0	0.0	0	0	0	0.00	0.0	100.0
	25		14.5	89,669	47.5	0.00	0.0	75	5.0	0	61	61	0.70	2,337.1	100.0
APRIL - SEPTEMBER	26	MT III: PADI	7.1	114,323	42.7	1.05	44.8	75	5.0	18	75	57	0.66	2,211.0	100.0
	27		7.2	74,671	38.1	1.05	40.0	75	5.0	37	75	38	0.44	1,458.9	100.0
	28		5.4	75,181	46.6	1.08	50.2	75	5.0	25	75	50	0.58	1,923.1	100.0
	29		10.2	90,526	43.6	1.13	49.2	75	5.0	31	75	44	0.51	1,699.3	100.0
	30		0.9	55,880	42.1	1.20	50.5	75	5.0	20	75	55	0.63	2,110.4	100.0
	31		0.0	52,163	46.5	1.20	55.7	75	5.0	14	75	61	0.70	2,346.6	100.0
	32		0.0	50,954	50.2	1.18	59.0	75	5.0	11	75	64	0.74	2,473.1	100.0
	33		0.0	49,857	46.6	1.03	48.1	75	5.0	22	75	53	0.61	2,049.8	100.0
	34		0.0	48,793	43.6	0.87	38.0	75	5.0	32	75	43	0.50	1,662.7	100.0
	35		0.0	47,801	42.1	0.72	30.3	0	0.0	0	0	0	0.00	0.0	100.0
	36		0.0	46,827	46.5		0.0	0	0.0	0	0	0	0.00	0.0	100.0

Tabel 6. Indeks Kecukupan Irigasi dan Rekomendasi Pola Tanam Tingkat Kecamatan di Provinsi Sulawesi Selatan

Table 6. *Irrigation Availability Index and Recommendation of Cropping Pattern at Districts Level in South Sulawesi Province*

No.	Kecamatan	Kabupaten	Indeks Irigasi	Kecukupan	Rekomendasi Pola Tanam
1	Bajeng Barat	Gowa	A1		Padi-Padi-Padi
2	Bontolempangan	Gowa	A1		Padi-Padi-Padi
3	Bontomarannu	Gowa	A1		Padi-Padi-Padi
4	Bontonompo	Gowa	A1		Padi-Padi-Padi
5	Bungaya	Gowa	A1		Padi-Padi-Padi
6	Manuju	Gowa	A1		Padi-Padi-Padi
7	Pallangga	Gowa	A1		Padi-Padi-Padi
8	Parangloe	Gowa	A1		Padi-Padi-Padi
9	Parigi	Gowa	A1		Padi-Padi-Padi
10	Somba Opu	Gowa	A1		Padi-Padi-Padi
11	Tinggimoncong	Gowa	A1		Padi-Padi-Padi
12	Bangkala	Janeponto	A1		Padi-Padi-Padi
13	Bangkala Barat	Janeponto	A1		Padi-Padi-Padi
14	Binamu	Janeponto	A1		Padi-Padi-Padi
15	Bontoramba	Janeponto	A1		Padi-Padi-Padi
16	Tamalatea	Janeponto	A1		Padi-Padi-Padi
17	Turatea	Janeponto	A1		Padi-Padi-Bera
18	Birang Kanaya	Kota Makassar	A1		Padi-Padi-Padi
19	Manggala	Kota Makassar	A1		Padi-Padi-Padi
20	Panakkukang	Kota Makassar	A1		Padi-Padi-Padi
21	Tallo	Kota Makassar	A1		Padi-Padi-Padi
22	Tamalate	Kota Makassar	A1		Padi-Padi-Padi
23	Mandai	Maros	A1		Padi-Padi-Padi
24	Marusu	Maros	A1		Padi-Padi-Padi
25	Moncongloe	Maros	A1		Padi-Padi-Padi
26	Galesong	Takalar	A1		Padi-Padi-Padi
27	Galesong Selatan	Takalar	A1		Padi-Padi-Padi
28	Manggara Bombang	Takalar	A1		Padi-Padi-Padi
29	Pattallassang	Takalar	A1		Padi-Padi-Padi
30	Polombangkeng Selatan	Takalar	A1		Padi-Padi-Padi
31	Polombangkeng Utara	Takalar	A1		Padi-Padi-Padi

Kesimpulan

Indek kecukupan irigasi bermanfaat dalam menentukan pola dan masa tanam padi dan palawija yang lebih tepat di suatu wilayah dibandingkan dengan metode penentuan masa tanam menurut Oldeman dan Darmijati (1977) yang ditetapkan hanya berdasarkan informasi curah hujan (pola hujan, lamanya bulan basah dan bulan kering). Penetapan pola tanam berdasarkan indek kecukupan irigasi lebih lengkap karena dilengkapi dengan data debit selain curah hujan.

Ketersediaan data debit dan curah hujan jangka panjang untuk mendapatkan indek ini merupakan salah satu kendala, karena ketersediaan data di lapang sangat terbatas. Namun demikian pengembangan penggunaan

indeks kecukupan irigasi memiliki prospek yang baik karena penggunaan model ini menggabungkan data pengamatan lapang dan data satelit, seperti pada penelitian ini. Semua areal sawah irigasi di Kabupaten Gowa, Jeneponto, Maros, Takalar dan Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan memiliki indeks kecukupan irigasi A1 sehingga dapat mendukung pengembangan pola tanam padi-padi-padi.

Daftar Pustaka

- Allen GR, Pereira LS, Raes D, Smith M. 1998. Crop Evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 56. FAO. Rome. 301 p.

- Aziz A. 2014. Rainfall-Runoff Modeling of the Trans-Boundary Kabul River Basin Using Integrated Flood Analysis System (IFAS). *Pakistan Journal of Meteorology*. 10(20):75-81.
- Aziz A, Tanaka S. 2010. Regional parameterization and applicability of Integrated Flood Analysis System (IFAS) for flood forecasting of Upper-Middle Indus River. *Pakistan Journal of Meteorology*. 8(15):21-38.
- BPS. Badan Pusat Statistik. 2014. Statistik Indonesia. <http://www.bps.go.id>. Jakarta (4 Juni 2015).
- BBWS Pompengan Jeneberang. 2011. Data debit dan curah hujan WS Walanae-Cenranae tahun 2001-2008. Unit SISDA (Sistem Infomasi Sumber Daya Air). Makassar
- BBWS Pompengan Jeneberang. 2014. Data debit dan curah hujan WS Saddang tahun 1981-2010, 2013. Unit SISDA SISDA (Sistem Infomasi Sumber Daya Air). Makassar
- BIG. 2012. Peta Rupa Bumi Indonesia skala 1:25.000 Sulawesi Selatan. Pusat Rupa Bumi dan Toponim. Bogor.
- Chuenchooklin S, Pangnakorn U. 2015. Flood Management Tool for Small Catchment in the Nan River Basin, Thailand. *Journal of Applied Sciences Research*. 11(21): 1-6.
- Chinh DD, Thuan NTT, Thanh Van P, Ngoc Thanh T, Van Manh V. 2014. Research the applicability of IFAS model in flood analysis (Pilot at Bang Giang river basin in Cao Bang Province). In Marx Gómez J, Sonnenschein M, Vogel U, Winter A, Rapp B, Giesen N (Eds.). *Proceedings of the 28th Environ. Info 2014 Conference*, Oldenburg, Germany. September 10-12, 2014.
- Febrianto AY. 2016. Model Hidrologi IFAS untuk Memprediksi Kekurangan Air Irigasi Di DAS Ciliwung. Skripsi Sarjana. Universitas Brawijaya. 55 hal.
- Gatot IS, Duchesne J, Forest F, Perez P, Cudennec C, Prasetyo T, Karama S. 2001. Rainfall and Runoff Harvesting for Controlling Erosion and Sustaining Upland Agriculture Development. Pages 431-439. In Stott DE, Mohtar RH, and Steinhart GC (eds.) 2001. Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting held May 24-29, 1999, at Purdue University and USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory.
- Handayani YL, Sutikno S, Fitriani, Kurnia A. 2015. Model hidrologi untuk analisis banjir berbasis data satelit. Paper disajikan pada Annual Civil Engineering Seminar 2015. Pekanbaru.
- Hamiduddin S, Sutikno M, Fauzi. 2013. Pemodelan Hidrologi Hujan-Aliran dengan Menggunakan Data Satelit Hasil Penginderaan Jauh (Studi Kasus DAS Tapung Kiri). Makalah, Bagian dari Skripsi. Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Hasan H, Sutikno S, Fauzi M. 2013. Penggunaan Data Hujan Satelit untuk Pemodelan Hidrologi DAS Indragiri. Makalah, Bagian dari Skripsi. Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Pekanbaru. 12 hal.
- Hasan M. 2012. Bendungan Sarana Penyediaan Air. *Dalam Operasi dan pemeliharaan untuk kelanjutan infrastruktur*. Media Informasi Sumber Daya Air. September-Oktober 2012. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 44 hal.
- Harris A, Rahman S, Hossain F, Yarborough L, Bagtzoglou AC, Easson G. 2007. Satellite-based Flood Modeling Using TRMM-based Rainfall Products. *Sensors*. 7(12): 3416-3427
- Hendra Y, Fauzi M, Sutikno S. 2015. Hybrid data hujan ARR dan satelit guna peningkatan efektifitas model IFAS. Makalah disajikan pada Annual Civil Engineering Seminar 2015, Pekanbaru. ISBN: 978-979-792-636-6.
- Heryani N, Adi SH, Kartiwa B. 2013. Kriteria rancang bangun sistem panen hujan dan aliran permukaan: studi kasus DAS Cisadane Hulu. *Ris. Geo.Tam. Jurnal*. 23(2):139-152.
- Heryani N, Irianto G, Pujilestari N. 2002a. Upaya peningkatan ketersediaan air untuk menekan risiko kekeringan dan meningkatkan produktivitas lahan. Disampaikan pada Seminar Nasional Agronomi dan Pameran Pertanian 2002. Perhimpunan Agronomi Indonesia, 29-30 Oktober 2002. Bogor.
- Heryani N, Irianto G, Pujilestari N. 2002b. Pemanenan Air untuk Menciptakan Sistem Usaha tani yang Berkelanjutan (Pengalaman di Wonosari, Daerah Istimewa Yogyakarta). *Bulletin Agronomi*. XXX(2):45-52.
- Isnaini Y, Sutikno S, Handayani YL. 2013. Kajian Pemanfaatan Data Hujan Satelit untuk Pemodelan Hidrologi (Studi Kasus DAS Pulau Berhalo). Bagian dari Skripsi. Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Irianto G. 2000. Panen hujan dan aliran permukaan untuk meningkatkan produktivitas lahan kering DAS Kali Garang. *Jurnal Biologi LIPI*. 5(1):29-39.
- Kartiwa B, Murniati E. 2011. Application of RS, GIS and Hydrological Model for Flood Mapping of Lower Citarum Watershed, Indonesia. Paper presented in Sentinel Asia Joint Project Team Meeting, 12th-14th July 2011. Putra Jaya, Malaysia.
- Khan SI, Hong Y, Wang J, Koray KY, Gourley JJ, Adler RF, Brakenridge GR, Policelli F, Habib S, Irwin D. 2011. Satellite Remote Sensing and Hydrologic Modeling for Flood Inundation Mapping in Lake Victoria Basin: Implications for Hydrologic Prediction in Ungauged Basins. *IEEE Transactions Geoscience and Remote Sensing*. 49(1):85-95
- Kimura N, Tai AS, Chiang H, Wei PY, Fong Su, Tzuen Cheng C, Kitoh A. 2014. Hydrological Flood Simulation Using a Design Hyetograph Created from Extreme Weather Data of a High-Resolution Atmospheric General Circulation Model. *Water*. 6: 345-366.
- Kirmanto D. 2012. Pulau Jawa Kritis Air. Naskah disajikan pada Orasi Ilmiah Menteri PU dalam Peringatan 92 Tahun Pendidikan Tinggi Teknik di Aula Barat Institut Teknologi Bandung, 3 Juli 2012.
- Lilianti L, Sutikno S, Handayani YL. 2015. Modifikasi penggunaan data hujan untuk pemodelan hidrologi hujan aliran menggunakan Program IFAS. *JOM FTEKNIK*. 2(2).
- Linggasari RS, Sutikno S, Handayani YL. 2015. Perbandingan penggunaan data hujan satelit dan data hujan lapangan untuk pemodelan hidrologi hujan-aliran (studi kasus DAS Tapung Kiri). *JOM FTEKNIK*. 2(2).
- Li L, Hong Y, Wang J, Adler RF, Policelli F, Habib S, Irwin D, Korme T, Okello L. 2009. Evaluation of the real-time TRMM-based multi-satellite precipitation analysis for an operational flood prediction system in Nzoia Basin, Lake Victoria, Africa. *Nat. Hazard*. 50:109-123.
- Mardhotillah M, Sutikno S, Fauzi M. 2014. Pemodelan hujan-aliran daerah aliran sungai rokan dengan menggunakan data penginderaan jauh. Makalah bagian dari Skripsi. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau Pekanbaru-Riau. 12 hal.
- Miyamoto M, Ono M, Okazumi T, Nabesaka S, Iwami Y. 2014. Applicability Of A Flood Forecasting Method Utilizing Global Satellite Information To An Insufficiently-Gauged River Basin: A Case Of A River Basin In The Philippines. City University of New York (CUNY) Academic Works.

http://academicworks.cuny.edu/cc_conf_hic/191

- Miyamoto M, Sugiura A, Okazumi T, Tanaka S, Nabesaka S, Fukami K. 2012. "Suggestion for an advanced early warning system based on flood forecasting in Bengawan Solo River Basin", Indonesia, 10th International Conference on Hydroinformatics, IWA IAHR. No. 394. July 2012.
- Oldeman LR, Darmijati SK. 1997. An agroclimatic map of Sulawesi. Contr. Centr. RE. Inst. Agric. Bogor. 30p.
- Puslitbang Geologi. 2009. Peta Geologi Sulawesi skala 1:250.000. Bandung.
- Puslittanak. 2002. Peta Tanah Skala Tinjau (1:250.000) Sulawesi. Bogor.
- Risnayanti A. 2013. Aplikasi Model IFAS Untuk Membandingkan Debit dari Tiga DAS (Studi Kasus: Kabupaten Boyolali dan Klaten Jawa Tengah). Makalah bagian dari Skripsi. Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Pertanian Bogor. 30 hal.
- Rejekiningrum P. 2011. Pengembangan Model Alokasi Air Untuk Mendukung Optimal Water Sharing Kasus DAS Cicitih Cimandiri, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat. Thesis Doktoral. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. 226 hal.
- Schmidt FH, Fergusson JHA. 1951. Rainfall types based on wet and dry period ratios for Indonesia with Western New Guinea. Kementerian Perhubungan, Djawatan Meteorologi dan Geofisik (DMG) Jakarta. 77p.
- Sosiawan H. 2005. Proportional Water Sharing: Tantangan dan Strategi Pemecahannya. Buletin Hasil Penelitian Agroklimat dan Hidrologi. 2(2):19-33.
- Sugiura A, Fujioka S, Nabesaka S, Tsuda M, Iwami Y. 2014. Development of a flood forecasting system on upper Indus Catchment using IFAS. Paper presented in International conference on flood management. September 16-18, 2014. Sao Paulo Brazil.
- Sugiura A, Fujioka S, Nabesaka S, Sayama T, Iwami Y, Fukami K, Tanaka S, Takeuchi K. 2014a. Challenges on Modelling a Large River Basin with Scarce Data: A Case Study of the Indus Upper Catchment. Journal of Hydrology and Environment Research. 2(1):59-64.
- Sugiura T. 2010. Satellite-based assessment of flood risk and flood exposure. CRBOM Small Publications Series No. 17. Center for River Basin Organizations and Management, Solo, Central Java, Indonesia.
- Sugiura T, Fukami K, Fujiwara N, Hamaguchi K, Nakamura S, Hironaka S, Nakamura K, Wada T, Ishikawa M, Shimizu T, Inomata H, Itou K. 2010. "Experimental application of flood forecasting system (IFAS) using satellite-based rainfall." Paper presented in Ninth International Conference on Hydroinformatics. Tianjin, China: HIC 2010. 1786-1793.
- Sugiura T, Fukami K, Fujiwara N, Hamaguchi N, Nakamura S, Hironaka S, Nakamura K, Wada T, Ishikawa M, Shimizu T, Inomata H, Itou K. 2009. Development of Integrated Flood Analysis System (IFAS) and its Applications. Paper presentend in Conf. of 7th ISE & 8th HIC, Chile.
- Sutikno S, Fauzi M, Hamiduddin. 2014. Pemodelan Hidrologi hujan-alairan permukaan dengan menggunakan data satelit. Makalah disampaikan pada Seminar Nasional X-2014 Teknik Sipil ITS Surabaya. Inovasi Struktur dalam Menunjang Konektivitas Pulau di Indonesia.
- USGS. 2009. United States Geological Survey. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Amerika Serikat.
- Zulkipli W. Soetopo, Prasertjo H. 2012. Analisa neraca air permukaan DAS Renggung untuk memenuhi kebutuhan air irigasi dan domestik penduduk kabupaten Lombok Tengah. Jurnal Teknik Pengairan. 3(2): 87-96.