

PROSES SALINISASI PADA MEMBRAN PASIR SEBAGAI SIMULASI DAMPAK INTRUSI AIR LAUT DAN BANJIR ROB

*(Salinization Process on Sand Membrane as a Simulation of Sea Water Intrusion and
Tidal Flood Effect)*

Akfia Rizka Kumala^{1*}, Budi Indra Setiawan², Satyanto K. Saptomo³ Rudiyanto⁴

^{1,2,3,4} Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
Jl. Raya Dramaga, Kampus IPB Dramaga, PO BOX 220, Bogor, Jawa Barat Indonesia

Penulis korespondensi: Akfia Rizka Kumala. Email: arkumala12@gmail.com

Diterima: 2 Desember 2015

Disetujui: 22 Januari 2016

ABSTRACT

Salinization is a process that can disturb plantation in an agricultural activity. It occurs due to some conditions which involve the high concentration of saline water in agricultural processes, especially in coastal area, because of sea water intrusion or tidal flood. The research presented the salinization process in the sand membrane used the a simulation of sea water intrusion or tidal flood of coastal area.. In the first treatment, saline water was supplied continuously to the membrane with a stable unsaturated water content depicted as a simulation of sea water intrusion. On the other hand, in the second treatment, the membrane was inundated with saline water depicted the simulation of tidal flood. Two types of sand, black and white sand, were used as a membrane. Black sand and white sand had saturated water content (θ_s) $0.35 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, and $0.52 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$, respectively. The highest to the lowest evaporation rate were flooded black sand, unflooded black sand, flooded white sand, and unflooded white sand membranes. Flooded and unflooded black sand membrane had higher temperature than flooded and unflooded white sand membrane. Then the result research showed that the most salt crystals were produced by the unflooded membrane amounted to 14.7 gram and 15 gram.

Keywords : evaporation, salinization, sand membrane, saline water

PENDAHULUAN

Air garam merupakan campuran air dan garam terlarut serta mengalami proses salinisasi apabila terjadi evaporasi (Gran *et al.* 2009; Xue dan Akae 2010). Namun, proses salinisasi memberikan dampak negatif terutama pada tanaman. Tanaman di tanah dengan kandungan air garam, tidak dapat mengambil air dan mengalami kesulitan dalam evapotranspirasi. Jika konsentrasi garam terlalu tinggi, kematian tanaman dapat terjadi.

Faktor-faktor penyebab salinisasi pada tanah antara lain laju evaporasi tinggi dengan kandungan garam yang tidak tercuci pada daerah air tanah dangkal

atau zona rembesan, intrusi air laut, serta penggunaan irigasi dengan kandungan garam tinggi dan drainase yang minim. Selain itu, daerah-daerah pasang surut di tepi pantai lebih sering mengalami peristiwa banjir rob apabila terjadi gelombang pasang air laut. UN FAO (2005) mengemukakan bahwa salinisasi tanah sering dijumpai pada daerah-daerah dengan curah hujan rendah. Kesuburan tanah hilang secara permanen jika dikombinasikan dengan irigasi dan kondisi drainase yang buruk.

Xue dan Akae (2010) mengemukakan bahwa pembentukan garam pada permukaan tanah akibat proses difusi, dispersi, dan evaporasi air garam dapat menghambat laju evaporasi. Pada lapisan bawah zona evaporasi, tanah

menjadi cenderung lembap, air mengalir ke atas dalam bentuk cair, dan ke bawah dalam bentuk gas. Pada permukaan zona evaporasi, tanah bersifat sangat kering dan mengandung garam (Gran *et al* 2009). Penguapan terjadi jika air meluap atau tekstur tanah menjadi halus. Abdelrady (2013) mengungkapkan bahwa air dengan kandungan garam 100 gram/liter dan 300 gram/liter akan mengalami penurunan laju evaporasi 3,4% dan 31,9%. Hasil penelitian tentang kadar garam berpengaruh terhadap evaporasi juga diungkapkan oleh Abelrady (2013); Gran *et al.* (2009); Xue dan Akae (2010); Zhang *et al.* (2013a); Zhang *et al.* (2013b).

Beberapa daerah di sekitar pantai memiliki potensi lebih besar untuk mengalami intrusi air laut dan banjir rob sehingga berisiko mengalami salinisasi. Tanah pada daerah tersebut secara umum mengandung pasir lebih banyak. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengamati mekanisme proses salinisasi akibat intrusi air laut dan banjir rob. Proses salinisasi diteliti pada membran berupa tanah pasir untuk simulasi daerah pantai. Salinisasi akibat intrusi air laut atau irigasi bawah permukaan disimulasikan dengan aliran air garam dari bawah permukaan pasir. Sedangkan, salinisasi akibat banjir rob disimulasikan dengan genangan air garam pada permukaan membran. Selain itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik fisik membran pasir pada proses salinisasi serta perbedaan dampak salinisasi pada membran pasir hitam dan pasir putih.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di laboratorium Wageningen Institut Pertanian Bogor (Gambar 1) serta Laboraturium Mekanika Tanah, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Penelitian

dilaksanakan pada Maret 2015 hingga November 2015.

Uji Karakteristik Membran Pasir

Tabung evaporator menggunakan membran pasir hitam dan pasir putih. Oleh sebab itu, penelitian ini diawali dengan menganalisis karakteristik membran, antara lain distribusi partikel tanah, konduktivitas hidrolis jenuh (k_s), *bulk density* (ρ_b), dan kadar air tanah jenuh (θ_s).

Analisis distribusi partikel tanah dilakukan dengan menggunakan saringan dengan diameter 2 mm; 0,84 mm; 0,42 mm; 0,25 mm; 0,105 mm; dan 0,074 mm. k_s dianalisis dengan menggunakan pengujian *falling head* yakni pengukuran waktu saat air melewati sampel tanah pada *ring sample*. ρ_b dan θ_s diukur dengan perbandingan massa tanah dalam kondisi jenuh air dan massa tanah pada kondisi kering setelah pemanasan dalam oven.

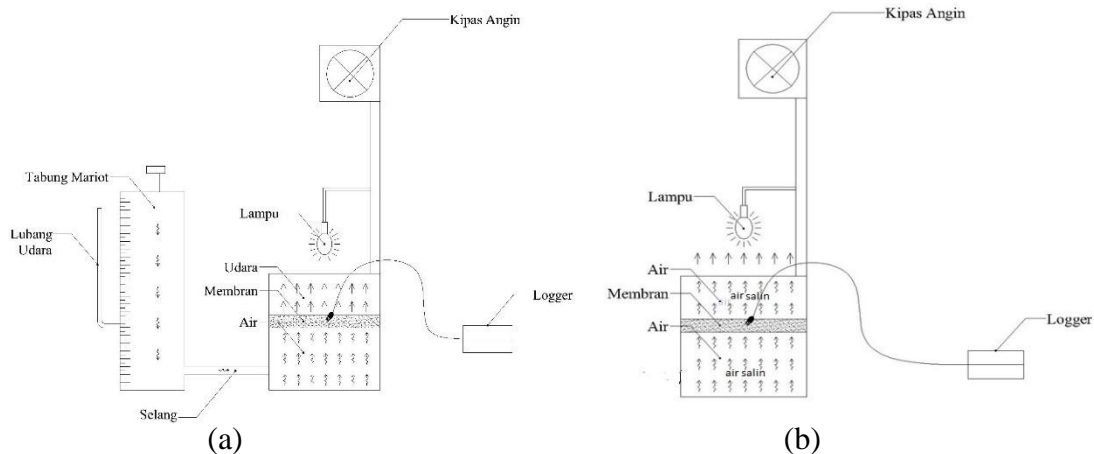
Analisis distribusi ukuran partikel tanah menggunakan model Persamaan Setiawan dan Nakano (1993)

$$\sigma = 100 - \frac{100}{(1+(a\phi)^b)^c} \quad (1)$$

σ adalah persentase partikel yang lebih kecil dari diameter ϕ (mm) dan a_1 , b_1 , c_1 adalah parameter. Pada pengujian pasir hitam nilai a_1 , b_1 , c_1 berturut-turut sebesar 0,002; 1,06; dan 3449,9. Pada pasir putih, nilai a_1 , b_1 , c_1 berturut-turut sebesar 0,03; 1,98; dan 10887,8.

Desain Penelitian

Penelitian ini didesain untuk melihat proses evaporasi air dengan kandungan garam terlarut pada membran pasir tanpa genangan dan dengan genangan oleh air garam (Gambar 1). Evaporasi air garam di dalam evaporator didukung oleh kalor dari bola lampu dan kipas angin untuk memindahkan uap air di lingkungan sekitar evaporator. Melalui simulasi Gran *et al.* (2011), uji coba proses evaporasi



Gambar 1 Skema penelitian (a) dialiri terus menerus tanpa genangan (b) digenangi tanpa dialiri air garam

mengikuti prinsip neraca air, energi, dan massa garam terlarut .

Penelitian terdiri atas dua perlakuan pada masing-masing tabung sebanyak dua buah. Pada perlakuan pertama (P1), air garam dialirkan dari tabung mariot berdiameter 6 inci secara terus-menerus dengan debit 0,002 mm/detik, hingga nilai θ diasumsikan mendekati nilai θ_s . Pada perlakuan kedua (P2), genangan diberikan pada membran dan dibiarkan hingga air garam terevaporasi dan kadar air tanah berkurang. Perlakuan 1 merupakan simulasi intrusi air laut, saat tanah terkontaminasi air garam secara terus menerus dalam kondisi stabil dari bawah permukaan. Perlakuan 2 merupakan simulasi banjir rob saat tanah dibanjiri air garam lalu mengalami evaporasi. Jenis air garam yang digunakan berupa larutan air garam dapur (NaCl) dengan konsentrasi 50 g/L.

Tabung mariot digunakan untuk mengontrol air garam masuk ke dalam evaporator berdiameter 6 inci dengan tinggi 100 mm, sehingga kadar air tetap atau stabil pada P1. Ketika kadar air membran pada tabung evaporator berkurang akibat evaporasi, air garam dari tabung mariot secara otomatis akan

mengalir menuju evaporator dan membasahi membran.

Suhu tanah, kadar air, dan konduktivitas elektrik (KE) diukur menggunakan sensor GS3 dan 5TE dengan pengukuran setiap jam selama penelitian berlangsung. Sensor 5TE ditancapkan pada membran tabung 1 (pasir hitam) dan GS3 pada membran tabung 2 (pasir putih). Kedua sensor tersebut mengukur suhu tanah dalam satuan derajat Celcius, kadar air tanah dalam m^3/m^3 , dan KE dalam milisiemens/centimeter (ms/cm). Sensor KE memberikan informasi tentang salinitas tanah (UN FAO 2005) dan konduktansi elektrik tanah (Grissio *et al.* 2009). Nilai salinitas dikonversi dari satuan ms/cm ke dalam satuan gram/liter garam dengan cara kalibrasi kandungan garam di dalam campuran larutan garam dan tanah. Pendugaan kadar garam dalam satuan gram/liter menggunakan model *Artificial Neural Network* (ANN) dengan data masukan berupa kadar air volumetrik, suhu tanah, dan KE pada saat kalibrasi. Hal ini didasarkan pada pernyataan Rhoades *et al.* (1999) bahwa kadar garam tanah dapat diukur dengan KE dan dipengaruhi oleh suhu dan kadar air.

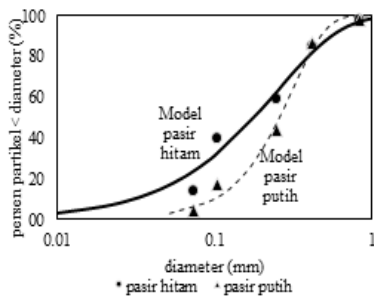
Data evaporasi harian diukur berdasarkan perubahan tinggi muka air tabung mariot untuk perlakuan 1, sedangkan laju evaporasi dihitung berdasarkan selisih perubahan tinggi air tergenang di atas membran dibagi waktu, untuk perlakuan 2. Selanjutnya, data dianalisis untuk melihat proses evaporasi pada setiap perlakuan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Fisik Membran

Tabung 1 berupa membran pasir hitam dengan ρ_b sebesar 1,44 gram/cm³ dan θ_s sebesar 0,35 cm³/cm³, sedangkan tabung 2 berupa membran pasir putih dengan ρ_b sebesar 1,35 gram/cm³ dan θ_s sebesar 0,52 cm³/cm³. Nilai tersebut menunjukkan bahwa pasir hitam memiliki proporsi kadar air yang lebih kecil pada kondisi jenuh, namun memiliki jumlah partikel pasir yang lebih banyak dari pada pasir putih.

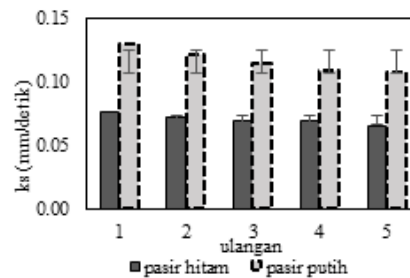
Berdasarkan hasil analisis distribusi partikel tanah, pasir hitam memiliki partikel berukuran lebih kecil daripada pasir putih (Gambar 2).



Gambar 2 Distribusi ukuran partikel tanah

Partikel berdiameter kurang dari 0,25 mm lebih banyak ditemukan pada pasir hitam dari pada pasir putih, yakni berturut-turut 60% dan 40%. Pasir hitam mengandung partikel berdiameter kurang dari 0,1 mm sebanyak 39% sedangkan pasir putih sebanyak 17%.

Kemampuan tanah melewatkan air pada kondisi jenuh, ketika seluruh pori-pori tanah terisi oleh air dapat dideskripsikan dengan nilai k_s (Delgado-Rodriguez *et al.* 2011). Membran pasir putih memiliki nilai k_s yang tinggi, yakni rata-rata 0,12 ± 0,009 mm/detik, sedangkan membran pasir hitam melewatkan air rata-rata 0,07 ± 0,004 mm/detik (Gambar 3). Pasir putih memiliki ukuran partikel besar dengan k_s lebih tinggi dari pada pasir hitam. Hal ini sesuai dengan pernyataan Gulser dan Candemir (2014) serta Schuhmann *et al.* (2011) bahwa semakin banyak partikel dengan ukuran besar, semakin tinggi pula nilai k_s dari tanah tersebut.

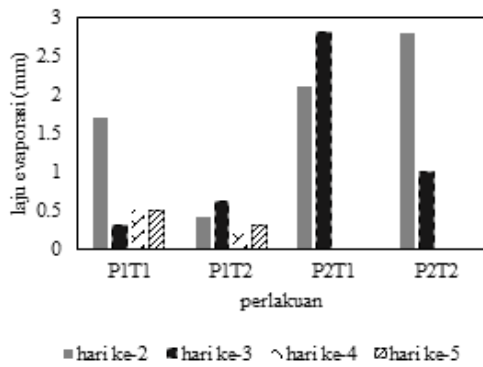


Gambar 3 Konduktivitas hidrolis jenuh tanah

Proses Evaporasi Air garam pada Perlakuan Tanpa dan dengan Genangan

Evaporasi merupakan salah satu faktor pendukung pembentukan garam dan salinisasi (Abelrady 2013; Gran *et al.* 2009; Xue dan Akae 2010; Zhang *et al.* 2013a; Zhang *et al.* 2013b). Gambar 4 memberikan informasi perbedaan evaporasi pada empat kondisi, yakni tabung tanpa genangan pada membran pasir hitam (P1T1) dan membran pasir putih (P1T2) serta tabung dengan genangan pada membran pasir hitam (P2T1) dan membran pasir putih (P2T2).

Laju evaporasi pada perlakuan tanpa genangan, yakni P1T1 dan P1T2 cenderung mengalami penurunan pada pengamatan hari ke-4 dan ke-5 (Gambar 4). Laju evaporasi P1T1 pada awal pengamatan mencapai 1,7 mm/hari,



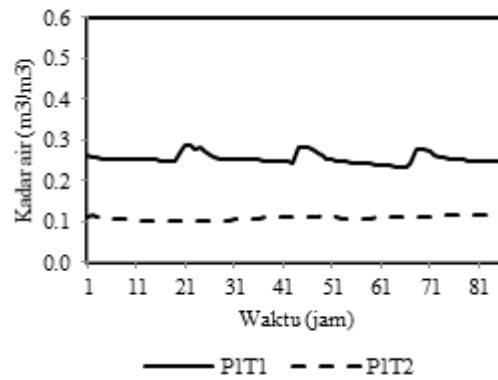
Gambar 4 Laju evaporasi (mm/hari) pada P1 (tanpa genangan) dan P2 (dengan genangan) Pada T1 (membran pasir hitam) dan T2 (membran pasir putih)

sedangkan PIT2 hanya sebesar 0,4 mm/hari. Setelah mengalami salinisasi, beberapa rongga pori-pori tanah terisi oleh larutan garam sehingga mengalami penurunan kemampuan evaporasi. Abdelrady (2013) mengungkapkan bahwa air dengan kandungan garam 100 gram/liter dan 300 gram/liter akan mengalami penurunan laju evaporasi 3,4% dan 31,9%. Partikel pasir putih lebih besar sehingga rongga udara yang terbentuk antar partikel lebih luas. Partikel dengan rongga udara luas memberikan ruang larutan garam untuk mengisi. Keberadaan garam di antara partikel tersebut menyebabkan penurunan kemampuan evaporasi. Dengan demikian, laju evaporasi pada membran pasir putih lebih kecil daripada pasir hitam.

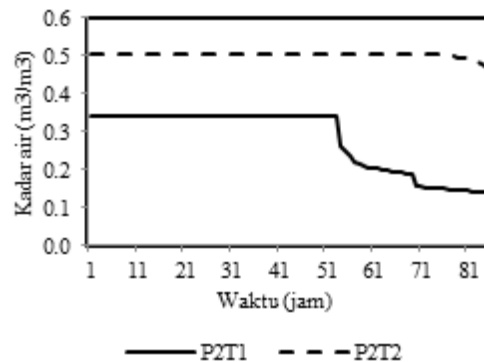
Laju evaporasi pada perlakuan 2, membran dengan genangan, memberikan nilai lebih tinggi dari pada membran tanpa genangan (Gambar 4). Evaporasi hanya diukur di atas membran, sehingga evaporasi lebih banyak dipengaruhi oleh kemampuan air di atas membran kemudian mengubah menjadi kalor laten untuk evaporasi. Laju evaporasi pada membran pasir hitam (P2T1), sebesar 2,1 dan 2,8 mm/hari. Laju evaporasi pada membran

pasir putih sebesar 2,8 dan 0,5 mm. Laju evaporasi tinggi tersebut disebabkan oleh kemampuan air di permukaan membran untuk menyerap dan mengubah kalor menjadi kalor laten lebih tinggi daripada air di dalam pori-pori tanah pada membran tanpa genangan.

Proses evaporasi air garam memberikan dampak perubahan kadar air volumetrik melalui pengamatan sensor. Kadar air volumetrik membran pada perlakuan 1 cenderung stabil, yakni $0,25 \pm 0,01 \text{ m}^3/\text{m}^3$ pada membran pasir hitam dan $0,1 \pm 0,005 \text{ m}^3/\text{m}^3$ (Gambar 5a).



(a)



(b)

Gambar 5 Kadar air tanah volumetrik pada (a) perlakuan tanpa genangan dan (b) dengan genangan

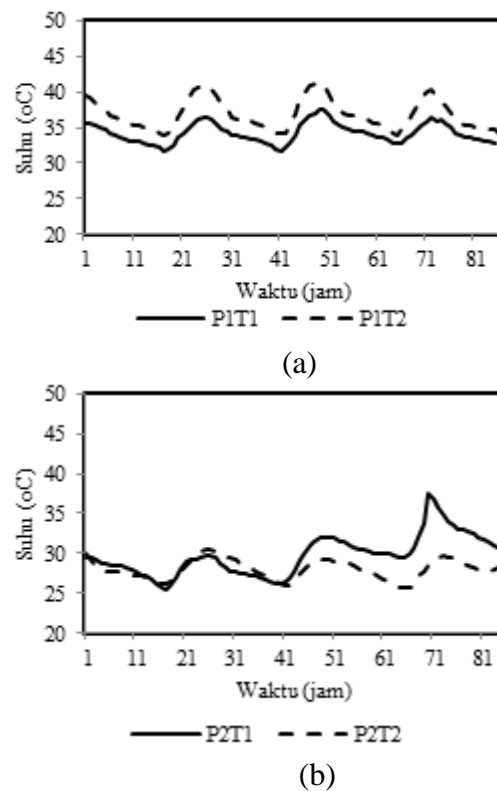
Hal ini karena perlakuan 1 melibatkan tabung mariot yang mengontrol ketinggian air garam pada tabung evaporator. Membran pasir hitam

dan putih pada perlakuan 1 hanya dibasahi oleh air garam, tetapi tidak sampai tergenang. Air garam mengalir dari tabung mariot menuju bagian bawah membran tabung evaporator kemudian secara bersamaan dilakukan upaya penguapan dengan bantuan energi bola lampu di atas tabung evaporator. Pengurangan kadar air pada membran pasir akibat proses evaporasi selalu digantikan oleh air garam dari tabung mariot.

Pada perlakuan kedua, air garam dengan genangan permukaan membran, menunjukkan kadar air jenuh sebesar $0,35 \text{ m}^3/\text{m}^3$ pada membran pasir hitam dan $0,52 \text{ m}^3/\text{m}^3$ pada membran pasir putih. Kadar air pasir hitam menurun ketika genangan air garam telah habis, sehingga penguapan terjadi di dalam membran. Hal serupa juga terjadi pada membran pasir putih, tetapi air garam pada pasir putih surut lebih lambat. Hal ini terkait dengan laju evaporasi pada pasir hitam cenderung lebih tinggi daripada pasir putih.

Selain itu, energi panas dari bola lampu dan variasi suhu harian di sekitar lingkungan penelitian memberikan dampak pada perubahan suhu membran dan proses evaporasi air garam. Suhu membran pasir putih tabung 2 cenderung lebih tinggi daripada suhu membran pasir hitam pada tabung 1 (Gambar 6). Suhu membran pasir putih tanpa genangan (P1T2) mencapai nilai maksimum $41,2 \text{ }^\circ\text{C}$ pada sore hari dan nilai minimum $33,9 \text{ }^\circ\text{C}$ pada pagi hari. Kondisi ini merupakan dampak dari fluktuasi suhu harian akibat energi matahari yang cukup besar pada siang hari dan rendah pada pagi hari (Neuberger *et al.* 2014). Suhu membran pasir hitam pada membran tanpa genangan (P1T1) lebih rendah, mencapai nilai maksimum $37,5 \text{ }^\circ\text{C}$ pada sore hari dan nilai minimum $25,5 \text{ }^\circ\text{C}$ pada pagi hari. Hal ini terjadi karena kadar air di dalam membran pasir putih tanpa genangan lebih rendah daripada membran pasir hitam

pada perlakuan yang sama (Gambar 6a). Nobel dan Geller (1987) mengemukakan bahwa suhu maksimal tanah kering mencapai $45 \text{ }^\circ\text{C}$, sedangkan tanah lembap $30 \text{ }^\circ\text{C}$, merupakan akibat dari peningkatan kapasitas kalor volumetrik seiring dengan peningkatan kadar air tanah. Alnefaie & Abu-Hamdeh (2013) bahwa kalor spesifik meningkat seiring dengan peningkatan kadar air tanah.



Gambar 6 Suhu tanah pada (a) perlakuan tanpa genangan dan (b) dengan genangan

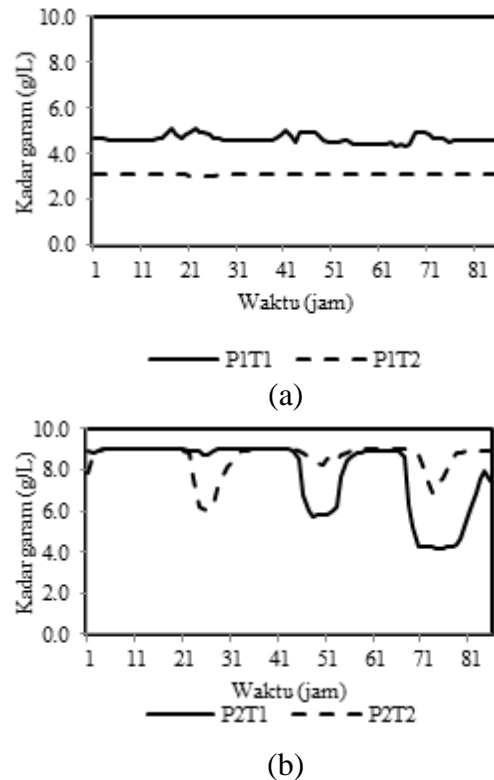
Kondisi tersebut juga terjadi pada membran dengan genangan ketika mengalami kenaikan suhu seiring dengan pertambahan waktu. Hal ini disebabkan oleh penurunan kadar air membran seiring pertambahan waktu tanpa ada suplai air garam (Gambar 6b). Membran pasir putih dengan genangan cenderung memiliki fluktuasi suhu harian tetap sejak awal hingga akhir percobaan. Hal ini disebabkan oleh laju evaporasi pasir putih lebih rendah daripada pasir hitam. Kadar

air membran pasir hitam lebih cepat berkurang sehingga suhu harian lebih cepat meningkat daripada membran pasir hitam.

Jika semua suhu pada masing-masing perlakuan dibandingkan, suhu membran tanpa genangan lebih tinggi daripada membran dengan genangan. Hal ini disebabkan oleh dampak keberadaan air pada perlakuan 2 lebih banyak dari pada perlakuan 1. Pelepasan kalor oleh bola lampu akan diserap oleh air yang memiliki kapasitas kalor lebih besar daripada tanah. Oleh sebab itu, kalor tersebut lebih banyak digunakan untuk menguapkan air dalam bentuk panas laten. Pada perlakuan 1 tanpa genangan, jumlah air yang sedikit hanya mampu menampung sedikit kalor untuk diubah menjadi panas laten. Ketika kalor sampai ke permukaan membran lebih banyak, suhu membran menjadi lebih tinggi.

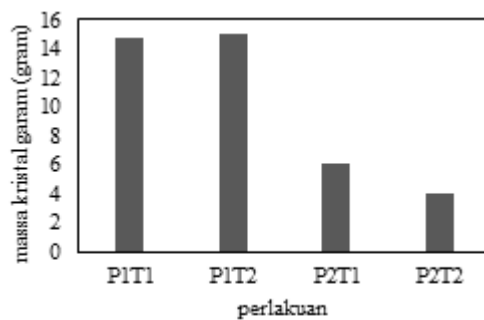
Proses evaporasi air garam berbeda dengan selain air garam. Kadar garam pada air garam jauh lebih tinggi dan seringkali menyebabkan salinisasi pada tanah. Oleh sebab itu, kondisi kadar garam pada membran pasir diamati. Berdasarkan nilai tersebut, kadar garam pada P1T1 tidak konstan (Gambar 7a), seperti kondisi grafik kadar air P1T1. Kadar garam pada membran dengan genangan lebih besar daripada membran tanpa genangan (Gambar 7b). Hal ini sesuai dengan pernyataan Grisso *et al.* 2009 bahwa kadar air mempengaruhi nilai KE tanah.

Berdasarkan hasil simulasi tersebut, penggunaan air garam terus menerus sebagai dampak dari intrusi air laut dapat menghasilkan pengendapan garam terbesar di permukaan tanah daripada akibat banjir rob. Perlakuan tanpa genangan mengendapkan garam di atas membran sekitar 15 gram, baik pasir hitam maupun pasir putih (Gambar 8). Perlakuan dengan genangan hanya mengendapkan 6 gram di atas membran pasir hitam (P2T1) dan 4 gram di atas



Gambar 7 Kadar garam pada (a) perlakuan tanpa genangan dan (b) dengan genangan

membran pasir putih (P2T2). Kondisi ini menunjukkan bahwa intrusi air laut terus menerus lebih berisiko mengakibatkan salinisasi di daerah sekitar pantai daripada banjir rob atau pasang surut air laut.



Gambar 8 Residu garam di atas membran

SIMPULAN

Karakteristik fisik membran pasir hitam memiliki nilai k_s $0,07 \pm 0,004$

mm/detik, ρ_b sebesar 1,44 gram/cm³ dan θ_s sebesar 0,35 cm³/cm³. Sementara itu, membran pasir putih memiliki nilai k_s sebesar 0,12 ± 0,009 mm/detik, ρ_b sebesar 1,35 gram/cm³ dan θ_s sebesar 0,52 cm³/cm³. Berdasarkan hasil analisis distribusi partikel tanah, pasir hitam memiliki partikel berukuran lebih kecil daripada pasir putih.

Laju evaporasi pada membran dengan genangan sebagai simulasi banjir rob atau lahan pasang surut lebih besar daripada membran teraliri air garam terus-menerus dari bawah permukaan tanah sebagai simulasi intrusi air laut. Kadar air tanah pada membran teraliri air garam terus menerus cenderung konstan sedangkan membran tergenang cenderung mengalami penurunan. Suhu membran tanpa genangan lebih tinggi daripada membran dengan genangan air garam, sedangkan kadar garam cenderung mengikuti kadar air membran.

Dampak proses salinisasi adalah pengendapan kristal garam di atas permukaan membran pasir. Simulasi perlakuan 1 tanpa genangan menghasilkan kristal garam lebih banyak, yaitu 14,7 gram pada pasir hitam dan 15 gram pada pasir putih. Sementara itu, simulasi perlakuan 2 dengan genangan menghasilkan garam dengan jumlah lebih sedikit, yaitu 6 gram pada pasir hitam dan 4 gram pada pasir putih.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelrady AR. 2013. *Evaporation Over Fresh and Air garam Using SEBS* [tesis]. Enschede (NL): The University of Twente.
- Alnefaie KA, Abu-Hamdeh NH. 2013. Specific heat and volumetric heat capacity of some saudian soils as affected by moisture and density. *International Conference on Mechanics, Fluids, Heat, Elasticity and Electromagnetic Fields*. 139-143
- Delgado-Rodriguez O, Peinado-Guevara HJ, Green Ruiz CR, Herrera Barrientos J, Shevnev V. 2011. Determination of hydraulic conductivity and fines content in soils near an unlined irrigation canal in Guasave, Sinaloa, Mexico. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 11(3):13-31.
- Gran M, Carrera J, Olivella S, Massana J, Saaltink MW, Ayora C. Lloret A. 2009. Salinity is reduced below the evaporation front during soil salinization. *Estudios en la Zona no Saturada del Suelo*. 9.
- Gran M, Carrera J, Olivella S, Saaltink MW. 2011. Modelling evaporation process in a saline soil from saturation to oven dry condition. *Hydrology Earth System Science Discuss*. 8: 529-554.
- Grisso R, Alley M, Holshouser D, Thomason W. 2009. Precision farming tools: soil electrical conductivity. *Virginia Cooperative Extension*. 442:1-6.
- Gulser C, Candemir F. 2014. Using soil moisture constants and physical properties to predict saturated hydraulic conductivity. *Eurasian Journal of Soil Science*. 3:77-81
- Neuberger P, Adamovsky R, Sed'ova M. 2014. Temperatures and heat flows in a soil enclosing a slinky horizontal heat exchanger. *Energies*. 7:972-987.
- Nobel PS, Geller GN. 1987. Temperature modelling of wet and dry desert soils. *Journal of Ecology*. 75(1): 247-258.
- Rhoades JD., Chanduvi F., Lesch S. 1999. *Soil Salinity Assessment: Methods and Interpretation of Electrical Conductivity Measurements*. FAO
- Saxton KE, Rawls WJ. 2006. Soil water characteristic estimates by texture

- and organic matter for hydrologic solutions. *Soil Science Society of America Journal* 70:1569-1578
- Setiawan BI, Nakano M. 1993. On the Determination of Unsaturated Hydraulic Conductivity from Soil Moisture Profiles and from Water Retention Curves. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 156(6):389-395.
- Schuhmann R, Koniger F, Emmerich K, Stefanescu E, Stacheder M. 2011. Determination of hydraulic conductivity based on (soil) - moisture content of fine grained soils, hydraulic conductivity – issues, determination and applications, Prof. Lakshmanan Elango (Ed.) [Internet]. [diunduh 2015Agustus 15]; ISBN: 978-953-307-288-3. Tersedia pada: <http://www.intechopen.com/books/hydraulic-conductivity-issues-determinationand-applications/determination-of-hydraulic-conductivity-based-on-soil-moisture-content-of-fine-grained-soils>
- [UN FAO] United Nations Food and Agriculture Organization. 2005. 20 hal untuk diketahui tentang dampak air laut pada lahan pertanian di propinsi NAD.
- Xue Z, Akae T. 2010. Effect of soil water content and *salinity* on daily evaporation from soil column. *Journal of American Science.* 6(8):576-580.
- Zhang C, Li L, Lockington D. 2013a. Numerical study of evaporation-induced salt accumulation and precipitation in bare *saline* soils: mechanism and feedback. *Water Resources Research.* 50:8084-8016.
- Zhang C, Xu XW, Lei JQ, Hill RL, Zhao Y. 2013b. The effects of soil salt crusts on soil evaporation chemical changes in different ages of Taklimakan Desertbelts. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition.* 13(4):1019-1028.