

POTENSI, KENDALA DAN PELUANG RAWA PANTAI UNTUK PENGEMBANGAN PERTANIAN

Wahida Annisa., dan Muhammad Alwi
Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa
Jln. Kebun Karet P.O.Box 31, Loktabat Utara,
Banjarbaru, Kalimantan Selatan 70712
annisa_balitra@yahoo.com

Ringkasan

Rawa pantai terbentuk dari endapan aluvial mineral mentah atau gambut dengan suasana tawar atau masin di dataran rendah yang berdrainase buruk. Tanah salin dijumpai di daerah pasang surut yang berbatasan dengan garis pantai. Suasana salin akibat pengaruh air masin/laut menyebabkan terbentuknya tanah berpirit atau tanah gambut (mentah) dengan substratum (lapisan bawah) berupa lapisan pirit. Masalah salinitas terjadi ketika jumlah garam terlarut dalam tanah cukup tinggi. Penimbunan garam di daerah perakaran mempengaruhi kemampuan tanaman menyerap air. tanah gambut di daerah pantai umumnya mempunyai taraf kematangan fibrik-hemik dan sangat jarang ada gambut yang matang (saprik). Tanah gambut hemik dan fibrik ini sangat mudah melarutkan air secara lateral akibat pematangan yang sangat lambat. Sedangkan lahan sulfat masam di daerah pantai memiliki tanah bertekstur lempung dan apabila sudah matang mempunyai daya kohesi yang sangat kuat dan tidak balik bila dibasahkan. Kendala yang dihadapi dalam pengembangannya adalah meliputi: genangan air dan kondisi fisik lahan, kemasaman tanah dan asam organik pada lahan gambut yang tinggi, mengandung zat beracun dan intrusi air laut. Kondisi salinitas yang tinggi dengan tata air yang buruk dapat menyebabkan hilangnya kesuburan tanah secara permanen. Potensi lahan salin di Indonesia diperkirakan mencapai 0,50 juta hektare. Keberhasilan dan keberlanjutan pengembangan pertanian di lahan ini ditentukan salah satunya oleh kemampuan sumberdaya manusia dan rekayasa kelembagaan yang efektif dan efisien. Oleh karena itu, dalam pengembangan pertanian di lahan rawa harus menyesuaikan dengan tipologi lahan dan tipologi luapan karena kedua faktor ini sangat menentukan keberhasilan budidaya tanaman. Selain itu juga perlu penggunaan varietas tanaman yang toleran terhadap kondisi salin maupun pengaturan waktu tanam. Kedepan lahan ini menjadi sangat strategis dan penting bagi pengembangan pertanian sekaligus mendukung ketahanan pangan dan usaha agribisnis. Selain untuk pertanian, lahan ini juga dapat dimanfaatkan untuk tambak dan hal lainnya sesuai kebutuhan masyarakat sekitar.

Pendahuluan

Rawa dapat terjadi di berbagai tempat, baik di dataran rendah maupun di dataran tinggi yang berdrainase buruk. Permasalahan utama di lahan rawa adalah keberadaan gambut dan sulfat masam potensial keduanya stabil pada suasana reduktif (kondisi alami hutan rawa). Pengalihfungsian rawa untuk produksi biomassa yang dibudidayakan melalui pembukaan lahan dan pembuatan saluran drainase dapat menyebabkan perubahan suasana reduktif kearah oksidatif yang disertai oleh pemasaman tanah (Maas, 2014a). Lahan rawa pasang surut awalnya adalah rawa pantai yang bermuara di muara sungai besar dan dipengaruhi oleh ayunan pasang surut air laut. Berdasarkan pengaruh air pasang surut, menurut Subagio (2006a) bahwa bagian daerah aliran sungai dibagi menjadi tiga zona yaitu: (1) Zona I yang merupakan wilayah rawa pasang surut air asin/payau, (2) Zona II yang merupakan wilayah rawa pasang surut air tawar, dan (3) Zona III yang merupakan wilayah rawa lebak atau rawa non-pasang surut. Gelombang pasang yang terjadi dalam jangka waktu lama menyebabkan kondisi tanah reduktif dengan air mengandung salinitas tinggi (Shaaban *et al.*, 2013). Maas (2014b) melaporkan bahwa lahan salin sering dijumpai di daerah pantai dan dipengaruhi oleh pasang surut air laut baik melalui sungai maupun pengaruh pasang surut yang melebar ke arah depresi alluvium rawa dengan intrusi air laut yang bervariasi dari garis pantai sampai ke daerah pedalaman yang tergantung dari: (1) hidrotopografi lahan; (2) besarnya discharge dari sungai yang bermuara di laut tersebut serta (3) amplitude ayunan pasang surut. Tanah di daerah ini bersuasana payau sampai masin dengan tumbuhan penutup berupa hutan bakau sampai nipah. Garam-garam tersebut terkumpul di daerah cekungan bersama air rembesan atau aliran permukaan ataupun ditempat yang lebih tinggi akibat evaporasi. Tingginya mobilitas dari garam-garam yang mudah larut menyebabkan sifat tanah berubah-ubah. Subagio (2006b) melaporkan bahwa ada dua jenis tanah utama di wilayah pasang surut yaitu: tanah gambut dan tanah mineral (jenuh air).

Gambut merupakan tanah isian bagian cekung dari rawa, berasal dari bahan organik yang terhambat dekomposisinya akibat kekurangan oksigen, yang mana laju deposisi lebih cepat daripada laju dekomposisi. Pembentukan gambut di wilayah rawa pantai di Indonesia diperkirakan hampir bersamaan dengan proses akreasi yang membentuk wilayah pulau-pulau delta di rawa pasang surut. Pembentukan gambut pantai dimulai dengan akumulasi bahan organik di daerah belakang tanggul sungai (*levee*) yaitu daerah

back swamp. Hardjowigeno (1996) mengatakan bahwa pada saat proses pembentukan gambut dan saat gambut belum tebal, akar-akar tanaman masih dapat mengambil unsur hara dari tanah mineral di bawahnya yang subur dan masih mendapat tambahan unsur hara dari luapan air sungai. Gambut pantai pada umumnya tergolong ke dalam eutropik karena adanya endapan pengaruh luapan air pasang surut yang mengandung bahan terlarut menyebabkan tanah gambut di daerah ini memiliki tingkat kesuburan yang tinggi. Tingginya kandungan basa-basa pada gambut *eutrofik* disebabkan pada proses pembentukannya dipengaruhi oleh air payau (campuran air laut dan air sungai). Berdasarkan proses pembentukannya, gambut dapat dibedakan menjadi: (1) gambut ombrogen adalah gambut yang pembentukannya dipengaruhi oleh curah hujan, (2) gambut topogen adalah gambut yang pembentukannya dipengaruhi oleh keadaan topografi (cekungan) dan air tanah, dan (3) gambut pegunungan yang terbentuk di daerah dataran tinggi. Kualitas gambut ditentukan oleh tebal dan tingkat dekomposisinya. Semakin tebal akan semakin kurang baik daya dukungnya (secara fisik maupun kimia) dan gambut yang mentah berkualitas lebih buruk dibandingkan gambut yang matang. Sedangkan apabila suasana pembentukan rawa adalah marin, maka reduksi besi dari bahan sedimen dan reduksi sulfat yang terdapat dalam air laut dan membentuk senyawa yang disebut pirit. Tanah sulfat masam potensial (SMP) atau Sulpaquent terbentuk apabila kandungan pirit >0,75% karena bahan alkalinitas pada lingkungan tersebut tidak cukup menetralkan keasaman yang ada dalam pirit, sedangkan bilamana pirit teroksidasi dan bersifat sangat masam yang disertai bercak jarosit yang terbentuk tanah sulfat masam aktual (SMA) atau Sulfaquept (Maas, 2014a).

Tanah sulfat masam terdapat di daerah rawa bertanah mineral yang dalam proses pengendapan-nya berlangsung di daerah pantai (*sedimen marin*) yang kaya akan bahan organik, sulfat dan besi. Interaksi antara besi dan sulfat ini membentuk pirit (FeS_2). Proses pengendapan yang berlangsung ribuan tahun ini berkaitan dengan perubahan lingkungan global bumi. Menurut perkembangan tanah (pedogenesis), tanah sulfat masam mengalami perubahan secara bertahap disebut dengan pematangan. Ayunan pasang yang kuat disertai dengan penggelontoran, khususnya pada kawasan tropika, menentukan tinggi rendahnya kadar pirit yang terbentuk (Pons *et al.*, 1982). Tanah sulfat masam memiliki sifat-sifat khas yang dicirikan oleh satu atau beberapa hal berikut, yaitu: (1) mengandung bahan sulfidik (lapisan pirit yang belum teroksidasi), (2) memiliki horison sulfurik pada kedalaman

0-50 cm, (3) terdapat bercak jarosit antara kedalaman 50-150 cm akibat dari proses oksidasi pirit yang berlangsung cepat akan membentuk mineral jarosit berupa bercak-bercak karatan berwarna kuning jerami, dan (4) mengandung bahan-bahan penetral berupa karbonat atau basa-basa tertukar lainnya.

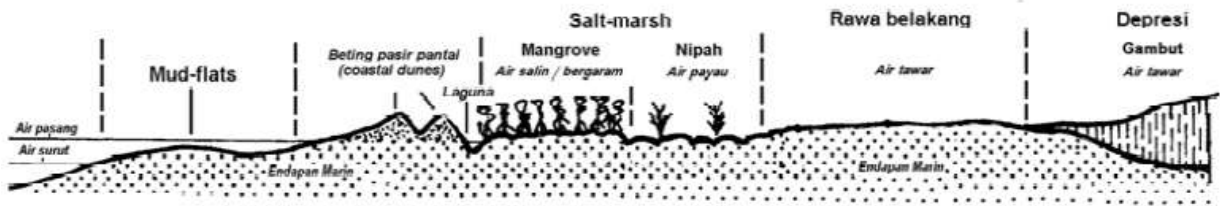
Potensi rawa pantai

Indonesia memiliki lahan rawa terluas di kawasan tropika dengan bahan sedimen yang terdiri atas tanah mineral, tanah gambut, atau kombinasi keduanya. Menurut Subagyo (2006a) bahwa penyebaran lahan rawa dominan di dataran rendah sepanjang pantai di daerah Sumatera, Kalimantan, Papua dan Sulawesi. Di daerah Sumatera penyebaran lahan rawa secara dominan terdapat di dataran rendah sepanjang pantai timur terutama di Provinsi Riau, Sumatera Selatan dan Jambi serta dijumpai lebih sempit di Provinsi Sumatera Utara dan Lampung. Di Kalimantan penyebarannya dominan di dataran rendah sepanjang pantai barat, termasuk wilayah Provinsi Kalimantan Barat, pantai selatan dalam wilayah Provinsi Kalimantan Timur dan sedikit di Kalimantan Selatan. Di Papua penyebaran lahan rawa yang terluas terdapat di dataran rendah sepanjang pantai selatan, termasuk wilayah Kabupaten Fakfak dan pantai tenggara dalam wilayah Kabupaten Merauke. Sedangkan di Sulawesi, penyebaran lahan rawa hanya di dataran pantai yang sempit di Kabupaten Mamuju, kemudian di sekitar Teluk Bone, sepanjang pantai timur laut Palopo dan sedikit di pantai selatan Kabupaten Tolitoli di sekitar Teluk Tomini.

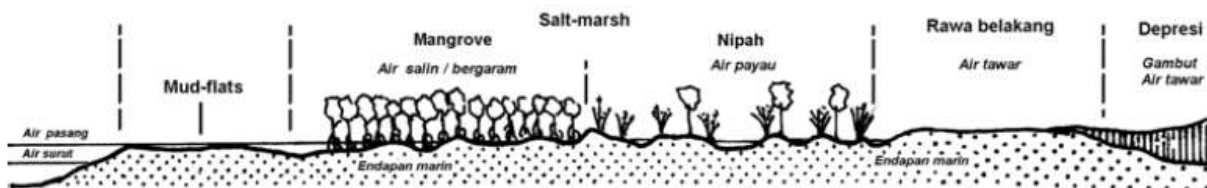
Rawa pantai merupakan lahan basah yang masih kuat pengaruh pasang surut air asin/laut dan sering disebut sebagai *tidal wetlands* dan termasuk ke dalam Zona I wilayah lahan rawa. Lahan pada zona ini dipengaruhi oleh masuknya air asin/payau ke arah hulu dari muara sungai, tergantung dari bentuk estuari, yaitu bagian muara sungai yang melebar berbentuk V ke arah laut, dimana gerakan pasang dan surut terjadi. Secara garis besar intrusi air laut ini, dapat hanya <10 km dari garis pantai sampai menjorok cukup jauh ke pedalaman (60 km), tergantung dari hidrotopografi lahan. Jika estuari berbentuk lebar dan lurus pengaruh air asin/salin mencapai 10-20 km dari muara sungai besar, namun apabila relatif sempit dan berkelok, pengaruhnya hanya mencapai jarak 5-10 km dari muara sungai. Di bagian muara sungai, pada saat air sungai yang memiliki pH 5-6 bertemu dengan air laut yang memiliki pH alkalis sekitar 7-9 mengakibatkan menjonjotnya muatan sedimen sungai berupa bahan halus, liat sampai debu halus membentuk gumpalan-gumpalan kecil dan mengendap di dasar laut. Proses pengendapan

ini berlangsung terus-menerus membentuk dataran lumpur (*mudflats*) yang muncul sewaktu air surut dan tenggelam di bawah air sewaktu air pasang. Tumbuhan yang toleran air asin yang tumbuh dan berkembang di atasnya seperti bakau (*mangrove*), api-api (*Avicennia* sp) yang mengakibatkan semakin bertambahnya sedimen, sehingga dataran lumpur terbangun secara vertikal semakin tinggi menjadi dataran rawa pasang surut/*tidal marsh* atau *salt marsh*.

Rawa pantai merupakan bagian dari wilayah rawa pasang surut terdepan, yang berhubungan langsung dengan laut dan menempati bagian terdepan dan pinggiran pulau-pulau delta serta bagian tepi estuari dan dipengaruhi langsung oleh pasang surut air laut/salin. Sebagian besar daerah ini termasuk ke dalam landform marin yang diilustrasikan pada gambar 1a dan 1b. Nugroho *et al.* (1992) melaporkan bahwa luas lahan salin di Indonesia mencapai 0,44 juta hektare, tetapi semakin berkurangnya daya konservasi lahan terhadap kawasan tersebut maka luas lahan salin semakin bertambah. Diperkirakan luas lahan salin saat ini lebih dari 0,50 juta hektare.



Gambar 1a. Penampang skematis Zona I Wilayah Rawa Pantai



Gambar 1b. Penampang skematis Zona I Wilayah Rawa Pantai pada bagian yang terlindungi dalam estuary atau teluk Sumber: Subagyo (2006)

Menurut Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2010) tanah di lahan rawa dimasukkan dalam kelompok besar (*great group*) (1) tanah alluvial marin (*Sulfaquent, Sulfaquept Hydraquent, Fluvaquent*), (2) tanah alluvial sungai (*Endoaquent, Endoaquept*), dan (3) tanah gambut (*Haplofibrist/hemist, Sulfohemist/saprist, Sulfohemist/saprist*). Dari ketiga kelompok besar tanah tersebut, kelompok tanah alluvial marin banyak ditemukan pada tipologi rawa pasang surut dan rawa pantai, sedangkan kelompok tanah gambut banyak ditemukan baik rawa pasang surut maupun rawa lebak, dan sedikit di tipologi rawa pantai. Menurut Hardjowigeno dan Rayes (2005) bahwa tanah-tanah pantai yang salin umumnya tidak termasuk *Haplaquent* karena kadar garamnya tidak menurun.

Rawa pantai memiliki tanah yang terdiri atas bahan endapan mineral bersuasana marin dan gambut pantai. Mengingat suasana endapan yang bersifat marin, kaya bahan organik dengan iklim tropis mengakibatkan terbentuknya tanah yang mengandung bahan sulfidik dan mentah. Menurut klasifikasinya tanah di rawa pantai disebut tanah *Haplaquent*, dan apabila endapannya adalah mineral disebut *Sulfaquent*, sedangkan apabila endapannya adalah gambut disebut *Sulfohemist* (Maas, 2014b).

Tanah-tanah rawa pada dasarnya merupakan tanah marginal untuk budidaya tanaman yang disebabkan beberapa hal yaitu: (a) bahan induk miskin hara; (b) bersuasana anaerob; (c) banyak yang bergambut tebal, berpirit, dan bila dialih fungsikan akan terusik mengeluarkan zat-zat yang dapat meracuni tanaman (sulfida, besi fero, dan asam-asam organik) yang ditandai oleh menurunnya nilai pH. Menurut Maas (2014c) bahwa ada beberapa faktor lingkungan yang harus dipenuhi untuk pembentukan rawa yaitu: (1) daerah cekungan, (2) air tergenang sepanjang tahun, (3) kondisi reduktif, akibatnya kebutuhan oksigen untuk aktivitas jasad renik tidak terpenuhi, sehingga proses dekomposisi berlangsung lambat, dan (4) adanya endapan lempung (bahan mineral halus) yang berasal dari daerah hulu serta bahan organik dari tumbuhan setempat dan dalam satuan kawasan rawa pasang surut terdapat sekitar 10-20% wilayah tipe luapan A, 20-30% wilayah tipe luapan B dan D dan 60-70% wilayah tipe luapan C.

Lahan rawa dibedakan ke dalam tiga zone berdasarkan batas pengaruh air pasang surut pada musim hujan dan pengaruh air salin (payau) pada musim kemarau, yaitu: (1) rawa pasang surut air payau (salin), (2) rawa pasang surut air tawar, dan (3) rawa nonpasang surut. Menurut ayunan pasang surut air laut yang mempengaruhi sungai dan luapan sungai tersebut pada lahan, Widjaya- Adhi (1997) membagi lahan rawa menjadi: (1) tipe luapan A yaitu lahan yang selalu terluapi air pasang, baik saat pasang besar maupun pasang kecil. Lebih lanjut dipilahkan kembali menjadi lahan rawa yang terpengaruh air laut dan lahan rawa yang tidak terpengaruh air laut. Bila kesesuaiannya memenuhi syarat, lahan dengan tipe ini dapat dijadikan sebagai daerah pertanian dengan $IP > 200$; (2) tipe luapan B yaitu lahan yang hanya terluapi saat pasang besar dan umumnya bebas air payau/asin. Dilihat dari

sifat tanah dan kendalanya dalam pengembangan pertanian, lahan rawa dibagi dalam 4 (empat) tipologi lahan, yaitu: (1) lahan potensial, lahan dengan kendala yang lebih ringan dibandingkan tipologi lainnya; (2) lahan sulfat masam, lahan dengan kendala yang lebih berat karena pirit berada pada kedalaman antara 50-100 cm dan sebagian lagi pada kedalaman >100 cm dengan pH tanah <4,5 dan kadar besi yang tinggi, (3) lahan gambut karena adanya lapisan gambut pada lapisan atas setebal >50 cm dengan kadar bahan organik >20% dan (4) lahan salin karena memiliki kendala berupa salinitas akibat intrusi air laut dan umumnya tekstur pasiran karena berada pada dataran pantai (*coastal plain*). Proses salinisasi tidak hanya akibat curah hujan yang urang untuk melarutkan dan mencuci garam, tetapi juga karena penguapan (evaporasi) yang cepat menyebabkan terkumpulnya garam dalam tanah. Drainase buruk mengakibatkan evaporasi lebih besar daripada perkolasi dan faktor utama berlangsungnya proses salinisasi. Hu dan Schimidhalder (2004) melaporkan bahwa tanaman di tanah salin sering mengalami plasmolisis akibat kadar garam yang tinggi, sehingga sel tanaman mengkerut yang disebabkan oleh gerakan osmotik dari air melalui dinding sel ke arah larutan yang berkonsentrasi kadar garam tinggi.

Ditinjau dari *soil ripeness* (kematangan tanah), tanah di lahan rawa pantai umumnya bervariasi dari mentah (*unripe*) sampai setengah matang (*half ripe*) karena merupakan tanah yang semula berasal dari dataran lumpur, yang karena secara periodik terbuka di udara mengalami proses pematangan awal. Tanah yang tingkat perkembangannya masih muda ini mempunyai sifat Hidrik yaitu memiliki kandungan air yang relatif tinggi dengan kandungan liat $\geq 8\%$. Pada bagian atas profil tanah (*upper layers*) umumnya menunjukkan bahwa tanah telah mengalami oksidasi setebal 25-50 cm dengan tekstur liat berdebu dan berwarna kelabu sampai coklat kekelabuan tua. Ciri khas tanah yang terbentuk dari endapan marin adalah keberadaan mineral besi-sulfida yang berukuran halus yang disebut pirit. Sedangkan lapisan tanah bawah (*subsoil*) sudah tereduksi dengan tingkat kematangan mentah sampai setengah matang dan tekstur liat berdebu serta berwarna kelabu gelap sampai sangat gelap. Tanah berpirit terbentuk pada daerah yang bersuasana salin (pengaruh air laut). Pirit menjadi tidak stabil dengan kehadiran O_2 , sehingga merubah kelarutan Fe^{3+} dan SO_4^{2-} menjadi jarosit atau goethite, tetapi bagaimanapun juga hasil akhir dari oksidasi pirit ini adalah terbentuknya ion H^+ yang akan menurunkan pH tanah (Breemen dan Buurman, 2002). Sedangkan tanah gambut relatif terbentuk pada suasana tawar yang tidak matang yakni pada bagian rawa belakang yang bersifat memasamkan tanah. Secara umum definisi tanah gambut adalah tanah yang jenuh air dan tersusun dari bahan

organik, yaitu sisa-sisa tanaman dan jaringan tanaman yang melapuk dengan ketebalan ≥ 50 cm. Menurut Noor dan Heyde (2007) bahwa tanah gambut disebut juga *bog*, *fen*, *peatland*. Sedangkan gambut yang terbentuk di sepanjang garis pantai disebut gambut dataran pesisir/pantai (*coastal peat*) (Rieley *et al.*, 1992; Agus dan Subiksa, 2008).

Di daerah pantai proses pembentukan gambutnya disebabkan oleh topografi daerah cekungan, yang dimulai dari adanya danau dangkal yang secara perlahan ditumbuhi oleh tanaman air dan vegetasi lahan basah. Tanaman yang mati dan melapuk secara bertahap membentuk lapisan yang kemudian menjadi lapisan transisi antara lapisan gambut dengan substratum (lapisan di bawahnya) yang berupa tanah mineral. Tanaman berikutnya tumbuh pada bagian yang lebih tengah dari danau dangkal ini dan membentuk lapisan-lapisan gambut, sehingga danau tersebut menjadi penuh. Bagian gambut yang tumbuh mengisi danau dangkal tersebut disebut dengan gambut topogen relatif subur (*eutrofik*) karena adanya pengaruh tanah mineral. Bahkan pada waktu tertentu, misalnya jika ada banjir besar, terjadi pengkayaan mineral yang menambah kesuburan gambut tersebut. Pada tanah gambut eutropik rata-rata kandungan Ca adalah sekitar 2% dengan kandungan Mg sekitar 0,3%. Untuk membedakan batas tanah yang berkembang di bawah pengaruh air laut atau yang tergantung air hujan digunakan rasio Ca/Mg (Lucas, 1982). Lahan gambut di daerah pantai pada umumnya memiliki tingkat kematangan fibrik sampai hemik dan sangat jarang ditemui gambut dengan tingkat kematangan saprik. Tanah gambut fibrik sampai hemik ini bersifat sangat porous, sehingga air sangat mudah hilang serta proses pematangannya juga sangat lambat. Gambut akan stabil bila kondisinya reduktif dan cenderung mudah mengurai dan bersifat hidrofobik bila diubah menjadi kondisi oksidatif.

Tipologi lahan salin terletak pada bagian “dataran bergaram” yang ditumbuhi bakau/mangrove karena pengaruh air laut pasang, sehingga tanahnya bersifat salin dengan reaksi alkalis ($\text{pH} > 7,5$) dengan salinitas tinggi atau kadar garam yang tinggi. Muharam dan Saefudin (2016) melaporkan bahwa permasalahan yang dihadapi pada tanah salin meliputi: (1) tekanan osmotik tanaman yang rendah, (2) unsur hara N dan K rendah, (3) kandungan Na^+ tinggi dan (4) nilai pH tanah tinggi. Pada daerah yang dipengaruhi air payau, reaksi tanah umumnya mendekati netral (pH 6.5 sampai 7.5) karena pengaruh air tawar dengan kandungan garam lebih rendah dan merupakan wilayah tipologi lahan agak salin

Kendala yang dihadapi dalam Pengembangan Rawa Pantai

Pengembangan lahan rawa untuk pertanian mempunyai berbagai kendala baik aspek biofisik maupun sosial ekonomi dan kelembagaan. Masalah yang sering muncul berkaitan dengan kinerja interaksi dari sumberdaya alam dan manusianya. Menurut Widjaya-Adhi *et al.* (1992) bahwa lahan rawa tergolong ekosistem yang marginal serta fragile, sehingga untuk menjadikan lahan produktif diperlukan perencanaan yang cermat dan hati-hati dalam pengembangan pertanian di lahan rawa dalam satu kawasan luas melalui pemanfaatan dan penerapan teknologi yang spesifik lokasi dalam pengelolaan air dan tanah, karena kekeliruan dalam pengelolaannya menyebabkan menurunnya kualitas terutama keheraan dan kemasaman yang berakibat makin luasnya lahan tidur bermasalah.

Ada beberapa faktor penyebab degradasi pada lahan rawa yaitu: (1) reklamasi lahan dengan membangun saluran drainase dimensi besar, sehingga memungkinkan terjadinya drainase yang berlebihan (*over drain*) yang mengakibatkan pirit teroksidasi dan gambut mengering tak balik (*irreversible drying effect*), (2) penerapan sistem pemanfaatan lahan yang tidak memperhatikan tipologi lahan dan tipe luapan, dan (3) pembakaran gambut berakibat munculnya tanah sulfat masam yang umumnya berada di bawahnya. Degradasi pada tanah sulfat masam terjadi proses pemasaman tanah dan air sebagai akibat oksidasi pirit serta pencucian basa-basa sebagai dampak dari pencucian asam. Pemasaman yang terjadi ada dua yaitu (1) pemasaman insitu yakni pada kondisi tereduksi (tergenang air) pirit stabil, namun pada saat permukaan air tanah (*ground water*) menurun melebihi kedalaman pirit mengakibatkan pirit teroksidasi dan tanah menjadi masam; dan (2) pemasaman akibat aliran air masam yang berasal dari tempat-tempat yang telah mengalami pemasaman. Sebagai contoh pemasaman yang disebabkan oleh aliran air yang berasal dari hutan skunder yang telah mengalami pemasaman akibat reklamasi dan aktivitas manusia dalam hutan tersebut. Pada suasana marin seringkali gambut tercampur dengan koloid anorganik yang mengandung pirit, sehingga sumber potensi kemasamannya dapat terdiri atas asam organik dan asam sulfat. Sedangkan pada bagian sub-landform rawa pantai terbentuk "dataran bergaram" (*salt-marsh*) baik yang dipengaruhi air asin/salin maupun air payau dan memiliki kadar garam tinggi yang tidak sesuai untuk dikembangkan menjadi kawasan pertanian, sehingga tidak dilakukan reklamasi baik oleh penduduk maupun pemerintah.

Lahan rawa yang baru direklamasi umumnya mempunyai ion dalam bentuk terlarutkan yang umumnya nilai DHL >3.000 μS . Pada musim kemarau dimana proses pengenceran oleh air hujan tidak terjadi, sedangkan evaporasi terus berlangsung dan air tidak mengalir/bergerak mengakibatkan meningkatnya nilai DHL tanah. Salinitas didefinisikan sebagai adanya garam terlarut dalam konsentrasi yang berlebihan di larutan tanah. Batas toleransi tanaman terhadap nilai DHL sekitar 4000 μS . Salah satu penyebab tingginya nilai DHL air adalah terjadinya penyusupan air laut, tetapi tidak diikuti dengan penurunan nilai pH. Suasana kahat oksigen dengan ketersediaan sumber karbon (energi) menyebabkan kegiatan jasad renik mampu mereduksi komponen tanah dalam proses respirasinya. Muharram (2011) melaporkan bahwa pengaruh salinitas (NaCl) terhadap tanaman mencakup tiga aspek yaitu: mempengaruhi tekanan osmosis, keseimbangan hara dan bersifat racun. Selain itu juga keberadaan NaCl dengan konsentrasi tinggi berpengaruh terhadap sifat tanah, yang selanjutnya berdampak terhadap pertumbuhan tanaman. Hal ini disebabkan kepekatan larutan yang cukup pekat mengakibatkan terjadinya plasmolisis. Banyaknya Na^+ di dalam tanah menyebabkan menurunnya ketersediaan unsur Ca^{2+} , Mg^{2+} dan K^+ yang diserap tanaman. Salinitas ini juga mengakibatkan penurunan serapan P dan meningkatnya kandungan Cl^- serta menurunnya kandungan NO_3^- dalam tajuk.

Masalah fisiko-kimia lahan dalam pengembangan tanaman pangan di lahan pasang surut meliputi : genangan air dan kondisi fisik lahan, kemasaman tanah dan asam organik pada lahan gambut tinggi, mengandung zat beracun dan intrusi air garam, kesuburan alami tanah rendah dan keragaman kondisi lahan tinggi. Genangan air menjadi kendala pengembangan terutama pada lahan pasang surut bertipe luapan A karena keadaan topografinya menyulitkan pembuangan air berlebih. Tingginya kemasaman tanah yang ditunjukkan oleh rendahnya pH tanah mempengaruhi keseimbangan reaksi kimia dalam tanah dan ketersediaan unsur haranya terutama fosfat. Zat beracun yang umum dijumpai di lahan pasang surut adalah aluminium (Al), besi (Fe), hidrogen sulfida (H_2S) dan air garam atau natrium. Keracunan Al biasanya terjadi pada kondisi tanah kering dan disertai dengan kahat P, karena P diikat menjadi aluminium fosfat yang tidak larut. Besi ferro biasanya terdapat berlebihan pada lahan sulfat masam yang tergenang air. Konsentrasi besi ferro setelah penggenangan pada tanah sulfat masam lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi besi ferro sebelum digenangi. Bahan organik berperan dalam melepaskan Fe^{2+} di tanah tergenang karena dalam proses reduksi di tanah

tergenang bahan organik merupakan substrat bagi mikroba pereduksi besi ferro. Hasil penelitian Satawathananont *et al.* (1991) menunjukkan penurunan nilai potensial redoks menjadi -50 mV pada budidaya padi di tanah sulfat masam di Thailand akan meningkatkan proses reduksi, sehingga konsentrasi besi ferro meningkat. Theresa (2002) melaporkan bahwa penggenangan pada tanah sulfat masam akan meningkatkan kapasitas adsorpsi P meningkat. Pada kondisi reduktif besi ferro yang akan dihasilkan memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan kristal oksida, sehingga adsorpsi P meningkat. Luas permukaan dan kristalisasi merupakan indikator terbaik terhadap kapasitas retensi P. Sedangkan pada tanah gambut, kadar P berhubungan terbalik dengan penambahan jeluk, yakni semakin dalam jeluk tanah gambut, semakin berkurang kadar P (Suryanto, 1994; Saragih, 1996; Salampak 1999). Penurunan kadar P tersebut disebabkan pada lapisan tanah yang lebih dalam biasanya tingkat dekomposisinya lebih muda, sehingga kadar P dalam tanah gambut lebih rendah. Nilai pH tanah gambut di daerah pantai tidak dapat menjadi sangat rendah karena disangga oleh air laut sehingga proses polimerisasi dari gugus fenolik tidak terjadi. Andriesse (1988) melaporkan bahwa derajat kemasaman gambut yang berada di sekitar kubah lebih tinggi dengan pH rata-rata 3,3 dibandingkan dengan gambut yang berada di kawasan pinggir atau mendekati sungai yang mempunyai pH rata-rata 4,3. Hal ini berkaitan dengan pengaruh air sungai/payau yang mempunyai pH dan mutu air yang lebih baik. Secara alamiah gambut berusaha mempertahankan dirinya bersuasana reduktif dan hidrofilik, pemaksaan akan menyebabkan daya sangga gambut tersebut terlewat. Hal ini menyebabkan pelarutan bagian gambut, meningkatnya gugus organik fenolik dalam air dan bersuasana masam (Maas, 2014a). Menurut Maas (2014b) bahwa kekahatan unsur mikro seperti: Zn, Cu, dan B yang sering dijumpai. Salah satu penyebabnya karena rendahnya kadar unsur mikro tersebut dalam tanah dan kuatnya ikatan kompleks organik dari unsur mikro tersebut.

Lahan rawa yang telah terdegradasi dan menurun produktivitasnya perlu direhabilitasi terlebih dahulu agar usaha pertanian menjadi lebih efisien dan menguntungkan. Pengalaman menunjukkan bahwa pengelolaan air memegang peranan penting dalam keberhasilan rehabilitasi dan pengelolaan lahan rawa (Adimihardja *et al.*, 2006). Teknologi pengelolaan lahan dan tata air hasil dari beberapa penelitian perlu dikembangkan secara luas. Tata air dengan sistim satu arah (*one-way flow system*) telah dilakukan petani setempat melalui pemanfaatan air pasang. Sistim aliran satu arah merupakan sistim

tata air yang dilakukan dengan cara memasukkan air pasang ke petakan sawah yang diganti setiap dua minggu sekali pada saat pasang besar, berfungsi mencuci bahan beracun dari petakan. Kualitas air di lahan rawa pasang surut dipengaruhi oleh dinamika pasang surut air sungai. Hasil penelitian Hanhart dan Ni (1993) terhadap kualitas air di Delta Mekong Vietnam menunjukkan kualitas air di saluran drainase pada 41 dan 85 hari setelah tanam padi lebih buruk dibandingkan di saluran masuk yang ditunjukkan dengan nilai pH antara 2,6-2,9, aluminium larut 57-148 mg/kg dan kemasaman total berkisar 11-26 mol/1, sedangkan di saluran masuk pH air berkisar 6,3-6,8, aluminium larut berkisar 1,3-7,2 mg/kg dan kemasaman total 0,15-0,56 mol/1. Hal ini mengindikasikan bahwa unsur-unsur meracun tercuci dan terbawa ke saluran drainase, sehingga kualitas air drainase rendah. Pencucian bahan beracun akan berjalan baik apabila terdapat cukup air segar, baik dari hujan maupun dari air pasang serta air hutan. Pencucian tambahan pada akhir musim hujan dengan menggunakan air berkualitas diprediksi dapat menurunkan kandungan pirit dari 3,9% menjadi 2,0%, atau rata-rata sekitar 0,38% per tahun (Van Wijk *et al.*, 1992). Peningkatan produktivitas lahan dan produksi tanaman akan lebih tinggi jika pengelolaan air dikombinasikan dengan pengelolaan tanah melalui pengapuran, pemupukan berimbang dan pemberian ameliorant. Pengapuran merupakan usaha untuk meningkatkan pH tanah. Namun Perubahan pH yang terlalu tinggi dapat pula menyebabkan pendispersian dan pelarutan bahan gambut yang akhirnya meningkatkan akumulasi fenol terlarutkan dalam air.

Prospek Pengembangan Rawa Pantai

Reklamasi lahan rawa diartikan sebagai upaya mengubah lahan rawa alami menjadi lahan usahatani dengan meminimalkan dampak negatif akibat perubahan tersebut. Reklamasi harus mempertimbangkan keberadaan pirit karena teroksidasinya pirit akibat reklamasi mengakibatkan munculnya permasalahan pemasaman tanah dan ketersediaan P yang rendah akibat terikat oleh oksida-oksida besi yang membentuk kompleks binuclear di permukaan dengan tipe adsorpsi Fe-O-P(O₂)-O-Fe, sehingga untuk mereklamasi lahan yang memiliki tanah sulfat masam perlu mempertimbangkan tipologi lahan dan tipe luapan air karena kedua faktor ini sangat menentukan keberhasilan budidaya tanaman pangan. Adapun konsep reklamasi ini meliputi upaya pengendalian air, keharaan tanah dan upaya meningkatkan kelayakan tanah

untuk produksi tanaman. Keberhasilan dan keberlanjutan pengembangan pertanian di lahan rawa pantai ditentukan salah satunya oleh kemampuan sumberdaya manusia dan rekayasa kelembagaan yang efektif dan efisien. Anjuran penggunaan lahan secara potensial adalah sebagai berikut (Maas *et al.*, 2014): (1) lahan dengan tipologi luapan A dapat untuk padi sawah 2 kali; (2) lahan dengan tipologi luapan B dapat untuk padi-palawija; (3) lahan dengan tipologi luapan C dan D pada gambut dengan ketebalan <90 cm dapat ditanami padi gogo/palawija/sayuran-bera atau untuk perkebunan; dan (4) lahan dengan tipologi luapan C dan D pada gambut dengan ketebalan 90-200 cm dapat untuk tanaman keras (kebun/hutan).

Selain berdasarkan tipologi lahan dan luapan, pemanfaatan dan pengembangan rawa pantai juga perlu diimbangi dengan perbaikan keharahan dan penurunan kemasaman tanah agar tercipta lingkungan tumbuh yang baik bagi tanaman. Pengembangan lahan rawa secara lestari dan ramah lingkungan harus memperhatikan karakteristik yang spesifik baik dalam dimensi vertikal maupun horizontal dalam satu kelembagaan yang terkoordinasi lintas sektoral, didukung oleh kebijakan dan peraturan perundangan yang tegas dan utuh mengacu pada kearifan lokal, penggunaan teknologi yang spesifik dan dapat diterapkan sesuai dengan daya dukung lahan dengan tetap memperhatikan aspek konservasi lahan serta pemilihan komoditas yang adaptif (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012). Salah satu upaya yang dilakukan adalah penggunaan tanaman toleran atau adaptif pada kondisi lahan yang mengalami cekaman salinitas. Menurut Mengel dan Kirkby (1979) pengaruh dari salinitas tergantung pada stadia pertumbuhan tanaman. Tanaman padi paling peka pada stadia berbunga dan pembentukan biji. Tingkat toleransi tanaman terhadap cekaman garam jauh lebih besar selama perkecambahan tanaman (Suwarno dan Solahuddin, 1983).

Contoh pengembangan yang berhasil dan dapat dijadikan pembelajaran adalah pengaturan air dengan mempertahankan muka air pada saluran sebagai tendon air dengan pemasangan tabat pada musim hujan dan pelepasan air melalui pembukaan tabat pada musim kemarau. Seperti yang dituturkan oleh Herman Arif, seorang petani Desa Kemuning, Kecamatan Bunga Raya, Kabupaten Siak, Riau pada Riau Pos bahwa faktor yang paling penting dalam budidaya padi di lahan gambut adalah pengairan karena memberi kesempatan kepada akar untuk berkembang lebih baik. Hasil yang diperoleh masyarakat di daerah ini meningkat dari 3,5 t GKG/ha/musim mencapai 5,0-6,0 t GKG/ ha/musim dan dapat bertanam 2 sampai 3 kali setahun. Begitupula di daerah

Kalimantan Tengah tepatnya di Kabupaten Pulang Pisau, masyarakatnya dapat bertanam 2 kali setahun dengan hasil mencapai 3,0–4,4 t GKG/ha/musim.

Pengembangan sistim usahatani di lahan rawa pantai perlu dilakukan melalui pendekatan *holistik* dan *partisipatif* dengan fokus optimalisasi pemanfaatan dan pelestarian sumberdaya. Pendekatan *holistik* mengandung makna bahwa pengembangan sistim usahatani dilakukan dalam suatu sistim terpadu yang sinergi dan serasi antar komponen atau subsistimnya, baik dalam aspek komoditas yang dikembangkan maupun teknologi yang digunakan serta pihak-pihak yang terlibat dalam pelaksanaan pengembangannya. Salah satunya melalui pengembangan industri olahan hasil pertanian perlu dilakukan karena bertujuan terutama untuk meningkatkan nilai tambah, seperti kelapa menjadi kopra dan minyak kelapa atau cabai dan tomat menjadi sambal dan saus serta buah-buahan menjadi selai dan sirup atau buah-buahan dalam kaleng untuk ekspor. Pengembangan agroindustri dapat dilakukan oleh petani dalam skala rumah tangga atau oleh perusahaan besar, seperti industri aneka panganan dan pakan. Dengan demikian tampak bahwa pengembangan lahan rawa untuk pertanian bukan hanya dapat meningkatkan produksi, tetapi juga diversifikasi produksi serta pendapatan dan bahkan pembukaan lapangan kerja. Hal ini merupakan pendekatan *partisipatif* yaitu mengikutsertakan partisipasi masyarakat dan berbagai pihak terkait mulai dari perencanaan sampai kepada pelaksanaannya. Dengan demikian, pihak yang terlibat akan merasa ikut bertanggungjawab terhadap pelaksanaan program atau kegiatan yang terkait dengan pengembangan sistim usahatani tersebut sehingga akan terjalin kerjasama dan rasa kebersamaan untuk saling berupaya mendukung keberhasilannya.

Penutup

Rawa pantai merupakan lahan basah yang masih kuat pengaruh pasang surut air asin/laut dan sering disebut sebagai *tidal wetlands* dan termasuk ke dalam Zona I wilayah lahan rawa. Suasana salin akibat pengaruh air masin/ laut menyebabkan terbentuknya tanah pirit (hanya tanah mineral) atau tanah gambut yang relatif tidak matang atau suasana tawar. Masalah salinitas terjadi ketika jumlah garam terlarut dalam tanah cukup tinggi. Penimbunan garam di daerah perakaran mempengaruhi kemampuan tanaman menyerap air. Oleh karena itu pengembangan lahan rawa pasang surut secara lestrai dan berwawasan lingkungan dilakukan dengan pemanfaatan lahan yang bijak melalui pengelolaan lahan harus menyesuaikan dengan tipologi lahan dan

tipologi luapan karena kedua faktor ini sangat menentukan keberhasilan budidaya tanaman yang di didukung oleh pembangunan prasarana fisik terutama jaringan tata air maupun pembinaan sumberdaya manusia dan kelembagaan serta penerapan teknologi spesifik lokasi seperti penggunaan varietas tanaman yang toleran terhadap kondisi salin maupun pengaturan waktu tanam. Kedepan lahan ini menjadi sangat strategis dan penting bagi pengembangan pertanian sekaligus mendukung ketahanan pangan dan usaha agribisnis. Selain untuk pertanian, lahan ini juga dapat dimanfaatkan untuk tambak dan hal lainnya sesuai kebutuhan masyarakat sekitar.

Daftar Pustaka

- Adimihardja, A, K. Subagyono., M. Al Jabri. 2006. Konservasi dan Rehabilitasi Lahan Rawa. Hlm. 229-274. *Dalam* Didi Ardi., U. Kurnia., Mamat, H.S., W. Hartati., D. Setyorini (Eds.). Karakteristik & Pengelolaan Lahan Rawa. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian.
- Andriesse, J. P. 1988. Nature and Management of Tropical Peat Soils. Hlm. 50-52. Soil Resources, Management and Conservation Service, FAO Land and Water Development Division. FAO. Rome.
- Agus, F., dan I. G. M. Subiksa. 2008. Lahan Gambut: Potensi untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan. Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Centre (ICRAF), Bogor, Indonesia.
- BBSDLP. 2014. Sumberdaya Lahan Pertanian Indonesia: Luas, Penyebaran dan Potensi.. Laporan Teknis 1/BBSDLP/2014. Edisi ke-1. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor: 56 Hlm.
- Bremen, N. V., and P. Buurman. 2002. Soil Formation. Second Edition. Kluwer Academic Publishers. New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow. 419 Hlm.
- Hanhart, K., and D. V. Ni. 1993. Water management of rice fields at Hoa An, Mekong Delta, Vietnam. Hlm. 161-176. *In* Dent, D. L., and M. E. F. Van Mensvorort (Eds.). Selected Papers of The Ho Chi Minh City Symposium on Acid Sulphate Soils. ILRI Pub. 53. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Wageningen. Netherlands.
- Hardjowigeno, S. 1996. Pemanfaatan gambut berwawasan lingkungan. *Alami* 2(1):3-6.
- Hardjowigeno, S., dan M. L. Rayes. 2005. Tanah Sawah. Bayu Media Publishing, Malang.
- Hu. Y., dan U. Schmidhalter. 2004. Limitation of Salt Stres to Plant Growth. *In* Bertold Hock, Erich F Elstner, Editor. Plant Toxicology. Marcel Dekker. New York. Hlm. 191-224.

- Kementerian Lingkungan Hidup. 2012. Strategi Nasional. Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan di Indonesia. Deputi Bidang pengendalian Kerusakan Lingkungan dan Perubahan Iklim. 50 Hlm.
- Lucas, R. E. 1982. Organic Soil (Histosol) formation, physical and chemical properties and management for crop production. Research Report Farm Science. 435 Hlm.
- Maas. A. 2014a. Kendala dan Pengelolaan Lahan Rawa Pantai Untuk Tambak. Hlm. 80-90. *Dalam* Buku Pengelolaan Lahan Rawa Untuk Pertanian. Fakultas Pertanian. Universitas Gadjah Mada.
- Maas. A. 2014b. Lahan Rawa sebagai Lahan Pertanian Kini dan Masa Depan. Hlm. 67-79. *Dalam* Buku Pengelolaan Lahan Rawa Untuk Pertanian. Fakultas Pertanian. Universitas Gadjah Mada.
- Maas. A. 2014c. Tanah Pertanian Daerah Rawa. Hlm. 1-27. *Dalam* Buku Pengelolaan Lahan Rawa Untuk Pertanian. Fakultas Pertanian. Universitas Gadjah Mada.
- Maas. A., Darmanto dan B. Wignyosukarto. 2014. Penyempurnaan Sistem Reklamasi dan pengembangan Jaringan tata Air Mendukung Keberlanjutan Pengembangan Pertanian Di Lahan Rawa. Hlm. 98- 114. *Dalam* Buku Pengelolaan Lahan Rawa Untuk Pertanian. Fakultas Pertanian. Universitas Gadjah Mada.
- Mengel, K., and E. A. Kirkby. 1978. Principle of Plant Nutrition. International Potash Institute. 335 Hlm.
- Muharam, A., dan A. Saefudin. 2016. Pengaruh berbagai pembenah tanah terhadap pertumbuhan dan populasi tanaman padi sawah (*Oryza sativa*, L) varietas Dendang di tanah salin sawah bukaan baru. *Jurnal Agrotek Indonesia* 1(2):141-150.
- Muharram, A. 2011. Pengujian Toleransi Padi (*Oryza sativa* L) Terhadap Salinitas Pada Fase Perkecambahan. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor. 57 Hlm.
- Noor, Y. R., dan J. Heyde. 2007. Pengelolaan Lahan Gambut Berbasis Masyarakat di Indonesia. Proyek Climate Change, Forests and Peatlands in Indonesia. Wetlands International – Indonesia Programme dan Wildlife Habitat Canada. Bogor.
- Nugroho, K., Alkasuma, Paidi, W. Wahdini, Abdurachman, H. Suhardjo, dan I. P. G. Widjaja-Adhi. 1992. Peta areal potensial untuk pengembangan pertanian lahan rawa pasang surut, rawa dan pantai. Proyek Penelitian Sumberdaya Lahan. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian. Bogor.
- Pons, L. J., N. Van Breemen, and P. M. Driessen. 1982. Physiography of coastal sediments and development of potential soil acidity. Hlm.1-18. *In* J.A. Kittrick, D. S. Fanning, and L.R. Hossner (*Eds.*). Acid Sulphate Weathering. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Pub 10.
- Rieley, J. O., G. Siefferman, M. Fournier, and F. Soubies. 1992. The peat swamp forest of Borneo: Theori origin, development, past and present

- vegetation and importance in regional and global environmental processes. **In. *Proceedings of the 9th International Peat Congress***, Uppsala, Sweden 1:78-95.
- Salampak. 1999. Peningkatan Produktivitas Tanah Gambut yang Disawahkan dengan Pemberian Bahan Amelioran Tanah Mineral Berkadar Besi Tinggi. *Disertasi*. Program Pascasarjana IPB. Bogor. 171 halaman.
- Saragih, E. S. 1996. Pengendalian Asam-asam Fenolat Meracun dengan Penambahan Fe(III) pada Tanah Gambut dari Jambi, Sumatera. Tesis Program Pascasarjana IPB, Bogor. 172 Hlm.
- Satawathananont, W., H. Patrick, and P. A Moore. 1991. Effect of Controlled Redox Conditions on Metal Solubility In Acid Sulphate *Soil. Plant and Soil* 133:281-290.
- Shaaban, M., M. Abid and R. A. I. Abon-Shanab. 2013. Amelioration of salt affected soils in rice paddy system by application of organic an inorganic amendements. *Plants Soil Environment* 5:227-233.
- Soil Survey Staff. 2010. Keys to Soil Taxonomy. Eleventh Edition. United States Departement of Agriculture. Natural Resources Conservation Services. USDA. Washington D. C. 869 Hlm.
- Subagyo, H. 2006a. Klasifikasi dan Penyebaran Lahan Rawa. Hlm. 1-23 *Dalam* Didi Ardi., U. Kurnia., Mamat H.S., W. Hartati., D. Setyorini (Eds.). :Karakteristik & Pengelolaan Lahan Rawa. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian.
- Subagyo, H. 2006b. Lahan Rawa Pasang Surut. Hlm. 24-98 *Dalam*:Karakteristik & Pengelolaan Lahan Rawa. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Didi Ardi., U. Kurnia., Mamat H.S., W. Hartati., D. Setyorini Editor. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian.
- Suryanto. 1994. Improvement of the P Nutrient Status of Tropical Ombrogenous Peat Soils from Pontianak, West Kalimantan, Indonesia. Ph.D Thesis. Universiteit Gent. 216 Hlm.
- Suwarno, dan S. Solahudin. 1993. Toleransi varietas padi terhadap salinitas pada fase perkecambahan. *Bull. Agron.* 14(3):1-11.
- Theresa, M. B. 2002. Phosphate adsorbtion by mixed and reduced iron phases in static and Dynamic system. Thesis Submitted To The Departement Of Geology Of Stan
- Van Wijk, A. L. M., I. P. G. Widjaja-Adhi, C. J. Ritsema, and C. J. M. Konsten. 1992. Simulation model for acid sulphate soils, II. Validation and application. Hlm. 357-367. *In* D. L. Dent, and M. E. F. Van Mensvoort (Eds.). Selected Papers of the Ho Chi Minh City Symp. on Acid Sulphate Soils, Vietnam, March 1992. ILRI publ. 53, Wageningen, The Netherlands.
- Widjaya-Adhi, I. P. G., K. Nugroho., D. A. Suriadikarta., A. Syarifudin. 1992. Sumber daya lahan rawa: Potensi, keterbatasan dan pemanfaatan.

Risalah. PERNAS Pengembangan Pertanian di Lahan Rawa Pasang Surut dan Lebak, Cisarua 3–4 Maret 1992. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jakarta. Hlm. 19–38.

Widjaja-Adhi, I. P. G. 1997. Pengelolaan lahan rawa dan gambut untuk usahatani dalam pembangunan berkelanjutan dan berwawasan lingkungan. *Jurnal Alami* 2(1):28-35.