

PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN PENGELOLAAN AIR DI LAHAN PASANG SURUT

Muhrizal Sarwani

ABSTRAK

Penelitian dan pengembangan pengelolaan air di lahan pasang surut di Indonesia masih sangat sedikit sekali dan terbatas pada pengelolaan dalam skala makro. Skema reklamasi lahan pasang surut yang dikembangkan sejak tahun 1970-an khususnya di Sumatera dan Kalimantan, diimplementasikan dalam bentuk drainase. Skema reklamasi tersebut dapat membuka lahan dalam skala besar, tetapi menimbulkan masalah baru yaitu pemasaman tanah dan air. Upaya perbaikan lahan melalui pengelolaan air telah dilakukan terutama pada akhir tahun 1980-an sampai awal 1990-an melalui proyek kerjasama Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (Balittra dan Puslittanak), Indonesia dan LAWOO, Belanda. Telah dikembangkan sistem pengelolaan air sesuai dengan tipe luapan dan sifat lahannya. Pada tipe B telah dikembangkan "sistem aliran satu arah (one-way flow system)" sedangkan pada tipe C telah pula dikembangkan "sistem tabat (konservasi)". Kedua sistem ini, terutama sistem aliran satu arah telah terbukti meningkatkan produktivitas lahan. Sejak satu dasawarsa terakhir, telah pula dihasilkan bahwa beragam pola tanam dapat dikembangkan di lahan pasang surut asal disertai dengan sistem pengelolaan air tingkat tersier yang sesuai dengan tipe luapan dan sistem pengelolaan air mikro (tingkat petani). Pertanaman padi-padi misalnya dapat dilakukan dengan beragam cara irigasi (terus menerus atau intermitten). Sedangkan pertanaman padi-palawija harus disertai oleh pembuatan saluran kemalir yang jaraknya disesuaikan dengan sifat tanah maupun tipe luapan. Pertanaman palawija-palawija dimungkinkan pada lahan tipe B/C asalkan disertai dengan pembuatan sistem drainase dangkal atau sistem surjan. Dalam skala penelitian pengembangan, sistem pengelolaan air yang dianjurkan dapat diterapkan secara teknis maupun ekonomis. Meskipun demikian, pada pengelolaan air sistem aliran satu arah memperlihatkan bahwa buangan unsur toksik dan unsur hara ke sekunder (lingkungan) juga cukup besar. Di masa depan pengelolaan air yang dikombinasikan dengan pengelolaan lahan diusahakan meminimalkan buangan unsur hara tetapi memaksimalkan buangan unsur toksik. Pengelolaan limbah toksik ini juga perlu mendapatkan perhatian yang cukup serius dalam pengelolaan lahan rawa pasang surut di masa mendatang agar produk pertanian yang diandalkan pada lahan rawa ini masih mendapat eco-label sehingga dapat bersaing di pasar Internasional.

PENDAHULUAN

Pada awal Pelita I, pembukaan lahan pasang surut diperuntukkan bagi persawahan yang dikelola dalam suatu lembaga yang disebut Proyek Persawahan Pasang Surut (P4S). Penekanan terhadap persawahan ini didasarkan pada kebijaksanaan pemerintah untuk meningkatkan produksi padi dan pengetahuan pada saat itu yang sebagian besar berasal dari pengalaman petani Bugis dan Banjar. Dengan berkembangnya penelitian dan pengembangan terutama pada dua dekade terakhir ini maka konsep-konsep lama telah banyak dirombak. Beberapa simposium tentang lahan pasang surut secara umum maupun tanah sulfat masam dan gambut secara khusus telah banyak dilaksanakan dan banyak temuan-temuan baru yang dapat memberikan alternatif-alternatif pemanfaatan lahan pasang surut (Dent, 1986; FP-IPB, 1992). Kendala tanah yang semula menjadi kendala dominan pengembangan lahan telah mulai dapat dikuasai dan dikendalikan sehingga berbagai jenis tanaman mulai dapat diusahakan di lahan ini. Pengelolaan air telah disepakati sebagai kunci keberhasilan pengelolaan lahan pasang surut. Pemerintahpun telah menyadari hal ini dengan diubahnya bentuk P4S menjadi Proyek Pengairan Pasang surut (P3S) pada Pelita III.

Penelitian dan pengembangan pengelolaan air di lahan pasang surut di Indonesia mungkin baru dimulai sejak tahun 1970-an melalui skema reklamasi pembukaan lahan khususnya di Sumatera dan Kalimantan, meskipun pembukaan lahan pasang surut telah dilakukan pada zaman Belanda dengan dibuatnya Anjir serapat pada tahun 1915. Skema reklamasi tersebut lebih banyak di implementasikan dalam bentuk drainase dan bersifat skala besar. Dari sisi pembukaan lahan yang dapat dibuka, skema reklamasi tersebut memberikan dampak yang sangat besar tetapi tidak mengakomodir sifat alamiah kawasan pasang surut sehingga membuat semakin luasnya lahan yang terlantar dan mati suri serta pemasaman lingkungan rawa pasang surut. Sejak dua dasawarsa terakhir penelitian dan pengembangan pengelolaan air dilakukan oleh Badan Litbang Pertanian baik melalui kerjasama dengan LAWOO group (Belanda) maupun secara mandiri (Balittra, Puslittanak, ISDP).

KONSEP PENGELOLAAN AIR DI LAHAN PASANG SURUT

Pengelolaan air dapat diartikan memanfaatkan penggunaan air secara tepat untuk meningkatkan produksi pertanian. Secara khas untuk lahan pasang surut, pengelolaan air bertujuan untuk: menyediakan air untuk kebutuhan evapotranspirasi tanaman, membuang kelebihan air, mencegah terjadinya elemen toksik (pirit misalnya) dan melindi (leaching) elemen toksik serta mencegah penurunan muka tanah (gambut).

Pengelolaan air di lahan pasang surut dapat berupa irigasi, drainase, konservasi atau intersepsi. Semuanya dapat dilakukan secara terpisah atau kombinasinya dan dengan kultur teknis yang tepat dapat meningkatkan produktivitas lahan bagi pertanian. Sifatnya dapat berupa pengelolaan air bawah tanah (groundwater management) atau pengelolaan air permukaan (surface-water management).

Secara lebih spesifik, lahan pasang surut sebenarnya mempunyai beberapa kelebihan terutama dengan adanya air pasang yang dapat digunakan sebagai sumber air irigasi. Selain itu, tanah gambut yang umum terdapat di lahan pasang surut juga memberikan keuntungan lainnya karena gambut mempunyai kemampuan memegang air yang sangat besar (300-800% bobotnya), sehingga kemampuan daya lepas airnya juga besar dan ini dapat digunakan untuk mengairi sawah selama musim kering (Widjaja-Adhi *et al.*, 1992).

Perlu dikemukakan bahwa prinsip pengelolaan air di lahan pasang surut harus mengacu kepada kondisi pembatasnya sehingga berbagai strategi dapat diterapkan. Kondisi pembatas ini dapat berupa aspek tanah dan air maupun aspek tanaman. Aspek tanah meliputi informasi lapisan pirit, ketebalan gambut, lokasi wilayahnya (fisiografinya), maupun topografi. Aspek air meliputi curah hujan maupun fluktuasi air pasang surut, dll. Berdasarkan data-data ini maka ketinggian air di lahan dapat diprediksi melalui perhitungan neraca air sehingga ketinggian air dapat diperhitungkan di tingkat petani. Tanpa adanya intervensi dalam neraca air tersebut melalui pengelolaan air, maka petani akan selalu menyesuaikan pada keadaan tinggi air dipermukaan tanah dan keadaan topografi. Selain itu aspek tanaman juga memegang peranan penting mengingat jenis maupun varietas akan menjadi penentu atau ditentukan oleh aspek air di lapang. Penggunaan varietas yang tinggi misalnya, merupakan respon petani terhadap fungsi ketinggian air di petakan lahan. Aktivitas seperti ini sebenarnya merupakan pola pasif dalam pengelolaan air.

Selain daripada itu, usaha-usaha petani melakukan pembuatan handil (saluran air) dan tabat (pintu air) merupakan intervensi dalam neraca air, sehingga memungkinkan perbaikan terhadap cara bercocok tanam. Intervensi

yang lebih dalam lagi adalah pola pengelolaan air yang telah dikembangkan para peneliti.

Sistem surjan di lahan pasang surut yang prinsipnya untuk menurunkan air tanah dapat juga disebut sebagai salah satu sistem pengelolaan air sama halnya dengan sistem drainase dangkal. Pengelolaan air, karena itu, dapat diterapkan pada berbagai jenis tanaman. Pengelolaan air yang tepat akan memudahkan pemilihan tanaman yang akan ditanam.

TIPOLOGI LAHAN DAN TIPE LUAPAN AIR SEBAGAI DASAR PENGEMBANGAN SISTEM PENGELOLAAN AIR

Sudah diketahui bahwa lahan pasang surut mempunyai sifat yang sangat heterogen baik dari tanah, air, maupun vegetasinya. Dua yang pertama memegang peranan yang sangat penting sebagai dasar strategi pengembangan lahan pasang surut dengan penekanan pengelolaan air. Dengan kata lain bahwa teknologi pengelolaan air harus menyesuaikan dengan keadaan tipologi lahan dan tipe luapannya.

Sesuai sifat alamiah kawasan rawa pasang surut, pembagian wilayah pasang surut berdasarkan tipe hidrologinya seyogyanya dijadikan sebagai dasar pengembangan sistem pengelolaan air. Hasil perumusan seminar pengembangan terpadu kawasan rawa pasang surut di Indonesia yang diadakan di IPB Bogor (1992) malah merekomendasikan perlunya kategori wilayah berdasarkan tipe hidrologi ini sebagai unit pengembangan agribisnis dalam sistem tata ruang wilayah.

Pembagian lahan pasang surut ke dalam 4 tipe luapan lahan berdasarkan jangkauan pengaruh air pasang disepakati oleh para pakar selama simposium nasional lahan pasang surut tahun 1976 di Palembang yang membagi lahan pasang surut ke dalam 4 tipe luapan, yaitu tipe A, B, C dan D. Kselik (1990) kemudian memperbaiki definisi tipe luapan tersebut dengan memasukkan pengaruh drainase, tanpa merubah istilah yang digunakan (tipe A, B, C dan D).

Kategori yang diperbaiki di atas khususnya tipe A, B, C dan D pada dasarnya tidak berbeda dari yang disepakati para pakar, hanya berbeda dalam tipe C saja. Luasan areal tipe C akan menjadi besar jika menggunakan kategori di atas sementara luasan D akan berkurang. Kategori di atas oleh Direktorat Rawa (1984) digunakan istilah lahan kategori I, II, III dan IV masing-masing istilah yang sama untuk tipe A, B, C dan D.

Selain berdasarkan tipe luapan/drainase, Widjaja-Adhi (1986) mengusulkan 4 tipologi lahan utama di lahan pasang surut berdasarkan jenis/sifat

tanahnya yaitu tipologi potensial (non sulfat masam dan/atau sulfat masam potensial), sulfat masam, gambut/bergambut, dan salin.

Atas dasar kendala dan potensi yang dijumpai dari tipe luapan dan tipologi lahan maka dapat ditentukan strategi pengelolaan lahannya.

KRONOLOGIS DAN SEJARAH PERKEMBANGAN PENGELOLAAN AIR DI INDONESIA

Penelitian pengelolaan air di lahan pasang surut di Indonesia sangat sedikit sekali dan terbatas pada pengelolaan dalam skala makro dengan pembuatan berbagai macam sistem sistem rekmalasi seperti sistem garpu. Selain itu, penelitian pengelolaan air pada tingkat tersier sangat sulit dilakukan mengingat adanya kendala interflow dan compounding dengan berbagai sistem yang ingin diterapkan (Kselik, 1990).

Tidak diketahui secara pasti sejak kapan pengembangan pengelolaan air secara tradisional oleh petani Banjar dan Bugis. Mungkin lebih dari ratusan tahun yang lalu, para petani dari kedua etnis tersebut mengembangkannya untuk membuka lahan pasang surut di sepanjang pantai Sumatera dan Kalimantan. Diperkirakan lebih dari sejuta ha lahan pasang surut di sepanjang pantai Kalimantan dan Sumatera telah terbuka melalui cara tradisional ini (Muhrizal *et al.*, 1997).

Petani Banjar dalam berusaha tani menyesuaikan saja dengan gerak-geriknya pasang surut yang sebagian besar dipengaruhi oleh pola diurnal Bulan/Matahari. Oleh karena itu, Bulan dan Matahari serta bintang-bintang digunakan dalam penentuan pelaksanaan budidaya utamanya saat tanam dan persiapan lahan. Sebenarnya ini dihubungkan dengan keadaan hidrotopografi lokasinya. Setelah pembersihan hutan yang terpilih, handil dibuat dengan kedalaman 0,5-1 m dan lebar 2-3 m tergantung dari magnitud dari pasang surutnya air (Idak, 1982). Biasanya handil dibuat tegak lurus dari sungai atau kanal. Saluran sekunder juga dibuat dan tegak lurus terhadap handil, tetapi tergantung dari regim airnya (hidrotopografinya). Lokasi-lokasi dekat pantai atau termasuk dalam tipe luapan A biasanya saluran ini dibuat dengan lebar 0.3 m dan dalam 0.5 m. Tetapi pada lokasi tipe B dan C, saluran sekunder tidak dibuat sebaiknya dibuat tabat pada mulut handil. Persiapan lahan untuk pertanaman padi dilakukan secara sederhana dan disesuaikan dengan kadaan air di persawahan. Biasanya dimulai pada awal musim hujan dengan ketinggian air di persawahan sekitar 5 cm. Karena itu, petani selalu menggenangi lahannya dengan jalan menutup saluran pembuangan atau melakukan pembuatan tabat pada tipe B dan C. Pertanaman harus selesai bulan Februari (tipe A) atau Maret-April (tipe B/C)

dengan menggunakan tanaman yang telah ditanam beberapa kali (teradak-ampak-lacak) (Noorsyamsi dan Hidayat, 1974).

Pembukaan lahan secara besar-besaran pada tahun 1970-an melalui sistem garpu (Kalimantan) dan sisir ikan (Sumatera) dengan pembuatan saluran primer, sekunder dan tersier telah dapat membuka lahan secara luas. Sistem pembukaan lahan seperti ini didasarkan pada prinsip drainase lahan (leaching). Akan tetapi cara seperti ini di lain pihak telah menyebabkan semakin luasnya lahan tidur akibat semakin masamnya tanah dan semakin menyusutnya lahan gambut. Pengamatan yang dilakukan oleh Muhrizal (1994), dengan menghitung secara komparatif dari peta-peta yang tersedia, menunjukkan penyusutan kawasan gambut yang sangat besar telah terjadi dikawasan Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah.

Penelitian kerjasama Badan Penelitian, dan Pengembangan Pertanian (Balittra dan Puslittanak) dengan LAWOO group (1988-1992) dikhususkan untuk menangani masalah tanah sulfat masam dengan penekanan pada pengelolaan air. Pengelolaannya diterapkan pada tingkat tersier dan mengoptimalkan pemanfaatan sistem pengelolaan air yang sudah dirancang pada tingkat primer dan sekunder.

Penelitian selanjutnya (1992-2000), yang dikerjakan oleh Badan LitBang Pertanian (dalam hal ini Balittra dan Puslittanak) menekankan pengelolaan pada tingkat petani (pembuatan saluran cacing) dan mengoptimalkan pola tanam (padi-padi, padi-palawija, palawija-palawija). Selain itu, penelitian yang bersifat pengembangan telah dilakukan oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian di Sumatera (ISDP) dan Kalimantan (Balittra).

KERAGAAN HASIL PENELITIAN PENGELOLAAN AIR DI LAHAN PASANG SURUT

Sifat air dan tanah

Pengelolaan air pada tingkat tersier (petani) tentu saja dipengaruhi oleh keadaan hidrologi dan infrastruktur hidraulik lokasi. Sifat hidrologi merupakan kondisi pembatas (boundary condition) dalam pengelolaan air. Karena itu, sifat hidrologi khususnya neraca air perlu diketahui secara detil agar dapat merancang strategi pengelolaan air yang tepat sesuai dengan sifat alamiah lahan sehingga pengelolaan lahan yang lumintu dapat tercapai.

Hasil perhitungan neraca air yang dilakukan di berbagai tipe luapan lahan memperlihatkan bahwa lokasi tipe A akan selalu tergenang hampir sepanjang musim sehingga prospek irigasi maupun drainase sangat memungkinkan karena besarnya pengaruh pasang surut; pada tipe B irigasi hanya dapat dilakukan

selama pasang tunggal, sedangkan pada tipe C satu-satunya sumber air adalah air hujan atau air hutan (Kselik, 1990)

Lahan pasang surut tipe B adalah lahan yang hanya terluapi oleh air pasang selama pasang besar yang terjadi dua kali sebulan. Dalam satu periode pasang, air hanya dapat meluapi lahan selama 3-5 hari. Setiap pasang harian air hanya dapat menggenangi lahan selama 3-4 jam. Keadaan demikian mengakibatkan lahan ini lebih lama berada tanpa genangan air.

Lahan pasang surut tipe C adalah lahan pasang surut yang tidak dipengaruhi secara langsung oleh ayunan pasang surut air. Ketersediaan air pada lahan dengan tipe luapan ini sangat tergantung pada besarnya curah hujan atau gerakan kapiler tanah. Pada musim hujan ketersediaan air dapat berlebihan sehingga diperlukan drainase. Pada musim hujan air pada permukaan tanah dapat mencapai ketinggian 65 cm. Fluktuasi permukaan air selama musim hujan berkisar sekitar 30 cm dan pada musim kemarau berkisar sekitar 10 cm (Kselik, 1990). Fluktuasi permukaan air harian dapat mencapai 5 cm pada siang hari dan 40 cm selama sehari semalam (Kselik, 1990)

Implikasi dari perhitungan neraca air di atas yang didukung oleh pengetahuan akan kendala yang di hadapi pada berbagai tipologi lahan (sulfat masam, gambut) sangat penting dalam menentukan strategi pengelolaan lahannya. Data pengamatan dinamika hara memperlihatkan bahwa kelarutan unsur toksik seperti Fe, Al, SO_4 air mencapai puncaknya pada minggu-minggu awal setelah hujan turun dengan pH yang sangat masam ($pH < 3,5$), dan berangsur-angsur menurun sampai mendekati musim kemarau (Muhrizal dan Shamshudin, 1996).

Keragaman sifat tanah juga dijumpai di lahan pasang surut. Tabel 1 menggambarkan keragaman sifat tanah dari berbagai tipe luapan dan tipologi lahan.

Tabel 1. Sifat fisik kimia tanah lahan pasang surut (lapisan 0-30 cm) dari berbagai tipe luapan dan tipologi lahan di Kalimantan Selatan dan Kalimantan Tengah.

Sifat kimia dan Lahan Potensial tekstur tanah	Lahan Sulfat Masam				Lahan Gambut
	Tipe A ¹	Tipe B ¹	Tipe C ²	Tipe B/C ¹	Tipe C ¹
pH-HO	5,31	3,94	3,70-3,69	3,46-4,74	4,3
C-Organik (%)	4,55	9,75	7,10-7,50	46,97	-
N-total (%)	0,20	0,59	0,27-0,48	0,12-0,21	0,38
PO tersedia (ppm)	25,3	-	0,25-23,55	1,57	7,87
Cu terekstrak (ppm)	-	-	-	0,18	-
EC (uS/cm)	561,5	172,0	301,0	40,0	-
Kation Tertukar:					
Ca (cmol/kg)					
Mg (cmol/kg)					
K (cmol/kg)	0,70	0,40	0,32	2,04	0,72
Na (cmol/kg)	4,65	0,15	0,39	2,76	0,29
Al (cmol/kg)	0,60	7,50	13,25	5,21	3,95
Kejenuhan Basa (%)	81	26	-	4,40-28,78	-
Tekstur:					
Liat (%)	56	36	56	Hemik	54
Debu (%)	43	61	43	Hemik	45
Pasi (%)	1	3	1	Hemik	1
Berat Jenis (g/cm)	-	-	-	0,24	-

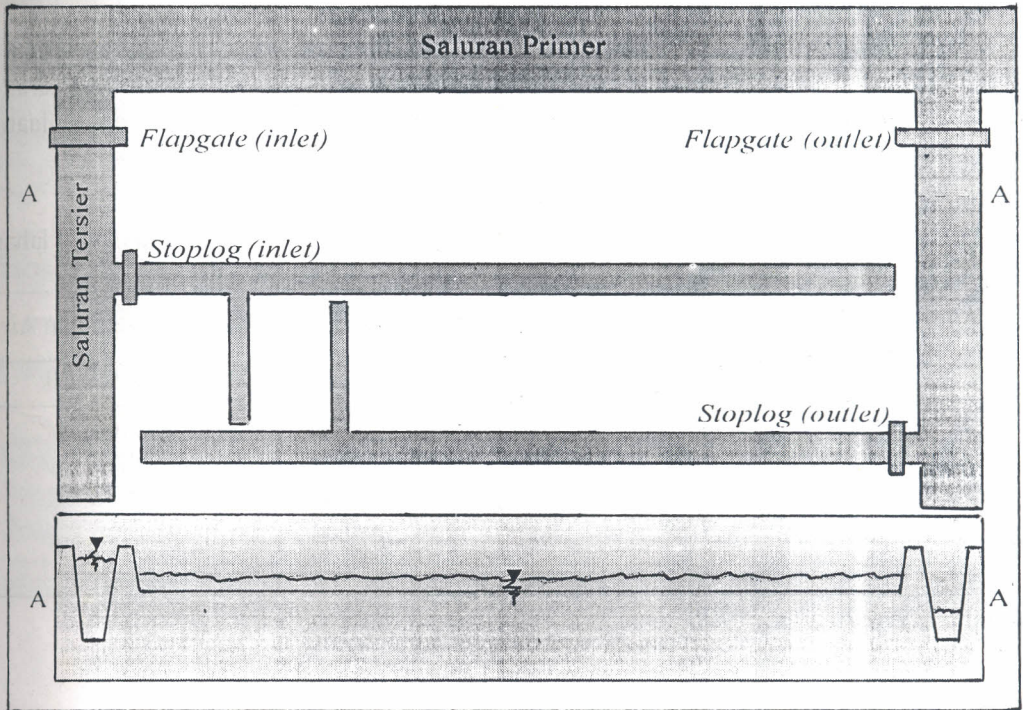
Sumber: Vandari *et al.* 1990; 1992; Noor *et al.* 1992

Berdasarkan pada tipe luapan lahan dan memperhatikan kondisi tanahnya, maka telah dikembangkan berbagai sistem pengelolaan air di lahan pasang surut. Pada tipe B telah dikembangkan “sistem aliran satu arah (one-way flow system)” sedangkan pada tipe C telah pula dikembangkan “sistem tabat (konservasi)”. Kedua sistem ini, terutama sistem aliran satu arah telah terbukti meningkatkan produktivitas lahan (Kselik 1990). Hasil-hasil penelitian lanjutan yang telah dilakukan (periode 1992-2000) telah pula membuktikan bahwa beragam pola tanam dapat dikembangkan di lahan pasang surut asal disertai oleh sistem pengelolaan air tingkat tersier yang sesuai tipe luapan dan sistem pengelolaan air mikro (tingkat petani). Pertanaman padi-padi misalnya dapat dilakukan dengan beragam cara irigasi (terus menerus atau intermitten) dan sumber air irigasi. Sedangkan pertanaman padi-palawija harus disertai oleh pembuatan saluran kemalir yang jaraknya disesuaikan dengan sifat tanah maupun

sifat lahan (tipe luapan). Pertanaman palawija-palawija dimungkinkan pada lahan tipe B sekalipun asalkan disertai dengan pembuatan sistem drainase dangkal atau sistem surjan.

Sistem Aliran Satu Arah di Lahan Tipe B

Sistem ini dirancang sedemikian rupa sehingga air di kelola untuk masuk dan keluar dalam tersier/handil yang berlainan. Untuk itu maka pada masing-masing muara tersier dipasang pintu-pintu air otomatis (flapgates). Pintu air pada saluran irigasi dirancang secara semi otomatis untuk terdorong kedalam sehingga hanya membuka apabila terjadi air pasang dan menutup apabila terjadi air surut. Pada saluran drainase dipasang pintu air yang membuka keluar sehingga hanya akan mengeluarkan air yang masuk tersier apabila terjadi surut. Keadaan ini menciptakan terjadinya sirkulasi air dalam satu arah baik air permukaan maupun air bawah tanah karena adanya perbedaan muka air tanah dari tersier irigasi dan drainase. Air yang masuk melalui saluran irigasi ke dalam petak-petak persawahan disirkulasikan dalam satu arah (one ways system) untuk kemudian keluar melalui saluran drainase. Selanjutnya pada pintu-pintu kuarter dipasang pengatur air (*stoplogs*) yang dapat dibuka dan ditutup secara manual bilamana diperlukan. Gambar 1 mengilustrasikan sistem aliran satu arah.



Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbaikan sistem pengelolaan air dari dua arah menjadi satu arah dapat meningkatkan hasil padi 60% pada musim kemarau dan dari 120 sampai 150% pada musim hujan (Tabel 1)

Tabel 1. Pengaruh sistem pengelolaan air (satu arah dan dua arah) terhadap hasil padi pada tanah sulfat masam tipe B. Unit Tatas, Kalimantan Tengah. 1988-1991

Sistem Pengelolaan Air	Hasil Padi (t GKG/ha)
Dua Arah (MH 88/89)	1,26
(MK 89)	1,43
Satu Arah (MH 89/90)	2,80
(MK 90)	2,34
(MH 90/91)	3,19

Dilumpurkan tanpa kapur

Sumber: Noor dan Saragih, 1993

Peningkatan hasil padi diatas berhubungan erat dengan terjadinya perubahan kualitas air tanah setelah adanya perbaikan sistem pengelolaan air. Terjadi penurunan Fe^{2+} , Al^{3+} dan SO_4^{2-} sesudah diterapkannya perbaikan sistem pengelolaan air satu arah (Tabel 2). Pengelolaan air sistem aliran satu arah memungkinkan beragam pola tanam dengan syarat diperlukan pengelolaan tingkat lahan

Tabel 2. Pengaruh perbaikan sistem pengelolaan air terhadap kualitas air di lahan sulfat masam tipe B. Unit Tatas, Kalimantan Tengah.

	Sebelum diterapkannya sistem satu arah	Setelah Perbaikan Sistem Pengelolaan Air	
	Sep'88-Agt'89	Sep'89-Des'89	Jan-Jul '90
pH-H O	3,63	3,32	3,66
SO (me/l)	3,60	0,76	2,18
Fe	0,83	0,40	0,78
Al	0,94	0,36	0,58
Mg	0,84	0,25	0,55

Sumber: Vadari *et al.*, 1990.

Pola padi-padi

Pengelolaan air sistem aliran satu arah ini dapat mengakomodir pertanaman padi 2 kali setahun (padi-padi) karena irigasi secara kontinyu dapat dilakukan. Tabel 3 memperlihatkan konsistensi sistem pengelolaan air satu arah pada berbagai cara irigasi dan pengelolaan tanah dalam mendukung pola padi-padi. Sedangkan pengelolaan air dengan sistem pengaliran permukaan dan drainase (flushing and drainage) dapat memberikan hasil lebih baik dibandingkan dengan penggenangan (*standing water*) dan air hujan yang dikonservasi (Tabel 4).

Tabel 3. Pengaruh pengelolaan air dan pengolahan tanah terhadap hasil tanaman pada pola padi-padi (Sawit Dupa) di lahan rawa pasang surut tipe B bertanah sulfat masam, Unit Tatas, Kalimantan Tengah MT. 1994/95-1995/96

Pengelolaan air Mikro	Pola padi-padi (sawit dupa di lahan rawa pasang surut tipe B)			
	Padi unggul MH 94/95 (t/ha)	Padi lokal MK 1995(t/ha)	Padi unggul MH 95/96(t/ha)	Padi lokal MK 1996(t/ha)
Irigasi 3 harian	3,05	1,85	2,50	2,75
Irigasi 6 harian	2,67	1,70	2,40	2,61
Irigasi 9 harian	2,42	1,53	2,40	2,59
Irigasi air pasang	2,15	1,50	2,20	2,42

Angka sekolom yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata berdasarkan DMRT 5%

TOT = tanpa olah tanah, persiapan lahan dilakukan dengan menggunakan alat tradisional yang disebut tajak yang hanya mengikis rumput di atas tanah.

OT = olah tanah yang dilakukan dengan menggunakan traktor tangan sedemikian sehingga tanah melumpur. Padi unggul yang digunakan adalah varietas IR66, sedangkan padi lokal yang digunakan adalah Siam.

Tabel 4. Pengaruh berbagai cara dalam pengelolaan air terhadap hasil padi di lahan sulfat masam tipe B. Unit Tatas, Kalimantan Tengah MT 1991

Cara pengelolaan air	IR-42 (Tanam I)	Lokal/Pandak (tanam II)
	(t/ha)	(t/ha)
Konservasi air hujan	3,00	3,40
Pengaliran permukaan dan drainase	3,11	3,61
Penggenangan	3,11	3,38

Sumber: Noor *et al.* 1992

Pada pola ini pengelolaan air dengan menggunakan air irigasi yang kontinyu dan pembuatan saluran kemalir dengan jarak 3-6 m memberikan hasil yang terbaik dan dapat mengurangi kemasaman tanah, mengurangi akumulasi sulfat, besi, dan Al-dd (Tabel 5).

Tabel 5. Pengaruh jarak kemalir terhadap perubahan kimia di lahan pasang surut sulfat masam. Palingkau Kalimantan Tengah MH. 1997/98

Jarak	Sifat kimia tanah			
	pH	Fe (ppm)	S-Pirit (%)	Al-dd (Me/100 g)
Tanpa kemalir	3,98 c	405,71 a	0,50 a	12,90 a
Kemalir 3 m	4,46 a	225,80 c	0,40 a	8,40 b
Kemalir 6 m	4,34 a	227,84 c	0,25 b	5,25 c
Kemalir 9 m	4,25 b	323,29 b	0,42 a	8,80 b
Kemalir 12 m	4,10 c	405,75 a	0,46 a	7,15 bc
Kemalir 15 m	4,06 c	397,57 a	0,37 a	10,05 a

Pengelolaan air dengan menahan rembesan air yang kaya besi dengan jalan membuat saluran intersepsi dapat mengurangi keracunan besi dan sekaligus dapat meningkatkan hasil padi hampir 25% (Muhrizal *et al.*, 1997). Hasil penelitian sebelumnya juga menunjukkan kenaikan hasil padi (Kselik, 1990).

Pencucian dengan air yang selalu mengalir cenderung menghasilkan unsur toksik yang lebih rendah dibandingkan dengan cara pencucian lainnya. Pencucian lahan pada waktu konsentrasi unsur-unsur meracun berada pada puncaknya akan memberikan hasil padi yang lebih baik sehingga dengan melihat dinamika hara dan unsur-unsur meracun kita dapat mengatur kapan waktu yang tepat untuk mendrainase lahan (Muhrizal *et al.*, 1997). Pencucian lahan dengan kualitas air yang baik yang dilakukan 1 atau 2 kali per bulan (setiap pasang kecil atau pasang besar) secara efektif tidak hanya dapat membuang unsur-unsur meracun tetapi juga membuang unsur hara yang bermanfaat seperti K, Ca dan Mg (Tabel 6). Di masa depan penelitian pengelolaan air haruslah diarahkan kepada integrasi dengan pengelolaan lahannya yang dapat mengurangi terbuangnya unsur hara tetapi meningkatkan terbuangnya unsur meracun.

Tabel 6. Rata-rata kualitas air masuk dan keluar dari/ke petak yang drainase (1 kali dan 2 kali) pada berbagai jarak kemalir. Belandean Kalimantan Selatan MT 2000.

Perlakuan	pH	DHL uS/cm	----- Me/L -----					
			Al	H	Fe	SO ₄	K	Na
Air masuk	5,30	105	0,07	0,06	0,10	0,53	0,2	0,05
Air keluar								
A3	3,42	277	0,20	0,13	0,36	0,32	0,10	0,34
A6	3,43	277	0,13	0,70	0,38	0,35	0,10	0,97
A9	3,44	263	0,15	0,12	0,36	0,33	0,14	0,87
A12	3,67	234	0,15	0,13	0,37	0,41	0,06	0,72
B3	4,07	237	0,15	0,09	0,39	0,49	0,19	0,74
B6	4,15	228	0,13	0,085	0,42	0,32	0,18	0,64
B6	3,88	225	0,16	0,15	0,38	0,40	0,17	0,62
B12	4,33	249	0,15	0,10	0,35	0,48	0,15	0,62

A= didrainase sekali sebulan; B= didrainase dua kali sebulan
3,6,9,12 = jarak antara saluran drainase.

Pola padi-palawija

Pengelolaan air sistem satu arah juga dapat mendukung pengembangan pola padi-palawija tetapi harus disertai pembuatan saluran kemalir (Tabel 7). Jarak kemalir 2,5-5 m memberikan hasil yang terbaik.

Tabel 7. Pengaruh jarak kemalir terhadap hasil padi dan kedelai/kacang tanah pada pola padi-palawija di lahan pasang surut tipe B bertanah sulfat masam, Unit Tatas, Kalimantan Tengah. MT 1994/95-1995/96.

Jarak kemalir	MK 1994		MH-1994/95		MK 1995		MH-1995/96		MK 1996	
	Kedelai (Wilis) (t/ha)	K. Tanah (Gajah) (t/ha)	Padi (IR66) (t/ha)	Kedelai (Wilis) (t/ha)	K. Tanah (Gajah) (t/ha)	Padi (IR66) (t/ha)	Kedelai (Wilis) (t/ha)	K. Tanah (Gajah) (t/ha)		
1. 2,5 m	1,95	1,34	3,77	1,26	1,40	3,30	1,59	1,34		
2. 5,0 m	2,20	1,42	3,52	1,81	1,71	3,45	2,34	2,00		
3. 7,5 m	2,02	1,33	3,31	1,82	1,59	3,30	1,48	1,25		
4. 10,0 m	1,82	1,16	2,94	1,43	1,23	2,50	1,08	0,97		

Pola Palawija-palawija

Penanaman palawija di lahan pasang surut sering mengalami hambatan karena adanya genangan setelah pasang besar sehingga tanaman mengalami hambatan fisiologis/strees kelebihan air. Karena itu petani menyikapinya dengan membuat sistem surjan. Tetapi, sistem ini mempunyai beberapa kelemahan diantaranya memerlukan tenaga kerja yang banyak (500 HOK), waktu yang relatif lama, dan mempunyai resiko tersingkapnya lapisan pirit. Pertanaman palawija di lahan pasang surut tipe B dapat dilakukan bahkan pada musim hujan sekalipun dengan pengelolaan air aliran satu arah tetapi harus disertai dengan pembuatan saluran drainase dangkal. Sistem pengelolaan air ini dirancang dengan membuat saluran keliling lahan secara berlapis. Sistem drainase dangkal adalah sistem pengelolaan air bawah tanah. Sistem ini dirancang untuk dapat menurunkan muka air tanah pada batas antara 0,4-0,6 m dari atas permukaan tanah. Pada sistem ini dibuat beberapa saluran dangkal pada jarak tertentu (10 m) dengan ukuran saluran 0,6 m x 0,4 m. Dengan menerapkan sistem drainase dangkal yang dikombinasikan dengan pemupukan dan penggunaan bahan amelioran, tanaman kedelai dapat memberikan hasil hingga 2,3 t/ha, jagung 4,3 t/ha dan kacang tanah 2,4 t/ha (Tabel 8). Selain itu air bawah tanah mengalami perbaikan (Tabel 9). Meskipun demikian, karena masalah hama penyakit, hasil tidak maksimal selama musim hujan (Tabel 8).

Tabel 8. Hasil kedelai, jagung dan kacang tanah pada sistem drainase dangkal di lahan pasang surut Tipe B dengan pengelolaan air aliran satu arah. Unit Tatas, Kalimantan Tengah 1989-1996

	MH89/90 (t/ha)	MK'90 (t/ha)	MK'94 (t/ha)	MH'94/95 (t/ha)	MK'95 (t/ha)	MH'95/96 (t/ha)	MK'96 (t/ha)
Kedelai	1,38	1,99	2,00	0,99	1,94	1,08	2,38
Jagung	0,58	4,32	-	-	-	-	-
Kacang Tanah	1,52	2,70	1,49	1,80	2,58	1,35	2,38

Sumber : Noor *et al.* 1992 ; Muhrizal *et al.* 1997

Tabel 9. Kualitas air tanah pada sistem drainase dangkal dibandingkan dengan sistem sawah, Unit Tatas MK-MH 1988/89 ((Sevenhuysen and Kselik, 1992)

Sifat Air Tanah	Musim Hujan		Musim Hujan	
	Drainase dangkal (n=58)	Sawah (n=267)	Drainase dangkal (n=78)	Sawah (n=945)
pH	5,0	3,9	4,3	3,6
SO (me/L)	2,0	2,7	3,1	5,1
Fe (me/L)	0,66	0,55	0,82	1,1
Al (me/L)	0,71	1,1	0,90	1,2
Mg (me/L)	0,39	0,58	0,90	1,2

Musim kemarau dari Juli-Desember; musim hujan dari Januari-Juni; n=jumlah sampel air yang dianalisis

Perbandingan sistem drainase dangkal dengan sistem surjan memperlihatkan bahwa sistem surjan memerlukan waktu yang lebih lama, paling tidak 2 musim tanam untuk dapat menghasilkan kedelai. Selama 2 musim tanaman pertama, persentase tumbuh dibawah 50% (Tabel 10).

Tabel 10. Pengaruh lebar surjan terhadap persentase tanaman yang tumbuh dan jumlah polong/rumpun untuk tanaman kedelai pada pertanaman pertama dan kedua setelah pembuatan surjan. Unit Tatas, Kalimantan Tengah. 1994-1995

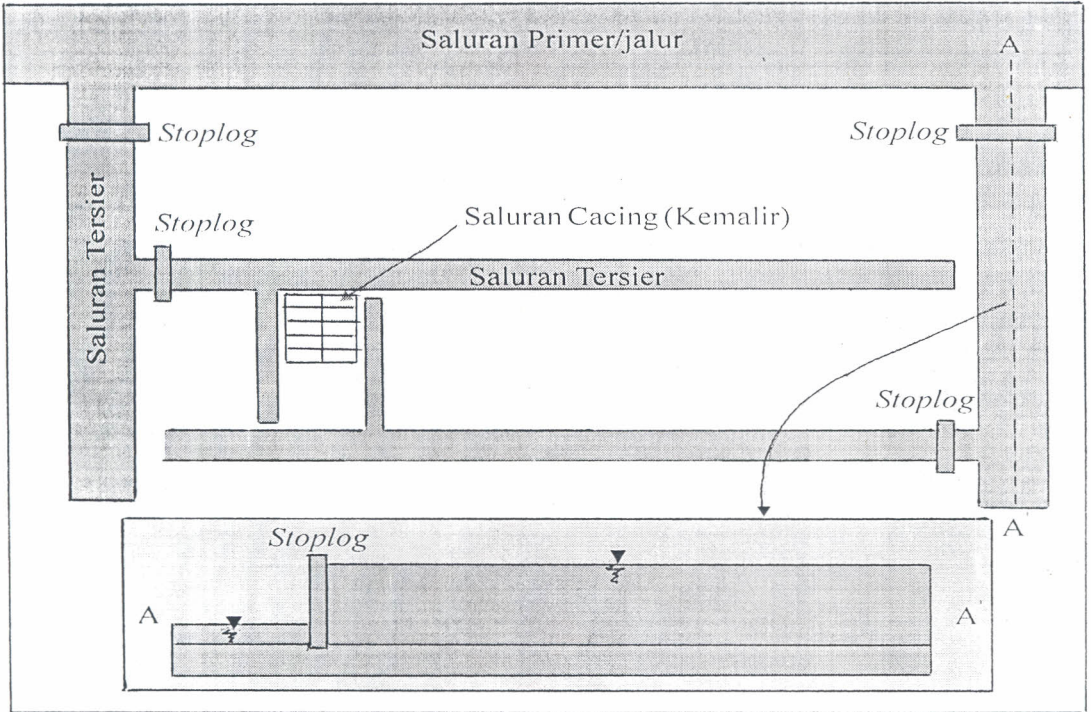
Lebar surjan	Musim I		Musim II	
	% tumbuh	Jl.Polong rumpun	% tumbuh	Jl.Polong rumpun
2 m	20,8	13	33,3	33
3 m	31,7	22	44,6	35
4 m	30,6	24	41,6	34
5 m	26,3	24	43,5	37

Sumber: Muhrizal *et al.* (1997)

Sistem Tabat di Lahan Tipe C

Pada lahan pasang surut tipe C, selama musim hujan akan berlebihan air sedangkan pada musim kemarau kekurangan air. Kondisi demikian mengakibatkan hasil yang diperoleh tidak optimal, sehingga perlu dilakukan pengelolaan air. Diantara sejumlah sistem pengaturan air yang diteliti, sistem tabat dapat mengkonservasi air untuk keperluan musim kemarau dan mengurangi banjir pada musim penghujan. Prinsip kerja sistem ini adalah memanen air hujan dan menampungnya dalam saluran kolektor (sekunder) untuk dialirkan ke petak-petak sawah.

Sistem tabat dilaksanakan dengan cara memfungsikan saluran sekunder menjadi saluran kolektor. Pada saluran ini dipasang pintu tabat (overflow) yang ketinggiannya dapat diatur. Pada saat hujan, pintu-pintu dibiarkan terbuka untuk membuang unsur toksik setelah 4 sampai 6 minggu kemudian pintu tabat mulai difungsikan. Gambar 2 memperlihatkan lay out sistem tabat. Sistem tabat yang dikombinasikan dengan kultur teknis lainnya, dapat mendukung pola tanam padi-padi, padi-palawija dan palawija-palawija asal disertai pengelolaan tingkat petani.



Pola padi-padi

Hasil percobaan pertanaman padi unggul (IR 66) yang dilakukan selama musim hujan untuk pola padi-padi disajikan pada Tabel 11. Penggunaan sumber air irigasi berupa air hujan yang dikonservasi dengan penggunaan tabat selama musim hujan pada lahan pasang surut tipe C memberikan hasil yang jauh lebih baik dibandingkan sumber air lain. Hasil analisis terhadap air tersier maupun air pasang dari primer/ sekunder menunjukkan bahwa kualitas air sangat menentukan dalam pengelolaan air di lahan pasang surut. Air sekunder maupun tersier mempunyai kualitas yang tergolong buruk dibandingkan dengan air hujan.

Kualitas air pada saluran tersier mempunyai tingkat kemasaman tinggi (pH 2,3-3,5). Kadar SO_4^{2-} beragam antara 1-10 me/L, EC antara 300-1 400 uS/cm, Al^{3+} antar 0,16-2 me/L (1-20 ppm), Fe^{2+} antara 0-1,2 me/L dan Cl hanya dapat terukur pada awal musim kemarau (Konsten *et al.*, 1990). Tingkat kemasaman air pada saluran tersier berbeda antara musim kemarau dengan musim hujan masing-masing mempunyai pH 3,5 (akhir musim kemarau) dan 2,3 (akhir musim hujan).

Hal ini dapat dimaklumi mengingat saluran-saluran air yang dibuat memang diperuntukkan bagi pembuangan hasil-hasil pencucian lahan. Hanya saja harus disadari bahwa kemampuan pasang surut air mungkin hanya terbatas pada jarak sekitar 5-7 km dari sungai. Karena lokasi penelitian berjarak kurang lebih 10 km dari sungai sehingga hasil pencucian masih belum masuk ke sungai tetapi telah kembali lagi di dorong oleh adanya air pasang yang datang kemudian. Hasil pengukuran pH air berdasarkan jarak dari sungai telah dilakukan oleh Kselik (1990) maupun Muhrizal *et al.* (1997) dan ditunjukkan bahwa pH semakin rendah dengan semakin jauhnya jarak dari sungai.

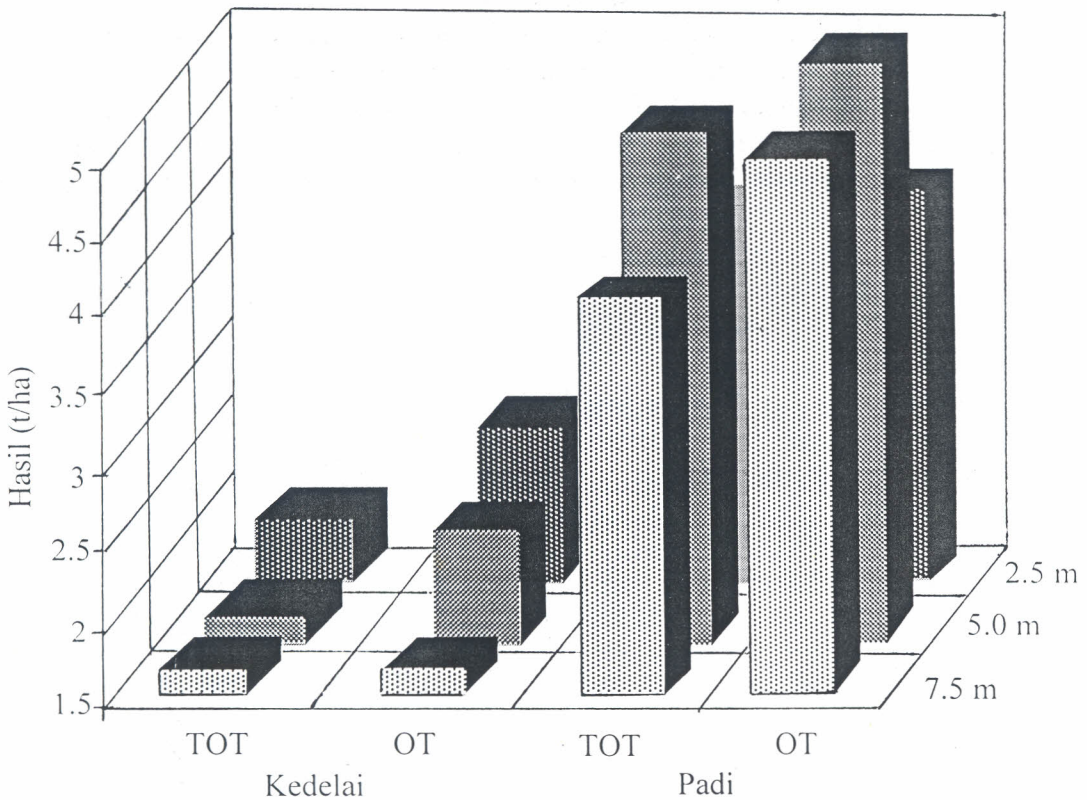
Tabel 11. Pengaruh sumber air irigasi dan penggunaan garam terhadap hasil padi IR 66, Barambai, Kalimantan Selatan, MH 1994/95

Sistem pengelolaan air	Garam (kg/ha)			Rataan
	0	100	200	
Air hutan sekunder (tersier)	2,76	3,86	3,31	3,31
Tabat air hujan	4,53	4,63	4,42	4,53

Sumber: Muhrizal *et al.* (1997)

Pola padi-palawija

Hasil dari penelitian yang dilakukan memperlihatkan bahwa pada pola padi-kedelai, jarak kemalir mempengaruhi hasil padi dan kedelai (Gambar 3). Pengaruh jarak kemalir terlihat jelas pada perlakuan dengan olah tanah dimana jarak kemalir 2,5 m menghasilkan kedelai yang tertinggi dibandingkan jarak kemalir lainnya. Pada tanaman padi jarak yang cukup efektif adalah 5m. Hal ini memperlihatkan perlunya dibuat saluran-saluran kemalir agar pola padi yang memerlukan ketergenangan air dan kedelai yang menghendaki tidak memerlukan banyak air dapat dilaksanakan. Pembuatan kemalir selain berfungsi membuang kelebihan air, yang pada saat pertanaman kedelai (MK) masih sering terjadi, juga berfungsi untuk mencuci unsur meracun di permukaan tanah (yang terbentuk akibat daya kapiler pada saat turunnya muka air tanah sampai kedalaman tertentu) pada musim hujan sehingga produktivitas tanaman dapat meningkat.

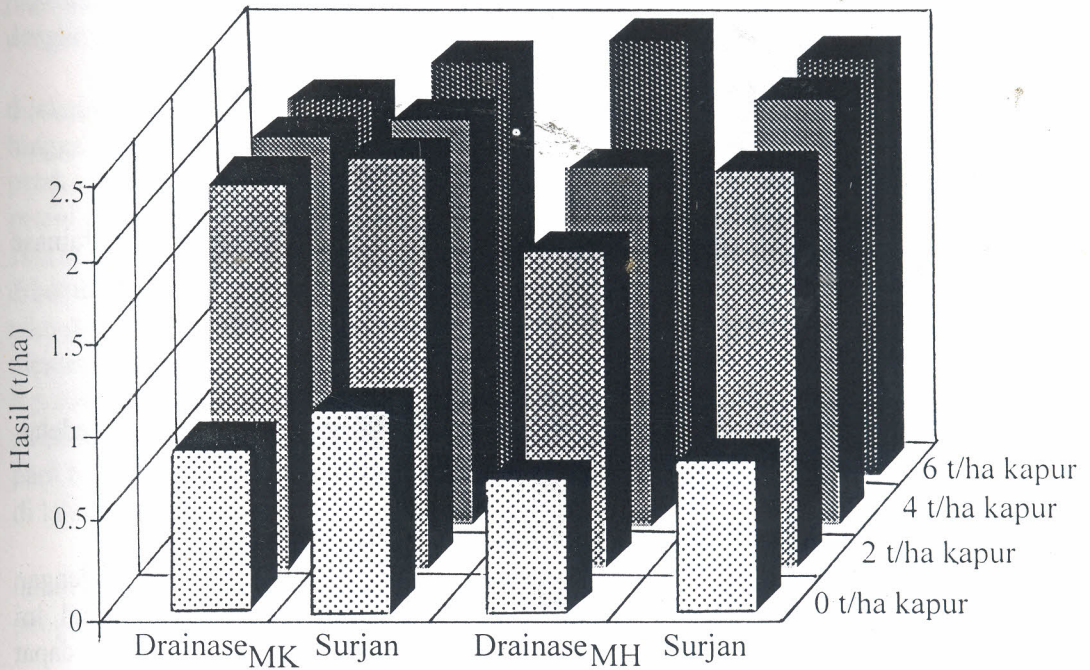


Gambar 3. Pengaruh jarak kemalir dan persiapan lahan terhadap hasil tanaman pada pola padi kedelai di lahan pasang surut tipe C. Barambai, Kalimantan Selatan MK-MH 1995/96 (Muhrizal *et al* 1997)

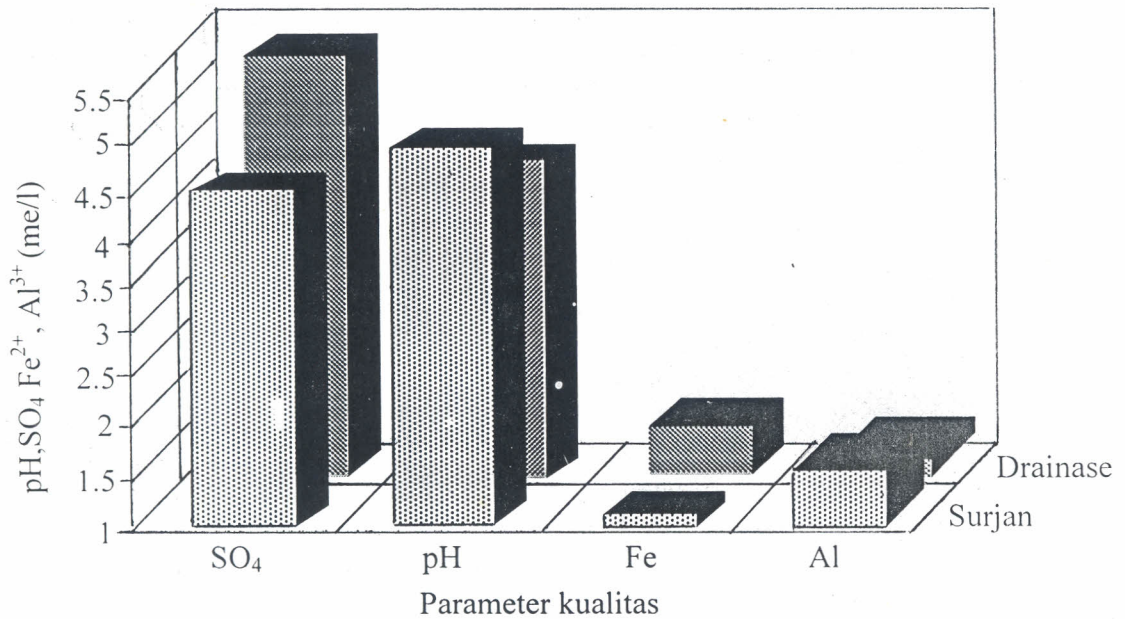
Pola Palawija-palawija

Prospek pertanaman pelawija-palawija di lahan pasang surut tipe C cukup baik dibandingkan dengan lahan pasang surut tipe B. Tetapi seperti halnya di lahan pasang tipe B, sistem drainase dangkal harus dibuat. Perbandingan sistem ini dengan sistem surjan yang biasa dilakukan petani menunjukkan bahwa tidak terlihat perbedaan yang nyata terhadap hasil kedelai. Gambar 4 menyajikan hasil percobaan pertanaman dengan pola kedelai-kedelai. Kedua sistem pengelolaan air yang diterapkan yaitu sistem drainase dangkal dan sistem surjan tidak memperlihatkan perbedaan yang nyata. Kualitas air tanah juga memperlihatkan sifat yang tidak jauh berbeda antara kedua sistem tersebut (Gambar 5). Ini berarti bahwa sistem drainase dangkal dapat merupakan alternatif untuk pertanaman kedelai di lahan pasang surut tipe C.

Kelemahan dari sistem drainase dangkal dibandingkan sistem surjan adalah pemeliharaan saluran mutlak diperlukan terutama selama musim hujan. Pengamatan yang dilakukan di lahan pasang surut tipe B (Unit Tatas) dan tipe C (Barambai) memperlihatkan bahwa saluran harus selalu dibersihkan agar sistem drainase dangkal ini dapat berfungsi. Sedangkan sistem surjan tidak memerlukan hal tersebut meskipun memerlukan tenaga kerja yang lebih besar dalam pembuatannya.



Gambar 4. Perbandingan sistem drainase dangkal vs sistem surjan pada 4 takaran kapur terhadap hasil kedelai di lahan pasang surut tipe C. barambai Kalimantan Selatan MK/MH 1995/96 (Muhrizal *et al.*, 1997)



Gambar 5. Kualitas air tanah dari dua sistem tata air untuk pertanaman kedelai-kedelai di lahan pasang surut tipe C. Barambai, MH 1995/96

Pengelolaan Air dan Buangan Limbah Toksik ke Lingkungan

Sistem pengelolaan air yang digunakan telah dapat diterapkan dengan hasil yang cukup memuaskan. Bahkan kualitas lahan yang dalam hal ini ditunjukkan dari data kualitas air bawah tanah disekitar rizosfer dapat ditingkatkan dengan manipulasi sistem pengelolaan air tertentu. Sistem drainase dangkal untuk menunjang pertanaman pola palawija-palawija di lahan tipe B dan C, misalnya, dapat memperbaiki kualitas air bawah tanah dibandingkan dengan lahan-lahan yang disawahkan. Akan tetapi hasil-hasil percobaan memperlihatkan bahwa buangan limbah toksik ke sekunder (lingkungan) juga cukup besar (Muhrizal *et al.*, 1997). Hal ini perlu mendapat perhatian yang cukup serius dalam pengelolaan lahan rawa pasang surut di masa mendatang agar produk pertanian yang diandalkan pada lahan rawa ini masih mendapat *eco-label* sehingga dapat bersaing di pasar internasional.

Penelitian Pengembangan Pengelolaan Air

Implementasi pengelolaan air di lahan pasang surut mengharuskan perlunya pengelolaan dalam skala petak tersier dan kerjasama antar kelompok tani. Hal ini karena sebagian besar lahan pasang surut yang diusahakan sudah mempunyai saluran-saluran tersier yang dibuat pihak pemerintah (melalui program transmigrasi) dan secara swadaya (pada petani lokal). Pengelolaan air secara inthern sudah bersifat penelitian pengembangan hanya saja terbatas pada pengetahuan teknis. Penelitian pengembangan pengelolaan air lahan pasang surut juga diarahkan untuk mempelajari faktor non-teknis lainnya dan keterkaitannya dengan aspek teknis.

Penelitian pengembangan pengelolaan air di lahan pasang surut telah dilakukan di tipe luapan B dengan tipologi sulfat masam sejak MH 1991/92 hingga 1993 di UPT Terantang, Batola, Kalimantan Selatan. Awalnya hanya 2 petak tersier (8 ha), kemudian berkembang melibatkan 6 petak tersier dengan 48 petani pada lahan seluas 48 ha. Teknologi pengelolaan air yang diterapkan adalah sistem aliran satu arah. Petani non koperator menggunakan pengelolaan air yang dilakukan secara tradisional. Secara ekonomi, pada tahun 1992/93, penerapan teknologi anjuran dengan pola tanam padi unggul-padi unggul dapat meningkatkan pendapatan bersih dari Rp. 85.750,- per tahun menjadi Rp.504.250,-per tahun melalui peningkatan produktivitas lahan, tetapi dalam pelaksanaannya memerlukan tenaga kerja yang lebih besar dibanding teknologi padi lokal. Hal ini merupakan kendala utama dalam mengadopsi teknologi maju di lahan pasang surut.

Pengembangan yang lebih besar lagi dilakukan di Sumatera Selatan sejak tahun 1996 yang melibatkan luasan 32.000 ha dengan penerapan sistem pengelolaan air aliran satu arah dan sistem tabat.

PENUTUP

- Pengelolaan air yang disesuaikan dengan tipe luapan lahan pasang surut memungkinkan peruntukan beragam pertanaman tanaman pangan yaitu pola padi-padi, padi-palawija, palawija-palawija. Pada tingkat tersier, sistem aliran satu arah dan sistem tabat (konservasi) dapat diterapkan masing-masing pada lahan pasang surut tipe B dan C. Untuk mendukung pengembangan pola tanam, sistem tersebut harus diikuti pula dengan sistem pengelolaan tingkat petani (mikro).
- Pada pola padi-padi di lahan pasang surut tipe B, pengelolaan air dengan menggunakan air irigasi yang kontinyu memberikan hasil yang terbaik.

Untuk lahan pasang surut tipe C, karena pengaruh pasang surut yang tidak begitu besar, penggunaan air yang berkualitas baik (air hujan) dapat meningkatkan hasil padi.

- Pembuatan saluran kemalir dengan jarak 2,5-6,0 m di lahan pasang surut tipe B/C memungkinkan pertanaman pola padi-palawija. Jarak kemalir 5 m di lahan pasang surut tipe B memberikan hasil yang terbaik untuk kedelai (2,3 t/ha) dan kacang tanah (2,0 t/ha) yang ditanam setelah padi. Sedangkan pada tipe C pembuatan saluran kemalir setiap 2,5 m memberikan hasil terbaik untuk kedelai (2,2 t/ha).
- Pembuatan sistem drainase dangkal memungkinkan pertanaman pola palwija-palawija (musim hujan dan kemarau). Sistem ini merupakan alternatif sistem surjan. Kulit air bawah tanah juga mengalami perbaikan.
- Jika dihubungkan dengan neraca air pada masing-masing tipe luapan, pola padi-palawija di lahan tipe B dan pola padi-padi di lahan tipe C agak riskan mengingat peluang banjir (tipe B) dan kekeringan (tipe C) terutama pada tanaman kedua. Pola padi-padi di lahan tipe B dan padi-palawija di lahan tipe C merupakan pola yang cukup terjamin sustainabilitasnya. Pola palawija-palawija juga sangat memungkinkan diterapkan di lahan pasang surut tipe B dan C. Hanya saja pola ini akan permanen diterapkan jika memanfaatkan sistem drainase dangkal. Sistem surjan dapat merupakan pemecahan jika kualitas padi masih ingin diterapkan.
- Pencucian lahan dengan air yang berkualitas baik dapat membuang unsur meracun, tetapi juga unsur hara yang diperlukan tanaman. Di masa depan, diperlukan penelitian yang terpadu dengan pengelolaan hara (kapur dosis rendah, pupuk organik, dll) agar dapat memaksimalkan pembuangan unsur meracun dan meminimalkan pembuangan unsur hara.
- Diperlukan upaya untuk mengelola buangan limbah hasil pengelolaan air melalui pemanfaatan sistem usahatani (pola usahatani) yang berwawasan lingkungan dan pemanfaatan bahan-bahan amelioran.

DAFTAR PUSTAKA

- Dent, D. 1986. Acid sulphate soils: a baseline for research and development. ILRI. The Netherlands.
- FP-IPB. 1992. Potensi, kendala dan alternatif pengembangan kawasan pasang surut di Indonesia. Makalah Seminar Pengembangan Terpadu Kawasan Rawa Pasang Surut di Indonesia, 5 September di Bogor.
- Konsten, C.J.M., S. Suping, I.B. Aribawa and I.P.G. Widjaja-Adhi. 1990. Chemical processes in ACID sulfate soils in Pulau Petak, South and Central Kalimantan, Indonesia. *In: AARD-LAWOO. 1990. Paper workshop on acid sulfate soils in the humid tropics. Agency Agric. Res. Develop and Land Water Res. Group. Bogor, Indonesia. 20-22 Nov. 1990. Int. Ints. Land Reclam. Improv., Wageningen, The Netherlands.*
- Kselik, R.A.L. 1990. Water Management on acid sulphate soils at Pulau Petak, Kalimantan, Indonesia, *In: AARD-LAWOO. 1990. Paper workshop on acid sulfate soils in the humid tropics. Agency Agric. Res. Develop and Land Water Res. Group, Bogor, Indonesia. 20-22 Nov. 1990. Int. Land Reclam. Improv., Wageningen, The Netherlands.*
- Muhrizal, S. 1994. Aspek lingkungan dalam pengembangan lahan pasang surut; kasus penyusutan kawasan gambut di Delta Pulau Petak, Kalimantan Selatan. *dalam* Muhrizal, S., M. Noor dan M. Yusuf Maamun. 1994. Pengelolaan air dan produktivitas lahan rawa pasang surut; Pengalaman dari Kalimantan Selatan dan Tengah. Balittan Banjarbaru.
- Muhrizal, S., S. Saragih, K. Anwar, M. Noor dan A. Jumberi. 1997. Penelitian pengelolaan air, tanah dan hara di lahan rawa pasang surut. Paper disampaikan pada acara Pra Raker Badan Litbang Pertanian, 2-5 Februari 1997, Yogyakarta.
- Muhrizal, S, and J. Shamsuddin. 1998. Release of iron, aluminium and sulfate from different land use system in an acid sulfate soils of Central Kalimantan, Indonesia. Paper presented in Malay. Soil Sci. Soc. Conference, 21-24 April 1998, Seri Kembang, Selangor, Malaysia.

- Noor, M., M. Damanik dan S. Saragih. 1992. Prospek pengembangan palawija dengan sistem tata air terkendali di lahan pasang surut sulfat masam. Makalah Penunjang pada Seminar Pengembangan Terpadu Kawasan Rawa Pasang Surut di Indonesia, 5 September 1992 di Bogor.
- Noorsyamsi, H and O.O. Hidayat. 1974. The tidal swamp rice culture in South Kalimantan. *Contrib. Cent. Res. Inst. Agric.* 10:1-8.
- Widjaja-Adhi. I.P.G., 1986. Pengelolaan lahan rawa pasang surut dan lebak. *Jurnal. Litbang Pertanian* 5(1):1-8
- Widjaja-Adhi. I.P.G, K. Nugroho, D. Ardi S., dan A.S. Karama, 1992. Sumberdaya lahan rawa: potensi, keterbatasan dan pemanfaatan. Makalah Utama Pertemuan Nasional Pengembangan Pertanian Lahan Pasang Surut dan Rawa, 3-4 Maret 1992 di Cisarua. Bogor.
- Vadari, T., K. Subagyono, H. Suwardjo, and A. Abas. 1990. The effect of water management and soil amelioration on water quality and soil properties in acid sulphate soils at Pulau Petak Delta, Kalimantan. Paper workshop on acid sulphate soils in the humid tropics, 20-22 November 1990. AARD-LAWOO. Bogor.