

ABSTRACT

THE ROLE OF RUNOFF MECHANISMS FOR NUTRIENT TRANSPORT IN STEEP SLOPES AND CLAY SOIL LAYERS

By

Nguyen Thi Ngoc Anh

Student ID: 35315701

(Doctoral Program in Environmental Engineering)

The quantity and quality of river water are under the influence of surface runoff, pipe flow, return flow, and subsurface flow. The relations between rainfall and runoff and its quality deal with several hydrological processes. However, the limited understanding of the main runoff mechanism in a certain area, lack of the rainfall and runoff data and the concurrent nutrient substance data are some typical reasons that make difficulties to imitate the runoff and nutrient transport in nature. Most physically based models cannot reflect the true complexity and heterogeneity of the processes occurring in the fields.

The research comprehensively explores the influence of rainfall on runoff generation and nutrient dispersion on the sloped catchment. The objective of this study is firstly to prove that the subsurface flow plays the dominant roles of runoff formation rather than a surface flow. Secondly, the main runoff quantity, the soil physical characteristics are the important factors that involve in the transport of nutrient under runoff processes. In order to achieve this aim, the study conducts the runoff process by different rainfall intensity, land cover plots in the field study; Obtaining the mineralization and nitrification to study the transport of nutrient in the form of ammonium, and nitrate in several soil layers and the discharge flow in the laboratory study; development of physical based model for specific conditions of steep-sloped of a tropical regions.

The runoff generations in the field experiments can be observed in several plots under artificial rainfall. The soil moisture is the indicator to represent the water content in the soil layers. Besides that, some parameters related to the capacity of the soil to transmit water such as hydraulic conductivity, soil porosity, texture, density are measured. The results can be applied in the mathematical model. This stage helps to expand the understanding of soil moisture on the water content in the soil, and runoff generation. Under small rainfall, the surface flow and subsurface flow are not the dominant mechanism in a steep slopes, and clay soil layers. The moisture in land surface decides the main contribution to runoff flow in the downstream area in short period.

In the laboratory experiments, a certain amount of fertilizer are applied in several soil columns to study the dispersion of nitrogen in the soil layers and the runoff flow. The soil samples from several layers and the water in the bottom of soil columns are collected to analyze the ammonium and the nitrate. These soil quality results are fitted by the curve of the ammonium and nitrate concentration by the Polynomial and the Fourier series. This stage found that the ammonium is the main form of nitrogen in the soil layers, and it increased quickly in the land surface; otherwise, the nitrate is very small and tends to stable in three layers.

To support these empirical models based on the Polynomial and the Fourier function, a new model using Cellular Automata is explored to emulate the overland flow in flooded condition. The Cellular Automata model can successfully imitate the overland flow in a slope area, with acceptable results. Besides that, the dissertation also suggests a mathematical model to simulate the runoff flow and nutrient transport based on the soil moisture dynamic and the water balance equations in the various soil layers. The important keys of the method are using very thin soil layer, and small time steps to increase the accuracy of the simulation results. Both models have been simplified to be applicable for simulating the runoff and solute transport in limited data conditions.

In conclusion, the results confirm the knowledge related to runoff generations. It is expected to contribute to a profound understanding of the behavior of river water quality and enhance development of a mathematical model for river water quality predictions. In the future, the further research is needed to overcome these limitations in order to study the runoff and nutrient transport deeper and correctly.

Keywords: *steep slope, runoff, overland flow, subsurface flow, nutrient transport, physical model, Cellular Automata.*

ABSTRAK

PERAN MEKANISME AIR LIMPASAN DALAM TRANSPORT NUTRIEN DI LAHAN CURAM DAN LAPISAN TANAH LIAT

Oleh
Nguyen Thi Ngoc Anh
NIM: 35315701
(Program Studi Doktor Teknik Lingkungan)

Kualitas dan kuantitas air sungai dipengaruhi oleh berbagai aspek, yaitu air limpasan permukaan, aliran pori-pori tanah, aliran balik (kondisi tanah jenuh), dan air tanah. Hubungan antara air hujan, air limpasan, dan kualitasnya sangat tergantung dari proses hidrologi, yang perlu disimulasikan dalam model. Namun, keterbatasan pemahaman mengenai mekanisme utama limpasan di kawasan tertentu, keterbatasan data hujan, keterbatasan data limpasan, dan keterbatasan data kandungan nutrisi menjadi permasalahan untuk memodelkan transpor limpasan dan nutrisi di alam. Kebanyakan model berbasis fisik tidak dapat menggambarkan kompleksitas dan heterogenitas yang sebenarnya terjadi di lapangan

Berdasarkan hal tersebut, disertasi ini memberikan penelitian komprehensif untuk mengidentifikasi pengaruh dari air hujan pada kualitas air sungai pada kawasan pedesaan melalui pemahaman yang lebih dalam terhadap pembentukan air limpasan dan persebaran nutrisi pada daerah tangkapan dengan kemiringan tertentu. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuktikan bahwa aliran bawah permukaan, khususnya aliran balik memiliki peran lebih dominan dalam pembentukan limpasan dibandingkan air permukaan. Di samping itu, limpasan permukaan, mekanisme dan kuantitas, karakteristik fisik tanah adalah faktor yang sangat berpengaruh terhadap transpor nutrisi selama proses runoff. Untuk mencapai tujuan tersebut, pada penelitian ini dilakukan tahapan-tahapan: (1) melakukan perbandingan proses hujan – limpasan untuk berbagai intensitas hujan yang berbeda dan tutupan lahan yang berbeda dalam lingkup penelitian lapangan; (2) mendapatkan mineralisasi dan nitrifikasi untuk mempelajari transpor nutrisi sebagai amonium dan nitrat pada lapisan tanah yang berbeda dan debit aliran dalam lingkup penelitian laboratorium; (3) mengembangkan model fisik sederhana yang dapat diaplikasikan untuk kondisi spesifik dengan kemiringan yang curam dalam negara dengan iklim tropis.

Proses pembentukan limpasan dapat dilakukan pada plot tanah yang berbeda pada hujan buatan. Data kelembaban tanah menjadi indikator untuk mendukung dinamika kandungan air pada lapisan tanah dalam lingkup percobaan in-situ. Selain itu, parameter lain terkait dengan kapasitas untuk mengalirkan air pada tanah, seperti konduktivitas hidrolis, porositas tanah, tekstur, massa jenis juga diukur

dalam penelitian ini. Hasil dari tahap ini membantu untuk meningkatkan pemahaman terhadap pembentukan limpasan dan memberikan informasi kaitan antara kelembaban tanah dan air yang tersimpan pada lapisan tanah di daerah tangkapan. Hasil yang diperoleh pada tahap ini digunakan untuk memperdalam pemahaman mengenai pembentukan limpasan dan untuk memberikan informasi mengenai hubungan antara kelembaban tanah dan jumlah air yang tersimpan dalam tanah. Hasil ini akan diaplikasikan pada model fisik yang menjadi tahap terakhir penelitian.

Pada penelitian laboratorium yang telah dilakukan, jumlah pupuk diaplikasikan pada kolom tanah yang berbeda untuk mempelajari cara infiltrasi dan penyebaran nutrient pada tanah dan air limpasan. Intensitas hujan buatan yang berbeda ditetapkan setiap dua hari. Sampel tanah pada level kedalaman yang berbeda dan aliran air di bawah kolom tanah dikumpulkan, kemudian ammonium dan nitrat dianalisis setiap hari. Hasil dari tahap ini membuktikan bahwa kapasitas penyerapan ammonium dengan jumlah tinggi pada lapisan tanah atas dan efek yang sangat singkat dari aliran limpasan pada transpor nitrat pada arah vertikal dan horizontal. Beberapa fungsi pendekatan seperti rangkaian Fourier dan polinomial dinilai sesuai dengan data kualitas.

Untuk mendukung model ini, model baru lain berdasarkan prosedur automata seluler ditelaah dan dikembangkan untuk meniru perubahan dari aliran pada daratan. Model tersebut berhasil memodelkan proses limpasan dan nutrient pada kawasan dengan kemiringan tinggi, dengan hasil yang dapat diterima. Pada akhirnya, model fisik sederhana dapat dibangun untuk memperkirakan kelembaban air dalam tanah, aliran flux pada arah horizontal dan vertical di antara lapisan tanah. Data aliran air juga menjadi data input untuk simulasi kondisi dinamis dari ammonium dan nitrat pada lapisan tanah. Kemudian daerah yang menjadi lingkup studi dibagi menjadi beberapa segmen, setiap segmen kemudian dibagi menjadi beberapa lapisan, dan digunakan persamaan kekekalan massa pada setiap lapisan tanah. Kunci penting dari metoda ini adalah menggunakan lapisan yang sangat tipis dan menggunakan tahap waktu yang sangat kecil untuk meningkatkan akurasi dari simulasi.

Sebagai kesimpulan, disertasi ini memberikan pengetahuan terkait dengan pembentukan limpasan. Pengetahuan yang dihasilkan diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pemahaman yang lebih baik terhadap kualitas air kawasan pedesaan, dengan demikian dapat dikembangkan suatu desain dari model fisik untuk prediksi kualitas air. Mekanisme limpasan didominasi oleh air tanah, dan kelembaban tanah menjadi faktor penting yg berkontribusi pada pembentukan limpasan. Mekanisme dispersi nitrogen dipengaruhi oleh faktor limpasan di aliran horizontal, aliran vertikal, aliran balik, dan jumlah air yang tersimpan dan dalam tanah sesuai dengan persamaan kesetimbangan massa di setiap lapisan tanah tertentu.

Kata kunci: lahan curam, limpasan, aliran permukaan, aliran bawah permukaan, transportasi nutrisi, model fisik, Automata Selular.