

Teknologi Pengelolaan Tanaman Pangan dalam Beradaptasi Terhadap Perubahan Iklim pada Lahan Sawah

Food Crop Management Technology of Paddy Field Adaptive to Climate Change

I Nyoman Widiarta

Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Jl. Merdeka No. 147, Bogor 16111. Email: manwidiarta@yahoo.com

Diterima 15 November 2016; Direview 30 November 2016; Disetujui dimuat 20 Desember 2016

Abstrak. Produksi tanaman pangan khususnya padi, jagung dan kedelai di Indonesia dituntut terus untuk ditingkatkan dalam kondisi pengaruh negatif perubahan iklim. Perubahan iklim mempengaruhi produktivitas, luas areal tanam dan panen tanaman pangan. Kenaikan suhu udara, perubahan pola dan jumlah curah hujan, kenaikan salinitas air tanah, menurunkan produktivitas tanaman. Meningkatnya frekuensi dan intensitas iklim ekstrem (banjir, kekeringan dan angin kencang), ledakan hama/penyakit dan meningkatnya muka air laut mempengaruhi pola tanam, indeks panen, mengurangi luas areal panen dan luas kawasan pertanian. Sejalan dengan Rencana Aksi Nasional Adaptasi Perubahan Iklim (RAN-API) Indonesia telah mengembangkan teknologi: (1) Varietas tanaman yang toleran terhadap cekaman abiotik, (2) Teknologi budidaya tanaman, (3) Teknologi irigasi berselang, dan (4) Teknologi untuk menciptakan kondisi lingkungan yang kondusif untuk pertumbuhan tanaman. Varietas adaptif perubahan iklim dikemas dengan teknologi budidaya spesifik lokasi dalam suatu paket Pengelolaan Tanaman Terpadu dan teknologi "Jajar legowo super". Untuk padi telah dikembangkan Kalender Tanam Terpadu yang dapat diakses melalui laman (web), *short message service* (SMS), dan aplikasi Android, sebagai salah satu alat untuk merakit komponen teknologi spesifik lokasi. Selain itu tersedia dikembangkan Layanan Konsultasi Padi yang dapat diakses melalui internet.

Kata kunci: Adaptasi Perubahan Iklim / Pengelolaan Tanaman / Tanaman Pangan / Banjir / Kekeringan

Abstract. Crop production, especially of rice, corn and soybeans in Indonesia must be continually increased to cope with the negative effects of climate change. Climate change affects crop productivity, planting and harvested areas. The increase in air temperature, changes in rainfall patterns and amount, increase in groundwater salinity, lead to the decrease of crop productivity. The increased frequency and intensity of extreme climate (floods, drought and strong winds), pest and diseases infestation and rising sea levels affect the cropping pattern and harvest index, and reduce harvested area. In line with the National Action Plan for Adaptation to Climate Change (RAN-API), Indonesia has developed adaptive technologies of (1) Improved plant varieties tolerant to abiotic stresses, (2) Crop cultivation, (3) Intermittent irrigation technology, and (4) Technology to create a conducive environment for plant growth. Climate change adaptive varieties paired with site-specific farming technologies has been developed into packages of Integrated Crop Management and "jajar legowo super" system. For rice, Integrated Cropping Calendar which can be accessed via the home page (web), short message service (SMS), and Android applications has been developed, as one of the tools to assemble components technologies. Rice Consulting Services has also been available and can be accessed via the internet.

Keywords: Climate Change Adaptation / Crop Management / Food Crops / Floods / Droughts

PENDAHULUAN

Kebutuhan bahan pangan terus meningkat sejalan dengan bertambahnya jumlah penduduk dan tingkat konsumsi domestik yang masih tinggi (BPS 2014). Mengandalkan pangan impor untuk memenuhi kebutuhan nasional dinilai riskan dan berisiko, baik secara sosial, ekonomi, dan politik maupun dalam konteks ketahanan dan kedaulatan pangan, sehingga upaya peningkatan produksi pangan di dalam negeri harus menjadi perhatian utama. Upaya peningkatan produksi

tanaman pangan dipengaruhi, bahkan terancam oleh dampak perubahan iklim, baik langsung maupun tidak langsung (Boer 2007), selain oleh ketersediaan air yang makin menurun, tenaga kerja yang semakin terbatas di pedesaan dan pupuk kimia yang juga makin terbatas.

Pemerintahan Kabinet Kerja telah mencanangkan kebijakan pangan untuk mencapai swasembada pangan berkelanjutan tujuh komoditas prioritas meliputi padi, jagung, kedelai, daging (sapi), gula (tebu), bawang merah dan cabai (Kementan 2015a). Pengembangan komoditas lainnya tetap dilakukan dalam skala prioritas yang lebih rendah dari tujuh komoditas

tersebut. Sub-sektor tanaman pangan selain padi, jagung dan kedelai, juga dikembangkan tanaman sereal lain seperti gandum dan sorgum, serta aneka kacang dan ubi meliputi ubi jalar dan ubi kayu yang berpeluang besar dengan inovasi pertanian akan memberikan bahan baku bio-energi, nilai tambah dan daya saing tinggi.

Pada tahun 2015-2019 untuk padi, jagung dan kedelai ditargetkan tercapai swasembada berkelanjutan untuk padi dan jagung, swasembada kedelai ditargetkan pada tahun 2017. Produksi ditingkatkan pada tahun 2015-2019 sebanyak 3% untuk padi dari 73,4 juta ton menjadi 82,0 juta ton, jagung 5,4% dari 20,3 juta ton menjadi 24,7 juta ton, sedangkan kedelai 27,5% dari 1,2 juta ton menjadi 3,0 juta ton (Kementan 2015a). Peningkatan produksi tanaman pangan khususnya padi, jagung dan kedelai ditentukan luas areal tanam/panen, peningkatan produktivitas serta pengamanan produksi pascapanen (Puslitbangtan 2015a). Perluasan areal tanam/panen dan peningkatan produktivitas tanaman dipengaruhi perubahan iklim (Matthews *et al.* 1997).

Pengembangan teknologi budidaya ditujukan untuk menciptakan kondisi yang kondusif bagi tanaman, sekaligus untuk meningkatkan toleransi dan daya adaptasi tanaman terhadap cekaman, termasuk perubahan iklim. Demikian juga teknologi varietas unggul, ditujukan untuk meningkatkan produktivitas (daya hasil) tanaman dan sekaligus daya adaptasi tanaman secara inheren terhadap cekaman lingkungan, termasuk cekaman akibat dampak perubahan iklim. Oleh sebab itu pengembangan berbagai teknologi tanaman pangan secara prinsip ditujukan untuk meningkatkan daya adaptasi, baik yang direncanakan maupun secara kebetulan.

Kinerja Kabinet Kerja dalam satu tahun pertama pada tahun 2015 ditandai dengan tingginya peningkatan produksi pangan strategis seperti yang ditunjukkan oleh data ARAM 2015. Produksi padi meningkat 6,64% dari 70,8 juta ton gabah kering giling (GKG) pada tahun 2014, begitu juga jagung meningkat 8,73% dari 19,0 juta ton pipilan kering (PK) tahun 2014 dan kedelai meningkat 4,6% dari 0,95 juta ton biji kering (BK) tahun sebelumnya (Kementan 2015b, BPS 2015). Peningkatan produksi tersebut disebabkan oleh peningkatan produktivitas dan penambahan luas panen yang dimungkinkan oleh ketersediaan inovasi pertanian pada tahun sebelumnya dan tersedianya logistik benih, pupuk, pestisida. Naskah pada tulisan ini menguraikan dampak perubahan iklim terhadap produksi tanaman pangan dan hasil kegiatan penelitian dan pengembang-

an tanaman pangan khususnya yang terkait dengan teknologi adaptasi dampak perubahan iklim pada lahan sawah diantaranya varietas unggul dan teknologi budidaya yang dapat berkontribusi untuk peningkatan produktivitas tanaman pangan saat ini dan dimasa-masa yang akan datang, serta alat (*tool*) untuk penerapan teknologi spesifik lokasi.

DAMPAK PERUBAHAN IKLIM TERHADAP TANAMAN PANGAN

Sejak revolusi industri dimulai, menyebabkan meningkatnya aktivitas manusia menggunakan sumber energi fosil untuk kehidupan sehari-hari seperti produksi dan transportasi telah meningkatkan emisi gas rumah kaca (GRK) yang menyebabkan pemanasan global selanjutnya memicu terjadinya perubahan iklim (Liebig *et al.* 2012).

Dampak perubahan iklim dapat kontinu, diskontinu atau permanen (Matthews dan Wassmann 2003, Balitbangtan 2011). Dampak kontinu dapat dirasakan dari kenaikan suhu udara, perubahan hujan, kenaikan salinitas air tanah, menurunnya produktivitas, berubahnya pola tanam dan indeks pertanaman. Dampak diskontinu berupa meningkatnya gagal panen karena meningkatnya frekuensi dan intensitas iklim ekstrem (banjir, kekeringan dan angin kencang) serta ledakan hama/penyakit. Dampak permanen terlihat dari berkurangnya luas kawasan pertanian di pantai akibat meningkatnya muka air laut.

Dampak perubahan iklim terhadap tanaman pangan adalah hasil gabungan dari ketiga dampak kontinu, diskontinu maupun permanen pada luas panen dan produktivitas secara langsung maupun tidak langsung oleh cekaman abiotik maupun biotik (Torriani *et al.* 2007, Wiyono 2009). Sebagai dampak kontinu perubahan iklim dilaporkan bahwa akibat peningkatan suhu udara setiap 1°C menurunkan produksi padi sebesar 8-10% (IRRI 2007). Penurunan hasil panen jagung diperkirakan mencapai 10,5-19,9% akibat kenaikan suhu udara hingga tahun 2050 bila tidak ada intervensi berupa upaya adaptasi (Handoko *et al.* 2008). Tanaman pangan rentan terhadap dinamika dan perubahan ketersediaan air (Las *et al.* 2008). Perubahan pola hujan seperti mundurnya awal musim hujan selama 30 hari di Jawa Barat dan Jawa Tengah dapat menurunkan produksi padi sebanyak 6,5%, apabila terjadi di Bali penurunan produksi bisa mencapai 11%. Pemendekan musim hujan mempengaruhi indeks pertanaman. Kenaikan salinitas akibat kenaikan muka

air laut telah dilaporkan terjadi di Indramayu, Jawa Barat (Boer *et al.* 2011). Status salinitas di lokasi tersebut sedang sampai sangat tinggi masing-masing pada kedalaman 0-30 cm dan 30-70 cm. Tingkat salinitas di atas 2,0 dS m⁻¹ di Karangangar dan Bulak, sehingga berpotensi mengurangi hasil sekitar 10% (Grattan *et al.* 2002).

Perubahan iklim kibat pemanasan global memberikan dampak diskontinu berupa meningkatkan kejadian iklim ekstrem seperti meningkatnya frekuensi El-Nino dan menguatkan fenomena La-Nina (Timmerman *et al.* 1999). El-Nino menyebabkan musim kemarau berkepanjangan sehingga terjadi kekeringan, sedangkan La-Nina membawa curah hujan yang lebih tinggi meningkatkan peluang kejadian banjir. Berdasarkan laporan Wahyunto (2009) dari 5,14 juta ha lahan yang dievaluasi diketahui 74 ribu ha sangat rentan dan satu juta ha rentan terhadap kekeringan. Pada saat terjadi El-Nino pada periode 1989-2006 lebih dari 2000 ha per kabupaten di Pantai Utara Jawa Barat, Lampung, Kalimantan Timur, Sulawesi Barat, Kalimantan Selatan dan di Lombok, Nusa Tenggara Barat (Kementerian Negara Lingkungan Hidup 2007). Frekuensi kejadian banjir pada pertanaman padi sawah satu dekade terakhir meningkat 2-3 kali dan meningkat lebih tinggi pada tahun La-Nina (Boer *et al.* 2009). Banjir memperluas serangan hama keong mas terbawa aliran air banjir seperti yang terjadi di Desa Tinawun Malo, Kabupaten Bojonegoro pada saat banjir besar 2007. Serangan wereng coklat meningkat drastis pada saat kejadian La-Nina 1998 (Bappenas 2010).

Dampak permanen kenaikan muka air laut adalah hilangnya lahan-lahan sawah di tepi pantai seperti Pantai Utara Jawa. Hasil penelitian Boer *et al.* (2011) mengindikasikan 5.251 ha dan 14.950 ha dari 1.732.124 ha lahan sawah di Pantai Utara Jawa akan hilang jika pada tahun 2050 terjadi peningkatan permukaan laut mencapai 50 cm atau 100 cm. Secara nasional apabila tidak ada upaya adaptasi perubahan iklim produksi padi akan menurun 20,3-27,1%, jagung 13,6%, dan kedelai 12,4% dibandingkan dengan kondisi tahun 2006 oleh karena berkurangnya lahan sawah di Jawa 113.003-146.473 ha, di Sumatera Utara 1.314-1.345, dan di Sulawesi 13.672-17.069 ha (Handoko *et al.* 2008).

Meningkatnya kejadian iklim ekstrem seperti *El Niño* dan *La Niña* sebagai dampak perubahan iklim menyebabkan siklus musim tanam tidak pasti (Timmerman *et al.* 1999). Ketidakpastian awal musim menyebabkan ketidakpastian waktu tanam bahkan

perubahan pola tanam karena ketidakcukupan atau kelebihan air. Salah satu fenomena dampak perubahan iklim adalah meningkatnya permukaan air laut. Kenaikan muka air laut merendam lahan-lahan sawah di sepanjang pantai (Boer *et al.* 2011), sehingga luas tanam/panen menjadi bekurang.

Produktivitas tanaman tidak optimal oleh karena rendaman air laut meningkatkan salinitas lahan (Grattan *et al.* 2002). Fenomena iklim *La Niña* yang dicirikan dengan curah hujan tinggi, menyebabkan banjir yang sangat membantu penyebaran keong mas dan mendorong peningkatan populasi wereng coklat dan meningkatnya kelembaban dibawah kanopi (Bappenas 2010).

RENCANA AKSI ADAPTASI PERUBAHAN IKLIM TANAMAN PANGAN

Badan Litbang Pertanian telah menyusun peta jalan (*roadmap*) Strategi Sektor Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim (Badan Litbang Pertanian 2010 dan 2011). Kebijakan umum dalam upaya adaptasi dampak perubahan iklim, diarahkan untuk meningkatkan selang toleransi (*coping range*) sektor pertanian. Kegiatan antisipasi salah satunya bertujuan untuk menyiapkan teknologi dan alat (*tool*) dalam rangka menghadapi dampak perubahan iklim yang juga tertuang pada Rencana Aksi Nasional Adaptasi Perubahan Iklim (RAN-API) (Bappenas 2014).

Tanaman pangan termasuk komoditas paling rentan terhadap dampak perubahan iklim, perlu mendapat prioritas menyusun rencana aksi antisipasi (Matthews *et al.* 1997, Makarim dan Ikhwan 2011). Rencana aksi dalam penciptaan teknologi dan *tools* meliputi: (1) pengembangan jenis dan varietas tanaman toleran terhadap cekaman lingkungan abiotik seperti kenaikan suhu udara, kekeringan, banjir/genangan dan salinitas, serta tahan terhadap cekaman biotik (hama/penyakit); (2) Pengembangan teknologi pengelolaan tanah dan tanaman untuk meningkatkan daya adaptasi tanaman; (3) Pengembangan teknologi pengelolaan air adaptif perubahan iklim (irigasi kendi, irigasi tetes, irigasi berselang, dan sistem gilir giring).

KOMPONEN TEKNOLOGI PENGELOLAAN TANAMAN PANGAN

Arah dan strategi adaptasi pada tanaman pangan ditujukan untuk mengurangi dampak/konsekuensi atau akibat (penurunan produksi), meningkatkan kapasitas

produksi dan produksi (sumber pertumbuhan baru), mengurangi ketergantungan terhadap komoditas pangan yang sensitif atau boros sumberdaya (diversifikasi pertanian). Penciptaan teknologi adaptasi terdiri atas tiga pendekatan/strategi, yaitu bersifat (1) penyesuaian teknologi/VUB, (2) peningkatan daya tahan, dan (3) menciptakan kondisi lingkungan mikro yang kondusif pada saat adanya cekaman iklim.

Sejalan dengan RAN-API khususnya dalam penciptaan teknologi peningkatan produksi tanaman pangan telah dikembangkan komponen teknologi: (1) Varietas tanaman yang toleran terhadap cekaman abiotik; (2) Teknologi budidaya tanaman; (3) Teknologi irigasi berselang yang adaptif terhadap perubahan iklim untuk peningkatan daya tahan; dan (4) Menciptakan kondisi lingkungan yang kondusif untuk pertumbuhan tanaman.

Pengaruh cekaman abiotik terhadap tanaman dilihat langsung dari hasil panen (Emden 2002). Oleh karena itu daya adaptasi tanaman terhadap cekaman abiotik disebut toleran. Sedangkan daya adaptasi tanaman terhadap cekaman biotik (hama/penyakit) dilihat dari keparahan gejala serangan, sehingga daya adaptasi tanaman terhadap cekaman biotik disebut tahan (IRRI 1996). Cekaman abiotik sebagai dampak perubahan iklim dapat berpengaruh langsung terhadap tanaman, sedangkan cekaman biotik berpengaruh secara tidak langsung kepada tanaman karena serangan hama/penyakit menyebabkan berkurangnya hijau daun, hilangnya cairan tanaman dan berkurangnya anakan produktif. Pengaruh langsung dampak perubahan iklim lebih kepada perkembangan serangga/serangga vektor dan pathogen. Pada bagian ini hanya diuraikan varietas yang toleran terhadap cekaman abiotik sebagai dampak dari perubahan iklim (BB Padi 2010, Puslitbangtan 2009a).

Pengembangan varietas unggul baru tanaman pangan ditujukan untuk menghasilkan atau mengembangkan varietas yang tahan atau toleran terhadap cekaman biofisik tertentu yang erat kaitannya dengan dampak perubahan iklim atau varietas yang mempunyai karakter tertentu yang cocok pada kondisi tertentu pula, seperti umur genjah, dan lain-lain.

Varietas Unggul Padi

Pemuliaan tanaman padi dengan menggunakan plasma nutfah lokal maupun introduksi telah menghasilkan berbagai varietas toleran terhadap cekaman tertentu, seperti rendaman, kekeringan, dan

salinitas akibat intrusi air laut seperti dapat dilihat pada Tabel 1 (Kush dan Virk 2005).

Tabel 1. Varietas unggul padi toleran cekaman rendaman, kekeringan, salinitas

Table 1. Submergence, drought and salinity tolerant rice varieties

Toleran	Varietas unggul	Potensi hasil t ha ⁻¹
Rendaman	Inpara 3	5,6
	Inpara 4	7,6
	Inpara 5	7,2
	Inpari 29 rendaman	9,5
	Inpari 30 ciherang sub-1	9,6
Kekeringan	Inpari 1	7,3
	Inpari 19	9,5
	Inpari 20	8,0
	Inpari 10 Laeya	7,0
Salinitas	Banyuasin	6,0
	Siak Raya	6,0
	Lambur	5,5
	Dendang	5,5

Sumber: Puslitbangtan (2009a)

Toleran Rendaman

Melalui kerjasama Badan Litbang Pertanian dengan *International Rice Research Institute* (IRRI) telah dihasilkan padi yang toleran rendaman. Varietas toleran rendaman diperoleh dengan memasukkan Gen Sub 1, semacam gen yang memberi sifat toleran rendaman selama 10-14 hari pada fase vegetatif ke dalam varietas yang berkembang luas di beberapa negara lain seperti Swarnalata di India dan di Indonesia yaitu IR 64 dan Ciherang. Varietas Inpara 3 dan Inpara 4 adalah varietas introduksi dari Swarna-Sub 1. Varietas IR 64 yang disisipi dengan Gen Sub 1 disebut IR64-Sub 1, diberi nama varietas Inpara 5 dan Inpari 29 rendaman. Varietas Inpari 30 ciherang sub-1 berasal dari Ciherang yang disisipi gen Sub-1.

Toleran Kekeringan

Varietas umur genjah (umur pendek) menyebabkan tanaman terhindar dari cekaman kekeringan. Untuk lahan sawah telah dilepas varietas umur genjah sekitar 103 hari seperti Inpari 1, Inpari 19, Inpari 20 dengan hasil antara 7,3-9,5 t ha⁻¹. Selain varietas umur genjah telah dilepas varietas toleran kekeringan Inpari 10 Laeya dengan potensi hasil 7 t ha⁻¹. Selain toleran

kekeringan varietas tersebut juga tahan wereng batang coklat dan penyakit hawar daun bakteri strain III.

Toleran Salinitas

Pemanasan global menyebabkan melelehnya es di kutub, selanjutnya meningkatkan permukaan laut yang menyebabkan meluasnya genangan air asin pada lahan sawah. Varietas Banyuasin, Siak Raya, Lambur dan Dendang dengan rentang hasil 5,5-6,0 t ha⁻¹ telah berkembang di beberapa daerah pasang surut, seperti di Sumatera Selatan.

Varietas Unggul Jagung

Jenis jagung dapat dibedakan menjadi jagung hibrida dan jagung komposit. Tanaman jagung rawan menghadapi curah hujan yang tidak menentu pada lahan kering beriklim kering, begitu juga pada lahan sawah irigasi karena ditanam setelah padi dengan pola tanam padi-padi-jagung atau padi-jagung-jagung. Pada saat terjadinya iklim ekstrem kemarau panjang, diperlukan varietas umur genjah atau toleran kekeringan (Tabel 2).

Tabel 2. Varietas unggul jagung toleran kekeringan, umur genjah

Table 2. Early maturity and drought tolerant maize varieties

Toleran	Varietas unggul	Umur panen hari	Hasil t ha ⁻¹
Kekeringan	Bima-3	100	10,50
	Bima-4	102	11,70
	Lamuru	90	7,60
Umur genjah	Bima-7	89	12,10
	Bima-8	88	11,70
	Gumarang	82	8,00

Sumber: Puslitbangtan (2009a)

Toleran Kekeringan

Varietas jagung toleran kekeringan dari jenis hibrida yang telah dilepas yaitu Bima 3 dan Bima 4 sedangkan untuk jenis komposit varietas Lamuru. Hasil panen jagung hibrida masing-masing 10,5 t ha⁻¹ dan 11,7 t ha⁻¹, sedangkan untuk jagung komposit 7,6 t ha⁻¹. Jagung hibrida Bima 3 benih F1 telah diproduksi oleh PT GIS melalui lisensi. Varietas Lamuru berkembang di lahan kering beriklim kering di Nusa Tenggara Timur, Sulawesi Tengah dan Sulawesi Selatan.

Umur Genjah

Dalam upaya meniasati periode hujan yang pendek sebagai dampak perubahan iklim, telah dihasilkan varietas jagung umur genjah (80-90 hari) dan super genjah (70-80 hari) agar terhindar dari paparan musim kemarau (*escape*). Varietas umur genjah maupun super genjah juga dapat digunakan untuk meningkatkan indeks panen. Dengan sistem tanam sisip. Jagung hibrida umur genjah yang telah dilepas adalah Bima 7 dan Bima 8 dengan umur panen dan hasil masing-masing 89 dan 88, 12 t ha⁻¹ dan 11,7 t ha⁻¹. Jagung komposit Gumarang dengan umur 82 hari, mempunyai potensi hasil 8 t ha⁻¹.

Toleran Lahan Jenuh Air

Selain musim kering yang berkepanjangan (El-Niño) perubahan iklim juga menyebabkan terjadinya iklim ekstrem musim kemarau basah (*La Niña*) atau periode hujan berkepanjangan, mengakibatkan tanah basah yang dapat mengganggu pertumbuhan jagung saat fase vegetatif awal. Saat ini telah berhasil diperoleh galur toleran lahan basah dengan potensi hasil 8-9 t ha⁻¹.

Varietas Unggul Kedelai

Kedelai seperti halnya jagung, kurang dapat berkembang dengan baik pada lahan jenuh air akibat drainase kurang baik atau musim kemarau basah (*La Niña*) akibat perubahan iklim. Dampak tidak langsung perubahan iklim mendorong petani mengubah pola tanam dari padi-padi-kedelai, menjadi padi-padi-padi atau padi-padi-jagung bila harga kedelai tidak menguntungkan. Pada kondisi seperti ini, peluang pengembangan kedelai ke kawasan hutan tanaman industri. Varietas unggul kedelai umur genjah, toleran kekeringan, toleran jenuh air yang telah dilepas disajikan pada Tabel 3.

Umur Genjah dan Toleran Kekeringan

Kedelai umur genjah memberikan peluang untuk pemanfaatan sisa air musim hujan dan ketersediaan air yang pendek pada musim kemarau. Varietas yang adaptif untuk kondisi ini adalah varietas Argomulyo, Grobogan, Tidar dan Gema yang memiliki umur panen antara 73-82 hari dan potensi hasil 2,0-3,4 t ha⁻¹.

Tabel 3. Varietas unggul kedelai umur genjah dan toleran kekeringan, jenuh air dan toleran naungan

Table 3. Short maturity, drought, shading and water saturated tolerant soybean varieties

Toleran	Varietas unggul	Umur panen	Hasil
		hari	t ha ⁻¹
Kekeringan	Argomulyo	82	2,00
	Grobogan	76	3,40
	Tidar	78	2,29
	Gema	73	2,48
Jenuh air	Grobogan	76	3,40
	Kawi	83	2,79
Naungan	Grobogan	76	1,10*)
	Argomulyo	82	1,42*)
	Pangrango	81	1,62 ^{*)} (2,75)
	Malabar	87	1,14 ^{*)} (2,37)

*) hasil ditanam di bawah naungan, dalam kurung potensi hasil tanpa naungan

Sumber: Puslitbangtan (2009a)

Umur Genjah dan Toleran Tanah Jenuh Air

Hari-hari hujan berkepanjangan atau musim kemarau basah menyebabkan keadaan tanah jenuh air. Varietas Grobogan dan Kawi telah teridentifikasi toleran lahan jenuh air dengan potensi hasil masing-masing 3,4 t ha⁻¹ dan 2,79 t ha⁻¹.

Toleran Naungan

Perluasan kedelai ke lahan tanaman industri atau perkebunan ditanam sebagai tanaman sela yang harus adaptif terhadap naungan tanaman utama. Grobogan, Argomulyo, Pangrango dan Malabar toleran terhadap naungan, meskipun hasil panennya lebih rendah dari potensi hasil tanpa naungan.

Penciptaan teknologi budidaya tanaman yang adaptif terhadap perubahan iklim dimaksudkan untuk (1) menciptakan kondisi lingkungan mikro yang kondusif terhadap pertumbuhan tanaman, (2) menciptakan kondisi mikro yang tidak kondusif untuk perkembangan patogen maupun hama, (3) mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya alam pada saat adanya cekaman iklim.

Pengairan Berselang

Salah satu dampak dari perubahan iklim adalah terjadinya iklim ekstrem seperti musim kemarau

berkepanjangan (El-Nino) atau musim kemarau basah (La-Nina) dengan frekwensi yang semakin pendek jangka waktunya (Timmerman *et al.* 1999). Pada saat terjadi El-Nino waktu ketersediaan air khususnya untuk tanaman padi semakin pendek dan debit air semakin sedikit (Runtunuwu dan Syahbuddin 2007).

Budidaya padi konvensional biasanya tanaman padi digenang sejak tanam minimal sampai pembungaan. Pada saat terjadi El-Nino jumlah air terbatas, sehingga tanaman padi terancam kekeringan atau jumlah lahan yang biasa ditanami padi berkurang. Pengairan berselang basah dan kering dengan cara mengairi dan menyetop pengairan secara bergantian dapat mengefisienkan penggunaan air pada lahan sawah irigasi teknis. Dengan cara irigasi berselang jumlah air dapat dihemat 30%, sehingga dengan volume air yang sama dapat dimanfaatkan untuk pertanaman padi yang lebih luas (Bauman *et al.* 2007).

Pengairan basah kering untuk tanaman padi dapat dilakukan sejak tanam sampai satu minggu sebelum tanaman berbunga. Kedalaman muka air tanah dijaga jangan sampai turun 15 cm dari permukaan tanah. Metode untuk mengetahui penurunan muka air dapat dilakukan dengan menggunakan alat sederhana dibuat dari paralon berlubang yang ditanamkan ke dalam tanah. Pengairan berselang apabila dikombinasikan dengan Pengelolaan Hara Spesifik Lokasi (PHSL) dapat menekan emisi gas CH₄ dari lahan sawah sebesar 30-50% (Belder *et al.* 2005). Kondisi air pada kapasitas lapang menyebabkan penyebaran wereng hijau berkurang yang dapat membatasi penyebaran penyakit tungro (Widiarta *et al.* 1999b).

Pengelolaan Hara Spesifik Lokasi

Pupuk, utamanya pupuk urea sangat mempengaruhi kandungan zat hijau daun yang berpengaruh terhadap proses asimilasi yang menentukan hasil panen. Pemberian pupuk yang rendah akan mengurangi hasil panen. Pemerintah sangat berkepentingan terhadap peningkatan hasil panen agar kebutuhan pangan dapat dipenuhi dari produksi dalam negeri. Pemerintah menyediakan subsidi pupuk agar harga pupuk terjangkau oleh petani. Dengan meningkatnya harga gas bahan baku pupuk, alokasi anggaran pemerintah untuk subsidi pupuk meningkat, sehingga membatasi untuk penggunaan perbaikan infrastruktur pertanian. Atau dengan subsidi harga pupuk menjadi murah, mendorong petani hanya

menggunakan pupuk jenis tertentu umumnya pupuk urea, sehingga tanaman rentan terhadap serangan hama-penyakit dan mengganggu kelestarian lingkungan (Suparyono *et al.* 1991, Eldafira 1993). Penggunaan pupuk harus efisien dan ramah lingkungan agar memberi manfaat lebih baik (Abdulrachman *et al.* 2004a).

Pengelolaan Hara Spesifik Lokasi memberikan panduan rekomendasi pemupukan berdasarkan kondisi setempat, kebutuhan tanaman dan tingkat hasil yang dapat dicapai. Mengacu pada ketiga aspek tersebut, pupuk perlu diberikan dalam jumlah, waktu, cara dan jenis yang tepat (Abdulrachman *et al.* 2004b). Pengelolaan hara spesifik lokasi awalnya dikembangkan untuk padi sawah, tetapi saat ini telah dikembangkan pula untuk jagung (Doberman dan Cassman 2002). Informasi respon berbagai varietas kedelai terhadap pemupukan NPK juga telah tersedia (Zahrah 2011).

Budidaya Tanam Jajar Legowo

Tanam jajar legowo adalah sistem tanam pindah dimana antara dua barisan tanaman padi terdapat lorong kosong memanjang sejajar antar barisan tanaman padi, sedangkan dalam barisan jarak antar tanaman menjadi setengah jarak tanam dalam baris seperti pada Gambar 1 (Suriapermana dan Syamsiah 1995). Pengaturan cara tanam dengan jajar legowo (jarwo) adalah salah satu komponen teknologi dasar Pengelolaan Tanaman Terpadu, sebagai teknologi budidaya padi sawah yang adaptif terhadap dampak perubahan iklim secara tidak langsung pengaruhnya terhadap hama dan penyakit menciptakan kondisi mikro yang tidak menguntungkan (Abdulrachman *et al.* 2013, Widiarta *et al.* 2003). Jajar legowo 2:1 membuat semua baris tanaman adalah tanaman pinggir yang mendapat sinar dan pupuk atau pestisida merata untuk semua tanaman. Dampaknya pertumbuhan tanaman lebih baik dari cara tanam tegel yang disebut dengan efek tanaman pinggir (*border effect*).

Pola tanam jajar legowo menyebabkan kondisi lingkungan dan pertumbuhan tanaman yang dapat mengurangi dampak negatif perubahan iklim. Pertumbuhan tanaman yang baik, mempengaruhi daya tahannya terhadap penyakit. Jarak tanam yang lebar antar baris menyebabkan kelembaban nisbi dibawah kanopi rendah, akan menghambat pertumbuhan wereng coklat, penyakit hawar daun bakteri dan blas (Isichaikul *et al.* 1994, Daradjat *et al.* 1996). Pola tanam

jarwo menyebabkan pergerakan wereng hijau lebih rendah, sehingga penularan virus tungro menjadi lebih lambat (Widiarta *et al.* 2003). Jarwo membuat seluruh tanaman adalah tanaman pinggir, menyebabkan serangan tikus berkurang, karena biasanya menyerang tanaman di tengah petakan. Jarak antar baris yang lebar memudahkan pengendalian gulma, pemupukan dan aplikasi pestisida (Nayak *et al.* 2014). Hal lain keunggulan jarwo adalah jumlah rumpun tanaman bisa ditingkatkan dengan memperpendek jarak tanam antar rumpun sampai 15 cm (Erythrina dan Zaini 2014).



Foto: Zulkifli Z.

Gambar 1. Padi dengan sistem jajar legowo

Figure 1. Rice plant in jajar legowo system

Manfaat jajar legowo pada padi dalam hal pemanfaatan energi matahari seefisien mungkin yang memungkinkan fotosintesa berjalan maksimal, kelembaban nisbi di bawah kanopi berkurang menghambat perkembangan pathogen dan memudahkan pengelolaan tanaman, jajar legowo untuk jagung juga dikembangkan (Puslitbangtan 2016). Jarak antar baris yang lebih sempit juga dapat diterapkan untuk jagung, agar dicapai populasi optimal tanaman jagung.

Konservasi Musuh Alami

Perubahan iklim global yang dicirikan oleh meningkatnya suhu rata-rata udara akan mempengaruhi pertumbuhan serangga maupun musuh alaminya dan secara tidak langsung mempengaruhi penyebaran pathogen tertular serangga (Kiritani 1997). Apabila suhu udara meningkat 2°C, menyebabkan terjadi penambahan jumlah generasi hama padi antara 1-3 generasi per tahun, begitu pula musuh alaminya antara 2-4 generasi per tahun (Widiarta 2009a). Meskipun penambahan generasi musuh alami lebih banyak dari hama padi, apabila pada awal pertumbuhan tanaman

diaplikasi insektisida, tidak akan nyata meningkatkan kemampuan pengendalian hama karena kecepatan kemampuan reproduksi alamiah (*intrinsic rate of increase*) hama lebih tinggi dari musuh alami (Widiarta *et al.* 1999a). Oleh sebab itu konservasi musuh alami perlu dilakukan untuk mengimbangi peningkatan jumlah generasi serangga akibat peningkatan suhu, terutama pada awal masa pertumbuhan tanaman. Pada saat tidak ada tanaman padi predator memerlukan makanan dan tempat untuk berlindung (Widiarta *et al.* 2001). Teknik konservasi musuh alami memberikan laba-laba mangsa alternatif selain wereng dan memberikan tempat untuk berlindung pada saat bera dan awal stadia vegetatif tanaman padi. Konservasi musuh alami dilakukan dengan membersihkan pematang setelah tanaman berumur dua minggu setelah tanam, pemberian pupuk organik untuk memperbanyak jenis dan populasi serangga mangsa (Kajimura *et al.* 1994).

Rekayasa ekologi dimaksudkan memberikan tempat berlindung pada musuh alami pada saat tidak ada tanaman utama dan menyediakan sumber mangsa alternatif atau tepung sari untuk imago parasite/ parasitoid (Heong *et al.* 2013). Imago parasitoid hidup dari nektar tanaman berbunga disekitar sawah. Tanaman padi dan palawija memiliki musuh alami dari jenis predator yang sama untuk beberapa jenis hama padi dan palawija. Rekayasa ekologi dilakukan dengan menanam bebunga seperti Wijen (*Sesamun orientale*), Wedelia (*Wedelia trilobata*) dan palawija seperti jagung dan kedelai sepanjang pematang sehingga memberikan nektar bagi imago parasitoid dan juga mangsa bagi predator selain tempat mengungsi pada saat bera (Hermanto *et al.* 2013).

Musuh alami, terutama pemangsa hama padi dan palawija beberapa jenis sama seperti dari jenis laba-laba. Pola tanam padi yang diselingi dengan palawija memberikan tempat mengungsi (*refuge*) bagi pemangsa pada saat terjadi peralihan jenis tanaman. Pola tanam padi-palawija juga dapat memanfaatkan secara optimal ketersediaan air.

PAKET TEKNOLOGI PENGELOLAAN TANAMAN PANGAN

Pengelolaan Tanaman Terpadu Padi, Jagung, Kedelai

Pengelolaan tanaman terpadu dimaknai sebagai upaya dinamis dalam peningkatan hasil dan pendapatan petani melalui penggunaan sumberdaya

alam serta masukan produksi yang efisien dan berkelanjutan, dengan azas integrasi, interaksi, dinamis dan partisipatif (Kartaatmadja dan Fagi 2000, Puslitbangtan 2009b).

Pengelolaan tanaman terpadu (PTT) terdiri atas komponen teknologi dasar dan komponen teknologi pilihan. Komponen teknologi dasar (*compulsary*) adalah komponen teknologi yang relatif dapat berlaku umum di wilayah luas (Tabel 4). Komponen teknologi pilihan, yaitu komponen teknologi spesifik lokasi (*site specific*) seperti pada Tabel 5.

Agar pilihan komponen teknologi dapat sesuai dengan kebutuhan untuk memecahkan permasalahan setempat, maka proses pemilihannya (perakitannya) didasarkan pada hasil analisis tentang Pemahaman Peluang dan Kendala (PPK) atau yang lebih dikenal dengan nama PRA (*Participatory Rural Appraisal*).

Tabel 4. Komponen teknologi dasar pengelolaan tanaman terpadu

Table 4. Basic component technologies integrated crop management

Padi	Jagung	Kedelai
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Varietas moderen ▪ Bibit bermutu dan sehat ▪ Pengaturan cara tanam ▪ Pemupukan efisien menggunakan BWD dan PUTS/ petak omisi/ Permentan No.40/ 2007 ▪ Pengelolaan hama terpadu (PHT) sesuai organisme pengganggu tanaman (OPT) sasaran 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Varietas unggul baru hibrida atau komposit ▪ Benih bermutu dan berlabel ▪ Populasi 66.000-75.000 tanaman per hektar ▪ Pemupukan berdasarkan kebutuhan tanaman dan status hara tanah 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Varietas unggul baru ▪ Benih bermutu dan berlabel ▪ Populasi tanaman ▪ Pemupukan ▪ Pengendalian OPT

Sumber: Puslitbangtan (2009b)

Dari hasil PRA teridentifikasi masalah yang dalam upaya peningkatan produksi. Untuk memecahkan masalah yang ada dipilih teknologi yang diintroduksi-kan baik itu dari komponen teknologi dasar maupun pilihan. Perlu diketahui bahwa, komponen teknologi pilihan dapat menjadi *compulsory* apabila hasil PRA memprioritaskan komponen teknologi yang dimaksud menjadi keharusan untuk memecahkan masalah utama suatu wilayah.

Tabel 5. Komponen teknologi pengelolaan tanaman terpadu (PTT)

Table 5. Selected component technologies of integrated crop management (PTT)

Padi	Jagung	Kedelai
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bahan organik/pupuk kandang/amelioran ▪ Umur bibit ▪ Perbaiki aerasi tanah (irigasi berselang) ▪ Pupuk cair (PPC, pupuk organik, pupuk hayati, ZPT, pupuk mikro) ▪ Penanganan panen dan pasca panen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Penyiapan lahan ▪ Pemberian pupuk organik ▪ Pembuatan saluran drainase pada lahan kering atau saluran irigasi pada lahan sawah ▪ Pembubun-an ▪ Pengendalian gulma secara mekanis atau herbisida kontak ▪ Pengendalian hama dan penyakit ▪ Panen tepat waktu, pengeringan segera. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pengolahan tanah ▪ Pupuk hayati ▪ Populasi tanaman ▪ Pemberian pupuk organik ▪ Amelioran pada lahan masam ▪ Pengairan ▪ Panen dan pascapanen.

Sumber: Puslitbangtan (2009b)

Budidaya Padi Jarwo Super

Budidaya Jarwo Super adalah sistem produksi padi yang mengimplementasikan secara terpadu teknologi budidaya padi terbaik dari inovasi Balitbangtan berbasis cara tanam jajar legowo (Jamil *et al.* 2016). Jarwo super dikembangkan dengan mengoptimalkan potensi peningkatan produktivitas dari dampak tanaman pinggir, menciptakan kondisi mikro yang tidak kondusif untuk perkembangan hama-penyakit dan peningkatan jumlah anakan yang merupakan keunggulan jarwo, ditambah dengan perbaikan rasio C/N, pemupukan berimbang dan pemberian input pupuk hayati dan pestisida nabati yang ramah lingkungan dan bila diperlukan pestisida sintetis berdasarkan hasil pengamatan, selain penggunaan varietas unggul provitas tinggi dan tahan hama/penyakit (Suhartatik dan Sismiyati 2000, Setyorini *et al.* 2007).

Teknologi jajar legowo super mengintegrasikan komponen teknologi: (1) Varietas unggul baru (VUB) potensi hasil tinggi, (2) Biodekomposer, diberikan pada saat pengolahan tanah, (3) Pupuk hayati sebagai *seed treatment* dan pemupukan berimbang berdasarkan

Perangkat Uji Tanah Sawah (PUTS), (4) Pengendalian Organisme Pengganggu Tanaman (OPT) menggunakan pestisida nabati dan pestisida anorganik berdasarkan ambang kendali, serta (5) Alat dan mesin pertanian, khususnya untuk tanam (jarwo *transplanter*) dan panen (*combine harvester*).

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam memilih lokasi pengembangan Jarwo Super diantaranya: (1) Lahan sawah irigasi teknis; (2) Tanah dengan kapasitas tukar kation (KTK) tinggi atau kadar hara P dan K tanah tergolong tinggi, atau provitas tinggi (3) Panen biasa dilakukan dengan *power thresher*, jerami dibenamkan di lahan. Padi yang dikembangkan di demarea seluas 50 ha di Bangodua, Indramayu dari hasil ubinan didapatkan produktivitas untuk varietas Inpari 30, Inpari 32 HDB dan Inpari 33 berturut-turut 13,9 t ha⁻¹, 14 t ha⁻¹, dan 12,4 t ha⁻¹ (Tabel 6).

Penerapan komponen teknologi spesifik lokasi seperti waktu tanam, varietas dan pemupukan memerlukan alat bantu. Balitbangtan telah mengembangkan Kalender Tanam Terpadu (KATAM) dan Layanan Konsultasi Padi (LKP) (Puslitbangtan 2015b).

Menghadapi kecenderungan perubahan sifat iklim diperlukan alat bantu untuk mengurangi dampak negatif terhadap tanaman (Las *et al.* 2009, Runtuuwu *et al.* 2011). Kalender tanam terpadu (KATAM) adalah aplikasi berbasis web (www.litbang.pertanian.go.id) sebagai petunjuk yang dapat membantu pengambilan keputusan dalam menentukan waktu tanam, rekomendasi varietas dan pemupukan spesifik lokasi serta informasi mengenai kondisi kekeringan, banjir dan daerah endemis hama penyakit. Kalender tanam dapat diakses melalui web (katam.litbang.pertanian.go.id), SMS di nomor 082 123 456 500 dan 08 123 565 1111, aplikasi KATAM android yang dapat diunduh melalui *google playstore*.

Layanan Konsultasi Padi (LKP) merupakan aplikasi berbasis web yang dikembangkan dari pengelolaan hara tanaman padi (De Datta dan Buresh 1989, Doberman dan Fairhurst 2000) kemudian dirangkum dalam *Rice Knowledge Bank*, yang bisa diakses melalui <http://webapp.irri.org/id/lkp>. Manfaat layanan Konsultasi padi: (1) mengurangi intensitas serangan hama penyakit melalui (a) penggunaan benih bermutu varietas unggul spesifik lokasi, (b) teknik pengelolaan hara/pupuk ditingkat petani, (c) penggunaan net di pesemaian, (d) tanam serentak, (e) tidak menyemprot sampai tanaman umur 30 hari setelah tanam. (2) meningkatkan produktivitas melalui sistem tanam jajar legowo 2:1 dan 4:1, (3) meningkatkan pendapatan petani.

Tabel 6. Hasil panen padi dibudidayakan dengan Jarwo Super

Table 6. Rice yield cultivated using Jarwo Super

No.	Varietas	Jarak tanam			Hasil GKG (t ha ⁻¹)	
		Jarak tanam	Riil	Standar	Riil	Ubinan*)
1.	Inpari 30	AB	22,42	25	11,7	13,0
		DB	22,8	18		
		LGW	40,8	40		
	Populasi (rumpun ha ⁻¹)		134.755	170.940		
2.	Inpari 32 HDB	AB	25	25	12,2	13,5
		DB	20	18		
		LGW	40	40		
	Populasi (rumpun ha ⁻¹)		153.846	170.940		
3.	Inpari 33	AB	25	25	10,5	11,7
		DB	20	18		
		LGW	40	40		
	Populasi (rumpun ha ⁻¹)		153.846	170.940		

Keterangan:

*) Hasil optimal berdasarkan populasi optimal

AB : Jarak tanam antar barisan

DB : Jarak tanam dalam barisan

LGW : Jarak tanam legowo

Sumber: Jamil *et al.* (2016)

PENUTUP

Perubahan iklim sebagai dampak pemanasan global telah terjadi dan berdampak pada produksi tanaman pangan. Dampak negatif perubahan iklim mempengaruhi produktivitas dan luas areal tanam serta luas panen tanaman pangan. Kenaikan suhu udara, perubahan hujan, kenaikan salinitas air tanah, menurunkan produktivitas tanaman. Meningkatnya frekuensi dan intensitas iklim ekstrem (banjir, kekeringan dan angin kencang), ledakan hama/penyakit dan meningkatnya muka air laut mempengaruhi pola tanam, indeks panen, dan mengurangi luas areal pertanian dan areal panen.

Sejalan dengan RAN-API khususnya dalam penciptaan teknologi peningkatan produksi tanaman pangan telah dikembangkan komponen teknologi: (1) varietas tanaman yang toleran terhadap cekaman abiotik, (2) teknologi budidaya tanaman dan (3) teknologi irigasi berselang yang adaptif terhadap perubahan iklim untuk peningkatan daya tahan tanaman, dan (4) menciptakan kondisi lingkungan yang kondusif untuk pertumbuhan tanaman.

Varietas unggul baru dan teknologi budidaya adaptif perubahan iklim yang telah dihasilkan diintegrasikan dalam suatu pendekatan Pengelolaan Tanaman Terpadu terdiri atas komponen teknologi dasar dan komponen teknologi pilihan sesuai kondisi lokasi spesifik. Jarwo Super adalah sistem produksi

padi berbasis cara tanam jarak legowo yang mengimplementasikan secara terpadu inovasi teknologi budidaya padi terbaik yang ada dewasa ini. Kalender Tanam dan Layanan Konsultasi Padi yang merupakan alat (*tool*) untuk membantu penerapan teknologi spesifik lokasi dalam PTT sudah tersedia dan dapat diakses secara *online*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Makalah ini merupakan salah satu hasil penelitian Adaptasi Perubahan Iklim tahun 2016 pada Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Eni Maftuah, Prof. Dr. Fahmuddin Agus, dan Prof. Dr. Irsal Las yang telah memberikan saran untuk perbaikan naskah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulrachman, S., Z. Susanti dan Suhana. 2004a. Efisiensi penggunaan pupuk pada tanaman padi selama dua musim berturut-turut. *Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 23(2):65-72.
- Abdulrachman, S., Z. Susanti, Pahim, A. Djatiharti, A. Dobermann, dan C. Witt. 2004b. Site-Specific Nutrient Management in Intensive Irrigated Rice Systems of West Java, Indonesia. Increasing Productivity of Intensive Rice Systems Through Site-Specific Nutrient Management 2004. p.171-192.

- Abdulrachman S., M.J. Mejaya, N. Agustiani, I. Gunawan, P. Sasmita, dan A. Guswara. 2013. Sistem Tanam Legowo. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. 25 hal.
- Bauman, B.A.M., R.M. Lampayan dan T.P. Tuong. 2007. Water management in irrigated rice: Coping with water scarcity. IRRI Los Banos. Philippines 54 p.
- Bappenas. 2014. Rencana Aksi Nasional Adaptasi Perubahan Iklim (RAN-API). Bappenas 176 hal.
- Belder P., B.A.M. Bouman, J.H.J. Spiertz, A. Peng, A.R. Castaneda, dan R.M. Visperas. 2005. Crop performance, nitrogen and water use in flooded and aerobic rice. *Plant Soil* 273:167-182.
- BB Padi. 2010. Deskripsi Varietas Padi. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. 114 hal.
- BPS (Biro Pusat Statistik) [Internet]. Peningkatan produksi padi nasional. Jakarta (ID): BPS; [Diakses 27 September 2014]. Tersedia dari://www.bps.go.id/tmn_pgn.php.
- Balitbangtan. 2011. Road Map. Strategi Sektor Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Jakarta. 89 hal.
- BPS (Badan Pusat Statistik). 2015. Berita Resmi Statistik. Produksi Padi, Jagung, dan Kedelai (Angka Ramalan II Tahun 2015). Badan Pusat Statistik, Jakarta.
- Boer, R. 2007. Indonesian country report: climate variability and climate change and their implication. Government of Indonesia, Jakarta.
- Boer, R., A. Buono, Sumaryanto, E. Surmaini, A. Rakhman, W. Estiningtyas, K. Kartikasari, dan Fitriyani. 2009. Agriculture Cestor. Technical Report on Vulnerability and Adaptation Assessment to Climate Change for Indonesia's Second National Communication. Ministry of Environment and United Nation Development Programme, Jakarta.
- Boer, A., Buono, Sumaryanto, E. Surmaini, I. Las dan Yelly. 2011. Dampak kenaikan muka air laut pada penggunaan lahan sawah di kawasan pantura. Laporan Akhir Konsorsium Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim Sektor Pertanian. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor.
- Bappenas. 2010. Indonesia Climate Change Sectoral Roadmap (ICCSR) Sektor Pertanian. www.bappenas.go.id/get-file-serve/r/node/10618/.
- Daradjat, A., S.K. Triny dan Sadeli. 1996. Keparahan patogen penyebab penyakit pada pertanaman padi dengan cara legowo. *TAJUK: Majalah Ilmiah Pertanian*, 2(4):19-26.
- De Datta, S.K., dan R.J. Buresh. 1989. Integrated nitrogen management in integrated rice. *Adv. Agron.* 10:143-169.
- Doberman A. dan K.G. Cassman. 2002. Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production system of the United State and Asia. *Plant and Soil*. 247:153-172.
- Doberman, A. dan T. Fairhurst. 2000. Rice: nutrient disorder and nutrient management. International Rice Research Institute, Manila. 191 p.
- Eldafira. 1993. Pengaruh penggunaan pupuk KCl terhadap kandungan silikat tanaman padi (*Oryza sativa* L.) dan larva penggerek batang (*Tryporyza innotata* W.). Tesis Program Pasca Sarjana (S2). Institut Teknologi Bandung.
- Emden, H. 2002. Mechanism of Resistance: Antibiosis, Antixenosis, Tolerance, Nutrition. Pp.483-492. In. D. Pimentel (ed). *Encyclopedia of Pest Management*. Marcel Dekker, Inc, New York.
- Erythrina dan Z. Zaini. 2014. Budidaya padi sawah sistem tanam jajar legowo: Tinjauan metodologi untuk mendapatkan hasil optimal. *J. Litbang Pert.* 33(2):79-86.
- Grattan, S.R., L. Zeng, M.C. Shanonn dan S.R. Robert. 2002. Rice is more sensitive to salinity than previous thought. *California Agriculture* 56(6): 189-198.
- Handoko, I., Y.Sugiarto dan Y. Syaikat. 2008. Keterkaitan perubahan iklim dan produksi pangan strategis: Telaah kebijakan independen dalam bidang perdagangan dan pembangunan. SEAMEO BIOTROP for Kemitraan partnership.
- Heong, K.L., H.V. Chien, M.M. Escalada, dan G. Trebuil. 2013. Reducing insecticide use in Southeast Asian irrigated rice fields: from experimental ecology to large scale change in practices. *Cah. Agric.* 22(5):378-384.
- Hermanto, A., G. Mudjiono dan A. Afandhi. 2013. Penerapan PHT berbasis rekayasa ekologi terhadap wereng batang coklat *Nilaparvata lugens* Stal (*Homoptera: Delphacidae*) dan musuh alami pada pertanaman padi. *Jurnal HPT* 2:79-86.
- IRRI. 2007. Coping with climate change. Climate change threatens to affect rice production across the globe-What is known about the likely impact, and what can be done about it. *Rice Today July-September 2007*: 10-13.
- IRRI. 1996. Standar Evaluation System for Rice. IRRI, Los Banos, Philippines. 28 p.
- Isichaikul, S., K. Fujimura dan T. Ichikawa. 1994. Humid microenvironment prerequisite for survival and growth of nymph of rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stal) (Hemiptera: Delphacidae). *Res. Popul. Ecol.* 36: 23-28.
- Jamil, A., S. Abdulrachman, P. Sasmita, Z. Zaini, Wiratno, R. Rachmat, R. Saraswati, L. R. Widowati, E. Pratiwi, Satoto, Rahmini, D. D. Handoko, L. M. Zarwazi, M. Y. Samaullah, A. Maolana, dan A. D. Subagio. 2016. Budidaya Padi Jajar Legowo Super. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 35 hal.
- Kajimura, T., Y. Maeoka, I.N. Widiarta, T. Sudo, K. Hidaka, dan F. Nakasuji. 1994. Effect of organic rice farming on the population densities of leafhopper and planthopper. III. Effect of the growth pattern of rice plants on the initial invasion of planthopper. *J. Entomology Zoology. Chugoku Branch* 36:5-9.
- Kartaatmadja, S., dan A.M. Fagi. 2000. Pengelolaan tanaman terpadu, konsep dan penerapan. Hlm. 75-89. Dalam Makarim, A.K., dkk (Ed). *Tonggak Kemajuan Teknologi Produksi Tanaman Pangan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor.
- Kiritani, K. 1997. The low development threshold temperature and thermal constant in insect mites and nematodes in Japan. *Miscellaneous Publication of The National Institute of Agro-Environmental Sciences* 21:1-72.
- Kush, G.S. dan P.S. Virk. 2005. IR varieties and their impact. IRRI, Philippines. 163 p.
- Kementan, 2015a. Rencana Strategis Kementerian Pertanian 2015-2019. Kementerian Pertanian. Jakarta. 223 hal.
- Kementan, 2015b. Kinerja satu tahun Pembangunan Pertanian Kabinet Kerja (20 Oktober 2014-20 Oktober 2015). Kementerian Pertanian. Jakarta. 12 hal.

- Kementerian Negara Lingkungan Hidup. 2007. Rencana Aksi Nasional dalam Menghadapi Perubahan Iklim.
- Makarim, A.K. dan Ikhwani. 2011. Antisipasi dampak banjir dan tindakan adaptasi pada usahatani padi akibat perubahan iklim global. *J. Tanah dan Lingkungan* 12: 1-15.
- Matthews, R.B., M.J. Kroftt, T. Horie dan R.D. Bachelet. 1997. Simulating the impact of climate change on rice production in Asia and evaluating option for adoption. *Agric. Syst.* 54:299-425.
- Matthews, R.B. dan R. Wassmann. 2003. "Modelling the impact of climate change and methane emission reduction on rice production: a review". *European Journal of Agronomy* 19:573-598.
- Runtuuwu, E., H. Syahbuddin, I. Amin, dan W.T. Nugroho. 2011. Delineasi kalender tanam padi sawah untuk antisipasi anomaly iklim mendukung program peningkatan produksi beras nasional. *Majalah Pangan* 20: 341-356.
- Runtuuwu, E., dan H. Syahbuddin. 2007. Perubahan pola curah hujan dan dampaknya terhadap potensi periode masa tanam. *Jurnal Tanah dan Iklim.* No 26:1-12.
- Las, I., H. Syahbuddin, E. Surmaini dan A.M. Fagi. 2008. Iklim dan Tanaman Padi: Tantangan dan Peluang. Hlm 149-214. *Dalam* Padi Buku 1. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi, Sukamandi.
- Liebig, M.A., A.J. Franzluebber dan R.F. Follett. 2015. Agriculture and climate change: mitigation opportunities and adaptation imperatif. pp 3-11. Liebig, M.A., A.J. Franzluebber and R.F. Follett eds. *Managing Agricultural Greenhouse Gases.* Elsevier. Amsterdam.
- Nayak, B., M.M. Khan, K. Moshand dan P.P. Rani. 2014. Plant spacing and weed management techniques influence weed competitiveness of drum seeded rice (*Oryza sativa* L.). *Int. J. Appl. Biol. Pharm. Technol.* 5(3):13-22.
- Puslitbangtan, 2009a. Deskripsi Varietas Unggul Palawija 1918-2009. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor. 330 hal.
- Puslitbangtan. 2009b. Lima Tahun (2005-2009) Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. 54 hal.
- Puslitbangtan. 2015a. Program Strategis 2015-2019 Litbang Tanaman Pangan (power point). Raker Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Sengigi-Lombok 15-17 Januari 2015.
- Puslitbangtan. 2015b. Arah dan Hasil Penelitian Perubahan Iklim Sub-Sektor Tanaman Pangan. Workshop Sinergi Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim Sektor Pertanian. Balai Besar Mekanisasi Pertanian, Serpong, 30 November- 1 Desember 2015.
- Puslitbangtan (Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan) [Internet]. 2015. Jajar Legowo pada jagung. [Diakses 17 Juni 2015]. Tersedia dari [www. http://pangan.litbang.pertanian.go.id/berita-727-jajar-legowo](http://pangan.litbang.pertanian.go.id/berita-727-jajar-legowo).
- Setyorini, D., R. Saraswati, dan R.K. Anwar. 2007. Kompos. *Dalam: Simanungkalit et al.* (Eds). *Organic fertilizer and Bio-fertilizer.* Agency for Agricultural Research and Development, Jakarta. 313 p.
- Suhartatik, E. dan R. Sismiyati. 2000. Pemamfaatan pupuk organik dan agens hayati pada padi sawah. *Dalam: Suwarno et al.* (Eds). *Tonggak Kemajuan Teknologi Produksi Tanaman Pangan.* Paket dan Komponen Teknologi Produksi Padi. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor.
- Suparyono, S., Kartaatmadja, dan A.M. Fagi. 1991. Pengaruh pemupukan kalium terhadap perkembangan beberapa penyakit padi. *Prosiding Temu Alih Teknologi Pertanian, Jakenan 14 Agustus 1990.* Balai Penelitian Tanaman Pangan, Sukamandi. Pp.20-24.
- Suriapermana, S., dan I. Syamsiah. 1995. Tanam jajar legowo pada system usahatani mina padi-azola di lahan sawah irigasi. *Prosiding Risalah Seminar Hasil Penelitian Sistem Usaha Tani dan Sosial Ekonomi.* Bogor, 4-5 Oktober 1994. Pusat Peneliti dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor.
- Timmerman, A., J. Oberhuber, A. Bacher, M. Esch, M. Latif dan E. Rockner. 1999. Increased *El Nino* frequency in acclimate model forced by future greenhouse warming. *Nature* 398.
- Torriani, D., P. Calanca, M. Lips, H. Ammann, M. Beniston, and J. Fuhrer. 2007. Regional assessment of climate change impact on maize productivity and associated production risk in Switzerland. *Reg. Environ Change* 7:209-221.
- Wahyunto. 2015. Lahan sawah rawan kekeringan dan banjir di Indonesia. Balai Besar Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.
- Widiarta, I. N., D. Kusdianan dan A. Hasanuddin. 1999a. Dinamika populasi *Nephotettix virescens* pada dua pola tanam padi sawah. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia* 5: 42-49.
- Widiarta, I N., D. Kusdianan, dan I.G.N. Aryawan. 1999b. Study on dispersal activity of *Nephotettix virescens* Distant, the most effective vector of rice tungro virus disease. One day Seminar on Science and Technology, ITSF, Jakarta. 31 January 1999.
- Widiarta, I N., D. Kusdianan, dan T. Suryana. 2001. Pengaruh perbedaan tingkat kebersihan pematang sawah sebagai refuji musuh alami terhadap perkembangan populasi wereng coklat, *Nilaparvata lugens* Stal (Homoptera: Delphacidae). *Jurnal Agrikultura* 12:62-69.
- Widiarta, I N., D. Kusdianan dan A. Hasanuddin. 2003. Pemencaran wereng hijau dan keberadaan tungro pada pertanaman padi dengan beberapa cara tanam. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan* 22:129-133.
- Widiarta, I N. 2009. Pengaruh perubahan iklim global terhadap pertumbuhan hama tanaman padi dan musuh alaminya. Hal 325-335. *Prosiding Seminar Nasional Padi 2008.* Balai Besar Penelitian Tanaman Padi, Sukamandi.
- Wiyono, S. 2009. Perubahan iklim, pemicu ledakan hama dan penyakit tanaman. *Salam* 26:22-23.
- Zahrah, S. 2011. Respon berbagai varietas kedelai terhadap pememberian pupuk NPK organik. *Jurnal Teknobiologi* 2(1): 65-69.