

Integrasi Prediksi Musim dengan Model Simulasi Tanaman untuk Penentuan Waktu Tanam Padi

Integrating Seasonal Prediction with Crop Model for Adjusting Rice Planting Time

Elza Surmaini¹, Tri Wahyu Hadi², Kasdi Subagyo³, M. Ridho Syahputra²

¹ Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Jl Tentara Pelajar No. 1A Bogor 16114

² Program Studi Meteorologi, Institut Teknologi Bandung, Jl Ganesha No. 10 Bandung 40132

³ Biro Perencanaan, Kementerian Pertanian, Jl Harsono RM No 3 Jakarta 12550

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 04 Juli 2018

Direview: 18 Juli 2018

Disetujui: 24 September 2018

Kata kunci:

Waktu tanam

Model simulasi tanaman

Prediksi curah hujan

Analog

Hasil padi

Keywords:

Planting time

Crop model

Seasonal rainfall prediction

Analogue

Rice yield

Direview oleh:

Eni Maftu'ah, Erna Sri Adiningsih,
Sukarman

Abstrak. Penyesuaian waktu tanam merupakan upaya dengan biaya yang paling efisien untuk meningkatkan produktivitas, menstabilkan, bahkan meningkatkan ketahanan pangan. Integrasi prediksi curah hujan musim dengan model simulasi tanaman dapat digunakan untuk memberikan rekomendasi waktu tanam padi dengan hasil yang optimal. Dua tahap analog digunakan untuk memprediksi curah hujan harian untuk satu musim tanam. Analog tahap pertama untuk memprediksi curah hujan harian untuk 120 hari. Tahap kedua mencari satu analog terbaik prediksi sekuens curah hujan 120 hari. Basis data hasil tanaman padi periode 1982-2009 dengan interval harian dibangun menggunakan model simulasi tanaman. Rekomendasi waktu tanam ditentukan berdasarkan perubahan hasil dibandingkan dengan waktu tanam awal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prediksi curah hujan musim dengan lead time 6-9 bulan menggunakan metode *downscaling* dengan dua tahap analog dapat memperpanjang *lag* prediksi 2 bulan sebelum tanam sehingga dapat digunakan untuk peringatan dini. Integrasi prediksi curah hujan musim dengan model simulasi tanaman dapat memberikan informasi selang waktu tanam yang berpotensi untuk mendapatkan hasil yang lebih tinggi. Prediksi waktu tanam dalam bentuk selang waktu diperlukan petani, karena berbagai faktor non teknis yang menyebabkan penanaman tidak dapat dilakukan pada rekomendasi waktu tertentu. Informasi tersebut dapat digunakan oleh pengambil kebijakan dan penyuluh untuk rekomendasi kepada petani tentang waktu tanam dengan hasil padi yang lebih tinggi.

Abstract. Adapting planting time is a very cost-efficient way to increase crop productivity and stabilise or even increase food security. Linking seasonal rainfall prediction with crop simulation model is used to evaluate planting date with optimal rice yield. We used a two step analogue method. The first step is to predict 30 daily rainfall analogues for the next 120 days. The second step is to look for best analogue of 120 day rainfall prediction. Daily planting dates were simulated within 1982-2009 using crop simulation model. The second step is to determine the best analogue for the 120 day sequence. Planting time recommendation is adjusted using the difference between the earliest and later planting dates. The result concluded that 6-9 lead time seasonal rainfall prediction using two step analogue could increase lead time 2 months prior to planting time, therefore can be use for early warning. Linking season rainfall prediction with crop simulation model to adjust interval of planting time that provide higher rice yield. Farmers need that interval, due to non-technical factors are caused crop could not planted timely as recommended. In addition, the recommendation of planting time should be used by decision makers and extension workers to recommend appropriate planting time with higher yield to the farmers.

Pendahuluan

Pemanasan global yang disebabkan oleh peningkatan konsentrasi gas rumah kaca telah menyebabkan perubahan perilaku iklim seperti perubahan curah hujan, suhu udara, dan jumlah radiasi surya. Perubahan perilaku iklim tersebut akan berdampak besar terhadap pertanian, seperti

waktu dan pola tanam, lama periode pertumbuhan dan hasil tanaman. Pada sektor pertanian, salah satu dampak perubahan iklim adalah tingginya ketidakpastian musim, seperti awal musim, karakteristik iklim dalam musim, dan panjang musim (Surmaini dan Faqih 2016). Ketidakpastian iklim selama 1-2 musim sangat berisiko dalam pertanian, karena dapat menyebabkan kegagalan panen apabila tidak diantisipasi dengan baik.

* Corresponding author: elzasurmaini@gmail.com

Salah satu upaya untuk menekan risiko iklim dalam budidaya pertanian adalah menyesuaikan waktu tanam. Menurut Laux *et al.* (2010), penyesuaian waktu tanam merupakan cara yang paling mudah dan efisien untuk meningkatkan produktivitas tanaman, bahkan menstabilkan ketahanan pangan. Penyesuaian tersebut dapat dilakukan melalui perencanaan waktu tanam dan intervensi teknologi budidaya untuk mendapatkan hasil yang optimal (Meinke dan Stone 2005; Cabrera *et al.* 2009). Apabila prediksi iklim 6-9 bulan ke depan yang akurat tersedia, penyesuaian strategi usahatani dapat dilakukan untuk menekan risiko kehilangan hasil atau untuk mendapatkan keuntungan yang lebih tinggi pada kondisi iklim yang lebih baik (Jones *et al.* 2000).

Prediksi waktu tanam sangat penting bagi pengambil kebijakan, penyuluh dan petani untuk merencanakan praktik budidaya seperti pemilihan komoditas, varietas, perencanaan irigasi, pupuk, dan sarana pertanian lainnya. Bagi pengambil kebijakan, prediksi waktu tanam diperlukan dalam menyusun strategi distribusi benih dan pupuk. Prediksi hasil juga diperlukan untuk mengetahui daerah yang mengalami surplus atau defisit, sehingga dapat digunakan untuk menyusun strategi distribusi dan stok produksi pertanian. Bagi penyuluh, informasi tersebut dapat dijadikan dasar dalam memberikan rekomendasi waktu tanam dengan hasil yang lebih baik kepada petani. Lebih jauh, kemampuan petani untuk beradaptasi secara efektif dengan memanfaatkan prediksi iklim dapat mempengaruhi ekonomi nasional, terutama pada negara yang sangat tergantung pada produksi pertanian.

Salah satu strategi untuk mengantisipasi ketidakpastian awal musim dan kejadian iklim ekstrem adalah dengan menyesuaikan waktu tanam (Lauer *et al.* 1999). Untuk mengatur waktu tanam dan panen, berbagai negara menggunakan kalender tanam (Sacks *et al.* 2010). Kalender tanam merupakan alat bantu bagi petani dan penyuluh untuk mengambil keputusan dalam menentukan waktu tanam, penyiapan benih, pengolahan lahan, kebutuhan tenaga kerja, dan mengatur penggunaan alat mesin untuk pengolahan lahan dan panen (Surmaini dan Syahbuddin 2016).

Kementerian Pertanian telah mengembangkan Kalender Tanam (KATAM) Terpadu yang bersifat operasional sampai tingkat kecamatan (Runtuwuu dan Syahbuddin 2011). Katam Terpadu memberikan informasi waktu tanam yang disusun berdasarkan prediksi deterministik awal dan sifat musim hujan yang dikeluarkan oleh Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG). Namun, informasi waktu tanam sebaiknya juga dilengkapi dengan potensi hasilnya. Menurut Jones *et al.* (2002) dan Hansen dan Indeje (2004), informasi prediksi iklim untuk sektor pertanian seharusnya diterjemahkan

dalam bentuk hasil yang akan diperoleh serta alternatif praktik budidaya yang diperlukan untuk mendapatkan hasil yang optimal. Lebih jauh, Hansen dan Indeje (2004) menyatakan bahwa produksi tanaman merupakan fungsi dinamik, interaksi non-linier antara cuaca, tanah, dinamika transpor makanan, dan fisiologi tanaman hari per hari, sehingga tidak dapat diestimasi hanya berdasarkan kondisi awal tanam dan iklim rata-rata selama musim tanam.

Informasi potensi hasil dapat diberikan dengan mengintegrasikan prediksi musim dengan model simulasi tanaman. Prediksi musim berbasis harian hingga 9 bulan ke depan dengan model-model iklim global sudah banyak dikembangkan saat ini. Terdapat keyakinan yang cukup besar bahwa *Global Circulation Model* (GCM) juga mampu mengestimasi iklim secara kuantitatif yang dapat dipercaya di masa yang akan datang, terutama pada skala benua atau global (Randall 2007). Permasalahan yang dihadapi dalam penggunaan GCM adalah terkait dengan resolusi, akurasi dan ketidakpastian. Keluaran GCM memiliki resolusi yang rendah dan tidak mampu merepresentasikan proses-proses yang skalanya lebih kecil. Untuk memperoleh informasi skala regional dan lokal dari keluaran GCM, dibutuhkan teknik *downscaling* (Fowler *et al.* 2007; Dahm *et al.* 2015). *Downscaling* adalah suatu metode untuk mentransformasi hasil simulasi GCM yang berskala besar ke skala yang lebih kecil. Sedangkan akurasi atau keandalan prediksi sangat diperlukan untuk menyakinkan pengguna. Berbagai teknik statistik dapat digunakan untuk mengetahui akurasi prediksi. Adapun ketidakpastian prediksi tidak dapat dikurangi, tetapi dapat dikuantifikasikan dengan menggunakan teknik ansambel untuk menggambarkan peluangnya.

Berbagai penelitian telah dikembangkan untuk menduga produksi tanaman 1-2 bulan sebelum musim tanam yang akan datang dengan mengintegrasikan prediksi musiman dengan model simulasi tanaman (Baron *et al.* 2005; Ines dan Hansen 2006; Shin *et al.* 2009; Rodriguez *et al.* 2018). Integrasi model simulasi tanaman dan prediksi musiman dapat menjembatani senjang antara praktik budidaya yang rutin dilakukan petani dengan praktik budidaya yang mempertimbangkan kondisi iklim pada musim tanam yang akan datang (Podesta *et al.* 1999) dan mengeksplorasi secara cepat dan lebih dini potensi hasil dengan berbagai alternatif pengelolaan teknologi budidaya. Keluaran prediksi musim sudah mulai diintegrasikan dengan model simulasi tanaman untuk memprediksi produksi tanaman. Produksi gandum di Eropa diprediksi menggunakan program WOFOST dengan data *reforecast* prediksi multi-model ansambel DEMETER dan ERA-40 dan diperoleh hasil yang cukup akurat. Hasil ini telah dipertimbangkan untuk dijadikan salah satu keluaran prediksi yang operasional (Palmer *et al.* 2004).

Penelitian ini bertujuan mengintegrasikan keluaran prediksi musim berbasis harian dengan model simulasi tanaman untuk mengestimasi produktivitas padi dan menentukan waktu tanam yang optimal.

Bahan dan Metode

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah lahan sawah irigasi dan tadah hujan di Kabupaten Indramayu, Provinsi Jawa Barat dan Kabupaten Bone, Provinsi Sulawesi Selatan. Kedua kabupaten tersebut merupakan sentra produksi padi yang rentan mengalami kekeringan dan mempunyai distribusi pengamatan hujan yang rapat. Lahan sawah di kabupaten Indramayu rentan mengalami kekeringan pada MK1 dan MK2, sedangkan Kabupaten Bone pada MK2.

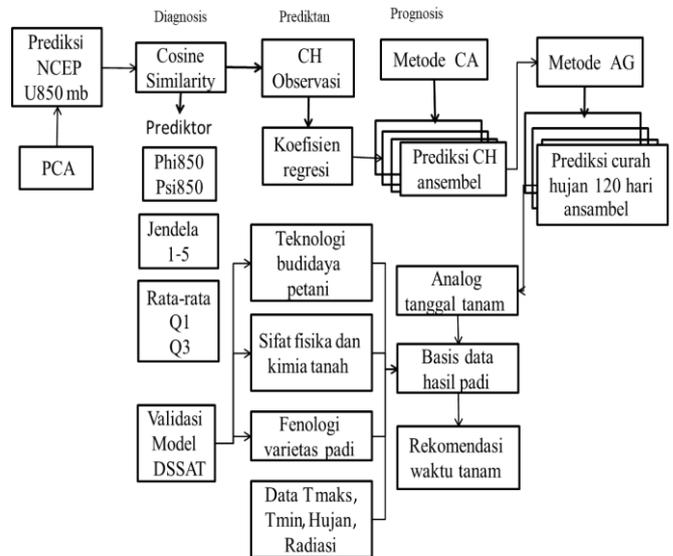
Data yang Digunakan

- Data curah hujan harian pada 20 stasiun hujan di Kabupaten Indramayu dan 18 stasiun hujan di Kabupaten Bone periode 1982-2010. Data suhu maksimum, minimum dan radiasi matahari menggunakan stasiun Sukamandi-Kabupaten Subang dan Jatiwangi-Kabupaten Majalengka untuk Kabupaten Indramayu. Data iklim stasiun Awangpone dan Camming, Kabupaten Bone untuk Kabupaten Bone (sumber: PU Pengairan dan BMKG);
- Data *reforecast* U dan V 850 hPa periode 1982-2009 dari *National Centers for Environmental Prediction-Climate Forecast System version 2* (NCEP-CFSv2) (Saha *et al.* 2010) yang diakses melalui <http://nomads.ncdc.noaa.gov/data/cfsr-frl-ts9/wnd850/>;
- Data karakteristik tanah menggunakan data hasil Evaluasi Lahan Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian,
- Data fenologi tanaman berdasarkan deskripsi varietas padi dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan (sumber: Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan);
- Data teknologi budidaya petani dikumpulkan melalui wawancara petani.

Metode

Downscaling keluaran prediksi musim menggunakan metode analog dilakukan dalam dua tahap. Analog tahap pertama adalah men-*downscale* prediksi angin harian selama 120 hari dan ditentukan analog curah harian berdasarkan metode *Constructed Analogue* (CA). Analog

tahap kedua menentukan satu analog terbaik sekuens curah hujan hasil CA pada tahap pertama (Surmaini *et al.* 2015). Metode analog tahap kedua ini selanjutnya Analog Ganda (DA). Tahapan analisis disajikan pada Gambar 1.



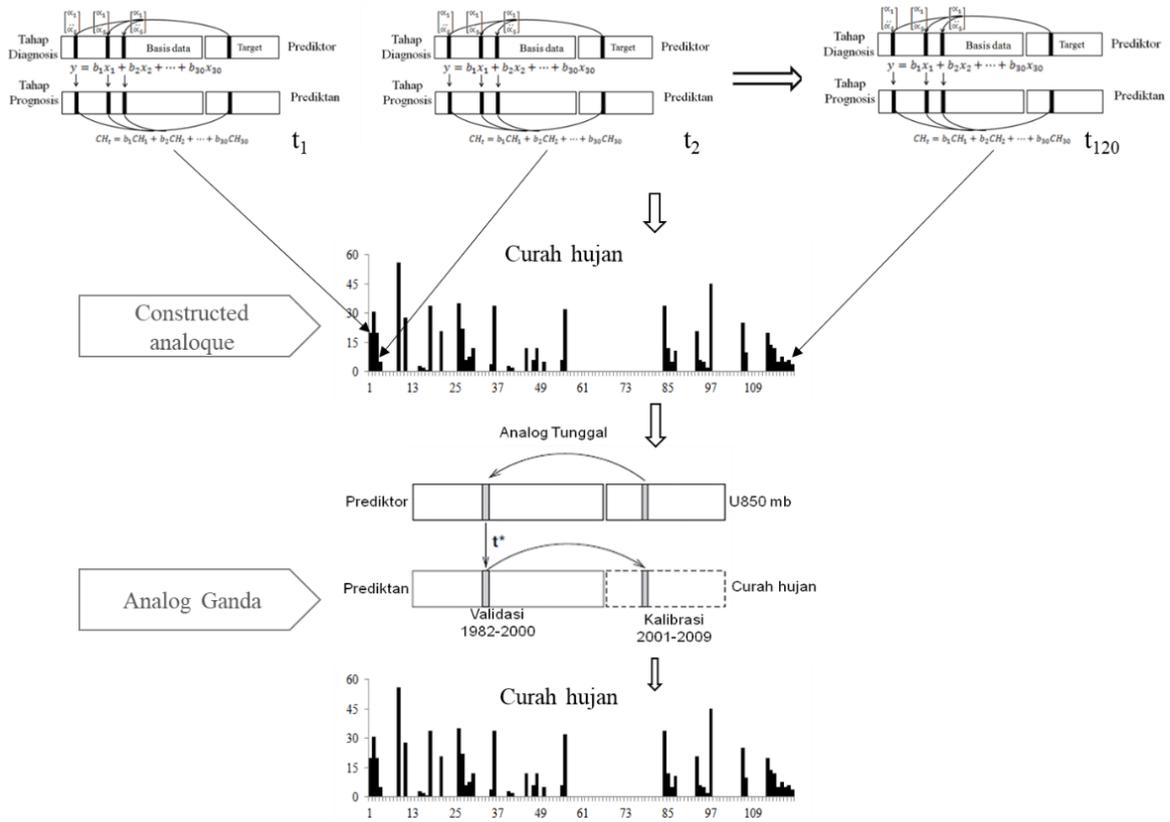
Gambar 1. Diagram alir penentuan waktu tanam berdasarkan integrasi prediksi curah hujan musim ansambel dengan model simulasi tanaman

Figure 1. Flowchart of planting date adjusting based on integration rainfall seasonal prediction to crop model.

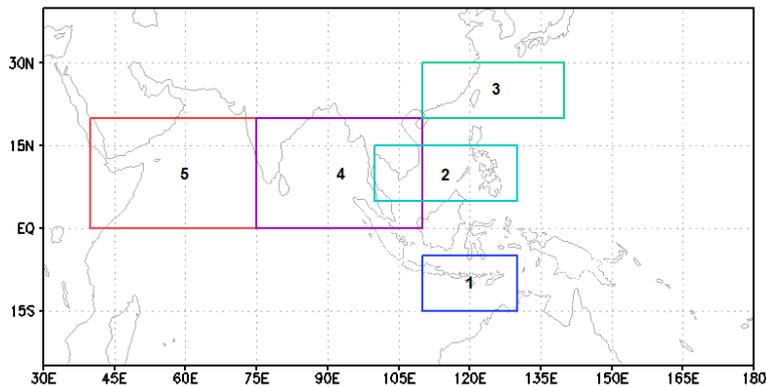
Downscaling Prediksi Curah Hujan Harian

Downscaling dilakukan dalam dua tahap, tahap pertama adalah men-*downscale* prediksi curah hujan harian untuk 120 hari ke depan dengan metode *Constructed Analogue* (CA) dan tahap kedua menentukan satu analog terbaik dari sekuens curah hujan harian 120 hari dengan metode Analog Ganda (AG). Ilustrasi dari metode AG untuk prediksi curah hujan harian disajikan pada Gambar 2.

Untuk membangun prediksi yang probabilistik digunakan berbagai model prediksi sehingga membentuk sekumpulan hasil prediksi yang disebut ansambel. Berbagai model tersebut menjadi anggota (member) dari ansambel prediksi. Ansambel prediksi dibangun dari komponen Psi dan Phi yang diturunkan dari U850 (angin pada ketinggian 850 mb). Psi adalah fungsi arus dan Phi (χ) adalah potensial kecepatan yang masing-masing merepresentasikan komponen rotasional dan divergen dari medan angin horizontal. Selanjutnya, digunakan lima buah domain yang mewakili wilayah monsun yang diasumsikan mempengaruhi curah hujan di Indonesia (Gambar 3). Statistik prediksi angin yang digunakan terdiri pada berbagai kondisi awal yang berbeda juga dijadikan sebagai



Gambar 2. Ilustrasi metode analog ganda untuk memprediksi curah hujan harian untuk satu musim tanam.
 Figure 2. Illustration of double analogue method for predicting daily rainfall for one planting period



Gambar 3. Multi-jendela wilayah monsoon yang digunakan dalam tahap diagnosis: (1) wilayah monsoon Australia, (2 dan 3) wilayah monsoon Pasifik Barat Daya, (4 dan 5) wilayah indeks monsoon definisi Webster dan Yang (Surmaini *et al.* 2015).

Figure 3. Multi-windows monsoon areas used as predictor (1) Australian monsoon, (2 and 3) Western North Pacific monsoon, (4 and 5) Western and Yang monsoon

member yaitu rata-rata, kuartil 1, dan kuartil3, sehingga terbentuk sebanyak 30 member yang membentuk ansambel.

Metode CA terdiri atas dua tahap yaitu diagnosis dan prognosis. Tahap diagnosis untuk mendapatkan sekelompok pola cuaca (subset) dari basis data dan

menentukan persamaan linier dari pola tersebut. Tahap prognosis untuk mendapatkan prediktan yang paling mirip di waktu target dengan menggunakan persamaan linier berdasarkan analog prediktor yang didapatkan dalam tahap diagnosis. Metode yang diterapkan dalam penelitian ini secara garis besar mengikuti metode yang diajukan oleh

Zorita dan von Storch (1998), van den Dool (1994), Hidalgo *et al.* (2008); Hawkins *et al.* (2011) dan Tippet *et al.* (2013) dengan beberapa modifikasi.

Tahap Diagnosis

Tahap ini melibatkan proses pencocokan pola prediktor di waktu target terhadap pola prediktor di database. Tujuan dari proses diagnosis adalah menemukan sekumpulan analog yang memenuhi kriteria tertentu (metode *subset of suitable analogues*), seperti diterapkan oleh Hidalgo *et al.* (2008). Dalam penelitian ini dilakukan beberapa modifikasi dari tahapan diagnosis tersebut :

- a) Analisis *Empirical Orthogonal Function* (EOF) dilakukan untuk mengurangi derajat bebas pada medan sirkulasi atmosfer yang digunakan sebagai prediktor (Zorita dan von Storch 1998). Database prediktor $F(u)$ dan prediktor di waktu target $F(t)$ direduksi menjadi komponen spasial (c_k) dan komponen temporal (a_k):

$$F(u) = \sum_{k=1}^M c(u)_k a(u)_k$$

$$F(t) = \sum_{k=1}^M c(t)_k a(t)_k$$

dengan M adalah jumlah komponen yang signifikan (*principal components*).

- b) Proses pencarian analog menggunakan metode *Cosine Similarity* untuk menghitung derajat kemiripan antara vektor $\vec{a}(u)$ dan $\vec{a}(t)$ (Garcia 2006; Giller 2012). *Cosine Similarity* dihitung dengan persamaan:

$$S(u) = \frac{\vec{a}(u) \cdot \vec{a}(t)}{|\vec{a}(u)| |\vec{a}(t)|}$$

Untuk setiap waktu target t , *subset best analogue* dari curah hujan di waktu t ($CH(t)$), didefinisikan sebagai curah hujan di waktu u ($CH(u)$) yang memenuhi kriteria: $\max(\|S(u)\|)$. Penentuan jumlah analog sebanyak 30 berdasarkan hasil penelitian Hidalgo *et al.* (2008) yang menyatakan bahwa korelasi tertinggi didapatkan dengan menggunakan 30 analog prediktor.

Tahap Prognosis

Tahap prognosis bertujuan untuk membentuk sekelompok analog curah hujan di setiap waktu target t , berdasarkan 30 analog terbaik yang terdapat pada basis data $\{CH_1(t), CH_2(t), \dots, CH_{30}(t)\}$. Dalam penelitian ini digunakan metode regresi linier berganda, dimana koefisien ekspansi dari 30 analog sebagai variabel bebas dan curah hujan pengamatan (CH_{obs}) sebagai variabel terikat, sehingga diperoleh koefisien regresi $\{B_1, B_2, \dots, B_{30}\}$ dan konstanta regresi C . CA dari curah

hujan di waktu target t ($CH_{CA}(t)$) selanjutnya dapat dihitung dengan persamaan berikut:

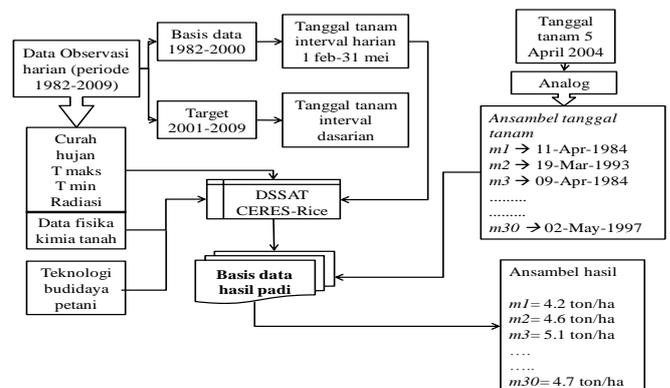
$$CH_{CA}(t) = \sum_{n=1}^{30} B_n CH_n(t) + C$$

Prediksi dilakukan pada beberapa skenario tanggal tanam untuk mengetahui waktu tanam dengan peluang hasil yang tertinggi. Untuk MK1 prediksi dilakukan dengan tanggal tanam 5, 15 dan 25 Februari, 5, 15, dan 25 Maret, 5,15, dan 25 April, dan 3 Mei, dan MK2 dengan tanggal tanam 5, 15 dan 25 Mei, 5, 15, dan 25 Juni, 5,15, dan 25 Juli, dan 3 Agustus. Tanggal tersebut dipilih untuk mewakili dasarian I, II, III setiap bulannya.

Penyusunan Basis Data Produktivitas Padi

Basis data dibangun untuk periode 1982-2009 dengan interval tanggal tanam sepuluh harian untuk yang terdiri dari 20 kecamatan di Kabupaten Indramayu dan 18 kecamatan di Kabupaten Bone. Data tersebut kemudian dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu basis data (1982-2000) dan data target (2001-2009). Produktivitas padi disimulasi menggunakan program CERES-Rice model yang merupakan bagian dari DSSAT (*Decision Support System for Agrotechnology Transfer*) yang sudah dikalibrasi dan divalidasi. Model ini telah divalidasi dan mempunyai akurasi yang baik untuk wilayah Indonesia (Surmaini *et al.* 2006).

Skenario tanggal tanam menggunakan interval tanggal tanam 10 hari yaitu tanggal 5, 15, dan 25 Februari, 5, 15, dan 25 Maret, 5, 15, dan 25 April serta 5 Mei untuk MK1. Untuk MK2, tanggal tanam yang digunakan adalah 5, 15, dan 25 Mei, 5, 15, dan 25 Juni, 5, 15, dan 25 Juli serta 5 Agustus. Untuk simulasi juga diperlukan data fisika dan kimia tanah, teknologi budidaya petani, dan fenologi dari varietas padi yang digunakan dalam simulasi model tanaman. Proses penyusunan basis data produktivitas padi diuraikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Tahapan dalam membangun basis data produktivitas padi.

Figure 4. Steps on developing paddy yield database

Prediksi Ansambel Produktivitas Padi dan Penentuan Waktu Tanam

Produktivitas padi diprediksi menggunakan metode analog dari tanggal tanam berdasarkan prediksi curah hujan harian satu musim tanam. Sebagai contoh, untuk tanggal tanam 15 Februari 2001 sampai 120 hari berikutnya, ditemukan analognya tanggal 4 Maret 1992, 18 April 1989, 13 Maret 1990, dan seterusnya sampai 30 analog. Selanjutnya untuk mendapatkan prediksi produktivitas padi digunakan basis data produktivitas pada tanggal tanam yang sama.

Rekomendasi waktu tanam ditentukan berdasarkan selisih produktivitas antara tanggal tanam awal dengan tanggal berikutnya. Rekomendasi dipilih berdasarkan produktivitas tertinggi. Dalam penelitian ini penurunan produktivitas yang dapat ditoleransi diasumsikan 5%. Perubahan produktivitas dinyatakan sebagai selisih produktivitas pada awal waktu tanam dengan waktu tanam sesudahnya, dengan persamaan berikut :

$$Y_r = \left[1 - \left(\frac{Y_{dt}}{Y_{do}} \right) \right] \times 100$$

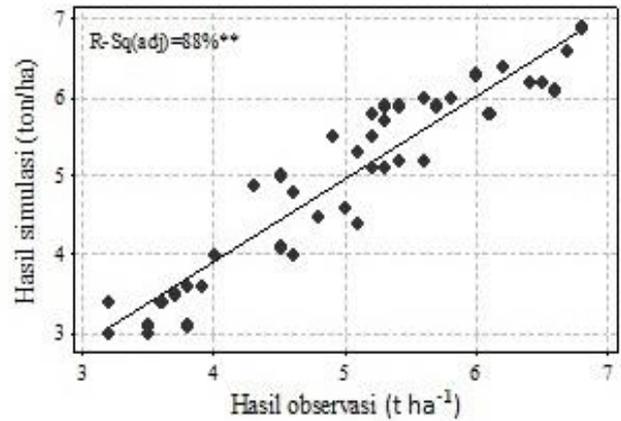
Dimana, Y_r adalah perubahan hasil (%), Y_{dt} adalah hasil pada tanggal tanam ke -t (t=2,3,...10), Y_{do} adalah hasil pada tanggal tanam awal.

Hasil dan Pembahasan

Kalibrasi dan validasi model simulasi tanaman

Kadar | Sebelum digunakan untuk membangun basis data hasil padi dilakukan kalibrasi dan validasi terhadap model simulasi tanaman. Kalibrasi dilakukan untuk mengoptimalkan dan mengoreksi input parameter model pada berbagai kondisi dan wilayah (Cheyglinted *et al.* 2001; Mall dan Aggarwal 2002). Kalibrasi dilakukan dengan merubah parameter fenologi varietas padi yang

digunakan untuk mendapatkan hasil simulasi yang mendekati observasi. Validasi dilakukan untuk mengetahui akurasi model simulasi tanaman dengan membandingkan produktivitas hasil simulasi dengan observasi hasil penelitian lapang. Pada penelitian ini produktivitas padi dapat digambarkan dengan baik oleh model simulasi tanaman (R²-adj=88%) yang signifikan pada peluang 0,01 seperti diilustrasikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Perbandingan antara produktivitas padi simulasi DSSAT dengan observasi.

Gambar 5. Comparison of paddy yield simulation using DSSAT and observation.

Model Analog untuk Data Iklim

Selain prediksi curah hujan, input yang diperlukan dalam model simulasi tanaman adalah radiasi matahari, suhu maksimum dan suhu minimum. Data tersebut ditentukan berdasarkan tanggal yang sama dengan data curah hujan. Sebagai contoh untuk tanggal tanam 5 April 2001 sampai 120 hari berikutnya di Kecamatan Anjatan, Kabupaten Indramayu didapatkan 30 tanggal tanam dengan kemiripan curah hujan yang paling dekat dengan tanggal tanam tersebut (Tabel 1).

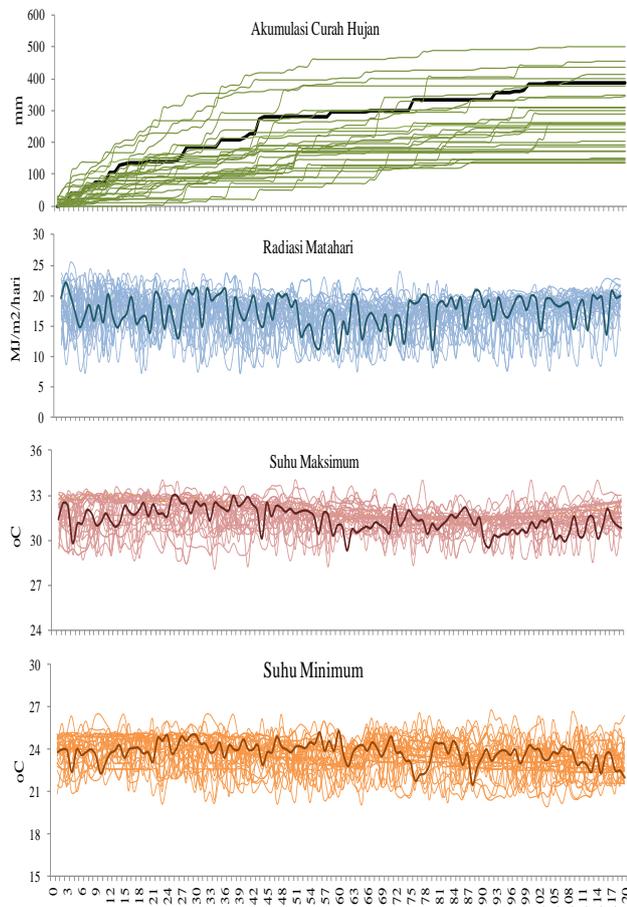
Tabel 1. Analog tanggal tanam 5 April 2001 hasil prediksi curah hujan harian dengan metode analog ganda.

Table 1. Planting date analog for 5 April 2001 using double analogue method

m	Tanggal	m	Tanggal	m	Tanggal	m	Tanggal
1	21April 1995	9	1 Mei 1998	17	12 Maret 1993	24	3 April 1996
2	9 April 1998	10	20 April 1996	18	15 April 1999	35	21 April 1987
3	21 April 1994	11	3 April 1986	19	12 April 1995	26	17 April 1984
4	19 April 1994	12	1 Maret 1996	20	22 April 1996	27	2 Maret 1991
5	3 Mei 2001	13	1 April 1994	21	22 Maret 1994	28	7 April 1984
6	25 Maret 1984	14	23 April 1984	22	25 Maret 1986	29	16 Maret 1991
7	3 April 1983	15	25 April 1983	23	20 April 1999	30	3 April 1989
8	29 Maret 1995	16	24April 1989				

Keterangan : m= nomor member

Data akumulasi curah hujan, radiasi matahari, suhu maksimum dan suhu minimum harian selama 120 hari pada tanggal 5 April 2001 dengan 30 analognya seperti disajikan pada Gambar 6. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa nilai observasi untuk parameter radiasi matahari, suhu maksimum dan suhu minimum juga berada dalam sebaran prediksi ansambel.



Gambar 6. Sebaran prediksi ansambel curah hujan, radiasi matahari, suhu maksimum dan suhu minimum harian untuk tanggal tanam 21 April 2001 di Kecamatan Anjatan, Kabupaten Indramayu. Garis yang lebih tebal adalah observasi.

Figure 6. Ensemble prediction spread of rainfall, solar radiation, maximum and minimum temperature prediction for planting date of 21 April 2001 in Anjatan sub-district, Indramayu District. Bold line indicate observation data and the coloured lines are ensemble

Model Analog Produktivitas Padi

Keempat parameter iklim harian tersebut selanjutnya digunakan *input* model simulasi tanaman, sedangkan

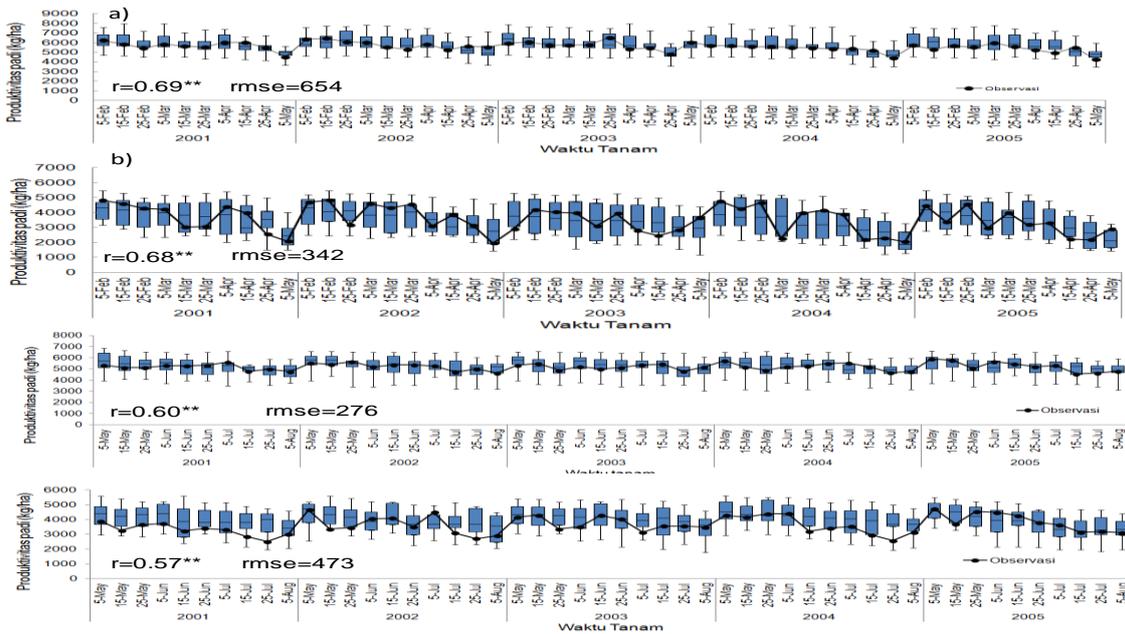
teknologi budidaya, karakteristik tanah, dan fenologi tanaman yang digunakan pada model simulasi tanaman adalah tetap. Contoh prediksi ansambel produktivitas padi digambarkan dengan *boxplot* untuk 10 skenario tanggal tanam tahun 2001-2005 pada sawah irigasi dan sawah tadah hujan di Kabupaten Indramayu dan Bone (Gambar 7). Gambar 7 menunjukkan bahwa prediksi produktivitas padi pada sawah irigasi mempunyai kisaran yang lebih sempit daripada sawah tadah hujan.

Keterangan: r (koefisien korelasi) dan RMSE dihitung berdasarkan rata-rata ansambel dengan observasi. Tanda** menunjukkan perbedaan yang signifikan pada peluang 0,01.

Box plot prediksi produktivitas padi menunjukkan bahwa sebagian nilai observasi berada di sekitar median prediksi dan terdapat korelasi yang signifikan antara rata-rata prediksi ansambel dengan observasi. Sebaran prediksi produktivitas yang lebih lebar pada sawah tadah hujan menunjukkan ketidakpastian prediksi yang lebih tinggi. Pada sawah irigasi yang terjamin ketersediaan air irigasinya, tanaman tidak mengalami cekaman air sehingga tanaman dapat berproduksi optimal. Penurunan produktivitas dengan mundurnya tanggal tanam dapat digambarkan oleh median dan 10 persentil (garis vertikal pada diagram bagian bawah) dari prediksi ansambel. Secara konsisten gambar tersebut menunjukkan bahwa pada periode tahun 2001-2005 terdapat penurunan produktivitas dengan mundurnya tanggal tanam.

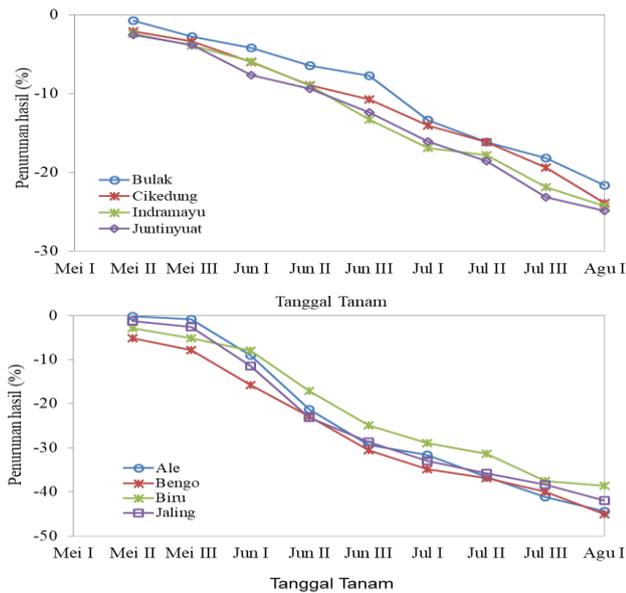
Penentuan Tanggal Tanam

Penentuan tanggal tanam berdasarkan nilai rata-rata ansambel prediksi produktivitas padi di beberapa kecamatan di Kabupten Indramayu dan Bone disajikan pada Gambar 8. Sebagai contoh, penurunan produktivitas akibat mundurnya tanggal tanam sampai Agustus dasarian 1, mencapai 25% pada sawah irigasi, sedangkan pada sawah tadah hujan lebih tinggi yaitu dan 45%. Apabila penurunan produktivitas padi yang dapat ditoleransi adalah adalah 5%, maka penanaman MK2 paling lambat pada sawah irigasi di Kabupaten Indramayu adalah pada Mei dasarian 3. Sementara itu, pada sawah tadah hujan di Kabupaten Bone, tanggal tanam hanya mundur 1 dasarian saja yaitu pada Mei dasarian 2 dapat menyebabkan penurunan sebesar 5%. Pada sawah tadah hujan apabila waktu tanamnya mundur sampai Juni dasarian 2 dan 3 maka kehilangan produktivitas padi mencapai 20- 30%.



Gambar 7. *Box plot* prediksi ansambel dan observasi produktivitas padi pada beberapa tanggal tanam periode 2001-2005 pada a) MK1 sawah irigasi dan b) MK1 sawah tadah hujan Kecamatan Anjatan, Kabupaten Indramayu, c) MK2 sawah irigasi, dan d) MK2 sawah tadah hujan di Kecamatan Mare, Kabupaten Bone.

Figure 7. *Box plots of ensemble prediction and observation of paddy yield in several planting date for period 2001-2005 in a) Dry Season Planting1 (DSP) in irrigated paddy and b) DSP2 in rainfed paddy in Anjatan sub-District, Indramayu District, c) DSP2 in rainfed paddy in Mare sub-District, Bone District.*

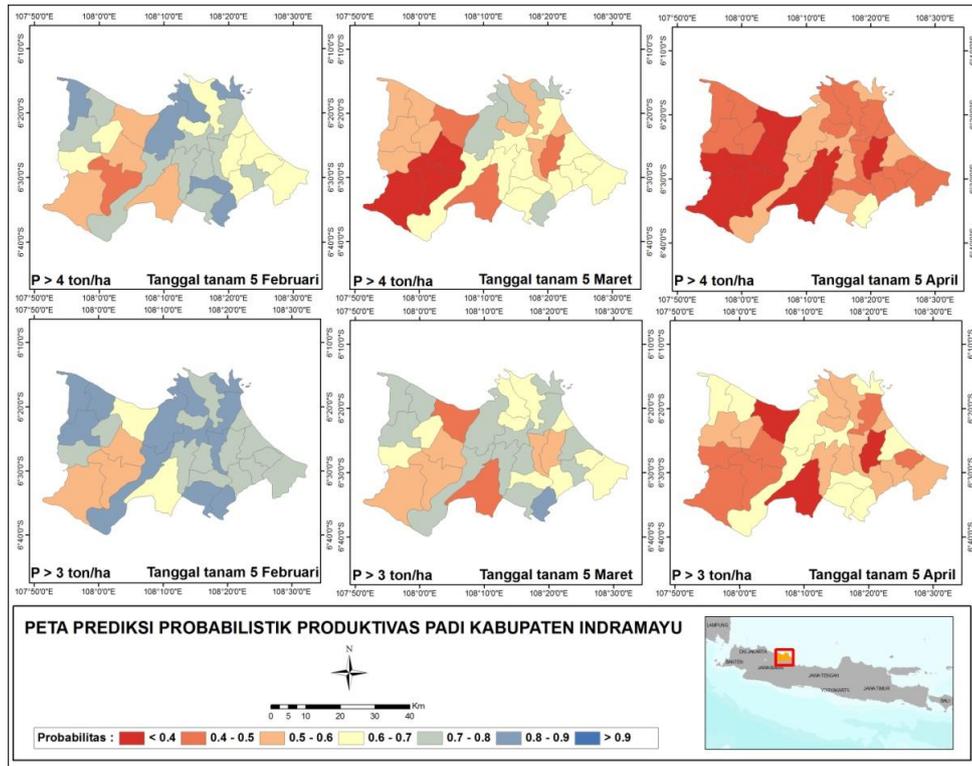


Gambar 8. Rata-rata penurunan produktivitas akibat mundurnya waktu tanam dari Mei dasarian I tahun 2001 pada a) sawah irigasi di Kabupaten Indramayu, dan b) sawah tadah hujan di Kabupaten Bone.

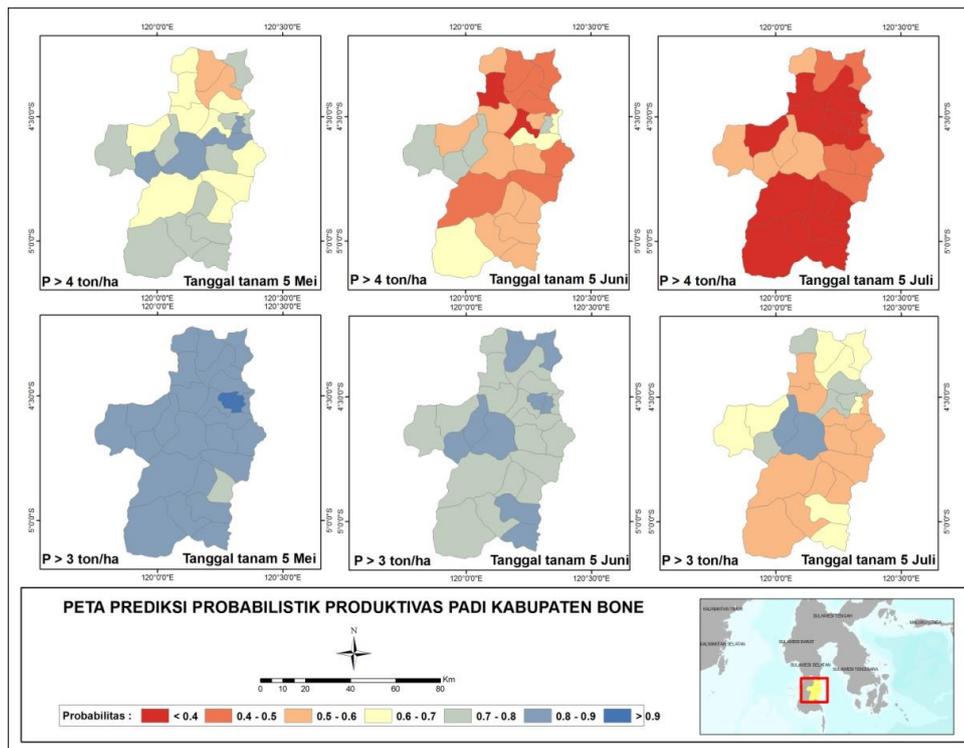
Figure 8. *Averaged decreased in paddy yield due to delay in planting date from May I 2001 in a) irrigated paddy in Indramayu District and b) rainfed paddy in Bone District*

Gambar 8 menunjukkan bahwa dengan penanaman yang lebih awal pada MK1 dan MK2 maka produktivitasnya akan semakin tinggi. Sebagai contoh, apabila penurunan hasil maksimum pada MK2 yang dapat ditoleransi adalah 5%, maka penanaman paling lambat dilakukan pada Juni dasarian 1 pada sawah irigasi di Kabupaten Indramayu dan Mei dasarian 3 pada sawah tadah hujan di Kabupaten Bone. Dengan menggunakan prediksi musiman berbasis GCM, prediksi waktu tanam untuk MK1 (Maret-Mei) dapat dihasilkan oleh model prediksi pada awal bulan Januari dan prediksi waktu tanam MK2 (Juni-Agustus) dapat dihasilkan oleh model prediksi pada awal bulan April. Dengan *lead time* 2-4 bulan tersebut petani mempunyai waktu untuk merencanakan waktu tanam dan mempersiapkan sarana dan prasarana pertanian yang diperlukan.

Gambar 9 adalah peta peluang produktivitas padi MK1 pada sawah tadah hujan di Kabupaten Indramayu. Peta tersebut menggambarkan bahwa peluang untuk mendapatkan produktivitas > 4 t ha⁻¹ dan 3 t ha⁻¹ untuk tiga skenario tanggal tanam yaitu 5 Februari, 5 Maret dan 5 April 2001. Dengan mundurnya tanggal tanam, maka peluang untuk mendapatkan produktivitas yang sama akan semakin rendah.



Gambar 9. Peta probabilistik produktivitas padi pada beberapa tanggal tanam MK1 di Kabupaten Indramayu
 Figure 9. Map of probabilistic paddy yield in several planting date for DSP1 in Indramayu District



Gambar 10. Peta probabilistik produktivitas padi pada beberapa tanggal tanam MK2 di Kabupaten Bone
 Figure 10. Map of probabilistic paddy yield in several planting date for DSP1 in Bone District

Gambar 10 adalah peta prediksi probabilistik produktivitas padi MK2 pada sawah tadah hujan di Kabupaten Bone. Peta tersebut menggambarkan peluang untuk mendapatkan produktivitas $> 4 \text{ t ha}^{-1}$ dan 3 t ha^{-1} untuk tiga skenario tanggal tanam yaitu 5 Mei, 5 Juni dan 5 Juli 2001. Mundurnya penanaman yang dilakukan sampai tanggal 5 Juli, maka tanggal peluang untuk mendapatkan produktivitas 4 t ha^{-1} atau lebih menjadi sangat rendah yaitu hanya 40-50%. Apabila petani mengharapkan produktivitas hanya sebesar 3 t ha^{-1} , maka dengan mundurnya tanggal tanam sampai tanggal 5 Juli masih mempunyai peluang 70-90%. Dengan memanfaatkan informasi peluang tersebut petani dapat memutuskan waktu tanam yang optimal berdasarkan potensi produktivitas yang akan didapatkan. Apabila mundurnya penanaman terpaksa dilakukan, petani dapat merencanakan dan mempersiapkan input teknologi yang diperlukan untuk mendapatkan produktivitas yang optimal.

Petani seringkali menghadapi berbagai permasalahan teknis yang menjadi kendala untuk melakukan penanaman lebih awal, seperti terlambatnya distribusi benih dan pupuk serta terbatasnya ketersediaan tenaga tanam. Prediksi produktivitas padi pada berbagai tanggal tanam dapat memberikan informasi selang waktu tanam dengan produktivitas yang masih menguntungkan. Apabila mundurnya waktu tanam tidak dapat dihindari, maka petani dapat mempersiapkan input teknologi yang diperlukan untuk menekan kehilangan hasil. Pada MK, input teknologi yang diperlukan antara lain irigasi suplementer, bibit yang toleran kekeringan dan berumur genjah atau menanam komoditas lain yang kebutuhan airnya lebih rendah.

Prediksi waktu tanam berdasarkan peluang produktivitas padi akan lebih mudah dipahami apabila disajikan dalam bentuk peta. Bagi pengambil kebijakan informasi prediksi spasial tersebut diperlukan untuk menyusun distribusi pupuk, benih dan alat pertanian, serta estimasi stok dan distribusi beras. Pada sawah tadah hujan di Kabupaten Indramayu tahun 2001. Mundurnya tanggal tanam dari tanggal 5 Februari menjadi 5 April, menyebabkan peluang untuk mendapat produktivitas $> 4 \text{ ton/ha}$ turun dari 60-90 persen menjadi 40-60 persen (Gambar 9). Mundurnya tanggal tanam menunjukkan ketidakpastian yang makin tinggi untuk mendapatkan hasil, terutama pada sawah tadah hujan. Penurunan peluang produktivitas padi dengan mundurnya tanggal tanam juga terjadi di Kabupaten Bone (Gambar 10). Peta prediksi probabilistik produktivitas padi dapat digunakan untuk pengambilan keputusan yang lebih baik dalam menentukan waktu tanam secara dengan kuantitatif. Jika peluang untuk mendapatkan produktivitas yang diinginkan rendah, maka petani dapat merencanakan input teknologi yang diperlukan untuk mendapatkan hasil yang optimal.

Variabilitas iklim antara musim dan antara tahun seringkali menyebabkan kegagalan tanam dan panen serta kekurangan pangan di berbagai negara (Usman *et al.* 2005; Sultan *et al.* 2005; Mishra *et al.* 2008). Pada negara yang sebagian besar penduduknya bekerja di sektor pertanian seperti Indonesia, kemampuan petani untuk beradaptasi terhadap guncangan iklim secara efektif akan mempengaruhi ekonomi nasional. Salah satu upaya adaptasi dengan biaya yang paling efisien untuk meningkatkan produktivitas tanaman dan menstabilkan atau bahkan meningkatkan ketahanan pangan adalah dengan menyesuaikan waktu tanam (Laux 2010). Metode yang terintegrasi untuk deteksi dini kekeringan padi dengan prediksi waktu tanam yang probabilistik diharapkan dapat meminimumkan dampak variabilitas iklim terhadap ketahanan pangan di Indonesia.

Kesimpulan

Integrasi prediksi curah hujan harian menggunakan metode analog ganda dengan basis data produktivitas padi dari model simulasi tanaman dapat diterapkan untuk menghasilkan peta peluang prediksi produktivitas padi berdasarkan tanggal tanam. Metode tersebut menghasilkan informasi peluang prediksi selang waktu tanam yang berpotensi untuk mendapatkan hasil yang tinggi.

Peta tersebut merupakan yang pertama dikembangkan di Indonesia dan diyakini dapat diaplikasikan untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik dalam menentukan waktu tanam. Dengan informasi prediksi yang dihasilkan 2-4 bulan sebelum waktu tanam, menyediakan waktu yang cukup bagi pengambil kebijakan, penyuluh dan petani untuk menyusun strategi budidaya dan mempersiapkan sarana dan prasarana pertanian serta mengestimasi biaya tambahan yang diperlukan untuk musim tanam yang akan datang.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini di danai oleh Badan Litbang Pertanian melalui program KKP3N dengan no kontrak 749/LB.620/I.1/2013. Penulis mengucapkan terimakasih kepada Prof. Dr. Nanang T. Puspito dan para *reviewer* atas saran saran yang sangat berharga untuk memperbaiki tulisan ini.

Daftar Pustaka

- Baron C, Sultan B, Balme M, Sarr B, Traore S, Lebel T, Janicot S, Dingkuhn M. 2005. From GCM grid cell to agricultural plot: scale issues affecting modelling of climate impact. [Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.](#) 360(1463): 2095–2108

- Cabrera VE, Solis D, Baigorria GA, Letson D. 2009. Managing climate variability in agricultural analysis. Pp 163-179 *In* Long, J. A. dan Wells, D. S., Eds. Ocean Circulation and El Niño: New Research. Nova Science Publishers, Inc. Hauppauge, NY.
- Cheyglinted S, Ranamukhaarachchi SL, Singh G. 2001. Assessment of the CERES-Rice model for rice production in the central plain of Thailand. *J. Agric. Sci.* 137: 289–298.
- Dahm RJ, Singh UK, Lal M, Marchand M, Weiland FCS, Singh SK, Singh MP. 2016. Downscaling GCM data for climate change impact assessments on rainfall: a practical application for the Brahmani-Baitarani river basin. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* 499:1-42
- Fowler HJ, Blenkinsop S, Tebaldi C. 2007. Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological. *Int. J. Climatol.* 27:1547–1578.
- Garcia E. 2006. Cosine Similarity and Term Weight Tutorial. Dipetik 11 Februari 2012, dari www.miiisita.com: http://www.miiisita.com/information-retrieval-tutorial/cosine-similarity-tutorial.html.
- Giller GL. 2012. The Statistical Properties of Random Bitstreams and the Sampling Distribution of Cosine Similarity. *Giller Investments Research Notes* (20121024/1). doi:10.2139/ssrn.2167044.
- Hansen JW, Indije M. 2004. Linking dynamic seasonal climate forecasts with crop simulation for maize yield prediction in semi-arid Kenya. *Agricultural Forest. Meteorology.* 125:143–157.
- Hawkins E, Robson J, Sutton R, Smith D, Keenlyside N. 2011. Evaluating the potential for statistical decadal predictions of sea surface temperatures with a perfect model approach. *Climate Dyn.* 37: 2495–2509.
- Hidalgo HG, Dettinger MD, Cayan DR. 2008. Downscaling with Constructed Analogues: Daily Precipitation and Temperature Fields Over the United States. California Energy Commission. PIER Energy-Related Environmental Research. pp 48
- Ines AVM, Hansen JW. 2006. Bias correction of daily GCM rainfall for crop simulation studies. *Agricultural and Forest Meteorology.* 138: 44–53
- Jones JW, Hansen JW, Royce FS, Messina CD. 2000. Potential benefits of climate forecasting to agriculture. *Agriculture Ecosystem Environment.* 82: 169–184.
- Lauer JG, Carter PR, Wood TM, Diezel G, Wiersma DW, Rand RE, Mlynarek MJ. 1999. Corn hybrid response to planting date in the northern cornbelt. *Agron. J.* 91: 834–839.
- Laux P, Jäckel G, Munang RT, Kunstmann H. 2010. Impact of climate change on agricultural productivity under rainfed conditions in Cameroon-A method to improve attainable crop yields by planting date adaptations, *Agricultural and Forest Meteorology.* 150: 1258 -1271.
- Mall PK, Aggarwal RK. 2002. Climate change and rice yields in diverse agro-environments of India. I. Evaluation of impact assessment model. *Clim. Change.* 52: 315–330.
- Meinke H, Stone RC. 2005. Seasonal and inter-annual climate forecasting: the new tool for increasing preparedness to climate variability and change in agricultural planning and operations. *Climatic Change.* 70: 221–253.
- Mishra A, Hansen JW, Dingkuhn M, Baron C, Traore SB, Ndiaye O, Ward MN. 2008. Sorghum yield prediction from seasonal rainfall forecasts in Burkina Faso. *Agricultural and Forest Meteorology.* 148: 1798–1814.
- Palmer TN, Alexandri A, Andersen U, Cantelaube P, Davey M, Délécluse PM, Déqué, M, Diez E, Doblas-Reyes FJ, Feddersen H, Graham R, Gualdi S, Guérémy J-F, Hagedorn R, Hoshen M, Keenlyside N, Latif M, Lazar A, Maisonnave E, Marletto V, Morse AP, Orfila B, Rogel P, Terres J.-M, Thompson MC. 2004. Development of European Multimodel Ensemble System for Seasonal to Interannual Prediction (DEMETER). *Bull. of American Meteorological Society.* June 2004 : 853-872
- Podestá GP, Messina CD, Grondona MO, Magrin GO. 1999. Associations between grain crop yields in Central-Eastern Argentina and El Niño-Southern oscillation. *Journal of Applied Meteorology,* 38(10):1488-1498.
- Randall DR. 2007. Climate Models and Their Evaluation. In S. D. Solomon, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Rodriguez D, de Voil P, Hudson D, Brown JN, Hayman P, Marrou H, Meinke H. 2018. Predicting optimum crop designs using crop models and seasonal climate forecasts. *Scientific Report.* 8:1-13
- Runtunuwu E, Syahbuddin H. 2011. Atlas kalender tanam pangan nasional untuk menyikapi variabilitas dan perubahan iklim. *Jurnal Sumberdaya Lahan.* 5(1): 1-10.
- Sacks WJ, Derying D, Foley JA, Ramankutty N. 2010. Crop planting dates: an analysis of global pattern. *Global Ecol. Biogeogr.* 19: 607–620.
- Saha S, Nadiga S, Moorthi S, Pan HL, Wu X, Wang J, Nadiga S, Tripp P, Kistler RW, Behringer D, Liu H, Stokes D, Grumbine R, Gayno G, Wang J, Hou YT, Chuang HY, Juang HMH, Sela J, Iredell M, Treadon R, Kleist D, van Delst P, Keyser D, Derber J, Ek M, Meng J, Wei H, Yang R, Lord S, van den Dool H, Kumar A, Wang W, Long C, Chelliah M, Xue Y, Huang B, Schemm JK, White G, Ebisuzaki W, Lin R, Xie P, Chen M, Zhou S, Higgins W, Zou CZ, Liu Q, Chen Y, Han Y, Cucurull L, Reynolds RW, Rutledge G, Goldberg M. 2010. The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. *Bulletin America Meteorology Society* 91: 1015-1057.
- Shin DW, Baigorria GA, Lim Y-K, Cockerl S, LaRow TE, O'Brien JJ, Jones JW. 2009. Assessing crop yield simulations with various seasonal climate data. *Science and Technology Infusion Climate Bulletin.* 7th NOAA Annual Climate Prediction Application Science Workshop Norman, OK.
- Sultan B, Baron C, Dingkuhn M, Sarr B, Janico S. 2005. Agricultural impacts of large-scale variability of the West African monsoon. *Agricultural and Forest Meteorology.* 128 (1–2): 93–110.
- Surmaini E, Faqih A. 2016. Kejadian iklim ekstrem dan dampaknya terhadap pertanian tanaman pangan di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 10(2):115-128
- Surmaini E, Hadi TW, Subagyono K, Puspito NT. 2015. Prediction of drought on rice paddies in West Java using analogue downscaling method. *Indonesian Journal of Agricultural Science.* 16(1): 21-30
- Surmaini E, Syahbuddin H. 2016. Kriteria Awal Musim Tanam: Tinjauan Prediksi Waktu Tanam padi di Indonesia. *J. Litbang Pert.* 35 (2): 47-56
- Tippet MK, Delsole T. 2013. Constructed analogs and linear Regression. *Monthly Weather Review.* 141 :2519-2525

- Usman MT, Archer E, Johnston P, Tadross M. 2005. A conceptual framework for enhancing the utility of rainfall hazard forecasts for agriculture in marginal environments. *Natural Hazards*. 34 (1):111–129.
- Van den Dool HM. 1994. Searching for analogues, how long must one wait? *Tellus Ser. A*. 46, 314–324.
- Zorita E, von Storch H. 1998. The analog method as a simple statistical downscaling technique: comparison with more methods. *Journal of Climate*. 12:2474-2489