



### Bab 3

# Padi *Walik Jerami*: Kearifan Lokal Adaptasi Kekeringan pada Lahan Sawah Tadah Hujan

Anicetus Wihardjaka & Elisabeth Srihayu Harsanti

---

## A. Sistem Walik Jerami di Sawah Tadah Hujan

Sektor pertanian menjadi tumpuan manusia dalam melangsungkan kehidupannya. Kebutuhan pangan sepenuhnya ditunjang dari sektor pertanian. Ketahanan pangan pada dekade terakhir ini dihadapkan pada permasalahan lingkungan yang kompleks, seperti perubahan iklim dan alih fungsi lahan pertanian optimal. Penciutan luasan lahan sawah beririgasi mendorong optimalisasi pemanfaatan lahan sawah tadah hujan untuk menjamin ketersediaan pangan nasional. Pemanfaatan lahan untuk memenuhi kebutuhan pangan, khususnya padi, mengimbangi laju pertumbuhan populasi di planet bumi. Laju pertumbuhan penduduk Indonesia sebesar 1,25%/tahun akan menambah jiwa sebanyak 3,4 juta jiwa/tahun, artinya setiap tahun perlu tambahan

---

A. Wihardjaka & E. S. Harsanti

Badan Riset dan Inovasi Nasional, e-mail: anic001@brin.go.id

© 2023 Editor & Penulis

Wihardjaka, A. &, Harsanti, E. S. (2023). Padi walik jerami: kearifan lokal adaptasi kekeringan pada lahan sawah tadah hujan. Dalam Elza Surmaini, Lilik Slamet Supriatin, & Yeli Sarvina (Ed.), *Teknologi dan kearifan lokal untuk adaptasi perubahan iklim* (55–79). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.901.c718, E-ISBN: 978-623-8372-46-1

pangan untuk memenuhi kebutuhan pangan nasional (Mulyani dkk., 2022). Sebagai makanan pokok bangsa Indonesia, konsumsi beras pada tahun 2020 adalah 78,52 kg/tahun/kapita (Badan Pusat Statistik, 2021). Konsumsi beras nasional per kapita telah menjadi perhatian Pemerintah Indonesia dalam penyediaan pangan terutama selama produktivitas padi terbatas setiap tahun.

Lahan sawah tadah hujan merupakan salah satu agroekologi yang rentan terhadap dampak perubahan iklim (PI). Beberapa faktor yang menjadikan alasan bahwa lahan sawah tadah hujan rentan terhadap dampak PI, antara lain ketidakpastian curah hujan, peningkatan risiko cekaman kekeringan, ketidakstabilan iklim mikro akibat fluktuasi cuaca lokal, peningkatan serangan organisme pengganggu tanaman (OPT), penurunan ketersediaan air, perubahan suhu ekstrem, penurunan kesuburan tanah, dan keterbatasan infrastruktur irigasi. Faktor-faktor tersebut berakibat terhadap produksi dan produktivitas tanaman pangan terutama padi sawah tadah hujan. Lahan sawah tadah hujan di Indonesia yang cukup luas, 2.195.699 hektare (Mulyani dkk., 2022), berpotensi menyumbang ketersediaan pangan berupa beras. Diasumsikan untuk setiap musim tanam, produktivitas padi sawah tadah hujan rata-rata 4,0 ton/ha gabah kering giling maka lahan sawah tadah hujan mampu menyediakan gabah sebanyak 35.131.184 ton setara dengan 22.041.304 ton beras (konversi gabah menjadi beras adalah 62,74% menurut Kalsum dkk. [2020]). Oleh karena itu, upaya peningkatan indeks pertanaman (IP) di lahan sawah tadah hujan perlu digalakkan, apalagi luasan lahan sawah beririgasi mengalami penciptaan dan beralih fungsi menjadi lahan nonpertanian.

Petani umumnya telah menerapkan pola tanam padi (musim hujan) diikuti padi (musim kemarau ke-1) dan diikuti palawija (musim kemarau ke-2) atau padi (musim penghujan) diikuti palawija (musim kemarau ke-1) dan palawija (musim kemarau ke-2). Namun, padi musim tanam kedua sering mengalami cekaman kekeringan yang dapat menurunkan produktivitas bahkan gagal panen. Selain padi gogo rancah, salah satu kearifan petani sawah tadah hujan lainnya di pantai utara (pantura) Jawa Tengah adalah budi daya padi dengan

sistem tanam pindah di mana tanah diolah secara minimum dan persemaian disiapkan beberapa hari sebelum padi musim pertama dipanen. Kearifan lokal tersebut dikenal dengan istilah “padi *walik* jerami”. Kearifan lokal tersebut masih relevan di era pertanian maju-mandiri-modern terutama dalam upaya adaptasi perubahan iklim dan keberlanjutan produksi pertanian, khususnya tanaman padi. Bab ini bertujuan mengenalkan kearifan lokal dalam menghindari cekaman kekeringan di Jawa Tengah, yaitu sistem *walik* jerami di lahan sawah tadah hujan.

## **B. Dampak Perubahan Iklim pada Sektor Pertanian**

Aktivitas manusia telah meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca (GRK) yang diemisikan ke atmosfer bumi yang menyebabkan pemanasan global. Pemanasan global menyebabkan peningkatan suhu rata-rata di planet bumi, yang dapat menyebabkan cuaca ekstrem, seperti gelombang panas, suhu yang lebih tinggi pada musim kemarau, serta perubahan pola dan intensitas curah hujan yang menyebabkan kekeringan dan banjir yang lebih parah. Menurut Undang-Undang Nomor 31 Tahun 2009, perubahan iklim adalah berubahnya iklim yang diakibatkan, baik langsung maupun tidak langsung, oleh aktivitas manusia yang menyebabkan perubahan komposisi atmosfer secara global serta perubahan variabilitas iklim alamiah yang teramati pada kurun waktu yang dapat dibandingkan (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2011a). Hal ini berarti perubahan iklim mengganggu sistem iklim di bumi yang sifatnya tidak dapat diperbaharui (*irreversible*).

Berdasarkan sifatnya, dampak perubahan iklim di sektor pertanian dapat bersifat terus-menerus, tidak terus-menerus, dan permanen, yang berpengaruh terhadap produktivitas dan keberlanjutan produksi pertanian. Dampak terus-menerus/kontinu berupa kenaikan suhu udara, perubahan pola hujan, dan kenaikan salinitas atau kadar garam pada air tanah. Dampak tidak terus-menerus/diskontinu, berupa gagal panen akibat peningkatan frekuensi dan intensitas kejadian banjir dan kekeringan, serta ledakan serangan OPT. Dampak permanen

berupa penurunan luasan area budi daya pertanian akibat intrusi air laut (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2011b). Beberapa faktor penyebab kerentanan tersebut, antara lain pola curah hujan yang tidak stabil, perubahan suhu, perubahan pola musim, peningkatan risiko hama dan penyakit, ketidakpastian pasar dan harga, dan ketergantungan pada sumber daya alami yang rentan, yang akhirnya akan mengganggu stabilitas ketahanan pangan. Ketahanan pangan adalah kemampuan dalam menyediakan pangan untuk semua orang, memperoleh pangan dengan mudah, cukup, aman, bergizi, serta produktif secara berkelanjutan untuk kehidupan yang aktif dan sehat (Mulyani dkk., 2022).

Perubahan iklim dapat menyebabkan kejadian iklim ekstrem, yaitu periode kekeringan berkepanjangan dan meningkatnya frekuensi kejadian banjir. Kejadian iklim ekstrem terutama El Niño dan La Niña menyebabkan, antara lain kegagalan panen, penurunan indeks pertanaman, penurunan produktivitas dan produksi pertanian, kerusakan sumber daya lahan pertanian, peningkatan kelembapan, dan peningkatan intensitas gangguan OPT (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, 2011a). Perubahan iklim dapat mengganggu ketersediaan dan harga bahan pangan. Kekurangan panen mengakibatkan peningkatan harga pangan dan ketidakpastian pasokan. Hal ini dapat berdampak negatif pada petani, terutama yang bergantung pada hasil panen untuk mata pencaharian dan pendapatan. Perubahan iklim, seperti kekeringan yang lebih parah dan perubahan pola curah hujan, dapat mengancam ketersediaan dan kualitas sumber daya ini. Kekurangan air yang berkepanjangan dapat mengurangi irigasi yang diperlukan untuk pertanian, sedangkan banjir dapat merusak struktur dan komposisi tanah serta mengganggu produktivitas pertanian.

Selain itu, sektor pertanian dipandang sebagai sumber emisi GRK, antara lain berasal dari lahan sawah. Gas rumah kaca utama dari lahan sawah tadah hujan adalah metana ( $\text{CH}_4$ ) dan dinitrogen oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Aktivitas manusia mendorong peningkatan konsentrasi kedua GRK tersebut, misalnya menurut Sutamihardja (2009) yang menyatakan bahwa konsentrasi  $\text{CH}_4$  meningkat dari 715 ppb (era

praindustri) menjadi 1774 ppb (tahun 2005), dan konsentrasi  $N_2O$  meningkat dari 270 ppb (era praindustri) menjadi 319 ppb (tahun 2005), ppb = *part per billion*. Metana ( $CH_4$ ) adalah hasil dekomposisi bahan organik dalam tanah pada kondisi anaerobik dengan bantuan mikroba metanogen (Oertel dkk., 2016), sedangkan dinitrogen oksida ( $N_2O$ ) adalah produk antara atau samping pada proses mikrobiologis nitrifikasi (oksidasi  $NH_4^+$  menjadi  $NO_3^-$  melalui  $NO_2^-$ ) dan denitrifikasi (reduksi  $NO_3^-$  menjadi  $N_2O$  dan  $N_2$ ) (Norberg dkk., 2021).  $N_2O$  diproduksi terutama oleh denitrifikasi dalam kondisi anaerobik (Adu-Poku dkk., 2022). Kedua gas ini ( $CH_4$  dan  $N_2O$ ) memiliki waktu paruh di atmosfer yang relatif panjang, masing-masing 12 dan 114 tahun. Daya pemanasan global satu molekul gas metana di troposfer 21 kali lebih tinggi daripada satu molekul  $CO_2$ , sedangkan gas  $N_2O$  mempunyai potensi pemanasan global 310 kali molekul  $CO_2$  (Kang dkk., 2021).

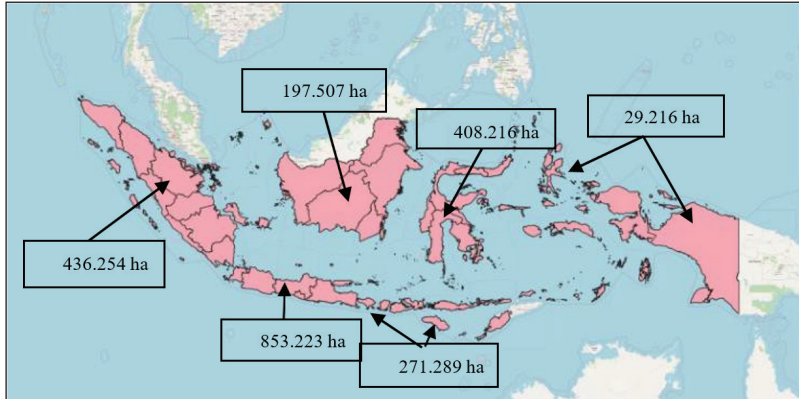
Menurut Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021, adaptasi perubahan iklim adalah upaya yang dilakukan untuk meningkatkan kemampuan dalam menyesuaikan diri terhadap perubahan iklim, termasuk keragaman iklim dan kejadian ekstrem sehingga potensi kerusakan akibat perubahan iklim berkurang, peluang yang ditimbulkan oleh perubahan iklim dapat dimanfaatkan, dan konsekuensi yang timbul akibat perubahan iklim dapat diatasi. Terkait dengan hal tersebut, area pertanian yang terdampak perubahan iklim dapat menyesuaikan diri melalui tindakan/aksi antisipasi pengaruh buruk iklim yang nyata atau dengan cara membangun strategi antisipasi dan memanfaatkan peluang-peluang yang menguntungkan. Menurut Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (2011a), adaptasi adalah kemampuan organisme (manusia, ternak, tanaman) untuk menyesuaikan diri dengan perubahan lingkungan, baik bersifat mikro maupun makro, baik langsung maupun tidak langsung akibat perubahan iklim agar tetap dapat menjalankan fungsi biologis secara wajar. Penerapan upaya adaptasi dapat sebagai *co-benefit* untuk tindakan mitigasi, yaitu kegiatan tersebut sekaligus dapat mengurangi emisi GRK, meningkatkan serapan karbon, dan/atau penyimpanan/

penguatan cadangan karbon dalam tanah. Aksi adaptasi di sektor pertanian merupakan prioritas, terutama untuk menjamin ketersediaan dan ketahanan pangan, di mana lahan sawah tadah hujan adalah penyumbang beras terbesar setelah lahan sawah beririgasi.

### C. Lahan Sawah Tadah Hujan di Indonesia

Indonesia memiliki sumber daya lahan yang cukup luas dan potensial untuk dimanfaatkan sebagai area budi daya tanaman pertanian, antara lain untuk tanaman pangan. Berdasarkan Mulyani dkk. (2022), Indonesia memiliki lahan sawah tadah hujan sekitar 29,4% dari luasan sawah total (7.463.950 ha). Lahan sawah tadah hujan tersebar di semua pulau besar, yaitu Sumatra, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, Bali dan Nusa Tenggara, serta Maluku dan Papua (Kasno dkk., 2016; Mulyani dkk., 2022) dengan luasan masing-masing 436.254, 853.223, 197.507, 408.216, 271.289, dan 29.216 ha (Mulyani dkk., 2022) (Gambar 3.1). Daerah dengan lahan sawah tadah hujan yang luas di Jawa Tengah dapat dikategorikan beriklim kering karena curah hujan tahunan <2.000 mm, yang merupakan sumber pengairan utamanya (Al Viandari dkk., 2022). Lahan sawah tadah hujan di Jawa Tengah terkonsentrasi di Kabupaten Rembang, Kabupaten Pati, Kabupaten Blora, dan Kabupaten Demak. Selama tahun kering, petani sawah tadah hujan hanya dapat menanam padi sekali dalam setahun, tetapi pada tahun basah mereka dapat menanam padi dua kali setahun.

Lahan sawah tadah hujan dihadapkan pada lingkungan yang lebih kompleks daripada agroekologi lahan sawah lainnya. Padi sawah tadah hujan ditanam di lahan tanpa kontrol air, yang sumber airnya hanya tergantung dari curah hujan sehingga kondisi hidrologinya sering kali berfluktuasi dari kondisi basah menjadi kering selama musim tanam yang sama. Hal ini berdampak terhadap perubahan ketersediaan unsur hara pada periode oksidasi dan reduksi tanah yang silih bergantian. Dampak cekaman kekeringan dapat diperparah oleh kekahatan hara dan toksisitas kimiawi dalam tanah (Wade dkk., 1998). Pengelolaan antropogenik lahan sawah tadah hujan memengaruhi dinamika laju produksi dan emisi GRK (Mulyadi & Wihardjaka,



Sumber: Mulyani dkk. (2022)

**Gambar 3.1** Sebaran Lahan Sawah Tadah Hujan Antarpulau di Indonesia

2014). Kondisi basah-kering silih berganti di lahan sawah tadah hujan dapat menurunkan emisi  $\text{CH}_4$  dan  $\text{N}_2\text{O}$  sebesar 40% (Khatri-Chhetri dkk., 2023).

Tipikal pola tanam yang umum petani terapkan di lahan sawah tadah hujan di Jawa Tengah, khususnya lahan di bagian utara pantai utara (pantura) adalah padi sebar langsung (gogo rancah) yang tumbuh dari bulan Oktober hingga Februari (awal musim penghujan), diikuti padi sawah tanam pindah yang tumbuh dari Maret hingga Juni (akhir musim penghujan/awal musim kering), diikuti tanaman palawija (jagung, kacang-kacangan, ubi jalar) atau semangka biji/kuaci. Cekaman kekeringan sering terjadi pada pertanaman padi sawah tadah hujan, terutama pada padi musim tanam kedua. Cekaman kekeringan menjadi salah satu tantangan dalam upaya meningkatkan produktivitas tanaman padi sawah tadah hujan (Wihardjaka, Pramono, & Sutriadi, 2020). Produktivitas padi sawah tadah hujan relatif rendah, yaitu rata-rata tahunan  $4,2 \pm 1,15$  ton/ha dengan indeks pertanamannya lebih rendah daripada sawah irigasi (Mulyani dkk., 2022). Rata-rata indeks pertanaman pada sawah beririgasi adalah 2, artinya lahan sawah irigasi dapat ditanami dua kali dalam setahun (Mulyani dkk., 2022). Menurut penelitian Boling dkk., (2004, 2007), rata-rata hasil padi musim penghujan (gogo rancah) di Jawa Tengah

berkisar 3,5–6,5 ton/ha, sedangkan padi musim kedua atau padi sawah tanam pindah (*walik* jerami) berkisar 1,2–3,0 ton/ha. Hasil padi gogo rancah pada musim penghujan tahun 2018–2020 di Kabupaten Rembang dan Kabupaten Blora lebih tinggi daripada di Kabupaten Pati (Tabel 3.1).

**Tabel 3.1** Luas Lahan Sawah Tadah Hujan dan Rata-Rata Hasil Padi Gogo Rancah di Blora, Rembang, dan Pati Tahun 2018–2020

Kabupaten	Luas Lahan Sawah Tadah Hujan (ha)	Rata-Rata Hasil Gabah (ton/ha)		
		2018	2019	2020
Blora	30,573	4,07	4,07	5,30
Pati	21,025	3,61	2,55	3,23
Rembang	20,803	5,00	4,40	4,05

Sumber: Al Viandari dkk. (2022)

Produktivitas padi *walik* jerami lebih rendah daripada padi gogo rancah disebabkan oleh berbagai faktor, antara lain defisit ketersediaan air, rentan terhadap serangan organisme pengganggu tanaman, dan serapan hara relatif rendah. Cekaman kekeringan mengakibatkan berbagai perubahan fisiologis dan biokimia pada berbagai tahap/fase pertumbuhan tanaman padi. Akar adalah organ tanaman utama untuk mendeteksi perubahan tersebut yang memegang peran vital dalam menanggapi cekaman air. Padi sawah tadah hujan menghadapi kondisi air tanah yang berfluktuasi dan beberapa genotipe padi menunjukkan adaptasi terhadap kondisi tersebut dengan meningkatkan pertumbuhan akar sebelum dan selama tahap awal kekeringan. Varietas spesifik untuk sawah tadah hujan yang sangat diharapkan adalah yang mampu menembus lapisan kedap, suatu kemampuan penting untuk membangun sistem perakaran yang dalam guna meningkatkan adaptasi terhadap cekaman kekeringan dan mengoptimalkan serapan hara untuk pertumbuhan tanaman yang lebih baik (Nikmah & Musni, 2019; Kim dkk., 2020). Defisit air dan kekeringan nyata berdampak terhadap mobilitas dan serapan hara, terutama N, P, K, akibat kan-



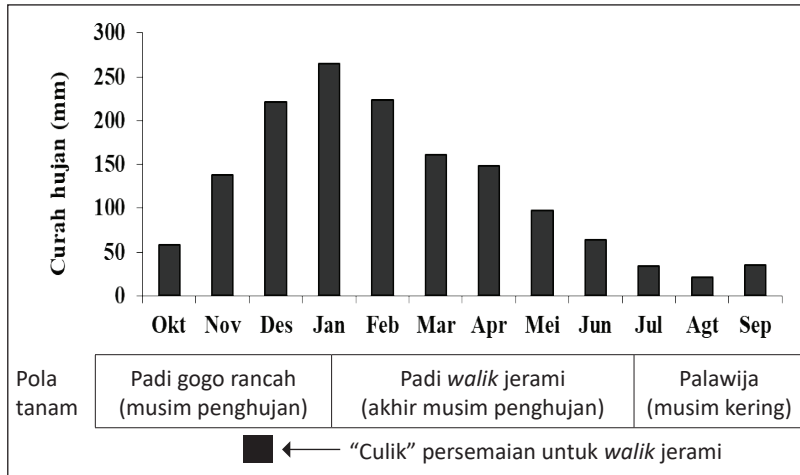
dungan lengas tanah yang rendah (Raza dkk., 2013; Al Viandari dkk., 2022). Oleh karena itu, hal ini menjadi tantangan untuk meningkatkan produktivitas padi musim tanam kedua (*walik* jerami) melalui penerapan inovasi teknologi adaptif.

Hasil padi sawah tadah hujan yang rendah dan tidak stabil disebabkan oleh berbagai kendala, antara lain kesuburan tanah rendah, ketersediaan air dari curah hujan tidak menentu, rentan terhadap cekaman kekeringan, serangan OPT, atau kombinasi dari faktor-faktor tersebut (Boling dkk., 2004; Boling dkk., 2007). Pola curah hujan yang tidak dapat diprediksi tersebut menyebabkan masalah serius bagi lahan sawah tadah hujan yang dapat berkontribusi terhadap kekeringan. Curah hujan tahunan di pantai utara Jawa Tengah bagian timur rata-rata 1.500 mm, di mana bulan dengan intensitas curah hujan relatif tinggi ialah pada bulan Desember, Januari, dan Februari (Al Viandari dkk., 2022). Bahkan, hasil pengukuran curah hujan tahunan di Kabupaten Pati sering kali kurang dari 1.000 mm per tahun, misal 841 mm/tahun (tahun 2015) dan 977 mm/tahun (tahun 2019) (Al Viandari dkk., 2022). Di daerah dengan frekuensi 3–4 bulan basah atau 8–9 bulan kering, peluang terjadinya kekeringan relatif sangat besar. Tanaman padi memerlukan curah hujan bulanan minimal 200 mm untuk tumbuh secara normal. Bagi sebagian petani yang mempunyai lahan relatif luas, mereka telah menerapkan teknologi embung untuk menampung kelebihan air hujan pada bulan-bulan tersebut. Air hujan akan dipanen untuk menyelamatkan tanaman padi pada musim tanam berikutnya. Menurut hasil penelitian Dianga dkk. (2022), kebutuhan air sebesar 200 mm per bulan menjamin keberhasilan pertumbuhan dan perkembangan tanaman padi di lahan sawah tadah hujan. Perbaikan diperlukan melalui penerapan teknologi yang mampu mengungkit produktivitas tanaman melalui perwujudan aksi adaptasi terhadap perubahan iklim dan tentunya juga sebagai upaya mitigasi emisi GRK.

#### D. Kearifan Lokal Sistem Walik Jerami: Upaya Adaptif Sistem Budi Daya Padi Sawah Tadah Hujan

Salah satu kearifan lokal oleh petani sawah tadah hujan adalah penerapan sistem *walik* jerami, yang dipraktikkan pada budi daya padi di musim tanam kedua. Setelah panen padi musim pertama (gogo rancah), petani sebagian besar melanjutkan budi daya padi pada musim tanam kedua di mana kondisi tanah masih basah atau *macak-macak*. Petani di pantura Jawa Tengah juga menyiasati kondisi curah hujan dan kelengasan tanah di lahannya dengan menerapkan sistem “culik” untuk budi daya padi tanam pindah, yaitu mempersiapkan persemaian tiga atau empat minggu sebelum padi musim tanam pertama (gogo rancah) dipanen dan tanah diolah secara minimum segera setelah panen padi gogo rancah. Petani padi sawah tadah hujan umumnya *titen* (mengingat dengan baik dari pengalaman yang berulang) bahwa lahan masih basah atau *macak-macak* setelah panen padi musim tanam pertama dan hal itu mendorong petani merasa “sayang” apabila dibiarkan *bera* (lahan yang dibiarkan tanpa tanaman budi daya). Tanah diolah sekali dengan membalikkan tanah yang masih tersisa tunggul jeraminya. Petani lokal menyebutkan dengan istilah sistem *walik* jerami. Pengolahan tanah yang minimum tersebut tidak disertai oleh pelumpuran dan perataan lahan seperti sistem irigasi. Dalam sistem *walik* jerami, olah tanah minimum tanpa pelumpuran merupakan pertanian konservasi yang membantu petani mengurangi biaya produksi sekaligus meningkatkan kesehatan tanah, keragaman hayati, dan ketepatan waktu budi daya. Persemaian dan penetapan tanam pindah pada sistem *walik* jerami ditampilkan pada Gambar 3.2.

*Walik* jerami atau *malik dami* secara harafiah diartikan sebagai upaya membenamkan jerami ke dalam tanah dengan cara tanah dibalik sekali saja dengan menggunakan cangkul. Melalui kreativitasnya, petani menyiapkan lahan sesegera mungkin untuk dapat ditanami tanaman padi berikutnya. Keberhasilan sistem *walik* jerami secara tidak langsung ditentukan oleh ketepatan waktu tanam padi musim pertama. Persemaian benih padi dipersiapkan pada saat tanaman padi



Sumber: Wihardjaka, Pramono, dan Sutriadi (2020)

**Gambar 3.2** Persemaian “Culik” pada Beberapa Hari sebelum Padi Musim Tanam Pertama Dipanen yang Umum Diterapkan di Lahan Sawah Tadah Hujan di Kabupaten Pati

musim pertama memasuki fase masak susu/pengisian bulir gabah (Gambar 3.3a). Sementara itu, pengolahan tanah secara minimum sebagai media tanam pindah (tapin) padi *walik* jerami dilakukan segera setelah panen padi gogo rancah (Gambar 3.3b). Apabila curah hujan menjelang musim penghujan dapat membuat tanah beraroma “wangi”, padi pertama harus ditanam dan harapannya ialah pada waktu panen kondisi tanah masih *macak-macak*, yang dapat dimanfaatkan untuk tanam padi berikutnya dengan sistem *walik* jerami. Tanpa “culik” persemaian, tanaman padi sawah musim tanam kedua selalu menderita cekaman kekeringan, apalagi jika tidak tersedia atau memperoleh dukungan dari panen air hujan yang ditampung dalam embung.

Pembalikan tanah membantu pembusukan sisa jerami dan sekam padi. Pemberian dekomposer dapat dianjurkan untuk mempercepat dekomposisi sisa jerami dan sekam padi dalam tanah agar pertumbuhan awal tanaman padi *walik* jerami terhindar dari keracunan asam-asam organik. Penggunaan dekomposer dapat berupa dekomposer



Keterangan: (a) Persemaian dengan sistem “culik”; (b) Olah tanah secara minimum  
 Sumber: (a) Dokumentasi kegiatan proyek RLRC IRRI 1995–2000; (b) Ladha dkk. (1998)

**Gambar 3.3** Budi Daya Padi *walik* Jerami pada Lahan Sawah Tadah Hujan di Jawa Tengah

komersial ataupun mikroorganisme lokal (MOL) dari bahan-bahan alami yang tersedia di lingkungan, yaitu bonggol pisang, limbah nanas, dan sebagainya. MOL, selain sebagai perombak bahan organik, dapat digunakan sebagai pupuk hayati atau pestisida organik (Nurrahma & Melati, 2013). Menurut Yan dkk. (2019) dalam Al Viandari dkk. (2022), selama lima tahun terungkap bahwa pelepasan C, N, P, K, selulosa, dan hemiselulosa dalam kompos terjadi pada tahun pertama dan kedua setelah pengomposan jerami.

Dengan menerapkan padi tanam pindah sistem *walik* jerami, petani berharap agar pertanaman padi dapat dipetik hasilnya dan terhindar dari cekaman kekeringan di akhir fase vegetatif hingga fase pemasakan butir gabah. Keterlambatan dalam menentukan saat tanam padi sawah tadah hujan akan menyebabkan kehilangan hasil akibat peningkatan serangan OPT dan kekurangan kelengasan tanah, bahkan memungkinkan terjadi puso atau gagal panen. Komponen produksi lainnya dalam budi daya padi dengan sistem *walik* jerami relatif sama dengan budi daya padi sawah tanam pindah pada umumnya.

Strategi adaptasi dampak perubahan iklim di lahan sawah tadah hujan dapat dilakukan dengan menyesuaikan sistem usaha tani, ter-

utama pola tanam, jenis tanaman dan varietas, dan sistem pengolahan tanah. Penerapan sistem *walik* jerami harus didukung dengan inovasi teknologi adaptif. Upaya adaptasi terhadap dampak perubahan iklim di lahan tadah hujan dapat dilakukan dengan inovasi teknologi adaptif, seperti penggunaan varietas padi umur pendek/genjah, varietas padi toleran kekeringan, varietas padi tahan terhadap rendaman, teknologi panen air hujan, teknologi surjan, penerapan kalender tanam, dan penerapan pola tanam yang menyiasati ketidakmenentuan curah hujan, dan teknologi embung/dam parit (Wihardjaka, Pramono, & Sutriadi, 2020).

Produktivitas padi *walik* jerami umumnya lebih rendah daripada produktivitas padi gogo rancah. Tantangan ke depan, kegiatan penelitian dan pengembangan masih diperlukan untuk menghasilkan perbaikan atau terobosan/inovasi teknologi adaptif sebagai pengungkit produktivitas padi *walik* jerami, baik dari aspek tanaman, lingkungan tumbuh, faktor abiotik lainnya, status hara, dan pengelolaan air. Budi daya padi dengan sistem *walik* jerami sebaiknya mengikuti pendekatan pengelolaan tanaman terpadu, seperti penggunaan benih berkualitas dan unggul, pemupukan berimbang berdasar status hara dalam tanah dan kebutuhan tanaman, pengendalian gulma dilakukan secara manual (*matun*) atau peralatan sederhana, seperti *usrok*/"landak", serta pengendalian hama dan penyakit tanaman secara terpadu.

## **E. Integrasi Teknologi Adaptif Kekeringan pada Sistem *Walik* Jerami**

Penggunaan varietas padi tahan kekeringan yang berumur pendek atau genjah dianjurkan menjadi alternatif petani untuk budi daya sistem *walik* jerami. Kementerian Pertanian Republik Indonesia telah melepas beberapa varietas padi yang tahan terhadap kekeringan, antara lain Inpago 5, Inpari 1, Inpari 10, Inpari 11, Inpari 12, Inpari 13, Mekongga, Cigeulis, Dodokan, Silugonggo, Situ Bagendit, Situ Patenggang, dan Limboto. Beberapa varietas padi toleran terhadap kekeringan juga dapat digunakan untuk lahan sawah tadah hujan, antara lain Cakrabuana Agritan (umur 104 hari), Sidenuk (umur

103 hari), Inpari 18, Inpari 19, Inpari 20 (umur 93–102 hari), dan varietas padi yang spesifik untuk sawah tadah hujan, seperti Inpari 38 (umur 105 hari), Inpari 39 (umur 115 hari), dan Inpari 41 (umur 114 hari). Noviana dkk. (2021) melaporkan bahwa Inpari 39, Cakrabuana, Inpago 11, Rindang 1, dan Luhur 1 memiliki potensi tahan kekeringan dan dapat digunakan di lahan sawah tadah hujan dengan produktivitas rata-rata 6–7 ton/ha. Lebih lanjut, menurut mereka, Cakrabuana memiliki hasil gabah tertinggi, yaitu rata-rata 7,15 ton/ha dan masak pada umur 85 hari setelah tanam (Al Viandari dkk., 2022). Sebagian besar petani di sawah tadah hujan Jawa Tengah secara teratur menggunakan varietas padi irigasi untuk lahan tadah hujan, seperti Inpari 32, Cihayang, dan Inpari 42. Para petani belum sepenuhnya menggunakan varietas yang khusus untuk tadah hujan yang disebabkan oleh kurangnya pengetahuan tentang padi varietas padi sawah tadah hujan yang telah ada dan dilepas Kementerian Pertanian (Al Viandari dkk., 2022).

Varietas padi yang bersifat amfibi juga dapat dibudidayakan di lahan sawah tadah hujan sesuai karakternya yang bisa digunakan pada kondisi tergenang ataupun kekeringan. Kementerian Pertanian mengantisipasi dampak iklim ekstrem dengan melepas beberapa varietas padi amfibi yang toleran terhadap kekeringan dan genangan, yaitu Limboto, Batutegi, Towuti, Situ Patenggang, Situ Bagendit, Inpari 10 Laeya, Inpago 4, Inpago 5, Inpago 6, Inpago 7, Inpago 8, dan Inpago 9. Potensi hasil varietas amfibi tersebut terlihat dalam Tabel 3.2.

Penggunaan varietas tahan kekeringan merupakan tindakan preventif untuk mengurangi kehilangan hasil selama musim kering. Kerugian hasil tanaman padi akibat kekeringan tergantung pada fase pertumbuhan dan durasi kekeringan (El-Nahhal & El-Nahhal, 2021; Raza dkk., 2013). Ketika defisit air terjadi selama fase pertumbuhan vegetatif, produksi bahan kering total menurun saat panen karena pertumbuhan yang lambat dan produksi jumlah anakan yang lebih sedikit. Cekaman kekeringan selama fase pertumbuhan reproduksi pada dasarnya memengaruhi semua aspek pertumbuhan dan perkembangan tanaman padi. Defisit air menghambat proses fotosintesis

**Tabel 3.2** Potensi Hasil Gabah dari Beberapa Varietas Padi Amfibi

Varietas Padi	Umur (hss)	Potensi Hasil (ton/ha)
Limboto	125	6,0
Batutegi	120	6,0
Towuti	115	7,0
Situ Patenggang	120	6,0
Situ Bagendit	120	6,0
Inpari 10 Laeya	112	7,0
Inpago 4	124	6,1
Inpago 5	118	6,2
Inpago 6	118	6,2
Inpago 7	111	7,4
Inpago 8	119	8,1
Inpago 9	109	8,4

Keterangan: hss = hari setelah sebar

Sumber: Wihardjaka, Pramono, dan Sutriadi (2020)

pada tanaman padi yang menurunkan bobot butir gabah (Halder dkk., 2019). Menurut Pandey & Shukla (2015), beberapa tanggapan tanaman terhadap kekeringan adalah penurunan tinggi tanaman, berat biomassa, indeks perkecambahan, dan mengurangi jumlah stomata dan klorofil daun yang dapat menurunkan proses dan hasil fotosintesis. Pada kondisi terjadi cekaman kekeringan, kehilangan hasil dapat diminimalkan dengan pasokan hara kalium (K) yang cukup dalam konsep pemupukan berimbang (Raza dkk., 2013). Tanaman yang mengalami cekaman kekeringan membutuhkan lebih banyak K internal. Keterbatasan pupuk kalium mendorong petani untuk memanfaatkan abu “layan” atau abu dapur sebagai pengganti pupuk K, terutama diberikan pada fase pertumbuhan vegetatif tanaman padi.

Seperti telah disinggung sebelumnya, penerapan teknologi adaptif sebagai aksi adaptasi sekaligus merupakan *co-benefit* dari aksi tersebut, yaitu penurunan emisi GRK penyebab pemanasan global

dan perubahan iklim. Misalnya, penggunaan varietas padi berumur pendek/genjah dalam aksi adaptasi ternyata juga berkontribusi terhadap penurunan emisi GRK. Beberapa varietas umur pendek/genjah memberikan nilai emisi GRK relatif rendah, antara lain IR64, IR36, Inpari 13, Way Apoburu, dan Dodokan. Emisi GRK melalui tanaman padi ke atmosfer, selain dipengaruhi oleh karakteristik varietas seperti morfologi, fisiologis, dan daya oksidasi di perakaran, juga ditentukan oleh kelengasan tanah, ketersediaan bahan organik yang mudah terdegradasi, keasaman tanah (pH), suhu tanah, dan mikroba metanogen maupun metanotrof di perakaran tanaman padi (Mulyadi & Wihardjaka, 2014). Dari hasil penelitian Wihardjaka, Yulianingsih, dan Yulianingrum (2020), beberapa varietas unggul dengan umur pendek/genjah mempunyai indeks emisi relatif rendah (Tabel 3.3). Indeks emisi dapat digunakan sebagai panduan memilih varietas padi dengan daya hasil tinggi, tetapi rendah emisi. Produktivitas dan daya emisi GRK varietas padi dapat diketahui dari indeks emisi. Indeks emisi menggambarkan volume emisi GRK melalui tanaman padi untuk setiap kg atau ton gabah yang dihasilkan (Mulyadi & Wihardjaka, 2014). Indeks emisi dihitung dari pembagian antara emisi GRK dan hasil gabah (Wihardjaka, Yulianingsih, & Yulianingrum, 2020). Misalnya, indeks emisi dari varietas Dodokan sebesar 0,017 kg CH<sub>4</sub>/kg gabah, artinya setiap 1 kg gabah dilepaskan/diemisikan metana sebesar 17 g CH<sub>4</sub> (Tabel 3.3).

Sebagian besar petani lahan sawah tadah hujan belum sepenuhnya memberikan pupuk sesuai kebutuhan tanaman dan status hara dalam tanah. Penerapan pemupukan berimbang meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk sekaligus menurunkan emisi GRK, terutama dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O). Dalam pemupukan berimbang, lahan sawah tadah hujan juga memerlukan pasokan bahan organik untuk memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanahnya. Pemberian bahan organik pada tanah sawah cenderung meningkatkan emisi GRK. Namun, bahan organik yang “matang” (nisbah C/N rendah) menghasilkan GRK lebih rendah, seperti jerami padi yang dikomposkan memberikan indeks emisi lebih rendah dibandingkan pupuk kandang dari kotoran sapi, jerami segar, dan pupuk hijau *Sesbania* spp.



**Tabel 3.3** Indeks Emisi dari Beberapa Varietas Padi Unggul

Varietas	Umur (hari)	Indeks Emisi (kg CH <sub>4</sub> /kg gabah)	Varietas	Umur (hari)	Indeks Emisi (kg CH <sub>4</sub> /kg gabah)
Memberamo	115–120	0,024	Inpari 20	102	0,027
IR64	110–120	0,010	Inpari 23	113	0,037
IR36	110–120	0,017	Inpari 24	111	0,020
Dodokan	75	0,017	Inpari 29	110	0,030
Way Apoburu	115–120	0,016	Inpari 30	111	0,038
Ciherang	116–125	0,025	Inpari 31	112	0,036
Inpari 13	99	0,017	Inpari 32	120	0,030
Inpari 18	102	0,033	Inpari 33	107	0,032
Inpari 19	104	0,024			

Sumber: Mulyadi dan Wihardjaka (2014), Wihardjaka (2015), Wihardjaka, Yulianingsih, dan Yulianingrum (2020)

(Tabel 3.4). Bahan organik matang selain dapat memasok sebagian besar hara esensial juga meningkatkan cadangan karbon dalam tanah dan secara tidak langsung sebagai upaya mitigasi emisi GRK.

**Tabel 3.4** Indeks Emisi GRK dari Beberapa Bahan Organik di Lahan Sawah Tadah Hujan

Bahan Organik	Indeks Emisi (kg CH <sub>4</sub> /kg gabah)
Tanpa bahan organik	0,054
Pupuk kandang kotoran sapi 5 ton/ha	0,048
Jerami segar 5 ton/ha	0,059
Jerami dikomposkan 5 ton/ha	0,033
Pupuk hijau <i>Sesbania</i> spp. 5 ton/ha	0,082

Sumber: Data dihitung dari Wihardjaka dan Harsanti (2021)

Pengendalian OPT secara terpadu perlu dilakukan secara intensif selama fase pertumbuhan padi sistem *walik* jerami untuk mencegah kehilangan hasil yang nyata. Dengan memperhatikan kelestarian lingkungan, penggunaan bahan alami, seperti pestisida hayati, baik

yang berasal dari mikroba maupun nabati, sangat dianjurkan. Bahan-bahan alami potensial menggantikan pestisida kimiawi yang tersedia melimpah dan mudah diperoleh di sekitar lingkungan kegiatan pertanian. Indonesia mempunyai ±2.000 jenis tumbuhan yang berpotensi menghasilkan beragam formula pestisida nabati. Beberapa bahan berbasis sumber daya lokal dapat digunakan sebagai pestisida nabati, misalnya kunyit, daun randu, biji srikaya, daun kenikir, daun/biji mimba, daun/biji mindi, biji mahoni, bengkoang, serai, biji sirsak, daun selasih, daun kemangi, akar tuba, daun sembung, cengkih, daun sirih, serai, pinang, tembakau, dan brotowali (Sutriadi dkk., 2019). Tumbuhan yang mengandung senyawa fitokimia, seperti eugenol, alkaloid, polifenol, tanin, dan saponin, dapat dimanfaatkan sebagai pestisida nabati (Sutriadi dkk., 2019). Pemberian rutin pestisida nabati oleh petani di lahan tadah hujan di Pati dan Grobogan memberikan hasil gabah kering panen rata-rata lebih tinggi 0,8%; 24,8%; dan 48,7% dibandingkan tanpa insektisida nabati masing-masing pada varietas Mekongga, Situ Bagendit, dan Ciherang (Sutriadi dkk., 2019).

Dalam pendekatan pengendalian OPT secara terpadu, penggunaan pestisida kimiawi menjadi pilihan terakhir dengan mempertimbangkan batas ambang ekonomi serangan OPT (Tabel 3.5). Secara

**Tabel 3.5** Ambang Ekonomi Serangan Beberapa Hama pada Tanaman Padi

Hama Padi	Ambang Ekonomi tunggal	Fase Pertumbuhan
Wereng coklat	9 ekor per rumpun	Kurang dari 40 hst
	18 ekor per rumpun	Lebih dari 40 hst
Penggerek batang	4 hari setelah penerbangan: 6% sundep	Vegetatif/generatif
	9% beluk	Vegetatif/reproduktif
Walang sangit	10 ekor per rumpun	Masak susu
Pelipat daun	13% daun rusak	Vegetatif
Penggulung daun	25% daun rusak	Kurang dari 40 hst
	15% daun rusak	Lebih dari 40 hst

Keterangan: hst = hari setelah tanam

Sumber: Diratmaja dan Zakiah (2015) dalam Sutriadi dkk. (2019)

umum, petani cenderung menggunakan pestisida kimiawi dengan alasan pestisida tersebut lebih nyata hasilnya dalam mengendalikan OPT dalam jangka waktu pendek. Namun, penggunaan yang berlebihan, tidak tepat, dan tidak bijaksana dalam jangka panjang akan membahayakan lingkungan dan kesehatan manusia. Paparan pestisida dalam jangka panjang akan mengganggu kesehatan organ mata, kulit, pernapasan, jantung, pencernaan, dan sistem saraf (Sutriadi dkk., 2019).

Upaya adaptasi dampak perubahan iklim di lahan sawah tadah hujan secara tidak langsung sekaligus merupakan keuntungan dalam upaya mitigasi emisi GRK. Dengan kata lain, upaya adaptasi merupakan *co-benefit* untuk tindakan mitigasi emisi GRK. Menurut Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (2019), strategi penurunan emisi metana dari tanah sawah tadah hujan meliputi penerapan sistem tanpa olah tanah, penggantian pupuk urea *prill* dengan amonium sulfat atau urea tablet, serta penggantian varietas padi dengan varietas padi unggul dengan emisi rendah.

Produktivitas budi daya padi dengan sistem *walik* jerami umumnya lebih rendah daripada produktivitas padi gogo rancah. Berbagai terobosan dengan strategi terintegrasi diperlukan untuk mengungkit produktivitas padi *walik* jerami, minimal mendekati produktivitas padi gogo rancah. Peningkatan produktivitas padi sawah sistem *walik* jerami harus didukung dengan komitmen, pemahaman, dan keterampilan yang tepat dengan mempertimbangkan faktor-faktor spesifik lokasi, seperti sumber daya tanah, iklim, dan infrastruktur pertanian yang tersedia di sekitarnya. Beberapa tahapan atau strategi terintegrasi yang dipertimbangkan, antara lain

- 1) pemilihan varietas unggul yang sesuai untuk agroekologi lahan sawah tadah hujan dan memiliki potensi hasil tinggi, serta tahan terhadap OPT dan cekaman abiotik lingkungan;
- 2) pengelolaan tanah yang baik dan optimal, seperti penggunaan pupuk organik dan anorganik yang sesuai, untuk dapat menyediakan kebutuhan tanaman padi akan hara dan memudahkan jelajah akar dalam menyerap hara dan lengas tanah; pemberian

bahan organik, seperti kompos, dan pengembalian jerami padi ke dalam tanah dapat meningkatkan kualitas tanah, mempertahankan kelembapan, dan mengurangi erosi tanah, pastikan jerami dihancurkan dengan baik sebelum ditanamkan agar tidak mengganggu pertumbuhan padi;

- 3) pengelolaan air secara bijaksana dan efisien melalui pemanfaatan air hujan dengan teknologi embung untuk menjamin pasokan air yang cukup terutama pada fase-fase pertumbuhan kritis, termasuk fase pembentukan malai atau pengisian bulir gabah;
- 4) pengendalian OPT secara terpadu dan terintegrasi, termasuk penggunaan varietas tahan hama dan penyakit, dan praktik budi daya yang mencegah penyebaran penyakit;
- 5) penggunaan teknologi pertanian modern, seperti pemantauan lahan melalui sensor atau aplikasi *mobile*, untuk memantau pertumbuhan tanaman dan mengidentifikasi masalah potensial dengan cepat;
- 6) pendekatan rotasi tanaman untuk mencegah akumulasi patogen dan hama tertentu dalam tanah; tanaman sela yang sesuai dapat membantu mempertahankan kesuburan tanah dan mengurangi risiko penyakit;
- 7) pendidikan dan pelatihan kepada petani tentang praktik pertanian yang baik dan pengenalan inovasi terbaru dalam budi daya padi, akan membantu petani memahami metode terbaru untuk meningkatkan produktivitas tanaman;
- 8) pemantauan secara teratur terhadap pertumbuhan tanaman dan hasil panen; evaluasi hasil ini akan membantu dalam mengidentifikasi area-area yang perlu ditingkatkan dan memperbaiki pendekatan yang digunakan; dan
- 9) siaganya pengambil kebijakan, akademisi, peneliti, atau pakar pertanian lainnya dalam pendampingan terhadap petani untuk memberikan saran dan panduan yang lebih mendalam tentang pendekatan spesifik yang dapat diterapkan dalam budi daya padi dengan sistem *walik* jerami pada musim kemarau.

## F. Penutup

Melalui kajian panjang, Kementerian Pertanian telah berhasil menyediakan teknologi unggul (inovatif) yang adaptif terhadap kekeringan akibat kejadian iklim ekstrem. Selain itu, kearifan lokal yang telah diterapkan oleh masyarakat secara turun-temurun terbukti tahan terhadap ancaman kekeringan. Selain penerapan padi gogo rancah, budi daya padi *walik* jerami merupakan salah satu kearifan lokal di lahan sawah tadah hujan di Jawa Tengah untuk menyelamatkan padi musim tanam kedua dari cekaman kekeringan. Budi daya padi dengan sistem *walik* jerami adalah suatu upaya adaptasi kekeringan pada musim tanam ke-2 di lahan sawah tadah hujan. Pada sistem *walik* jerami ini, persemaian disiapkan dengan “culik” beberapa hari sebelum tanaman padi musim tanam pertama (biasanya padi gogo rancah) dipanen dan tanah segera diolah secara minimum untuk tanam pindah padi musim tanam kedua. Upaya adaptasi tersebut sekaligus dapat menjadi upaya mitigasi emisi gas rumah kaca melalui komponen teknologi yang diterapkan dalam budi daya padi dengan sistem *walik* jerami.

Produktivitas padi *walik* jerami umumnya lebih rendah daripada produktivitas padi gogo rancah. Tantangan ke depan, integrasi kearifan lokal dengan inovasi teknologi yang sesuai diperlukan untuk menghasilkan perbaikan atau terobosan/inovasi teknologi adaptif sebagai pengungkit produktivitas padi *walik* jerami. Budi daya padi dengan sistem *walik* jerami sebaiknya diintegrasikan dengan penggunaan varietas toleran kekeringan dan berumur genjah, pemupukan berimbang, pengendalian gulma, pengendalian hama dan penyakit tanaman secara terpadu, pemanfaatan sumber air alternatif, seperti embung, serta penggunaan air permukaan.

## Referensi

Adu-Poku, D., Ackerson, N. O. B., Devine, R. N. O. A., & Addo, A. G. (2022). Climate mitigation efficiency of nitrification and urease inhibitors: impact on N<sub>2</sub>O emission—A review. *Scientific African*, 16, e01170. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01170>

- Al Viandari, N., Wihardjaka, A., Pulunggono, H. B., & Suwardi. (2022). Sustainable development strategies of rainfed paddy fields in Central Java, Indonesia: A review. *Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture*, 37(2), 275–288. <https://doi.org/10.20961/carakatani.v37i2.58242>
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. (2011a). *Pedoman umum: Adaptasi perubahan iklim sektor pertanian*.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. (2011b). *Roadmap strategi sektor pertanian menghadapi perubahan iklim* (Edisi revisi).
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. (2019). *Pedoman umum: Inventarisasi gas rumah kaca dan mitigasi perubahan iklim sektor pertanian*.
- Boling, A. A., Bouman, B. A. M., Tuong, T. P., Murty, M. V. R., & Jatmiko, S. Y. (2007). Modelling the effect of groundwater depth on yield-increasing interventions in rainfed lowland rice in Central Java, Indonesia. *Agricultural Systems*, 92(1–3), 115–139. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2006.05.003>
- Boling, A., Tuong, T. P., Jatmiko, S. Y., & Burac, M. A. (2004). Yield constraints of rainfed lowland rice in Central Java, Indonesia. *Field Crops Research*, 90(2–3), 351–360. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.04.005>
- Badan Pusat Statistik. (2021). *Statistik Indonesia 2021*. <https://www.bps.go.id/publication/2021/02/26/938316574c78772f27e9b477/statistik-indonesia-2021.html>
- Dianga, A.-I., Musila, R. N., & Joseph, K. W. (2022). Rainfed rice farming production constrains and prospects, the Kenyan situation. Dalam M. Huang (Ed.), *Integrative advances in rice research*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.95205>
- El-Nahhal, I., & El-Nahhal, Y. (2021). Pesticide residues in drinking water, their potential risk to human health and removal options. *Journal of Environmental Management*, 299. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113611>
- Halder, K., Islam, M., Manir, M., & Ali, M. (2019). Moisture Stress and Different Rates of Nutrients on Growth and Yield of Rice. *Bangladesh Rice Journal*, 22(2), 23–30. <https://doi.org/10.3329/brj.v22i2.44039>

- Ladha, J. K., Wade, L. J., Dobermann, A., Reichardt, W., Kick, G., J. D., & Pigginn, C. (Ed.). (1998). *Rainfed lowland rice: Advances in nutrients management research*. International Rice Research Institute. [https://books.google.co.id/books/about/Rainfed\\_Lowland\\_Rice.html?id=qW5Ysc3-f40C&redir\\_esc=y](https://books.google.co.id/books/about/Rainfed_Lowland_Rice.html?id=qW5Ysc3-f40C&redir_esc=y)
- Kalsum, U., Sabat, E., & Imadudin, P. (2020). Analisa hasil rendemen giling dan kualitas beras pada penggilingan padi kecil keliling. *Agrosaintifika: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 2(2), 125-130.
- Kang, S. W., Yun, J. J., Park, J. H., Cheong, Y. H., Park, J. H., Seo, D. C., & Cho, J. S. (2021). Effects of biochar and barley straw application on the rice productivity and greenhouse gas emissions of paddy field. *Applied Biological Chemistry*, 64(1). <https://doi.org/10.1186/s13765-021-00666-7>
- Kasno, A., Rostaman, T., & Setyorini, D. (2016). Peningkatan produktivitas lahan sawah tadah hujan dengan pemupukan hara N, P, K dan penggunaan padi varietas unggul. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 40(2), 147-157.
- Khatri-Chhetri, A., Sapkota, T. B., Maharjan, S., Cheerakkollil Konath, N., & Shirsath, P. (2023). Agricultural emissions reduction potential by improving technical efficiency in crop production. *Agricultural Systems*, 207, Article 103620. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2023.103620>
- Kim, Y., Chung, Y. S., Lee, E., Tripathi, P., Heo, S., & Kim, K. H. (2020). Root response to drought stress in rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Molecular Sciences*, 21(4), 12–14. <https://doi.org/10.3390/ijms21041513>
- Mulyadi, M., & Wihardjaka, A. (2014). Emisi gas rumah kaca dan hasil gabah dari tiga varietas padi pada lahan sawah tadah hujan bersurjan. *Jurnal Penelitian Pertanian Tanaman Pangan*, 33(2), 116–121. <https://doi.org/10.21082/jpptp.v33n2.2014.p116-121>
- Mulyani, A., Mulyanto, B., Barus, B., Panuju, D. R., Litbang, B., & Lahan, S. (2022). Analisis kapasitas produksi lahan sawah untuk ketahanan pangan nasional menjelang tahun 2045. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 16(1), 33–50. <https://epublikasi.pertanian.go.id/berkala/jsl/article/view/3314>
- Nikmah, K., & Musni, M. (2019). Peningkatan kemampuan serapan nitrogen (N) tanaman padi (*Oryza sativa* L.) melalui mutasi gen secara kimiawi. *Agrotrop*, 17(1), 1–20. <http://jurnal.unmuhjember.ac.id/index.php/AGRITROP/article/view/2182/1765>

- Norberg, L., Hellman, M., Berglund, K., Hallin, S., & Berglund, Ö. (2021). Methane and nitrous oxide production from agricultural peat soils in relation to drainage level and abiotic and biotic factors. *Frontiers in Environmental Science*, 9, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.631112>
- Noviana, I., Haryati, Y., Sari, R., & Sunandar, N. (2021). Adaptation to climate change by using drought tolerant and early maturing rice varieties in Majalengka Regency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 648(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/648/1/012118>
- Nurrahma, A. H. I., & Melati, M. (2013). Pengaruh jenis pupuk dan dekomposer terhadap pertumbuhan dan produksi padi organik. *Buletin Agrohorti*, 1(1), 149–155. <https://doi.org/10.29244/agrob.1.1.149-155>
- Oertel, C., Matschullat, J., Zurba, K., Zimmermann, F., & Erasmi, S. (2016). Greenhouse gas emissions from soils—A review. *Chemie Der Erde*, 76(3), 327–352. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2016.04.002>
- Pandey, V., & Shukla, A. (2015). Acclimation and tolerance strategies of rice under drought stress. *Rice Science*, 22(4), 147–161. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2015.04.001>
- Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon untuk Pencapaian Target Kontribusi yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca dalam Pembangunan Nasional. (2021). <https://peraturan.go.id/id/perpres-no-98-tahun-2021>
- Raza, S. M. A., Farrukh Saleem, M., Mustafa Shah, G., Jamil, M., & Haider Khan, I. (2013). Potassium applied under drought improves physiological and nutrient uptake performances of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 13(1), 175–185. <https://doi.org/10.4067/s0718-95162013005000016>
- Sutamihardja, R. (2009). *Perubahan lingkungan global: Sebuah antologi tentang bumi kita*. Yayasan Pasir Luhur.
- Sutriadi, M. T., Harsanti, E. S., Wahyuni, S., & Wihardjaka, A. (2019). Pestisida nabati: Prospek pengendali hama ramah lingkungan. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 13(2), 89–101.



- Wade, L. J., George, T., Ladha, J. K., Singh, U., Bhuiyan, S. I., & Pandey, S. (1998). Opportunities to manipulate nutrient-by-water interactions in rainfed lowland rice systems. *Field Crops Research*, 56(1-2), 93-112. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(97\)00142-1](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(97)00142-1)
- Wihardjaka, A. (2015). Mitigasi emisi gas metana melalui pengelolaan lahan sawah. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 34(3), 95. <https://doi.org/10.21082/jp3.v34n3.2015.p95-104>
- Wihardjaka, A., & Harsanti, E. S. (2021). Dukungan pupuk organik untuk memperbaiki kualitas tanah pada pengelolaan padi sawah ramah lingkungan. *Pangan*, 30(1), 53-64. <https://doi.org/10.33964/jp.v30i1.496>
- Wihardjaka, A., Pramono, A., & Sutriadi, M. T. (2020). Peningkatan produktivitas padi sawah tadah hujan melalui penerapan teknologi adaptif dampak perubahan iklim. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 14(1), 25-36.
- Wihardjaka, A., Yulianingsih, E., & Yulianingrum, H. (2020). Methane flux from high-yielding Inpari rice varieties in Central Java, Indonesia. *SAINS TANAH - Journal of Soil Science and Agroclimatology*, 17(2), 128-134. <https://doi.org/10.20961/stjssa.v17i2.38459>