

Kualitas Struktur Tanah pada Setiap Bentuklahan di DAS Kaliwungu

Adhera Sukmawijaya dan Junun Sartohadi

Faculty of Geography, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia.

*Email koresponden: adherasukmawijaya@gmail.com

Direvisi: 2018-01-25. Diterima: 2019- 08-21
©2019 Fakultas Geografi UGM dan Ikatan Geograf Indonesia (IGI)

Abstrak Pengelolaan tanah untuk pertanian yang berkelanjutan perlu untuk memperhatikan 2 hal, yaitu bentuklahan dan tanah. Faktor tanah yang perlu diperhatikan adalah struktur tanah. Penelitian yang fokus pada bentuklahan, struktur tanah, dan implikasinya pada pengelolaan belum pernah dilakukan di DAS Kaliwungu. Penelitian bertujuan untuk menganalisis struktur tanah pada setiap bentuklahan sebagai dasar untuk pengelolaan tanah yang berkelanjutan. Kualitas struktur tanah ditentukan dari observasi profil tanah pada setiap bentuklahan. Identifikasi bentuklahan dilakukan berdasarkan pengumpulan data dari Kendaraan Nirawak. *Visual Evaluation of Subsoil Structure* (SubVESS) digunakan untuk menentukan kualitas struktur tanah berdasarkan karakteristik struktur tanah. Hasil menunjukkan bahwa area penelitian memiliki kualitas struktur tanah yang baik dengan mayoritas nilai kualitas struktur tanah yang berkisar antara Ssq 1-3. Tidak diperlukan adanya perubahan dalam pengelolaan tanah pada area kajian.

Kata kunci : struktur tanah, kualitas struktur tanah, bentuklahan, pengelolaan tanah.

Abstract *Soil management for sustainable agriculture needs to focus on 2 things, which are landform and soil. Soil factor that needs to be focused on is soil structure. The study that focused on landform, soil structure and its implication on soil management has never been done in Kaliwungu Watershed. This research aims to analyze soil structure on every landform as the basis to determine sustainable soil management. Soil structure quality was determined by soil profile observation on every landform. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photographic data was used to identify each landform. Visual Evaluation of Subsoil Structure (SubVESS) was used to identify the quality of soil structure based on its characteristic. The result shows that study area has a good soil structure quality with the majority of soil layer has a good soil structure quality (Ssq 1-3). There is no change is needed in soil management.*

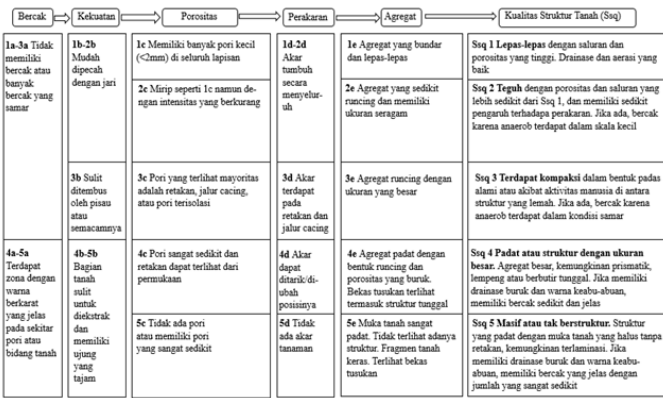
Keywords: soil structure, soil structure quality, landform, soil management.

PENDAHULUAN

Struktur tanah merupakan faktor penting dalam tubuh tanah. Struktur tanah memiliki proses pembentukan yang kompleks dan melibatkan bahan organik dan klei dalam pembentukannya (Bronick & Lal, 2005). Tanah permukaan dan tanah bagian dalam memiliki tahap pembentukan struktur tanah yang berbeda sehingga menghasilkan karakteristik struktur tanah yang berbeda (Ball, *et al*, 2015). Perbedaan karakteristik struktur tanah juga terjadi secara horizontal. Setiap tanah di permukaan bumi akan memiliki karakteristik yang berbeda (Diaz, *et al*, 2002, Schaetzl & Anderson, 2005, Sartohadi, *et al*, 2014). Perbedaan karakteristik struktur tanah menyebabkan adanya variasi kualitas struktur tanah baik secara vertikal maupun horisontal. Penting dilakukan pengelolaan tanah yang sesuai dengan karakteristik struktur tanah agar tidak terjadi penurunan fungsi tanah sebagai sumberdaya.

Daerah Aliran Sungai (DAS) Kaliwungu merupakan DAS yang terletak di kawasan Gunungapi Sumbing. Tanah pada kawasan Gunungapi Sumbing memiliki karakteristik tanah tebal dengan kandungan klei yang tinggi (Redjeki, 2008). Tanah tebal dengan kandungan klei yang tinggi disebabkan oleh proses pengendapan material vulkanik yang intensif dengan durasi yang singkat. Proses pengendapan intensif mengakibatkan tanah yang berada di DAS Kaliwungu mengalami pemulaian kembali proses pembentukan tanah setiap kali ada material baru yang terendapkan.

Tanah di DAS Kaliwungu secara keseluruhan sudah dimanfaatkan oleh masyarakat secara intensif. Dibutuhkan pengelolaan yang berkelanjutan agar tidak terjadi degradasi pada lahan di DAS Kaliwungu. Pengelolaan lahan yang berkelanjutan perlu memperhatikan 2 (dua) hal, yaitu bentuklahan dan tanah. Bentuklahan diperlukan untuk penilaian



Gambar 1. Alur Penentuan Kualitas Struktur Tanah (Ball, et al, 2015).

proses yang bekerja dan tanah adalah medium tempat proses bekerja.

Kajian yang membahas bentuklahan dan kaitannya dengan tanah adalah pedogeomorfologi (Zinck, et al, 2016). Penelitian yang mengkaitkan antara bentuklahan sudah banyak dilakukan (Steila, 1976; Zinck, et al, 2016; Joyontono, 2016). Pengkhususan kajian pada kaitan antara bentuklahan dengan struktur tanah perlu dilakukan untuk pengelolaan yang berkelanjutan.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis karakteristik struktur tanah di setiap bentuklahan di DAS Kaliwungu, (2) menentukan karakteristik tanah yang menjadi faktor yang mempengaruhi karakteristik struktur tanah di DAS Kaliwungu, dan (3) menentukan kebutuhan pengelolaan tanah pada setiap bentuklahan di DAS Kaliwungu berdasarkan hasil Sub-VESS.

METODE PENELITIAN

Lokasi yang dipilih untuk dikaji adalah DAS Kaliwungu. Pembuatan peta bentuklahan dilakukan pada tahap pra-lapangan dengan teknik deliniasi multiskala. Deliniasi dilakukan pada hasil pengolahan citra radar TerraSAR-X dan kontur Peta RBI Lembar Kepil skala 1:25000. Penentuan lokasi pembuatan pit dilakukan setelah pengambilan foto udara dari kendaraan nir-awak untuk mendapatkan perbedaan morfologi yang lebih detail.

Tahap lapangan fokus pada pengambilan data untuk Sub-VESS maupun pengambilan sampel tanah untuk analisis klei dan bahan organik. Pembuatan lubang tanah dilakukan pada setiap bentuklahan dengan dimensi 1m x 1m x 1m (Amuyou & Kotingo, 2015). Lubang tanah dibuat dengan mengikuti alur proses pada sebuah penggal lereng. Setiap lapisan yang terlihat pada setiap pit tanah dilakukan penilaian struktur tanah menggunakan instrumen SubVESS dan pengambilan sampel tanah. Alur penilaian SubVESS tersaji pada Gambar 1.

Pengolahan data dilakukan terpisah untuk SubVESS dan data kandungan klei serta bahan organik. Penilaian berdasarkan instrumen SubVESS dilakukan dengan melihat nilai yang

paling banyak muncul untuk menentukan kualitas struktur tanah (Ball, et al, 2015). Data kandungan klei dan bahan organik diketahui melalui uji laboratorium (Walkley & Black, 1934; Lal & Shukla, 2004). Data yang sudah diolah kemudian dianalisis dengan prinsip geomorfologi untuk mengetahui proses yang bekerja dan pedogenesis untuk mengetahui keterkaitan antara kualitas struktur tanah dengan kandungan klei dan bahan organik.

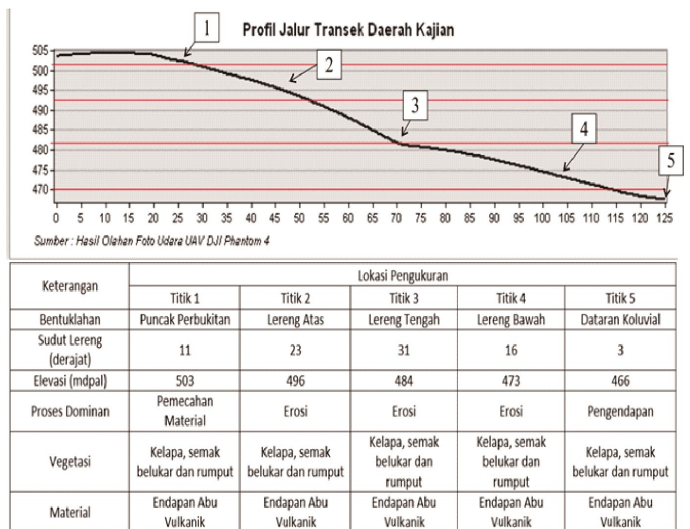
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kawasan yang dilalui oleh jalur transek adalah kebun campuran dengan tanaman kelapa sebagai tanaman yang dominan. Transek melalui 5 (lima) bentuklahan (Gambar 2) yang memiliki perbedaan morfologi.

Setiap bentuklahan memiliki karakteristik morfologi tanah yang berbeda berdasarkan profil tanah sedalam 1m. Bentuklahan Puncak Perbukitan memiliki 3 lapisan tanah yang terlihat. Bentuklahan Lereng Atas, Lereng Tengah, dan Lereng Bawah memiliki 2 lapisan tanah yang terlihat. Bentuklahan Dataran Koluviyal memiliki 4 lapisan tanah yang terlihat.

Puncak Perbukitan

Tanah pada daerah ini belum terusik oleh aktivitas manusia. Vegetasi yang ada di Bentuklahan Puncak Perbukitan adalah kelapa, pisang, semak belukar, dan rumput. Tanaman kelapa ditanam untuk diambil nira, aktivitas ini disebut nderes. Nderes dilakukan setiap hari oleh masyarakat sekitar dengan hasil yang baik. Hasil dari tanaman pisang tidak terlalu baik sehingga tidak dimanfaatkan oleh pemilik tanah. Profil tanah pada puncak perbukitan menunjukkan adanya 3 lapisan tanah dengan kedalaman 1 meter (Gambar 3a). Setiap



Gambar 2. Deskripsi Jalur Transek Kajian

lapisan memiliki warna yang berbeda dengan batas tiap lapisannya yang jelas.

Lapisan pertama merupakan tanah permukaan. Tanah permukaan pada Puncak Perbukitan memiliki kontak dengan proses eksogen yang intensif. Tenaga eksogen yang

bekerja pada tanah permukaan adalah hujan, aktivitas manusia, dan perakaran vegetasi. Tanah lapisan pertama memiliki zona perakaran yang intensif karena menyebar pada seluruh lapisan. Puncak Perbukitan memiliki morfologi yang landai sehingga erosi minim terjadi. Air hujan yang jatuh pada tanah dan langkah kaki manusia menekan tanah sehingga tanah memiliki struktur yang teguh (Novara, *et al*, 2012). Karakteristik struktur tanah pada Puncak Perbukitan membuat struktur memiliki nilai kualitas 2 (Ssq2).

Lapisan kedua terdapat pada kedalaman 30cm. Karakteristiknya secara umum mirip dengan lapisan pertama, namun bentuk agregat pada lapisan kedua adalah bulat dengan ukuran yang seragam. Bentuk agregat yang bulat diakibatkan oleh kandungan bahan organik yang tinggi (Silva Neto, *et al*, 2016). Karakteristik struktur tanah pada lapisan kedua membuat struktur memiliki nilai kualitas 1 (Ssq1).

Lapisan ketiga terdapat pada kedalaman 65cm. Letaknya yang berada di bawah permukaan membuat lapisan ketiga mengalami tekanan dari tanah yang berada di atasnya. Tekanan tersebut membuat tanah lapisan ketiga mengalami kompaksi dan membuat struktur menjadi lebih keras. Hal ini terlihat dari minimnya perakaran pada lapisan ketiga dan pori yang didominasi oleh pori makro. Karakteristik struktur tanah pada lapisan ketiga membuat struktur memiliki nilai kualitas 3 (Ssq3).

Lereng Atas, Tengah, dan Bawah

Bentuklahan Lereng Atas, Lereng Tengah, dan Lereng Bawah memiliki karakteristik yang mirip karena sudah terusik oleh aktivitas manusia yang intensif. Jenis vegetasi yang terdapat pada setiap bentuklahan adalah sama yaitu kelapa, semak belukar, dan rumput. Aktivitas pengambilan hasil buah dari kelapa dan hasilnya sama seperti pada titik 1 yaitu untuk pengambilan nira. Pengolahan tanah tidak dilakukan secara intensif. Perbedaan setiap titik terletak pada jumlah masing-masing jenis vegetasi. Semak belukar pada bentuklahan Lereng Atas dan Tengah memiliki kepadatan yang tinggi dan berkurang di bentuklahan Lereng Bawah. Profil tanah pada ketiga titik pengamatan menunjukkan adanya 2 lapisan dengan perbedaan paling mencolok adalah kondisi struktur tanahnya (Gambar 3b, 3c, 3d). Tanah permukaan lapisan 1 memiliki struktur tanah yang lepas-lepas sedangkan lapisan 2 memiliki konsistensi yang lebih mantap.

Lapisan pertama merupakan tanah permukaan yang sering dilakukan peremajaan tanah dengan cara membolak-balikkan tanah. Aktivitas peremajaan tanah membuat struktur terpecah sehingga memiliki ukuran yang kecil dan bentuk yang bulat (Munkholm, *et al*, 2016). Karakteristik struktur mudah ditembus akar tanaman sehingga menyebar pada seluruh lapisan. Karakteristik struktur tanah pada lapisan pertama membuat struktur memiliki nilai kualitas 1 (Ssq1).

Lapisan kedua terdapat pada kedalaman yang berbeda-

beda pada setiap bentuklahannya. Kedalaman lapisan kedua secara berturut-turut dari Lereng Atas ke Lereng Bawah adalah 41cm, 21cm, dan 55cm. Lapisan kedua mengalami kompaksi karena pengolahan tanah. Tekanan dari tanah permukaan dan oleh alat saat pengolahan membuat tanah mengalami kompaksi. Tidak terdapat akar tanaman secara menyeluruh dan pori makro terlihat secara dominan. Karakteristik struktur tanah pada lapisan kedua membuat struktur memiliki nilai kualitas 3 (Ssq3).

Dataran Koluvial

Tanah pada kawasan ini belum terusik manusia. Penggunaan lahan pada bentuklahan dataran koluvial didominasi oleh tanaman kelapa. Pohon pisang secara spesifik berada di dalam bentuklahan erosi parit sebagai kearifan lokal untuk mengendalikan proses erosi. Pemanfaatan hasil kelapa adalah untuk diambil nira. Hasil dari tanaman pisang kurang dimanfaatkan oleh pemilik lahan. Tanah di bentuklahan Dataran Koluvial belum diolah secara intensif. Profil tanah menunjukkan adanya 4 lapisan yang ditunjukkan oleh perbedaan warna serta konsistensi tanah (Gambar 3e). Sementasi terdapat pada lapisan ketiga akibat tertutupnya endapan abu vulkanik baru dengan endapan material tanah.

Lapisan pertama pada bentuklahan Dataran Koluvial memiliki karakteristik yang sama seperti bentuklahan Lereng Atas, Lereng Tengah, dan Lereng Bawah. Perbedaan terletak pada penyebabnya. Struktur tanah yang baik terjadi karena Dataran Koluvial merupakan tempat deposisi material dari



Gambar 3. Profil Tanah di: (a) Titik 1, (b) Titik 2, (c) Titik 3, (d) Titik 4, dan (e) Titik 5

bentuklahan yang berada di atasnya. Deposisi terjadi secara intensif sehingga ikatan struktur sulit terbentuk.

Lapisan kedua memiliki struktur yang lebih teguh dengan agregat yang runcing. Tanah lapisan kedua tertekan oleh lapisan pertama secara ringan dan tidak terganggu aktivitas pengendapan sehingga proses pengikatan sudah berjalan. Karakteristik struktur tanah pada lapisan kedua membuat struktur memiliki nilai kualitas 2 (Ssq2).

Lapisan ketiga terdapat pada kedalaman 65cm. Lapisan ini memiliki karakteristik yang keras dan memiliki bercak seperti karat. Karakteristik tersebut disebabkan oleh adanya sementasi material abu vulkanik (Padilla, 1983). Tidak terdapat akar dan struktur terdapat dalam bentuk yang besar. Karakteristik struktur tanah pada lapisan ketiga membuat struktur memiliki nilai kualitas 5 (Ssq5).

Lapisan keempat terdapat pada kedalaman 73cm. Lapisan keempat memiliki karakteristik yang mirip seperti lapisan kedua. Perbedaan yang dimiliki adalah warna tanah. Lapisan keempat merupakan lapisan endapan material yang tertutup sementara sehingga tetap memiliki karakteristik tanah yang gembur dengan nilai kualitas 2 (Ssq2).

Pengaruh Klei dan Bahan Organik terhadap Kualitas Struktur Tanah

Bentuk struktur tanah pada daerah dengan kandungan klei yang tinggi, pada umumnya akan memiliki bentuk tiang atau lempeng. Secara visual, struktur tanah pada daerah kajian tidak terlihat adanya bentuk tiang atau lempeng. Tidak terlihatnya adanya bentuk struktur tiang dan lempeng karena tanah belum berkembang, meskipun indikator dari beberapa indeks perkembangan tanah yang berdasarkan karakteristik warna akan menunjukkan kondisi tanah di daerah kajian sudah berkembang (Buntley dan Westin, 1965). Ketidakcocokan disebabkan metode penentuan perkembangan tanah dibuat bukan untuk tanah vulkanik dengan intensitas penambahan material yang tinggi.

Titik 1 merupakan tanah yang belum terusik oleh aktivitas manusia. Terdapat 3 lapisan dengan perbedaan kandungan klei dan bahan organik. Lapisan 2 merupakan lapisan yang memiliki kandungan klei dan bahan organik tertinggi sedangkan lapisan 3 merupakan lapisan dengan kandungan klei dan bahan organik terendah (Tabel 1). Pengendapan klei dan bahan organik yang berada di lapisan kedua menunjukkan bahwa tanah masih belum berkembang dikarenakan terkena material baru secara intensif.

Titik yang berada di morfologi lereng memiliki 2 lapisan yang dapat dibedakan di profil tanah melalui perbedaan

Tabel 1. Nilai Kualitas Struktur Tanah, Kadar Klei, dan Bahan Organik di Titik 1

Lapisan	Hasil Sub-VESS	Kadar Klei (%)	Bahan Organik (%)
1	Ssq 2	81.02	3.22
2	Ssq 1	81.89	4.28
3	Ssq 3	79.78	3.19

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Tabel 2. Nilai Kualitas Struktur Tanah, Kadar Klei, dan Bahan Organik di Titik 2

Lapisan	Hasil Sub-VESS	Kadar Klei (%)	Bahan Organik (%)
1	Ssq 1	70.76	3.84
2	Ssq 3	56.30	3.51

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

strukturnya. Setiap titik yang berada di morfologi lereng (titik 2, 3, dan 4) memiliki kombinasi jumlah klei dan bahan organik yang berbeda pada masing-masing titiknya (Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4). Titik 2 yang berada di lereng atas memiliki kandungan klei dan bahan organik yang lebih tinggi di lapisan 1 dibandingkan lapisan 2. Titik 3 yang berada di lereng tengah memiliki kandungan klei lebih tinggi di lapisan 1 dan kandungan bahan organik yang lebih tinggi di lapisan 2. Titik 4 memiliki kandungan klei dan bahan organik yang lebih tinggi di lapisan 2 dibandingkan di lapisan 1. Meskipun memiliki perbedaan nilai klei dan bahan organik, nilai kualiti

Tabel 3. Nilai Kualitas Struktur Tanah, Kadar Klei, dan Bahan Organik di Titik 3

Lapisan	Hasil Sub-VESS	Kadar Klei (%)	Bahan Organik (%)
1	Ssq 1	72.19	2.43
2	Ssq 3	65.06	4.15

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Tabel 4. Nilai Kualitas Struktur Tanah, Kadar Klei, dan Bahan Organik di Titik 4

Lapisan	Hasil Sub-VESS	Kadar Klei (%)	Bahan Organik (%)
1	Ssq 1	70.03	2.34
2	Ssq 3	74.96	4.02

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

Tabel 5. Nilai Kualitas Struktur Tanah, Kadar Klei, dan Bahan Organik di Titik 5

Lapisan	Hasil Sub-VESS	Kadar Klei (%)	Bahan Organik (%)
1	Ssq 1	62.54	3.82
2	Ssq 2	72.54	3.16
3	Ssq 5	66.90	3.91
4	Ssq 2	68.04	3.88

Sumber: Hasil Perhitungan, 2017

tas struktur tanah setiap lapisan di titik 2, 3, dan 4 adalah sama.

Titik 5 terdapat di bentuklahan dataran kolial yang memiliki 4 lapisan tanah dengan karakteristik yang berbeda (Tabel 5). Kualitas struktur tanah terbaik ada pada lapisan 1 yaitu Kelas 1 sedangkan lapisan 3 memiliki kelas kualitas struktur tanah yaitu Kelas 5. Lapisan 2 dan 4 memiliki kualitas struktur tanah yang sama yaitu Kelas 2. Tanah lapisan 2 memiliki kandungan klei tertinggi sedangkan kandungan bahan organik tertinggi ada di lapisan 3.

Kualitas Struktur Tanah dan Degradasi Tanah

Nilai kualitas struktur tanah berdasarkan metode Sub-VESS dapat menggambarkan kondisi degradasi tanah (Johannes, *et al*, 2017). Faktor bahan organik menjadi penentu utama nilai kualitas struktur tanah. Semakin tinggi nilai kualitas struktur tanah maka kandungan bahan organik tanah pada lapisan tersebut semakin sedikit.

Tanah pada morofologi Puncak Perbukitan memiliki kondisi yang sesuai dengan teori yang dirumuskan oleh Johannes, dkk (2017). Nilai kualitas struktur tanah suatu lapisan yang semakin tinggi memiliki nilai kandungan bahan organik yang semakin rendah. Kondisi yang berbeda ditemukan pada keempat bentuklahan lainnya. Pengaruh proses pembentukan tanah menjadi faktor yang berpengaruh pada kesesuaian hasil pengukuran dengan teori yang dikemukakan.

Kualitas Stuktur Tanah dan Pengelolaan Tanah

Hasil penilaian kualitas struktur tanah dengan metode SubVESS dapat digunakan sebagai dasar untuk pengelolaan tanah yang berkelanjutan (Tabel 6). Tanah pada daerah kajian memiliki nilai kualitas struktur tanah yang berada pada kisaran 1-3. Implikasi dari nilai kualitas struktur tanah 1-3 adalah tanah di daerah kajian memiliki kriteria yang baik untuk dilakukan aktivitas pertanian yang berkelanjutan dan tidak diperlukan adanya perubahan pada pengelolaan yang sudah ada. Lapisan 3 pada titik 5 di dataran koluviial memiliki nilai kualitas struktur tanah 5 yang berarti buruk dan seharusnya diperlukan adanya perubahan. pengelolaan (Ball, *et al*, 2015).

KESIMPULAN

Perbedaan satuan bentuklahan detil (elemen lahan) yang tercermin pada perbedaan satuan lereng diikuti dengan perbedaan kualitas struktur tanah . Satuan-satuan lereng di daerah penelitian yang terdiri dari lereng atas, lereng tengah, dan lereng bawah memiliki struktur pada permukaan yang

Tabel 6. Klasifikasi Kriteria Kualitas Struktur Tanah dan Pengelolaan yang Dibutuhkan

Nilai Ssq	Kualitas Struktur Tanah	Keperluan Pengelolaan
1-3	Baik	Tidak dibutuhkan perubahan pengelolaan Perubahan pengelolaan jangka panjang-menengah
4	Cukup	
5	Buruk	Perubahan pengelolaan jangka pendek

Sumber: Ball, *et al*, 2015

remah karena adanya faktor pengubah, yaitu aktivitas manusia . Struktur tanah pada setiap titik memiliki kesamaan pada pola kualitas struktur tanah pada susunan horison. Tanah permukaan memiliki kualitas struktur yang lebih baik dibanding tanah bawah permukaan.

Tanah di daerah kajian merupakan tanah yang belum berkembang lanjut. Struktur tanah pada bentuklahan Puncak Perbukitan terpengaruh kuat oleh bahan organik tanah. Struktur tanah pada bentuklahan Lereng Atas, Lereng Tengah, Lereng Bawah dan Dataran Koluviial tidak menunjukkan adanya hubungan antara nilai kualitas struktur tanah dengan kandungan klei dan bahan organik. Pembentukan struktur pada morfologi Lereng Atas, Lereng Tengah, dan Lereng Bawah dipengaruhi oleh proses pengolahan tanah. Morfologi Dataran Koluviial memiliki proses pengendapan material yang menjadi faktor utama dalam pembentukan struktur tanah.

Nilai kualitas struktur tanah pada tanah di mayoritas bentuklahan memiliki predikat yang baik untuk diolah. Tanah lapisan ketiga pada bentuklahan Dataran Koluviial merupakan satu-satunya tanah yang memiliki predikat kualitas struktur tanah yang buruk. Perubahan pengelolaan lahan dibutuhkan agar tanah dapat dimanfaatkan secara optimal untuk pertanian.

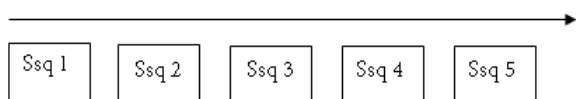
UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan pada Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada yang memberikan penulis akses pada fasilitas laboratorium sehingga penelitian dapat dilakukan dan dari pihak *Transition of Natural Processes on Built-Up Environment* (TRANSBULENT) yang membantu dalam proses pengerjaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amuyou, U.A., & Kotingo, K.E. (2015). Toposequence analysis of soil properties of an agricultural field in the Obudu Mountain slopes, Cross River State-Nigeria. *European Journal of Physical and Agricultural Sciences*, 3(1). 1-11.
- Ball, B.C., Batey, T., Munkholm, L.J., Guimares, R.M.L., Biozard, H., McKenzie, D.C., Peigne, J., Tormena, C.A., & Hargreaves, P. (2015). The numeric visual evaluation of subsoil structure

Kehilangan kualitas struktur tanah secara visual



Kehilangan Bahan Organik Tanah

Kehilangan stabilitas hidrostruktur dan runtuhnya struktur tanah

Gambar 4. Grafik Konseptual Degradasi berdasarkan Nilai Kualitas Struktur Tanah (Johannes, *et al*, 2017).

- (SubVLESS) under agricultural production. *Soil and Tillage Research*, 148. 85-96. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.12.005>
- Bronick, C.J., & Lal, R. (2005). Soil structure and management: A review. *Geoderma*, 124. 3-22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>
- Buntley, G.J., & Westin, F.J. (1965). A comparative study of developmental color in a Chestnut-Chernozem-Brunizem soil climosequence. *Soil Science Society of America Proceedings*, 29. 579-582. <https://doi.org/10.2136/sssaj1965.03615995002900050029x>
- Diaz-Zoritha, M., Perfect, E., & Grove, J.H. (2002). Disruptive method for assessing soil structure. *Soil and Tillage Research*, 64. 3-22. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(01\)00254-9](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00254-9)
- Johannes, A., Weisskopf, P., Schulin, R., & Boivin, P. (2017). To what extent do physical measurement match with visual evaluation of soil structure? *Soil and Tillage Research*, 173. 24-32. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.06.001>
- Joyontono, P. (2016). Penilaian perkembangan tanah di lereng gunungapi Ijen berdasarkan pendekatan pedogeomorfologi. *Skripsi*. Program Geografi dan Ilmu Lingkungan Universitas Gadjah Mada.
- Lal, R., & Shukla, M.K. (2004). *Principles of soil physics*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Munkholm, L.J., Heck, R.J., Deen, B., & Zidar, T. (2016). Relationship between soil aggregate strength, shape and porosity for soils under different long-term management. *Geoderma*, 268. 52-59. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.01.005>
- Novara, A., Armstrong, A., Gristina, L., Semple, K.T., & Quinton, J.N. (2012). Effect of soil compaction, rain exposure and their interaction on soil carbon dioxide emission. *Earth Surface Processes and Landforms Vol: 37(3)*. 994-999. <https://doi.org/10.1002/esp.3224>
- Padilla, W.A. (1983). Relationship between erosion and soil physical properties of temperate and tropical soils. *Desertasi*. Program Pasca Sarjana University of Minnesota.
- Redjeki, R.S. (2008). Kajian pengelolaan lingkungan pada kawasan Gunung Sindoro dan Sumbing (studi kasus di Desa Sigedang dan Desa Butuh Kabupaten Wonosobo). *Tesis*. Program Ilmu Lingkungan Pasca Sarjana Universitas Diponegoro.
- Sartohadi, J., Suratman, Jamulya, & Dewi, N. I. S. (2014). *Pengantar geografi tanah*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Walkley, A., & Black, I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed of the chronic acid titration method. *Soil Science* 37(1). Hal: 29-38.
- Zinck, J.A., Matternicht, G., Bocco, G., dan Del Velle, H.F. (2016). *Geopedology: An integration of geomorphology and pedology for soil and landscape studies*. Heidelberg: Springer.