

PENGELOLAAN AIR PADI SAWAH IRIGASI: ANTISIPASI KELANGKAAN AIR

Didiek Setiobudi¹ dan Achmad M. Fagi²

¹Balai Besar Penelitian Tanaman Padi

²Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan air untuk padi sawah irigasi akan semakin langka, hal tersebut diperparah oleh kerusakan daerah aliran sungai (DAS) serta perubahan iklim global. Konsekuensi dari kelangkaan air tersebut dapat diperkirakan sebagai berikut.

- Produksi padi dan palawija akan turun karena luas areal tanam berkurang, dan kebutuhan tanaman tidak terpenuhi. Sekitar 70% produksi padi nasional berasal dari padi sawah irigasi, dimana Pulau Jawa menyumbang sekitar 57% produksi padi nasional dan sawah irigasi umumnya berada di Pulau Jawa.
- Penggunaan air akan sangat kompetitif yang dapat berpengaruh negatif terhadap kehidupan sosial-ekonomi masyarakat dan dapat memicu konflik antarsektor dan antardaerah yang berada dalam kawasan DAS.

Mengantisipasi situasi demikian, pemerintah mengeluarkan Peraturan Pemerintah (PP) No. 77 tahun 2001, tentang irigasi. Dalam PP No. 77 tersebut pengelolaan irigasi didefinisikan sebagai segala usaha pendayagunaan air irigasi yang meliputi operasi dan pemeliharaan, pengamanan, rehabilitasi, dan peningkatan jaringan irigasi. Kalau pendekatan *one river, one management* dijadikan dasar, artinya tidak hanya menyangkut operasi dalam bentuk penyaluran air irigasi dan infrastruktur irigasi, tetapi juga pengamanan dan rehabilitasi DAS dari mana air di sungai-sungai dan waduk-waduk berasal, dan digunakan untuk irigasi.

Dari uraian di atas tampak bahwa pengelolaan sumber daya air adalah tanggung jawab lintas departemen. Departemen Pertanian bertanggung jawab dalam hal optimalisasi penggunaan air irigasi untuk pertanian, khususnya tanaman pangan.

Perhatian terhadap perubahan iklim global dari pihak yang bertanggung jawab dalam pengelolaan sumber daya air menjadi lebih besar setelah diselenggarakannya Konferensi Internasional Perubahan Iklim di Denpasar, Bali, pada bulan Desember 2007. Perubahan iklim yang pada 2–3 dekade lalu masih dianggap sebagai wacana dan perdebatan akademis, dewasa ini dibuktikan

kebenarannya, seperti ditayangkan dalam video *Inconvenient Truth* yang dipersiapkan oleh Al Gore (mantan wakil Presiden Amerika Serikat). Dokumentasi bukti-bukti tentang dampak perubahan iklim menjadikan Al Gore memperoleh Hadiah Nobel.

Dalam makalah ini didiskusikan tentang pengelolaan sumber daya air dalam skala makro dan mikro serta langkah strategis ke depan.

2. PENGELOLAAN AIR DALAM SKALA MIKRO

2.1 Perspektif Daerah Aliran Sungai

2.1.1 Geomorfologi Lahan Pertanian Padi

Sekitar 45% wilayah Indonesia didominasi oleh topografi berbukit dan bergunung. Sungai-sungai berhulu di wilayah perbukitan dan pegunungan. Sebaran dari wilayah perbukitan dan pegunungan ditunjukkan dalam Tabel 1. Wilayah perbukitan dan pegunungan dengan ketinggian di atas 500 m tipe B (bersambung, tetapi terpisah-pisah oleh batas yang agak jelas) dan tipe C (bersambung, tapi terpisah-pisah oleh batas yang sangat jelas) adalah yang terluas.

Wilayah perbukitan dan pegunungan merupakan gabungan dari geomorfologi yang terdiri atas DAS atau beberapa sub-DAS. Dalam geomorfologi DAS dengan sub-DAS-nya tersebut dijumpai berbagai bentuk lahan (*landform*) pertanian padi seperti diilustrasikan dalam Gambar 1. Penciri utama dari bentuk lahan pertanian padi dapat dibedakan sebagai berikut:

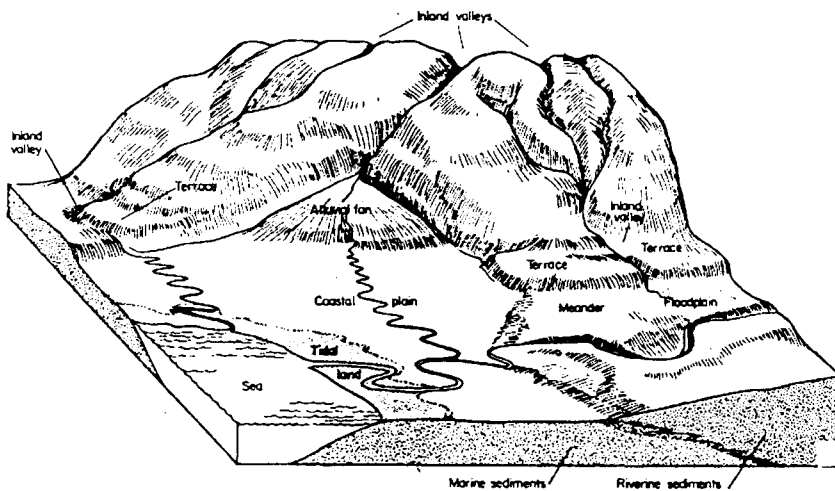
Tabel 1. Sebaran dan luas lahan perbukitan dan pegunungan

Pulau	Perbukitan (500 m) Tipe A	Pegunungan (>500 m) Tipe B	Pegunungan (>500 m) Tipe C	Total
			(x 1000 ha)	
Sumatera	4.432	814	9.992	15.238
Jawa & Madura	3.576	1.250	1.646	6.472
Kalimantan	3.992	8.055	10.471	22.518
Sulawesi	2.596	3.337	7.996	13.929
Maluku & Nusa Tenggara	4.047	4.500	2.437	10.984
Papua	3.141	12.284	3.605	19.030
	21.784	30.240	36.147	88.171

¹⁾Tipe A – sangat terpecar;

Tipe B – bersambung, tapi terpisah-pisah oleh batas agak jelas Tipe C – bersambung, tapi ter pisah-pisah dengan batas yang sangat jelas.

Sumber: Chiu *et al.*, 2000



Gambar 1. Bentuk lahan (*landform*) pertanian padi dalam daerah aliran sungai (Moorman dan van Breemen, 1978)

- Lembah pedalaman (*inland valley*) – lahan basah di bagian atas dari DAS, terdapat akumulasi endapan aluvial atau koluviyal yang berasal dari lahan kering di atasnya. Oleh sebab itu, jenis tanahnya mencerminkan ciri tanah dari lahan kering tersebut. Perbedaan dapat terjadi, misalnya kejenuhan basa dan mineral liat akibat rezim hidromorfik dari lembah.
- Kipas aluvial (*alluvial fans*) – hamparan sempit di antara perbukitan yang basah, di mana tanah tergerus oleh air limpasan sungai-sungai kecil dan mengendap di situ karena alirannya melambat. Hamparannya miring dan melandai ke bagian yang lebih rendah. Oleh sebab itu, terjadi perbedaan tekstur tanah secara gradual dari bagian atas ke bawah.
- Dataran banjir meander (*meander flood plain*) – hamparan berukuran sempit sampai luas dan datar yang terbentuk di kanan kiri jaluran sungai sungai besar. Sedimentasi terjadi karena belokan-belokan sungai memperlambat aliran sungai. Maka tekstur tanah umumnya berpasir atau tekstur tengahan (*medium texture*). Di bagian yang rendah, tekstur tanah halus dan berdrainase jelek, bahkan dapat dijumpai tanah bergambut.
- Teras aluvial (*alluvial terraces*) – hamparan datar yang semula berupa kumpulan/ jaringan sungai-sungai diselingi oleh lekukan-lekukan kecil atau hamparan dataran banjir marin. Tangga-tangga hamparan datar terbentuk secara bertahap dari atas ke bawah akibat makin melambatnya aliran air permukaan yang mengarah dari atas ke bawah.

- Dataran banjir marin (*marine floodplain*) – hamparan datar pertanian padi ke arah pantai. Ada dua macam dataran banjir marin, yaitu (a) bagian terendah dari delta sungai berupa hamparan sempit sampai luas, dan (b) hamparan sepanjang pantai yang selalu basah dan ditumbuhi mangrove, di bagian ini dijumpai lahan gambut atau lahan sulfat masam dan ada akumulasi lapisan pirit (FeS) di bawah permukaan tanah.

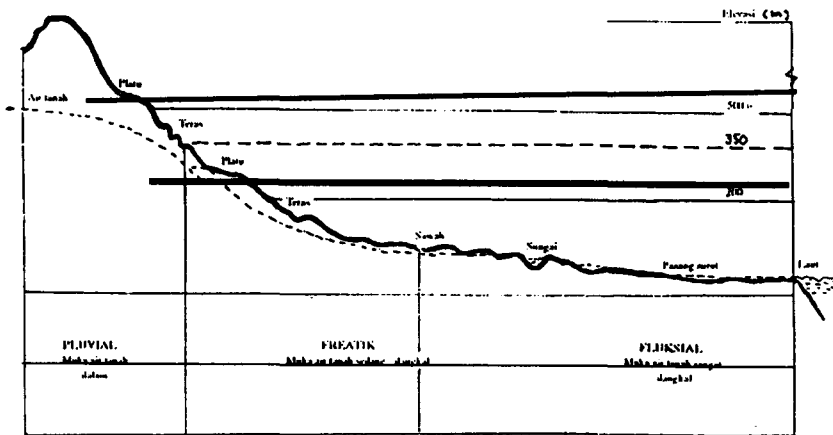
2.1.2 Hidrologi Lahan Pertanian Padi

Padi yang ditanam pada berbagai bentuk lahan, seperti diuraikan di muka, dipengaruhi juga oleh kondisi hidrologis. Kombinasi variasi bentuk lahan dan hidrologi mengaburkan terminologi sistem produksi padi (IRRI, 1989).

Istilah padi gogo dan padi sawah irigasi misalnya, walaupun dapat dimengerti tetapi secara semantik dan teknik tidak tepat (Moormann dan van Breemen, 1978). Penggunaan istilah itu menggambarkan seakan-akan ada perbedaan jenis padi dan mungkin juga perbedaan sifat genetiknya. Padahal, antara padi gogo dan padi sawah irigasi tidak berbeda morfologi dan genetiknya. Perbedaan kemampuan adaptasi jenis padi terhadap berbagai kondisi lingkungan tumbuh adalah wajar, seperti halnya perbedaan adaptasi tanaman kacang-kacangan, biji-bijian, dan umbi-umbian.

Persyaratan bagi klasifikasi lahan pertanian padi memerhatikan (a) posisi topografi lahan pertanian padi berkenaan dengan kondisi hidrologisnya, (b) sumber air alami dari pertanian padi, dan (c) peluang modifikasi dari sistem tata air alami oleh kegiatan manusia, baik topografi maupun tata airnya. Posisi lahan pertama padi dalam toposequen disederhanakan dari Gambar 1 dengan membuat transek seperti diilustrasikan dalam Gambar 2. Ciri dari masing-masing pada posisinya dalam toposequen dilihat dari rezim air adalah sebagai berikut:

- (a) Lahan pertanian padi pada posisi *pluvial*, air untuk tanaman padi adalah curah hujan. Kelebihan air keluar dari lahan pertanian melalui perkolasi atau aliran permukaan. Dalam toposequen lahan pertanian padi *pluvial* berada pada bagian atas dengan kemiringan landai sampai terjal. Air tanah dalam, lahan pertanian padi tidak pernah tergenang air.
 Kegunaan - zona tangkapan hujan, diutamakan untuk kehutanan atau hutan tanaman industri.
 Masalah - terancam oleh penebangan kayu secara ilegal yang menjurus ke penggundulan hutan, berkurangnya daya simpan air, erosi tanah; perluasan pertanian padi dengan membuka hutan tidak dianjurkan untuk menghindari meluasnya kerusakan DAS dibagian hulu.
- (b) Lahan pertanian padi pada posisi *phreatic*, air untuk tanaman padi berasal dari curah hujan dan air tanah (*phreatic water*) yang relatif dangkal,



Gambar 2. Ilustrasi transek satuan wilayah pertanian berbasis DAS berdasarkan kedalaman muka air tanah dan fungsinya (Fagi dan Manwan, 1992)

terutama pada saat hujan lebat. Air limpasan permukaan dapat juga masuk ke lokasi pertanian. Kelebihan air terbuang melalui limpasan permukaan. Lahan pertanian jarang tergenang beberapa jam selama dan setelah hujan turun. Lahan pertanian padi freatik terletak pada lahan berlereng di bagian bawah (*foot slope*), karena itu air tanah relatif dangkal.

Kegunaan - zona konservasi tanah, air, dan pemanfaatan air (proporsi antara zona konservasi dan pemanfaatan tanah/air bergantung pada kepadatan penduduk); ditanami aneka tanaman tahunan, tanaman setahun dan tanaman semusim, yang ditanam secara monokultur atau campuran (*mixed cropping*).

Masalah - budi daya tanaman setahun dan tanaman semusim tidak menerapkan kaedah konservasi, kekeringan pada musim kemarau, erosi tanah pada musim hujan; proteksi bagian-bagian yang peka terhadap longsor dengan pengawasan yang ketat.

- (c) Lahan pertanian padi pada posisi fluxial, air bagi pertanian padi berasal dari curah hujan, aliran permukaan, dan sungai. Lahan pertanian padi fluksial berada pada bagian terendah dalam toposequens, seperti lembah dan cekungan. Umumnya, perkolasi lambat dan drainase kurang baik sehingga lahan selalu tergenang pada musim hujan.

Kegunaan - zona penggunaan air (pertanian, perikanan, domestik dan industri); ditanami tanaman semusim (padi, palawija), dalam sistem monokultur, tanam berurutan (*relay cropping*) atau tanam bersisipan (*intercropping*).

Masalah - efisiensi penggunaan air rendah, pelanggaran kalender tanam, konversi lahan produktif untuk nonpertanian, konflik kepentingan antarkabupaten.

Modifikasi rezim air dibuat oleh manusia pada posisi pluvial dan phreatik, melalui: (a) perataan tanah dan pembuatan galengan di sekeliling petakan pertanaman padi untuk menahan air agar sawah tergenang, dan (b) pengaturan air dalam bentuk irigasi, air berasal dari limpasan permukaan, sumber-sumber air atau dari sungai-sungai kecil, yang ditampung dalam saluran air sederhana. Sistem irigasi nonteknis atau setengah teknis dijumpai pada posisi pluvial dan freatik.

Rezim air yang dibuat secara artifisial diindikasikan dengan menambahkan kata *anthraquic* pada kata *fluvial* dan *phreatik*. Moormann dan van Breemen (1978) mengusulkan untuk mengganti terminologi berbasis tanaman menjadi terminologi berbasis lahan (Tabel 2).

2.2 Perspektif Hamparan Wilayah Irigasi

Dengan asumsi bahwa konversi lahan sawah irigasi terkendali karena diterapkannya Undang-undang Lahan Sawah Abadi, padi sawah irigasi masih akan menjadi andalan produksi padi nasional, mungkin sampai akhir abad ke-21. Padi sawah di lahan pasang surut juga menjadi andalan berdasarkan pengalaman di Sumatera Selatan. Provinsi ini berhasil mencapai swasembada beras setelah diterapkannya intensifikasi melalui P_2SLPS_2 (Proyek Pengembangan Sistem Usaha Pertanian Lahan Pasang Surut di Sumatera Selatan) (Fagi dan Las, 2007).

Dalam fisiografi lahan pertanaman padi, lahan sawah irigasi berada di posisi freatik terbawah atau pada posisi fluksial teratas, sedangkan lahan rawa pasang surut berada di posisi fluksial terbawah, bahkan sampai masuk beberapa kilometer ke dalam sepanjang aliran sungai-sungai besar yang melewati dataran marin. Sampai tahun 2005, luas lahan sawah irigasi masih dominan, sedangkan lahan pasang surut yang ditanami padi masih jauh di bawah luas yang telah direklamasi, yaitu sekitar 4,0 juta ha (Tabel 3). Luas pasang surut yang ditanami di Indonesia adalah 657.546 ha, di Jawa 659 ha, luar Jawa 656.887 ha.

2.2.1 Lahan Sawah Irigasi

Penggolongan tanam. Penggolongan tanam (*staggered planting*) padi sawah umum diterapkan di wilayah irigasi, karena jaringan irigasi memang dirancang untuk memfasilitasinya. Saluran tersier dengan saluran kuartier dan saluran cacingnya dirancang ukurannya untuk menyalurkan air sekitar 1,5 l/detik/ha. Kalau air disalurkan untuk mengairi petakan pertanaman secara

Tabel 2. Terminologi lahan pertanian padi berdasarkan fungsi fisiologi dan hidrologi

Intensitas irigasi	Kategori fisiologi dan hidrologi	Ada galengan dan perataan	Rezim penggenangan	Terminologi baru	Terminologi lama
Tidak ada atau rendah; ketersediaan air tergantung suplai alami	Pluvial	Tidak	Tidak tergenang	Lahan padi pluvial	Gogo
		Ya	1,2,3	Lahan padi pluvial anthraquic	Tadah hujan
	Phreatik	Tidak	Tidak tergenang	Lahan padi phreatik	Tadah hujan
		Ya	1,2,3	Lahan padi phreatik anthraquic	Rawa
Air cukup tersedia dan tak tergantung suplai air alami	Fluxial	Tidak atau ya	2,3,5,6,7,8	Lahan padi fluxial	Sawah
	Irigasi	Jarang tak tergenang	4	Lahan padi irigasi	

Sumber : Moormann dan van Breemen, 1978.

Rezim 1 : dangkal, tak menentu, genangan singkat;

Rezim 2 : dangkal, tak menentu, genangan panjang.

Rezim 3 : dangkal, berlanjut, genangan tak terkendali.

Rezim 4 : dangkal, genangan terkendali terus dengan irigasi;

Rezim 5 : dangkal sampai genangan agak dalam musiman;

Rezim 6 : dalam musiman;

Rezim 7 : kedalaman sedang atau dangkal setelah genangan dalam;

Rezim 8 : genangan pasang surut.

Tabel 3. Luas lahan sawah irigasi di Jawa dan luar Jawa pada tahun 2005

Jawa dan kepulauan lain	Teknis	Irigasi setengah teknis	Non teknis (sederhana)	Total
Jawa	1.471.258	391.584	601.972	2.464.814
Luar Jawa	714.683	598.861	974.262	2.287.806
Indonesia	2.185.914	990.445	1.576.234	4.752.620

Sumber: Puslitbangtan dan IRRi, 2007.

¹Irigasi teknis: saluran-saluran air dilengkapi pintu-pintu air, debit air terukur;

Irigasi setengah teknis: saluran-saluran air dilengkapi pintu-pintu air, debit air tidak terukur;

Irigasi non teknis (sederhana): saluran air tanpa pintu-pintu air (hamparan sawah <2000 ha).

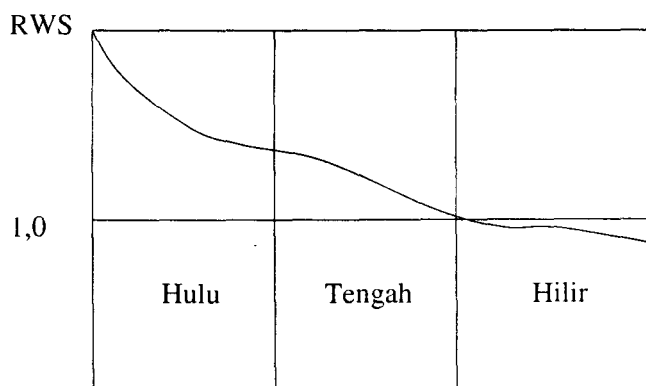
serempak, diperlukan saluran berukuran besar yang secara teknik tidak layak dengan efisiensi rendah. Faktor yang menentukan banyaknya golongan dan luas hamparan sawah pergolongan adalah debit air, kehilangan air di saluran, kebutuhan air tanaman, rancang bangun saluran, dan sebagainya.

Wilayah pengairan Jatiluhur (Jasa Tirta II) sebagai contoh, luas persawahannya sekitar 240.000 ha dengan asumsi tidak ada konversi lahan sawah. Air waduk Jatiluhur menyediakan air untuk irigasi selama 11 bulan, satu bulan sisanya (bulan September) air dihentikan, untuk perbaikan saluran atau pemeliharaan infrastruktur irigasi. Wilayah irigasi Jatiluhur semula dibagi enam golongan tanam, kemudian lima dan bahkan empat. Ketika enam golongan tanam diberlakukan, golongan I mulai mendapat alokasi air pada 1 Oktober, golongan II, III, IV, V, dan VI berturut-turut mendapat alokasi air pada 15 Oktober, 1 Nopember, 15 November, 1 Desember, dan 15 Desember. Jika lima golongan diterapkan, penyaluran air terakhir 1 Desember; jika empat golongan, penyaluran air terakhir 15 November.

Konsekuensi dari penggolongan tanam adalah lama ketersediaan air dan pola tanam. Golongan I akan menerima air selama 11 bulan penuh, sedangkan golongan VI hanya 8,5 bulan.

Suplai air relatif. Suplai air relatif atau *relative water supply* (RWS) adalah nisbah antara alokasi air (*supply*) dan kebutuhan air (*demand*). Idealnya, $RWS = 1$ tetapi kenyataannya beragam, bergantung pada lokasinya. Pengairan golongan I, II, III, dan IV dalam praktik sehari-hari dibedakan menurut jaraknya dari saluran induk/primer/sekunder, yaitu bagian hulu, tengah, dan bagian hilir. Pasokan air relatif pada bagian-bagian itu umumnya mengikuti pola seperti dalam Gambar 3.

Gambar 3 menunjukkan bahwa pasokan air di bagian hulu berlebihan ($RWS > 1$), di bagian tengah rata-rata sesuai dengan kebutuhan ($RWS = 1$), dan di bagian hilir kurang ($RWS < 1$). Pola alokasi demikian terjadi karena air hilang sepanjang perjalanan oleh evaporasi, perkolasi, dan limpasan/kebocoran. Kenyataan di lapangan yang sering dijumpai adalah golongan air menjadi 5, 6, 7, 8 bahkan lebih, karena air yang disalurkan dari induk relatif kurang sehingga bagian hilir



Gambar 3. Suplai air relatif (RWS) pada satu daerah golongan pengairan

Tabel 4. Nilai RWS pada fase vegetatif sampai reproduktif dan hasil padi di daerah irigasi bendung Macan di bagian hulu, Kecamatan Binong, Kabupaten Subang (Jawa Barat), MK 1998 (Farhan, 1999).

Jawa dan kepulauan lain	Teknis	Irigasi setengah teknis	Non teknis (sederhana)	Total
Jawa	1.471.258	391.584	601.972	2.464.814
Luar Jawa	714.683	598.861	974.262	2.287.806
Indonesia	2.185.914	990.445	1.576.234	4.752.620

Angka selajur yang diikuti oleh huruf yang sama tidak berbeda nyata pada taraf 0,05 DMRT

menerima air terlambat. Keadaan ini diperparah jika saluran air tidak terpelihara (penuh rerumputan sehingga terjadi perlambatan aliran maupun pendangkalan) dan pintu-pintu air pembagi tidak berfungsi (Fagi, 1999).

Nilai RWS dievaluasi pada fase vegetatif sampai fase reproduktif di daerah irigasi bendung Macan bagian hulu, Kecamatan Binong, Kabupaten Subang, Jawa Barat. Wilayah irigasi bagian hulu dari bendung Macan masuk ke dalam daerah irigasi Jatiluhur. Hasil evaluasi dalam Tabel 4 selaras dengan ilustrasi dalam Gambar 3. Tampak bahwa hasil padi berkorelasi positif dengan nilai RWS. Hasil padi di bagian hilir paling rendah karena nilai RWS juga paling rendah. Nilai RWS 1,28–1,36 masih memenuhi kebutuhan air tanaman. Tetapi karena kurangnya genangan air, gulma tumbuh pesat. Kurang intensifnya penyiangan itulah yang menurunkan hasil padi.

Salah satu penyebab ketidakcukupan air di bagian hilir adalah kondisi infrastruktur jaringan irigasi yang menurun fungsinya. Hal ini ditunjukkan oleh tingkat kehilangan air di saluran irigasi yang relatif tinggi, yaitu berkisar antara 40%–50%. Kehilangan air makin besar dalam perjalanannya menuju bagian terjauh di hilir.

2.2.2 Lahan Sawah Pasang Surut

Tipologi dan tipe genangan. Ragam lahan sawah pasang surut sangat besar karena bermacam-macam tipologi lahan, tipe genangan, kandungan pirit dan bahan organik. Alihamsyah (2001) menguraikannya seperti berikut:

- Lahan potensial – lahan yang masalahnya paling sedikit, terutama karena lapisan pirit (FeS) berada pada kedalaman lebih dari 50 cm.
- Lahan sulfat masam – kadar lapisan pirit atau sulfidik >2% pada kedalaman <50 cm; lahan sulfat masam dibedakan menjadi:
 - Lahan sulfat masam potensial – lapisan piritnya belum teroksidasi.
 - Lahan sulfat masam aktual – lapisan piritnya telah teroksidasi yang dicirikan oleh adanya horizon sulfidik dengan pH <3,5.

- (c) Lahan gambut – lahan yang mengandung karbon organik (organik C) jenuh air 12%–18% atau tidak pernah jenuh air dengan kandungan karbon organik 10%; beberapa macam lahan gambut dibedakan berdasarkan ciri berikut:
- Lahan bergambut – ketebalan lapisan gambut 20–50 cm
 - Lahan gambut dangkal – lapisan gambut 50–100 cm
 - Lahan gambut sedang – lapisan gambut 100–200 cm
 - Lahan gambut dalam – lapisan gambut 200–300 cm
- (d) Lahan salin – lahan pasang surut yang terintrusi air laut selama lebih dari 3 bulan dalam setahun, kandungan natrium (Na) dalam air tanah >8%; tipologi lahannya bisa lahan potensial, sulfat masam atau bergambut.

Penggolongan tipologi lahan tersebut dianggap sangat umum, sehingga Widjaja Adhi (1995a) membuat penggolongan yang lebih rinci dengan memasukkan jenis tanah, sulfida, dan horizon sulfirik (Tabel 5).

Lahan pasang surut dikelompokkan juga berdasarkan jangkauan air pasang, disebut tipe luapan air. Direktorat Rawa (1984) menggunakan simbol A, B, C, dan D untuk membedakan tipe luapan.

- (a) tipe luapan A – selalu terluapi air pasang, baik pada musim hujan (pasang besar) maupun musim kemarau (pasang kecil),
- (b) tipe luapan B – hanya terluapi air pasang, pada musim hujan,
- (c) tipe luapan C – tidak terluapi air pasang, tetapi kedalaman muka air tanah <50 cm,
- (d) tipe luapan D – tidak terluapi air pasang, kedalaman muka air tanah >50 cm.

Tabel 5. Konversi tipologi lahan pasang surut versi awal ke versi baru

Tipologi lahan versi baru		Tipologi lahan versi awal		Kedalaman pirit/ketebalan gambut (cm)
Kode	Tipologi	Kode	Tipologi	
SMP-1	Aluvial bersulfida dangkal	SM	Sulfat masam	<50
SMP-2	Aluvial bersulfida dalam	P	Potensial	50–100
SMP-3/A	Aluvial bersulfida sangat dalam	P/A	Potensial	>100
SMA-1	Aluvial bersulfat 1	SM	Sulfat masam	<100
SMA-2	Aluvaial bersulfat 2	SM	Sulfat masam	<100
SMA-3	Aluvial bersulfat 3	SM	Sulfat masam	>100
HSM	Aluvial bersulfida dangkal bergambut	G-O	Lahan bergambut	<50 (a)
G-1	Gambut dangkal	G-1	Gambut dangkal	50–100
G-2	Gambut sedang	G-2	Gambut sedang	100–200
G-3	Gambut dalam	G-3	Gambut dalam	200–300
G-4	Gambut sangat dalam	G-4	Gambut sangat dalam	>300

Sumber: Widjaja-Adhi, 1995

SMA-1: Belum memenuhi ciri horizon sulfirik, pH >3,5 dan sering tampak bercak berpirit

SMA-2: Menunjukkan adanya ciri horizon sulfirik.

Tabel 6. Penataan dan pola pemanfaatan lahan yang dianjurkan setiap tipologi lahan dan tipe luapan air di pasang surut

Tipologi lahan	Tipe luapan air			
	A	B	C	D
Aluvial bersulfida dangkal	Sawah	Sawah	Sawah	-
Aluvial bersulfida dalam	Sawah	Sawah/surjan	Sawah/surjan	Sawah/tegalan
Aluvial bersulfida sangat dalam	-	Sawah/surjan	Sawah/tegalan	Kebun
Aluvial bersulfida 1 dan 2	-	Sawah/surjan	Kebun	Tegalan
Aluvial bersulfida 3	-	-	Sawah/surjan	Sawah/tegalan
Aluvial bersulfida bergambut	-	-	-	Kebun
Gambut dangkal	-	Sawah	Sawah/kebun	Tegalan/kebun
Gambut sedang	-	-	Sawah/tegalan	Kebun
Gambut dalam	-	-	Kebun	Kebun

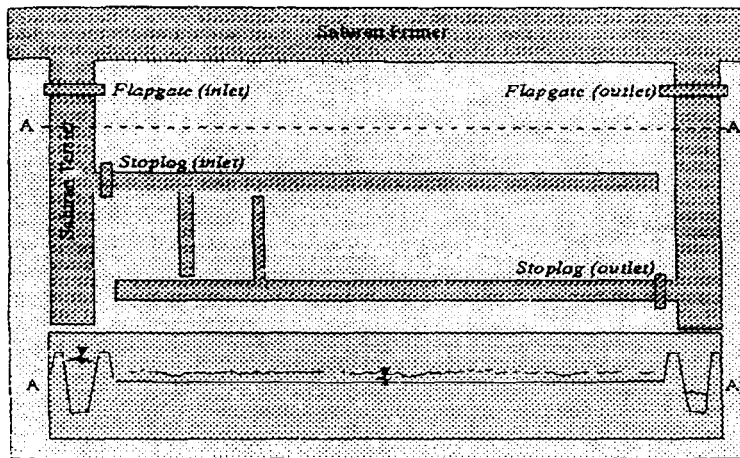
Sumber: Widjaja Adhi, 1995.

Tipologi lahan dan tipe luapan air digunakan sebagai arahan pemanfaatannya dan penentuan teknologi pengolahan tanah dan pengelolaan air, serta pemilihan pola tanam dalam upaya mengantisipasi masalah yang mungkin timbul akibat dari karakteristik lahan tersebut. Pola pemanfaatan lahan pasang surut dikemukakan dalam Tabel 6.

Tata air mikro pada tipe luapan B. Lahan sulfat masam lebih mudah dan aman dikembangkan sebagai sawah (Alihamsyah, 2001). Dalam keadaan anaerob atau tergenang, pirit tidak berbahaya bagi tanaman padi. Sebaliknya, kalau permukaan air tanah berada di bawah lapisan pirit, pirit akan teroksidasi dan melepaskan asam sulfat. Tanah akan menjadi sangat masam dan tanaman padi mengalami keracunan besi, maka diinisiasi sistem aliran satu arah. Hamparan pertanaman padi ditata seperti diilustrasikan dalam Gambar 4. Inilah yang disebut tata air mikro (Sarwani, 2001).

Sistem aliran satu arah dirancang agar air pasang masuk ke dalam dan ke luar petak tersier mengikuti jalur satu arah. Untuk itu, pada muara saluran tersier dipasang pintu air otomatis (*flapgate*) yang membuka ke dalam. Pada muara saluran tersier, pembuangan air dipasang pintu air otomatis yang membuka ke luar. Saat pasang, air masuk saluran tersier, kemudian mengisi petakan pertanaman padi. Setelah petakan pertanaman tergenang cukup (tinggi genangan air sekitar 5 cm), pintu air masuk (*stoplog*) ditutup. Pintu air keluar ditutup terlebih dahulu ketika tampak tanda-tanda air pasang. Air genangan dibiarkan beberapa hari, kemudian dikeluarkan pada saat surut dengan membuka pintu ke luar. Bersamaan dengan air yang keluar, bahan-bahan beracun seperti besi, mangan, dan asam-asam organik akan tercuci. Hasil penelitian di lahan sulfat masam, Unit Tatas (Kalimantan Tengah), menunjukkan irigasi (penggenangan dan pembuangan) 3 harian memberi hasil gabah paling tinggi (Sarwani, 2005).

Teknik tabat pada tipe luapan C. Di lahan pasang surut dengan tipe luapan C, air berlebihan pada musim hujan dan kekurangan pada musim kemarau.



Gambar 4. Ilustrasi tata air mikro pada lahan pasang surut sulfat masam dengan tipe luapan B (Sarwani, 2005)

Saluran-saluran dapat dimanfaatkan sebagai penampung air dengan menggunakan tabat dari papan atau batang pisang, Air yang tertampung digunakan sebagai suplesi air pada saat petakan pertanaman kekurangan air.

Teknik *collection-drainage* pada lahan lebak. Di lahan rawa (lebak) padi hanya bisa ditanam pada musim kemarau. Petani menggali parit-parit (dipersiapkan pada musim kemarau sebelumnya) untuk mengumpulkan ikan sepat di dalam parit. Air parit dapat digunakan sebagai suplesi air dengan pompa saat petakan pertanaman padi kekurangan air.

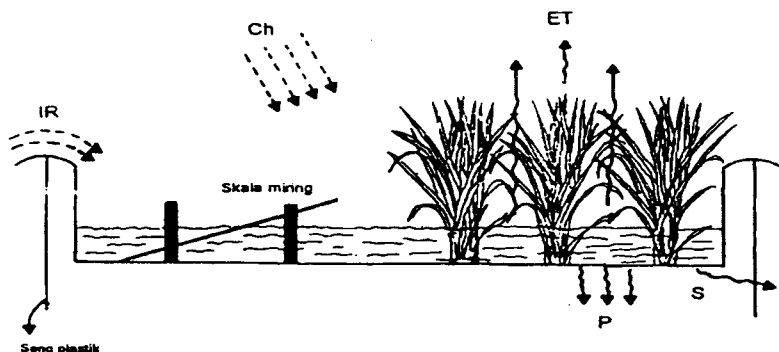
3. PENGELOLAAN AIR DALAM SKALA MIKRO

3.1 Kestimbangan Air pada Ekosistem Sawah

Kestimbangan (neraca) air pada satu petakan padi sawah tertera dalam Gambar 5. Kestimbangan air pada ekosistem padi sawah terdiri atas: irigasi (I), curah hujan (Ch), evapotranspirasi (ET), rembesan dan perkolasi (P).

3.1.1 Evapotranspirasi

Air yang diperlukan untuk memberikan hasil optimum harus memenuhi kebutuhan evapotranspirasi (ET) tanaman. Bila tanah dipertahankan pada kondisi jenuh lapangan atau tergenang air, maka laju ET merupakan fungsi dari energi yang tersedia untuk evaporasi air. Di daerah tropis, ET selama musim hujan



Gambar 5. Kestimbangan air dalam suatu petak sawah
(IR: irigasi, Ch: curah hujan, ET: evapotranspirasi, P: perkolasi; dan S: rembesan)

berkisar antara 4–5 mm/hari, sedangkan selama musim kemarau pada wilayah irigasi yang luas berkisar antara 5–7 mm/hari. Untuk wilayah irigasi yang lebih sempit, ET mungkin lebih besar karena terdapat energi adveksi yang membawa uap air ke daerah lain oleh angin dari wilayah yang kering.

Nisbah antara ET dan evaporasi panci klas A (EP) juga digunakan untuk menentukan kebutuhan air sebagai representasi dari ET. Nisbah ET-EP tanaman padi mulai sekitar 1,0 setelah penanaman, memperlihatkan nilai maksimum yang pertama (1,0–1,3) pada masa pertunasan maksimum dan mencapai nilai paling tinggi sekitar masa pematangan. Nilai pada masa pematangan menjadi 1,4–1,5 dengan nilai rata-rata untuk wilayah tropis 1,43 (Tomar dan O'Toole, 1984).

Doorenbos dan Pruitt *dalam* Tomar dan O'Toole (1984) membuat taksiran nilai faktor koefisien tanaman (k_c) pada berbagai tempat penanaman padi di dunia. Nilai tersebut berkisar antara 1,10–1,15 selama bulan pertama dan kedua, 1,05–1,35 selama masa pertengahan, dan 0,95–1,03 selama empat minggu terakhir. Dengan menggunakan hubungan antara ET dan EP, perkiraan tentang ET dapat dibuat sebagai suatu fungsi dari masa pertumbuhan tanaman. Tingkat ET sekitar 4,4 mm/hari pada masa tanam, 5,1–5,3 mm/hari pada masa pertunasan, dan 5,7–5,9 mm/hari pada masa pematangan.

3.1.2 Perkolasi dan Rembesan

Kehilangan air oleh perkolasi (P) dan rembesan (S) (*seepage*) bergantung pada sifat fisik tanah, hidrologi lahan, dan kondisi topografi. Bilamana tanah bertekstur liat dan mempunyai kedalaman muka air tanah dangkal (dekat dengan permukaan tanah), kehilangan air melalui perkolasi biasanya rendah, yaitu sekitar 1 mm/hari dan bahkan bisa lebih rendah. Pada tanah bertekstur pasir (light soil) dan muka air tanah dalam (jauh dari permukaan tanah), laju perkolasi tinggi, dapat di atas 5 mm/hari.

Pelumpuran tanah menekan laju perkolasi karena pori-pori tanah halus terbentuk dan rongga-rongga tanah tertutup oleh butir-butir tanah halus. Oleh sebab itu, tanah yang melumpur sempurna menahan lebih banyak air dan lebih lembap walaupun kekeringan. Ada korelasi positif antara tinggi genangan air dengan rembesan melalui pematang. Kedalaman atau genangan air di petak sawah yang diatur 5 cm adalah maksimum untuk menghindari kehilangan air oleh rembesan. Kehilangan air melalui rembesan pada petak tersier berkisar antara 7,5%–22,5% (Balai Irigasi, 2007).

3.1.3 Kebutuhan Air Tanaman Padi

Kebutuhan air tanaman padi (I) dituliskan dalam persamaan berikut: $I = ET + P + S - Che$, di mana ET = evapotranspirasi, P = perkolasi, S = rembesan, dan Che = curah hujan efektif. Hasil pengukuran kebutuhan air dari varietas padi Cisadane, Cikapundung, dan IR54 pada subsistem Barugbug, Kabupaten Karawang (wilayah irigasi Jatiluhur), ditunjukkan dalam Tabel 7.

Tabel 7 menunjukkan bahwa pada musim kemarau (varietas berumur pendek dan berumur panjang seperti Cisadane) kebutuhan air harian tanaman padi mencapai maksimum pada fase reproduktif, yaitu antara fase berbunga sampai 50% pengisian gabah berkisar antara 8,0–8,8 mm/hari, kemudian menurun pada fase pematangan, berkisar antara 7,3–7,6 mm/hari. Kebutuhan air harian dari tanaman padi sawah berumur sedang (Cikapundung dan IR54) relatif tidak berbeda dengan varietas berumur panjang Cisadane. Tampak bahwa kebutuhan air tanaman padi yang diindikasikan sebagai ET mencapai maksimum pada stadia ini. Laju perkolasi dan rembesan pada lahan datar secara harian nilainya tidak berfluktuasi, berkisar antara 1–3 mm/hari.

Hasil pengamatan kebutuhan air tanaman dapat digunakan sebagai dasar penghitungan kebutuhan air irigasi per petak usaha tani atau petak tersier bila telah ditentukan besarnya curah hujan efektif dan efisiensi pemberian airnya.

Tabel 7. Kebutuhan air irigasi varietas Cisadane, Cikapundung dan IR54 di daerah irigasi Bendung Barugbug (wilayah pengairan Jatiluhur), MK 1996

Lokasi	Varietas	Tanam-primordia		Primordia-pembungaan 50%		Pembungaan 50% - pengisian gabah		Pengisian gabah-panen	
		mm/hari	Lt/dt/ha	mm/hari	Lt/dt/ha	mm/hari	Lt/dt/ha	mm/hari	Lt/dt/ha
Tanjunggrasa Kidul	Cikapundung	6,3	0,73	7,4	0,86	8,4	0,97	7,6	0,88
Tanjunggrasa Kaler	Cisadane	6,3	0,73	7,6	0,88	8,8	1,02	7,4	0,85
Kondang	Cisadane	6,6	0,76	7,4	0,85	8,8	1,02	7,5	0,87
	R54	6,5	0,75	7,5	0,87	8,0	0,93	7,3	0,85

Sumber: Fagi dkk., 1987.

Nilai kebutuhan air tanaman dari satuan kedalaman air (mm/hari) dapat dikonversi menjadi satuan aliran (debit) air per satuan luas areal, yaitu: 1 mm/hari = 0,115 liter/detik/ha.

3.2 Efisiensi dalam Pengelolaan Air Irigasi

3.2.1 Pengertian Efisiensi dalam Praktik

Dari sekian banyak istilah efisiensi dalam pengelolaan air irigasi (Fagi dkk., 1987), hanya empat istilah yang relevan dengan praktik sehari-hari. Dengan menggunakan rumusan efisiensi itu sebagai pedoman, maka masalah efisiensi pengelolaan air irigasi mudah dipantau dan cara pemecahannya lebih mudah dicari melalui penelitian yang terarah.

Penelitian yang diselenggarakan untuk mencari pemecahan masalah mungkin berbeda dari satu subwilayah sistem irigasi ke subwilayah yang lain karena memang permasalahan dalam pengelolaan air irigasi bersifat spesifik lokasi (*location specific*).

Efisiensi Sistem Irigasi (Es)

$$Es = \frac{ET + S + P}{Qa + Che} \times 100\%$$

di mana, ET = evapotranspirasi, S = *seepage* (rembesan), P = perkolasi, Che = curah hujan efektif, Qa = volume atau debit air awal (dari sumber air). Idealnya, Es dalam perhitungan naik apabila ET, S, dan P tetap dan Qa + Che turun, sebaliknya Qa turun dan Che tetap. Nilai Qa turun apabila saluran terpelihara dan pintu-pintu air berfungsi dengan baik sehingga air yang masuk ke petak pertanian sesuai dengan keperluan tanaman. Pemeliharaan saluran-saluran irigasi, pemeliharaan atau perbaikan pintu-pintu air dan kalibrasinya adalah langkah awal untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan air irigasi.

Efisiensi Air di Petakan Sawah (*Water Use Efficiency* = WUE)

$$WUE = \frac{ET + S + P}{Qm + Che} \times 100\%$$

di mana, Qm = volume atau debit air masuk petakan sawah. Agar efisiensi

penggunaan air meningkat, nilai $ET + S + P$ tetap, Che tetap, dan Q_m turun, Q_m turun apabila saluran-saluran cacing dan galengan terpelihara. Sistem pengairan tergenang diam (*flooded stagnant*) memperkecil Q_m .

Efisiensi Saluran (*Conveyance efficiency* = E_c)

$$E_c = \frac{Q_m}{Q_a} \times 100\%$$

di mana, Q_m = debit air masuk ke petakan sawah. E_c akan naik apabila Q_m tetap dan Q_a turun. Q_m tetap (sesuai dengan kebutuhan) dengan menghindari kebocoran atau limpasan ke petakan lain dengan memelihara galengan. Q_a turun jika saluran air terawat baik dan pintu-pintu air berfungsi/difungsikan.

Efisiensi Produksi (*Water Yield Efficiency* = WYE)

$$E_c = \frac{\text{Produksi}}{Q_a \text{ atau } Q_m} \times 100\%$$

di mana, besaran produksi adalah kg/ha/musim, dan besaran Q_p atau Q_a dalam mm atau m^3/ha musim, maka besaran WYE adalah kg/mm atau kg/m^3 . Dari rumus ini, WYE akan naik bilamana produksi meningkat sedang Q atau Q_m tetap, atau produksi tetap, tetapi Q_a atau Q_m turun. Produksi dapat dinaikkan dengan intensifikasi.

WYE dapat pula dihitung dalam satu tahun atau satu periode ketersediaan air irigasi. Rumus di atas menjadi:

$$WYE = \frac{\Sigma \text{Produksi}}{\Sigma Q_a \text{ atau } Q_m} \times 100\%$$

Dalam hal ini, total produksi naik dengan menaikkan intensitas tanam. Dengan asumsi bahwa air irigasi tersedia untuk periode 11 bulan dan Q_a berfluktuasi, maka peningkatan intensitas tanam dengan penggunaan air yang efisien pada setiap pertanaman, berarti WYE dalam periode 11 bulan itu akan naik pula.

3.2.2 Teknik Peningkatan Efisiensi

Pengolahan tanah. Pengolahan tanah bertujuan untuk melumpurkan tanah. Budi daya padi sawah pada tanah yang melumpur telah diterapkan oleh petani sejak ribuan tahun yang lalu. Pelumpuran terus-menerus menghasilkan lapisan kedap air beberapa sentimeter di bawah permukaan tanah. Lapisan ini menahan perkolasi dan memfasilitasi penggenangan petakan pertanaman padi. Keuntungan dari penggenangan adalah (a) meningkatkan pH pada tanah masam dan menurunkan pH pada tanah alkalin dan tanah berkapur, (b) ameliorasi kahat besi pada tanah netral atau tanah alkalin, (c) menekan keracunan Mn dan Al pada tanah masam, (d) meningkatkan ketersediaan P, Si, dan N. Sebaliknya, penggenangan air dapat menimbulkan keracunan Fe pada tanah masam, dan keracunan asam organik pada tanah yang kandungan bahan organiknya tinggi dan drainase jelek (PCARRD, 1983).

Pengolahan tanah untuk pelumpuran memerlukan air cukup banyak yang debitnya berkurang pada musim kemarau, terutama di lahan pertanaman yang berada pada bagian ujung dari suatu hamparan. Pengolahan tanah yang menggunakan banyak air tidak mungkin diterapkan pada hamparan pertanaman padi yang terletak diujung karena $RWS < 1,0$.

Kebun Percobaan Sukamandi (BB Padi) mempunyai jenis tanah Podsolik (*Isothermic Vertic Tropaquult*). Petani mitra koperasi BB Padi mengolah tanah dengan cara yang berbeda dalam penggunaan air (Tabel 8). Penggunaan air oleh petani dikelompokkan menjadi tiga kategori: rendah, sedang, dan tinggi. Petani yang hemat air hanya memerlukan 1.450 m³/ha dan yang boros air memerlukan 2.730 m³/ha/musim untuk mengolah tanah, dengan hasil padi yang tidak berbeda.

Varietas. Kebutuhan air harian tanaman padi (ET) dari berbagai fenotipe dari sejak fase vegetatif sampai fase reproduktif tidak berbeda. Umur tanaman menentukan perbedaan konsumsi air tanaman. Varietas Cisadane yang berumur panjang mengonsumsi air lebih banyak dari varietas Cikapundung dan IR54 yang berumur sedang (Tabel 9). Efisiensi penggunaan air dari Cisadane dan Cikapundung sebanding karena perbedaan hasil dan konsumsi air proporsional.

Tabel 8. Kebutuhan air untuk mengolah tanah sawah sampai siap tanam padi di KP Sukamandi (*Vertic TropAquilts*, tekstur : lempung liat berdebu) MH 1985/86

Kategori	Frekuensi	Konsumsi air		
		Curah hujan	Irigasi (mm)	Total (mm)
Rendah (50 m)	6	115	30	145
Sedang (50–100 m)	8	115	73	188
Tinggi (100 m)	2	115	122	273

Sumber: Fagi dkk., 1987

Tabel 9. Kebutuhan air kumulatif dan efisiensi produksi air dari varietas padi yang berbeda fenotipe dan umurnya di daerah irigasi Barugbug, MK 1985

Desa	Varietas	Curah hujan (mm)	Kebutuhan air irigasi (mm)	Hasil gabah (t/ha; 14% ka)	Efisiensi produksi (kg/mm)	ET + P&S (mm)
Tanjungrasa kidul	Cikapundung	333	270	3,2	5,3	603
Tanjungrasa kaler	Cisadane	420	310	4,3	5,9	730
Kondang	Cisadane	415	325	4,0	5,4	740
	IR54	373	309	2,6	3,8	682

¹⁾Umur padi dari sejak tanam sampai panen: Cikapundung 85 hari, Cisadane 100 hari, IR54 90 hari.

²⁾Hasil rata-rata dari sawah dengan petak mini dan ubinan di sawah petani di sekitar petak sawah petani.

Sumber: Fagi dkk., 1987

Efisiensi penggunaan air dari IR54 terendah karena hasilnya sangat rendah walaupun konsumsi airnya lebih rendah dari konsumsi air varietas Cisadane dan Cikapundung. Kontribusi curah hujan terhadap konsumsi air sekitar 50% dari total konsumsi air ketiga varietas tersebut.

Data dari lokasi lain di wilayah irigasi Jatiluhur (Karawang) menunjukkan bahwa varietas IR64 mengonsumsi air lebih banyak dari Ciliwung dan Muncul (Tabel 10). Efisiensi penggunaan air dari varietas Ciliwung paling tinggi walaupun hasilnya terendah, karena konsumsi airnya terendah. Kecenderungan yang sama diperoleh di wilayah irigasi Sungai Rentang (Indramayu) (Tabel 11). Varietas IR64 secara konsisten menghasilkan gabah paling tinggi pada musim kemarau yang kering. Pada kondisi demikian, IR64 masih mampu beranak banyak dan bermalai maka konsumsi air pun tertinggi. Hasil gabah tidak proporsional dengan konsumsi air sehingga efisiensi penggunaan air dari IR64 terendah.

Teknik irigasi. Empat teknik irigasi yang umum diterapkan di daerah atau wilayah irigasi skala kecil, skala sedang, dan skala luas, adalah:

- Irigasi tergenang mengalir (*continuous flooding –flowing*) – air dialirkan dari petak ke petak sampai seluruh petakan tergenang. Sistem irigasi Jatiluhur yang terletak di dataran pantai dan dataran banjir *meander* masih menerapkan teknik ini, tetapi debit air terencana dan terukur. Pada sistem irigasi nonteknis (irigasi sederhana atau pedesaan), air yang dialirkan tidak terukur dan terencana.
- Irigasi tergenang diam (*continuous flooding – stagnant*) – air disalurkan ke unit hamparan golongan tanam sampai seluruh petakan pertanaman tergenang, kemudian dihentikan. Selanjutnya air disalurkan ke unit hamparan lain sampai seluruh daerah atau wilayah terairi. Debit air terukur dan terencana.
- Irigasi berselang tidak teratur (*intermittent*) – air dialirkan ke seluruh hamparan. Aliran air berhenti kalau hujan di daerah tangkapan juga berhenti.

Aliran air berikutnya bergantung pada hujan. Teknik ini diterapkan pada sistem irigasi nonteknis di daerah aluvial.

Contoh keberhasilan penerapan teknik irigasi berselang teratur adalah di wilayah pengairan timur wilayah pengairan Jatiluhur. Keputusan untuk menerapkan teknik irigasi ini mempertimbangkan debit air sungai-sungai lokal di Kabupaten Subang, Jawa Barat (Fagi dan Manwan, 1992).

- Debit air sungai $\leq 40\%$ dari debit air normal: sistem gilir giring diterapkan, air didistribusikan 4–5 hari sekali.
- Debit air sungai $\leq 60\%$ dari debit air normal, sistem gilir glontor diterapkan, air didistribusikan 2–3 hari sekali.

Penerapan teknik irigasi berselang demikian mampu menstabilkan luas areal tanam di Kabupaten Subang, Jawa Barat (Gambar 6).

Pada MH 1968/69, dari luas sawah 97.000 ha hanya sekitar 88.000 ha yang dapat ditanami, pada MK 1969 hanya 69.000 ha. Penerapan sistem gilir giring atau gilir glontor meningkatkan potensi irigasi sampai mampu mengairi sawah mendekati luas sawah potensial pada MK1982, justru pada saat itu terjadi kemarau panjang (*El-Nino*).

Konsep *stress-day* dapat digunakan untuk menentukan jumlah blok irigasi berselang teratur. *Stress-day* adalah jumlah hari tanpa genangan air dihitung 2–3 hari petak pertanaman padi sawah pada rezim air macak-macak (*field saturation*). Selama 2–3 hari setelah macak-macak lapisan perakaran tanaman padi berada pada rezim air kapasitas lapang (*field capacity*).

Di KP Sukamandi, jenis tanah *Vertic TropAqualts*, pengairan berselang 4–5 hari sekali, tanaman padi sawah tidak mengalami *stress-day*. Pada pengairan

Tabel 10. Konsumsi air total dan efisiensi produksi air dari tiga varietas padi sawah di wilayah irigasi Jatiluhur (Karawang) pada MK 1994

Varietas	Hasil gabah (14% k.a) (kg/ha)	Konsumsi air total (mm)	Efisiensi produksi air (kg gabah/mm.ha)
IR64	5.500	760	7,2
Ciliwung	4.600	590	7,8
Muncul	4.700	645	7,3

¹⁾Dari sejak tanam sampai panen hujan tidak turun.

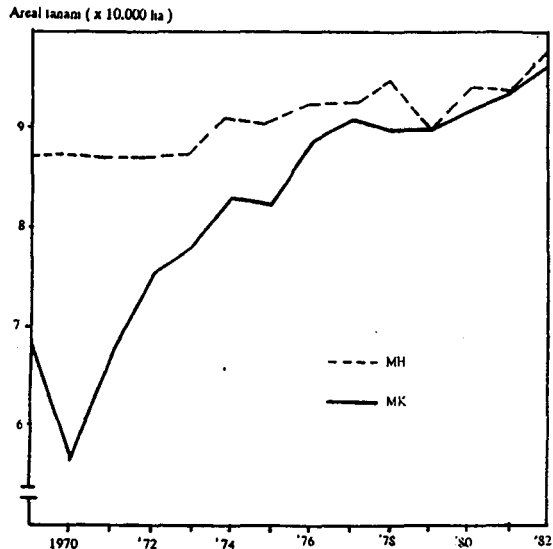
Sumber: Setiobudi, 1997.

Tabel 11. Konsumsi air total dan efisiensi produksi air dari tiga varietas padi sawah di wilayah irigasi Jatiluhur (Karawang) pada MK 1996

Varietas	Hasil gabah (14% k.a) (kg/ha)	Konsumsi air total (mm)	Efisiensi produksi air (kg gabah/mm.ha)
IR64	6.550	700	9,3
Ciliwung	5.950	600	9,9
Muncul	5.800	650	8,9

¹⁾Dari sejak tanam sampai panen hujan tidak turun.

Sumber: Setiobudi, 1997.



Gambar 6. Stabilisasi luas area tanam dan perluasan areal tanam padi musim kemarau (MK) di wilayah irigasi Timur (Subang), karena penerapan teknik irigasi berselang (Fagi dan Manwan, 1992)

berselang 9 hari sekali, tanaman padi mengalami 2 *stress-day*, tetapi hasil padi tidak turun. Teknik irigasi berselang demikian menghemat air sekitar 40%. Jadi, hamparan sawah dapat dibagi menjadi 4–9 blok. Setiap blok akan menerima air irigasi 5–10 hari sekali. Selain itu, pengairan berselang 4–5 hari sekali meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk urea. Dengan pengairan berselang hasil gabah IR36 > 5,0 t/ha diperoleh pada pemupukan urea 45 kg N/ha, sementara dengan pengairan tergenang terus IR36 perlu pupuk urea 90 kg N/ha untuk memberi hasil > 5,0 t/ha (Fagi dan Manwan 1992). Jadi, teknik irigasi berselang telah lama diteliti dan bahkan telah dipraktikkan oleh petani di sebagian wilayah irigasi Jatiluhur, sebelum Universitas Cornell memperkenalkannya melalui *System of Rice Intensification* (SRI).

Teknik irigasi prospektif. Rezim air tergenang pada kedalaman sekitar 5 cm adalah pola dasar yang dianut. Pada teknik irigasi berselang, petak pertanaman padi diairi sampai genangan air sekitar 5 cm, saat mendapat giliran alokasi air. Rezim air macak-macak pada berbagai periode tumbuh dicoba di KP Sukamandi. Kebun ini berada di wilayah pengairan Jatiluhur pada daerah golongan air I. Tanggap varietas padi terhadap teknik irigasi macak-macak ditunjukkan dalam Tabel 12. Teknik irigasi macak-macak selama pertumbuhan tanaman padi tidak menurunkan hasil, tetapi menghemat air sekitar 49% pada musim hujan dan 41% pada musim kemarau. Konsumsi air dengan teknik irigasi macak-macak hanya sekitar 5.000–6.000 m³/ha/musim. Sementara yang dialokasikan oleh Perum Jasa Tirta II adalah 12.000 m³/ha/musim. Kalau

Tabel 12. Pengaruh rezim air macak-macak pada berbagai periode tumbuh terhadap hasil padi (rata-rata dari varietas Bogowonto, PB52, PB54) dan efisiensi produksi air di KP Sukamandi

Teknik pengairan	MH 1984/85			MK 1985		
	Hasil (t/ha)	Konsumsi air (mm)	Efisiensi produksi (kg/ha.mm)	Hasil (t/ha)	Konsumsi air (mm)	Efisiensi produksi (kg/mm ha)
Macak-macak selama 35–50 HST	7,1	597	11,9	4,4	654	6,8
Macak-macak selama 50–85 HST	6,9	585	11,8	4,5	638	7,1
Macak-macak selama 35–85 HST	6,8	403	17,0	4,5	490	9,2
Macak-macak terus	7,0	346	20,2	4,5	436	10,2
Genangan 3–6 cm terus menerus	7,2	676	10,7	4,4	730	

¹Konsumsi air irigasi diukur dengan pintu air tipe V-notch.

Sumber: Fagi dan Manwan, 1999

kehilangan air sepanjang saluran dipertimbangkan, volume air yang dihemat dengan menerapkan teknik irigasi macak-macak adalah 3.500 m³/ha/musim.

Teknik irigasi macak-macak dapat menjadi inspirasi bagi teknik irigasi tanpa genangan sama sekali dalam budi daya *aerobic rice*, yang merupakan kombinasi antara pengolahan tanah, cara tanam, dan teknik irigasi. Fisibilitas teknik sipil, agronomi, dan kelembagaan perlu dipelajari untuk aplikasinya dalam skala luas.

Tabur benih langsung. Tabur benih langsung (tabela) pada tanah yang diolah kering atau gogorancak mempercepat waktu tanam dan waktu panen padi. Karena tanah tidak dilumpurkan, maka konsumsi air dapat dihemat 2.500–3.000 m³/ha. Tabela pada tanah yang dilumpurkan juga mempercepat waktu tanam dan panen serta menghemat tenaga kerja 30%. Konsumsi air juga dihemat karena tidak perlu penggenangan (*land soaking*), sementara menunggu bibit dicabut dari pesemaian, seperti diterapkan pada sistem tanam pindah. Teknik tanpa olah (TOT) tanah bisa diterapkan bila ketersediaan air di waduk sangat terbatas. Persyaratan khusus TOT adalah (a) tanah mudah melumpur *self puddling*, (b) herbisida pratumuh harus digunakan, dan (c) varietas padi yang mempunyai laju pertumbuhan vegetatif cepat harus ditanam (Fagi dkk., 1999).

Dalam budi daya jenuh, tanah dipertahankan dekat batas jenuh air, sehingga mengurangi tekanan muka air serta mengurangi rembesan dan perkolasi. Dalam budi daya tanah jenuh air diberikan sampai genangan mencapai sekitar 1 cm. Pada budi daya tanah jenuh, suplai air berkurang rata-rata 23% dibandingkan penggenangan air secara kontinu, tanpa menurunkan hasil secara nyata.

Pada Tabel 13 dapat dilihat bahwa padi yang ditanam pindah dengan penggenangan air secara kontinu menghasilkan 7,4 t/ha, dan 7,6 t/ha bagi yang

Tabel 13. Pengaruh teknik irigasi dan cara tanam terhadap hasil gabah, konsumsi air dan produktivitas air di IRRI farm (jenis tanah Maahas Clay), pada musim kemarau

Perlakuan air	Tanam pindah			Tabela basah		
	Hasil (t/ha)	Input air (mm)	WP (g gabah/kg air irigasi)	Hasil (t/ha)	Input air (mm)	WP (g/kg gabah/irigasi)
Digenang terus	7,4	694	1,06	7,6	631	1,20
SSC	6,7	373	1,81	7,3	324	2,27

¹⁾SSC: Budidaya padi jenuh air, WP: produktivitas air.

Sumber: Bouman *et al.*, 2007

benihnya ditabur langsung pada tanah yang diolah basah sampai jenuh. Padi yang ditanam pindah menghasilkan 6,7 t/ha sedangkan yang ditabur langsung 7,3 t/ha. Fakta ini menunjukkan bahwa tabela basah memberi hasil yang seimbang dengan tanam pindah, tetapi menghemat air. Tabela dengan teknik tanah jenuh air tidak menurunkan hasil secara drastis dan efisien dalam penggunaan air.

Pemanfaatan embung. Embung atau tandon air adalah waduk berukuran mikro di lahan pertanian (*small farm reservoir*) yang dibangun untuk menampung kelebihan air hujan pada musim hujan dan menggunakannya jika diperlukan tanaman pada musim kemarau. Embung cocok digunakan pada dataran pedalaman, kipas aluvial, dan teras aluvial (sistem irigasi pedesaan).

Embung sebaiknya dibangun memotong limpasan air dan pada lahan dengan kemiringan 5%–30%, agar limpasan air permukaan cepat mengisi embung dan air dari embung dapat mudah disalurkan ke lahan usaha tani secara gravitasi. Tanah-tanah bertekstur liat atau lempung sangat cocok untuk pembuatan embung, sedangkan tanah-tanah bertekstur ringan atau berpasir akan memperbesar kehilangan air melalui perkolasi.

Embung pada hakikatnya adalah panen air dengan menampung air hujan dan aliran permukaan, baik sementara maupun permanen, yang sewaktu-waktu dapat digunakan untuk mengairi tanaman pada saat diperlukan. Teknologi panen air selain berfungsi menyediakan sumber air irigasi pada musim kemarau dapat pula mengurangi banjir pada musim hujan. Kegunaan dari pemanenan air adalah (1) menurunkan volume aliran permukaan dan meningkatkan cadangan air tanah, (2) meningkatkan ketersediaan air bagi tanaman pada musim kemarau, dan (3) mengurangi kecepatan aliran air permukaan.

Beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam pembangunan embung, adalah tata letak dan kepadatan embung, kemiringan petakan, fisik tanah, daya tampung, jenis tanaman, dan teknik pengairan (Syamsiah dkk., 1990). Sebagai contoh adalah pembangunan embung untuk tanaman kedelai. Volume air yang ditampung di dalam embung atau ukuran embung untuk tanaman kedelai (ST), luas daerah tangkapan hujan (CA), dan luas pertanaman kedelai yang dapat diairi (A) dihitung dengan rumus berikut (Fagi dan Syamsiah, 1992):

$$ST = (1,5 + TLS - RF) \times CS$$

$$CA = ST / (RF_1 \times RC)$$

$$A = (ST - LS) / (CR \times RF_2 \times 10^4)$$

di mana:

TLS = kehilangan air embung karena perkolasi dan evaporasi (dalam m) dari Oktober sampai Juni,

RF = total curah hujan (dalam m) dari Oktober sampai Juni,

CS = luas dasar embung (dalam m²),

RF₁ = curah hujan (dalam m) dari Oktober sampai Maret,

RC = koefisien *run-off*,

LS = kehilangan air embung (dalam m³) dari Juli sampai September,

CR = kebutuhan air tanaman kedelai (dalam m³/ha, untuk kedelai 1.600 m³/ha),

RF₂ = curah hujan (dalam m) dari Juli sampai September.

Rumus tersebut bisa digunakan untuk tanaman lain dengan menyesuaikan asumsi-asumsinya.

3.3 Pompanisasi

Pompanisasi merupakan salah satu cara efektif untuk menunjang produksi pertanian tanaman pangan terlanjutkan. Dengan pompanisasi, indeks tanam tinggi (400%) dan tidak terpengaruh oleh kemarau panjang.

Sumur pantek yang dibangun petani terdiri atas tiga kelas berdasarkan kedalaman muka air tanah, yaitu sumur dangkal (10–19 m), sumur sedang (20–30 m), dan sumur dalam (>30 m). Pompa kapasitas rendah-sedang (4,5–10,0 PK) dimiliki dan disewakan petani individu, pompa kapasitas besar (>25 PK) berasal dari bantuan P2AT dan Pemerintah Daerah yang dikelola desa.

Pompa juga diperlukan untuk mengangkat air dari sungai-sungai yang bertebing curam dan dalam. Pompa *hydraulic ram* diuji di subwilayah fluksial dan mampu mengangkat air sampai ketinggian 75–100 m dari dasar sungai (Fagi dan Manwan, 1997).

Pompanisasi adalah wujud dari pemanfaatan air tanah. Jika pompanisasi air tanah itu memutuskan sirkulasi atau air yang dipompa melebihi kapasitas pengisian kembali (*recharge*), maka akan terjadi pengurangan volume air tanah. Berkurangnya volume air tanah akan kelihatan dalam bentuk penurunan permukaan air tanah atau tekanan air secara terus-menerus. Penurunan permukaan atau tekanan air akan mengakibatkan penurunan fasilitas pemompaan dan jika penurunan ini melampaui batas tertentu maka fungsi pemompaan akan hilang (Sosrodarsono, 1977).

Penurunan permukaan air tanah bebas biasanya tidak mengakibatkan penurunan tanah yang berarti. Pemanfaatan air tanah bebas dalam lapisan yang dangkal di daerah persawahan padi dapat diprioritaskan, karena tidak akan terjadi penerobosan air asin, kecuali daerah itu berada dekat pantai.

Pemompaan air tanah terkekang dalam lapisan yang dangkal di zona aluvial bersamaan dengan pemompaan air tanah di lapisan yang dalam kemungkinan besar akan terjadi penurunan tanah.

3.4 Optimasi Kelengasan Tanah

Jenis tanah memiliki kemampuan menahan air (*water holding capacity*). Jenis tanah bertekstur lempung berliat memiliki kemampuan menahan air tertinggi. Kemampuan tanah menahan air dapat ditingkatkan dengan pemberian bahan organik dan pembenah tanah (*soil conditioner*). Bahan organik dapat meningkatkan kemampuan tanah menahan air melalui peningkatan molekul air lewat gugus fungsionalnya dan pengisian pori mikro tanah akibat agregasi yang lebih baik. Bahan organik berperan sebagai pengikat partikel atau agregat mikro dan stabilitas agregat berukuran besar meningkat dengan meningkatnya kandungan bahan organik.

Mulsa jerami dan sisa-sisa tanaman menekan evaporasi sehingga dapat mempertahankan kelengasan tanah dalam waktu lebih lama dan dimanfaatkan oleh akar tanaman.

4. LANGKAH STRATEGIS KE DEPAN

Perubahan iklim global tidak lagi merupakan wacana dan perdebatan akademis seperti anggapan banyak pihak sebelumnya, tetapi telah nyata dan menjadi ancaman pembangunan pertanian ke depan. Salah satu dampak negatif dari perubahan iklim global adalah makin langkanya ketersediaan air tanah untuk pertanian, karena anomali iklim *El-Nino* akan makin sering terjadi. Menghadapi dinamika lingkungan strategis demikian, tiada jalan lain kecuali menyusun strategi yang konseptual untuk melestarikan sumber daya air dan memanfaatkan air secara lebih efisien yang berdimensi jangka panjang.

Pelestarian sumber daya air dan pemanfaatan air secara efisien adalah tanggung jawab lintas sektoral di tingkat pusat, provinsi, kabupaten, kecamatan, dan desa. Pendekatan KISS (koordinasi, integrasi, sinkronisasi, dan sinergisme) adalah landasan yang harus digunakan dalam perencanaan dan pelaksanaan pembangunan.

4.1 Perencanaan Pembangunan Pertanian Berbasis DAS

Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup periode 1984–1988 mencanangkan pembangunan berwawasan lingkungan, yang komponennya adalah (a) perumusan program pembangunan secara holistik, (b) perencanaan dari bawah, (c) sasaran pembangunan tidak terbatas administrasi pemerintahan, (d) sasaran pembangunan terbatas agroekologi, (e) pendekatan sistem usaha pertanian (*agribusiness*), (f) perhatian terhadap kelestarian sumber daya alam, (g) perhatian terhadap keterkaitan DAS hulu, tengah, dan hilir, (h) kerja sama lintas sektoral secara vertikal dan horizontal, dan (i) penerapan sanksi hukum secara konsekuen terhadap pelanggaran dan penyimpangan. Konsep pembangunan berwawasan lingkungan masih relevan dengan kondisi dan situasi dewasa ini.

Pada Gambar 2 dapat dijelaskan hubungan fungsional antara DAS hulu (*Pluvial*), DAS tengah (*Freatik*), dan DAS hilir (*Fluksial*). DAS Brantas, Jawa Timur, adalah salah satu contoh untuk menjelaskan hubungan fungsional antara DAS dalam skala makro (Gambar 7). Sungai Brantas terdiri atas 40 anak sungai yang menampung dan mengalirkan air dari 12.000 km² (12% Jawa Timur) daerah tangkapan hujan dengan curah hujan rata-rata 2.000 mm/tahun. Sungai Brantas dan anak-anak sungainya sepanjang 320 km melewati sentra-sentra produksi pertanian dan pemukiman dari 14 juta orang (43% penduduk Jawa Timur), menyediakan air irigasi bagi 320.000 ha sawah, membangkitkan turbin listrik 900 Kwh/tahun, dan menunjang kebutuhan air baku sebanyak 300 juta m³/tahun.

Penghutan atau penghijauan DAS hulu, pemanfaatan DAS tengah dengan sistem usaha tani konservasi atau wanatani (*agroforestry*), dan penggunaan air secara efisien di DAS hilir harus dirancang oleh suatu institusi. Otorita DAS Brantas, anggotanya berasal dari kabupaten-kabupaten yang menguasai sub-DAS Brantas.

4.2 Pelestarian Potensi dan Pemanfaatan Air Tanah

Untuk memperbesar manfaat air tanah, kapasitas pengisian kembali air tanah harus diperbesar secara buatan melalui sumur. Air yang dimasukkan ke dalam sumur akan merembes ke dalam akuifer. Cara ini sangat efektif menambah volume air tanah terkekang di lapisan yang dalam. Untuk menghindari penyumbatan, air yang dimasukkan harus berkualitas. Ketersediaan air tanah akan lebih awet dengan mempertimbangkan volume cadangan air tanah.

Pemompaan air tanah diizinkan jika pengurangan volume air tanah tidak mengakibatkan penurunan tanah yang disebabkan oleh penurunan permukaan air tanah itu. Di Kabupaten Pati, Rembang, dan Blora, tandon air (embung)



Gambar 7. Sungai Brantas memberi sumbangan besar bagi perekonomian Jawa Timur; anak-anak sungainya berhulu di gunung-gunung terkenal yang harus dijaga kelestariannya (Perum Jasa Tirta I, 1997)

tidak hanya berfungsi sebagai penampung air hujan untuk mengairi tanaman, tetapi juga untuk menambah air tanah melalui perkolasi. Penduduk menggali sumur di dekat tandon air untuk keperluan rumah tangga. Air sumur masih cukup tersedia pada puncak musim kemarau, walaupun air di dalam tandon telah kering.

4.3 Aspek Kebijakan Pembangunan Irigasi Masa Depan

Irigasi masa depan merupakan bagian integral dari citra pertanian yang makin kompleks seperti diwujudkan dalam multifungsi pertanian, yaitu (a) fungsi produksi, yaitu menghasilkan bahan pangan untuk memenuhi kebutuhan penduduk yang terus naik; (b) fungsi ekonomi melalui aktivitas pemasaran dan distribusi hasil panen; (c) fungsi sosial, dalam bentuk pengolahan tanah, penanaman, pemeliharaan dan pemanenan yang melibatkan ribuan orang; (d) fungsi konservasi, karena kemampuannya menahan air dan menekan erosi; (e) fungsi budaya berupa kearifan lokal seperti dalam sistem subak di Bali dan tanah ulayat di Sumatera Barat.

Bertitik tolak dari pemikiran seperti di atas, Pasandaran (2008) mengusulkan agar pengembangan dan pemanfaatan irigasi ke depan berbasis kesejahteraan. Pemikiran itu dilandasi oleh fakta bahwa fungsi produksi, sosial dan budaya irigasi, setelah berhasil menyediakan pangan dan meningkatkan pendapatan

penduduk, bergeser ke fungsi ekonomi. Faktor pergeseran itu, adalah (a) konversi lahan sawah irigasi untuk keperluan nonpertanian, seperti industri, pariwisata, dan pemukiman makin tidak terkendali, dan (b) konversi DAS hulu untuk budi daya komoditas pertanian bernilai ekonomi tinggi, meningkatkan kejadian banjir, longsor pada musim hujan, dan kekeringan pada musim kemarau di DAS tengah dan hilir.

Untuk merumuskan kebijakan pembangunan dan pengembangan irigasi ke depan, status sumber daya lahan dan air dikelompokkan menjadi tiga, seperti berikut:

- Status 1 – lahan dan air tersedia untuk perluasan areal tanam agar produksi padi dan palawija naik,
- Status 2 – dinamika pembangunan menuntut perluasan penanaman komoditas untuk industri pertanian yang juga memerlukan air,
- Status 3 – konflik kepentingan yang dimenangkan oleh sektor industri,

Tabel 14. Status, peluang kegiatan dan masalah sumber daya lahan dan air yang harus ditangani pada beberapa provinsi di Indonesia

Status	Kegiatan untuk membuka peluang	Provinsi	Masalah yang harus ditangani
Status 1	Pembangunan sistem irigasi baru	Lembah Membramo (Papua)	Belum berpenduduk (petani padi sawah)
	Rehabilitasi lahan sawah yang telah dibuka (1,6 juta ha) yang terlantar	Sumatera, Sulawesi dan provinsi lain	Infrastruktur irigasi tidak berfungsi, lahan masam dan penduduk jarang
	Perbaikan infrastruktur tata air di lahan pasang surut (4 juta ha) yang telah direklamasi dan terlantar	Merauke (Papua)	Jumlah penduduk terbatas, kepemilikan lahan tidak jelas
Status 2	Pembukaan lahan hutan untuk perkebunan	Sumatera, Kalimantan, Papua provinsi lain	Sedimentasi dan pendangkalan sungai-sungai besar
	Pembukaan hutan di DAS hulu untuk budidaya komoditas bernilai ekonomi tinggi	Jawa, Sumatera, Sulawesi, Bali dan provinsi lain	Erosi berat, longsor, debit air sungai berkurang
	Pompanisasi untuk industri	Jawa, Sumatera dan Sulawesi	Penurunan muka air tanah dan air tanah
Status 3	Perluasan sektor lain di lahan sawah produktif	Jawa, Sumatera, Sulawesi, Bali dan provinsi lain	Luas lahan irigasi makin berkurang
	Penggunaan air berlebihan	Jawa, Sumatera, Sulawesi provinsi lain	Ketersediaan air tidak merata, perbaikan infrastruktur irigasi, penerapan UU lahan Pertanian Abadi dan PP lain
	Optimasi penggunaan air dengan diversifikasi	Jawa, Sumatera, Sulawesi dan Bali dan provinsi lain	Efisiensi pengelolaan air rendah, perbenihan dan pemasaran hasil

Sumber: Pasandaran, 2008

pariwisata, dan pemukiman, yang menyebabkan konversi lahan sawah produktif untuk keperluan nonpertanian.

Kebijakan pembangunan dan pengembangan irigasi berbeda untuk masing-masing status, seperti ditunjukkan dalam Tabel 14.

DAFTAR PUSTAKA

- Alihamsyah, T. 2001. "Prospek Pengembangan dan Pemanfaatan Lahan Pasang Surut dalam Perspektif Eksplorasi Sumber Pertumbuhan Pertanian Masa Depan". *Monograf Pengelolaan Air dan Tanah di Lahan Pasang Surut*. Balai Penelitian Tanaman Pangan Lahan Rawa. Hlm. 1–18.
- Balai Irigasi. 2007. "Pengelolaan Irigasi Hemat Air untuk Padi Sawah melalui *Metode System of Rice Intensification (SRI)*". Pelatihan Cara Pengamatan dalam Rangka Penelitian Irigasi Hemat Air pada Budi Daya Padi dengan Metode SRI. Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Air. Bekasi, 12–18 Februari 2007.
- Bouman, B.A.M., et al. 2007. "*Water Management in Irrigated Rice: Coping with Water Scarcity*". Los Banos: International Rice Research Institute. 52 Hlm.
- Chiu, W.T.F., et al. (Ed.). 2000. *Management of Slopelands in the Asia-Pacific Region*. Food & Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region. Taipei, Taiwan ROC. 90 Hlm.
- Fagi, A.M., dkk. 1987. "Hasil-Hasil Penelitian Optimalisasi Air untuk Irigasi dan Kualitas Air untuk Irigasi Pantai/Pertambakan". Penelitian Kerja sama Perum Otorita Jatiluhur Direktorat Pengairan dengan Program Penelitian Tataguna Air, Badan Litbang Pertanian. 164 Hlm.
- Fagi, A.M. dan I. Manwan. 1992. "Teknologi Pertanian dan Alternatif Penanggulangan Dampak Negatif Kemarau Panjang". *Prosiding Seminar Nasional Antisipasi Iklim 1992 dan Dampaknya terhadap Pertanian Tanaman Pangan*. Kerja sama Perhimpunan Meteorologi Pertanian Indonesia dan Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Hlm. 50–78.
- Fagi, A.M. dan I. Syamsiah. 1992. "Prospek Embung dalam Menunjang Kelestarian Produktivitas Lahan Tadah Hujan". *Prosiding Simposium Meteorologi Pertanian III: Iklim, Teknologi, dan Pembangunan Pertanian Berkelanjutan di Indonesia Bagian Timur*. Hlm. 195–210.
- Fagi, A.M. 1999. "Strategi Peningkatan Intensitas Pertanaman pada Lahan Sawah Irigasi Menunjang Swasembada Beras". Dalam N. Sriyani dkk. (Ed.). *Prosiding Seminar Peningkatan Produksi Padi Nasional melalui Sistem Tabela Padi Sawah dan Pemanfaatan Lahan Kurang*

- Produktif*. Kerjasama HIGI, PERAGI, dan UNILA. Bandar Lampung. 9–10 Desember 1998. Hlm. 10–17.
- Fagi, A.M. dan I. Las. 2007. “Menggali Potensi Pengembangan Pertanian pada Lahan Rawa”. *Prosiding Seminar Lahan Rawa*. Kuala Kapuas, Kalimantan Selatan, 2–4 Agustus 2007 (*in press*).
- Farhan, A. 1999. “Kinerja Pendistribusian Air Irigasi Serta Pengaruh Lokasi dan Takaran Pupuk N Terhadap Hasil Padi”. *Tesis*. Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. 110 Hlm.
- IRRI (International Rice Research Institute). 1989. *IRRI toward 2000 and beyond*. IRRI, Los Banos, Philippines. 70 Hlm.
- Moorman, F.R. and N. van Breemen. 1978. “Rice: Soils, Water, Land”. Los Banos: International Rice Research Institute. 185 Hlm.
- Pasandaran, E. 2008. “Irigasi Masa Depan: Memperjuangkan Kesejahteraan Petani dan Ketahanan Pangan”. Jaringan Komunikasi Irigasi Indonesia (JKI). 166 Hlm.
- Perusahaan Umum Jasa Tirta I. 1997. “Pengembangan Wilayah Sungai Kali Brantas”. Malang: Perum Jasa Tirta.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2001. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 77 tahun 2001 tentang Irigasi. Lembaran Negara Republik Indonesia No. 143 tahun 2001.
- PCARRD. 1983. *The Philippines Recommends for Irrigation Water Management*. Vol. 1. Lowland Rice Conditions. Technical Bulletin Series No. 34.
- Puslitbang Tanaman Pangan dan IRRI. 2007. Data penting: padi-dunia dan beberapa negara Asia. Puslitbangtan <http://www.puslittan.Bogor.net>
- Sarwani, M. 2001. “Penelitian dan Pengembangan Pengelolaan Air di Lahan Pasang Surut”. *Monograf Pengelolaan Air dan Tanah di Lahan Pasang Surut*. Balai Penelitian Tanaman Pangan Lahan Rawa. Hlm. 19–42.
- Syamsiah, I., dkk. 1990. “Potensi Embung, Teknik Pembuatan, serta Pemanfaatannya”. Seminar Hasil Penelitian 1989/90. Balittan Sukamandi, 3–6 September 1990.
- Sosrodarsono, S. 1977. *Hidrologi untuk Pengairan*. Pradnya Paramita. 226 Hlm.
- Setiobudi, D. 1997. “Alternatif Teknik Penghematan Air Irigasi melalui Sistem Pengairan Intermitten pada Tanaman Padi Sawah”. *Prosiding Seminar Nasional Optimalisasi Pemanfaatan Air Irigasi di Tingkat Usaha tani Menuju Pertanian Modern*. Balai Irigasi. Bekasi. Hlm. 50–60.

- Tomar, V.S. and J.S. O'Toole. 1984. "Evapotranspirasi Padi Sawah". Dalam E. Pasandaran dan D.C. Taylor (Ed.), *Irigasi: Perencanaan dan Pengelolaan*. Seri Pembangunan Pedesaan. Jakarta: Gramedia. Hlm: 49-76.
- Widjaja - Adhi. 1995. "Pengelolaan Lahan Rawa Pasang Surut dan Lebak". *Jurnal Litbang Pertanian*, 5(1).