SIMULASI PEMBASAHAN LAHAN PERTANIAN DAERAH PASANG SURUT TIPOLOGI C MELALUI PENDEKATAN MODEL VAN GENUCHTEN

Simulation of Agricultural Wetland Area of Typology C through The Van Genuchten Model Approach

Reza Adhi Fajar^{1*}, Lilik Eko Widodo², Sudarto Notosiswojo², Aris Rinaldi³

¹ Program Doktor Rekayasa Pertambangan ITB, Ganesa 10, Bandung, Indonesia

² Staf Pengajar dan Grup Riset Eksplorasi Sumberdaya Bumi ITB, Ganesa 10, Bandung, Indonesia

³ Program Magister Teknik Air Tanah ITB, Ganesa 10, Bandung, Indonesia

*Corresponding author: reza@poliban.ac.id

Abstract. The use of groundwater flow equations in porous media is often applied optionally, i.e. under saturated soil or only for unsaturated conditions. Tidal agricultural zone of typology C, is an example of how these two assumptions can occur simultaneously. The parameters of the hydraulic conductivity values in this zone can be illustrated by Van Genuchten model approach so that the distribution of water content in spatiotemporal can be described precisely. The numerical model used in land wetting simulation is a finite different method of up to 1D horizontally with an explicit scheme. In the context of the managerial aspects of water management, the scheduling system of tidal-lowland for agricultural purposes, will also be explained from the simulation results.

Keywords: wetting, conductivity, numeric, tidal-lowland, water-content

1. PENDAHULUAN

Jangkauan pengaruh pasang surut air laut di suatu zona, adalah isu yang strategis dalam pengembangan lahan pertanian (Birendrajana dan Fajar, 2009). Zona pasang surut tipologi C, misalnya, tidak selalu mendapat asupan air segar akibat gaya pasang surut air laut, karena lokasinya yang relatif jauh atau di elevasi yang relatif tinggi terhadap muka air laut (Shadiq dan Fajar, 2008). Oleh karena itu, penentuan waktu yang tepat untuk bercocok tanam di zona ini dibutuhkan dalam konteks manajemen penjadwalan keluar-masuknya air segar yang kaya akan sumber hara (Novitasari dan Fajar, 2012). Tulisan ini menambahkan presisi perhitungan waktu tenggang masuknya air hasil luapan pasang surut dari saluran tersier pada proses pembasahan lahan pertanian.

2. METODE

Model pembasahan lapis tanah didekati persamaan Richard:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = D(\theta) \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} + \frac{\partial}{\partial z} K(\theta) \quad (1)$$

Dengan K dan D adalah parameter konduktivitas hidrolik dan difusivitas yang nilainya bervariasi terhadap kadar air.

Penentuan parameterisasi dilakukan dengan persamaan Mualem (1976) sebagai berikut:

$$K(\theta) = K(S_e(\theta)) = K_s \cdot S_e^l \left[1 - (1 - S_e^{1/m})^m \right]^2 \quad (2)$$

$$D(\theta) = \frac{(1-m)K_s}{cm(\theta_s - \theta_r)} S_e^{1/2-1/m} \left[(1 - S_e^{1/m})^m + (1 - S_e^{1/m})^m - 2 \right] \quad (3)$$

Dimana S_e kadar air volumetrik yang diperoleh dari hubungan (Brook-Corey, 1977):

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \equiv \bar{\theta} \quad (4)$$

$$\bar{\theta}(\psi) = e^{\alpha \psi} (\psi \leq 0)$$

Dengan θ , θ_r dan θ_s , berturut-turut adalah kadar air, kadar air jenuh dan kadar air residu.

Kurva retensi air (SWCC) yang dipergunakan dalam model, mengikuti pola Van Genuchten (1980) yakni:

$$\theta(\psi) = \begin{cases} \frac{1}{[1 + |\alpha \psi|^n]^m} & \psi < 0 \\ 1 & \psi \geq 0 \end{cases} \quad (5)$$

Dengan α adalah parameter empiris, n adalah parameter yang berhubungan dengan indeks distribusi terhadap pori, m adalah parameter [$m = 1 - 1/n$].

Dalam hal ini, ψ adalah tekanan negatif atau *suction* dengan hubungan:

$$\psi = \frac{P}{\rho_w g} \equiv -\frac{P_c}{\rho_w g} \quad (6)$$

Dimana p_c adalah *capillary pressure*.

Penjabaran distribusi kadar air dalam lapisan tanah mengikuti pola pembasahan *wetting front* (Green Ampt, 1911) hingga diketahui kapan lapisan tanah tersebut akhirnya jenuh total. Mekanisme *wetting front* (Gambar 1) dengan kondisi batas yang terukur (Neumann dkk., 1975).

Gambar 1. Skema *Wetting Front* (Gary 1989)

Sedangkan model pembasahan lapis tanah (Gambar 4) diperoleh dengan cara melakukan perhitungan persamaan Richard.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Parameterisasi

Jenis tanah yang disimulasikan adalah *sandy loam* dengan data karakteristik retensi air (SWCC) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Data ini kemudian digambarkan dengan pendekatan model retensi Van Genuchten (Gambar 2).

Tabel 1. Data SWCC *Sandy Loam*

θ_r	θ_s	$\alpha = -1/\psi_a$	n	K_s (cm/d ⁻¹)
0,065	0,41	0,075	1,89	106,08

Sumber: Gary, 1989

Gambar 2. Kurva Retensi Air *Sandy Loam*

Dengan menggunakan persamaan Mualem (1976), diperoleh distribusi nilai K dan D terhadap θ (Gambar 3), dengan pendekatan:

$$K(\theta) = 3E+06 \theta^6 - 4E+06 \theta^5 + 2E+06 \theta^4 - 474964 \theta^3 + 62426 \theta^2 - 4032 \theta + 99.765 \quad (7)$$

$$D(\theta) = 3E+07 \theta^{8.1931} \quad (8)$$

Koefisien korelasi dari dua hubungan ini cukup signifikan yakni 0,99 dan 0,91 yang menunjukkan signifikansinya yang sangat tinggi sehingga dapat dilanjutkan ke perhitungan *wetting front*.

Gambar 3. Distribusi Nilai K dan D

3.2. Model Pembasahan dan Pembahasan

Perhitungan dilakukan dari persamaan Richard dalam bentuk *discrete* dari pendekatan metoda beda hingga cara eksplisit.

$$\begin{aligned} \theta_i^{n+1} = & \theta_i^n \\ & + D(\theta) \frac{\Delta t}{(\Delta z)^2} [\theta_{i+1}^n - 2\theta_i^n + \theta_{i-1}^n] \\ & + \frac{\Delta t}{2(\Delta z)} [\{K(\theta)\}_{i+1}^n - \{K(\theta)\}_{i-1}^n] \end{aligned} \quad (9)$$

Dengan selisih tinggi (Δz) dan waktu (Δt) yang dipergunakan adalah 30 cm dan 10 menit. Penyelesaian dilakukan dengan bantuan lembar kerja *spreadsheet* pada perangkat lunak *MS.Excel*.

Kondisi batas di permukaan tanah adalah tipe 1 atau *dirichlet* dengan nilai kadar air dianggap selalu jenuh ($\theta = \text{tetap} = \theta_s$), dan tipe 2 atau *neumann* untuk kondisi batas di atas muka airtanah dengan anggapan bahwa perubahan nilai kadar air selalu 0,01 ($\delta\theta/\delta t = \text{tetap} = 0,01$). Sedangkan di awal perhitungan, kadar air di seluruh titik secara vertikal, dianggap dalam kondisi residu ($\theta_{i=0} = \theta_r$) sebagai *initial condition*.

Gambar 4. Simulasi Model Pembasahan

Dari ilustrasi terlihat bahwa diperlukan waktu 1130 menit atau 18,83 jam (hampir satu hari) untuk dapat membasahi lapisan tanah hingga kedalaman 300 cm. Hal ini berarti bahwa perlu adanya penambahan/tenggang waktu sekitar 1 (satu) hari dalam penjadwalan sirkulasi air pasang dari saluran tersier ke zona pertanian tipologi C (gambar 5) untuk kondisi tanah *sandy loam*.

Gambar 5. Hidrotopografi Lahan Pasang Surut (Marpaung dkk., 2015)

4. SIMPULAN

Model pembasahan Van Genuchten telah disimulasikan sedemikian rupa menggunakan metoda beda hingga untuk jenis tanah *sandy loam*. Model perhitungan ini mengisyaratkan penambahan waktu tenggang masuknya air hasil luapan pasang surut dari saluran tersier ke zona tipologi C sekitar hampir 1 hari. Namun demikian perlu dilakukan perhitungan serupa untuk jenis tanah setempat guna akurasi dalam konteks manajemen keluar-masuknya air pasang surut.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih atas bantuan pendanaan LP3I-ITB sehingga tulisan ini dapat dipublikasikan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Birendrajana & Fajar, R.A. (2009). *Tinjauan Masterplan Pengembangan Rawa Barito Kuala Provinsi Kalimantan Selatan*. Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) XXVI Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia (HATHI) Reposisi Teknik Hidraulik Menghadapi Era Globalisasi (h. 157-168). Banjarmasin: Universitas Lambung Mangkurat.
- Brooks, R.H., Corey, A.T. (1964). *Hydraulic Properties of Porous Media*, Hydrol. Pap. 3. Colo. State Univ., Fort Collins, 27 pp.
- Gary L.G. (1989). *Unsaturated Zone Hydrology*. New Jersey: PTR Prentice Hall Englewood Cliffs.
- Green, W.H., Ampt, G.A. (1911). *Studies on soil physics I. The flow of air and water through soils*. Journal of Agricultural Research 4: 1–24
- Marpaung, M. F., Novitasari, Fajar, R. A., Gifariyono, M. (2015). *Sistem Tata Air Makro Rawa Pasang Surut Di Daerah Pedesaan*. Bandung: Puslitbang SDA, Kementerian PUPR.
- Mualem, Y. (1976). *A New Model for Predicting The Hydraulic Conductivity of Unsaturated Porous Media*. Water Resour. Res. 12, 513–522.
- Neuman SP, Feddes RA, Bresler F. (1975) *Finite Element Analysis of Two-Dimensional Flow in Soils Considering Water Uptake by Roots*, I. Theory. Soil Sci Soc Am Proc; 39:224–230. USA
- Novitasari & Fajar, R.A. (2012). *Study of Technical and Non-Technical Aspects of Tambak Hanyar Polder Management*. Proceeding of International Seminar on University-Based Research For Wetland Development (pp. 106-111). Banjarmasin: Lambung Mangkurat University.
- Shadiq F. & Fajar, R.A. (2008). *The Study of Impact Analysis for Sea Water Rising on Barito Estuary to Resettlement Area in and around Banjarmasin*. Proceeding of International Symposium on Climate Change and Human Settlement, Volume III (pp. 26-35). Bali: Nilim-Japan.
- Van Genuchten, M Th. (1980). *A Closed-Form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils*. Soil Sci. Am. J. 44:892–898. USA