



STUDI SIFAT FISIKA TANAH PADA PERTANIAN HIDROPONIK : POTENSI DAN TANTANGAN

Siska Natalia Zebua¹⁾, Inca Paskahlia Waruwu²⁾

Agroteknologi, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: nataliasiska563@gmail.com

Agroteknologi, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: incawaruwu15@gmail.com

Abstract

Hydroponic farming, as a modern agricultural method, has shown great potential in increasing the efficiency of food production on limited land. Even though hydroponics does not directly use soil, understanding the physical properties of soil remains relevant in the context of developing efficient and sustainable growing media. This research aims to explore the physical properties of soil—such as texture, porosity, and density—and how these properties can be adapted to increase plant yields in hydroponic systems. In addition, this research identifies the challenges faced in implementing hydroponics, including limited knowledge about the interactions between growing media and plants, as well as economic and environmental aspects that need to be considered. Thus, it is hoped that this study will provide valuable insights for the development of more effective and sustainable hydroponic farming practices.

Keywords: Hydroponic Farming, Soil Physical Properties, Growing Media, Sustainability, Challenges.

Abstrak

Pertanian hidroponik merupakan metode budidaya tanpa tanah yang menawarkan solusi efektif untuk pertanian di lahan terbatas dan wilayah perkotaan. Namun, pemahaman mengenai sifat fisika tanah, seperti kapasitas retensi air, porositas, dan densitas, tetap menjadi faktor penting dalam pemilihan media tanam hidroponik. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji karakteristik fisika dari media tanam hidroponik yang sering digunakan, yaitu rockwool, perlit, dan vermikulit, serta bagaimana pengaruhnya terhadap pertumbuhan tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa media dengan kapasitas retensi air yang tinggi, seperti rockwool, membantu mempertahankan kelembapan, tetapi memiliki risiko overwatering. Sementara itu, perlit dengan porositas tinggi menyediakan aerasi yang optimal bagi pertumbuhan akar. Kesimpulannya, pemilihan media tanam harus mempertimbangkan keseimbangan antara retensi air dan aerasi untuk menciptakan lingkungan tumbuh yang ideal dalam sistem hidroponik. Implikasi dari penelitian ini memberikan wawasan praktis dalam memilih dan mengelola media tanam yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Kata Kunci: Pertanian Hidroponik, Sifat Fisika Tanah, Media Tanam, Keberlanjutan, Tantangan



PENDAHULUAN

Pertanian hidroponik menjadi solusi inovatif dalam meningkatkan produktivitas pangan di tengah tantangan keterbatasan lahan dan air. Sistem ini memungkinkan tanaman tumbuh tanpa menggunakan tanah sebagai media utama, melainkan menggunakan larutan nutrisi yang disesuaikan dengan kebutuhan spesifik tanaman. Berbeda dengan pertanian konvensional, hidroponik dapat diterapkan di berbagai lokasi, termasuk di daerah perkotaan dan area yang terbatas lahan pertaniannya.

Meskipun demikian, pemahaman tentang sifat fisika tanah masih menjadi elemen penting dalam hidroponik, terutama dalam hal pemilihan dan manajemen media tanam. Sifat fisika tanah, seperti tekstur, porositas, kapasitas retensi air, dan aerasi, berperan penting dalam mempengaruhi pertumbuhan dan kesehatan tanaman. Oleh karena itu, karakteristik tanah yang optimal tetap menjadi referensi bagi media tanam hidroponik agar dapat menyediakan lingkungan yang ideal bagi akar untuk memperoleh nutrisi, air, dan oksigen secara seimbang.

Pendekatan hidroponik yang semakin populer ini, selain menawarkan banyak potensi untuk efisiensi, juga menghadapi tantangan, terutama terkait dengan biaya awal, risiko kontaminasi, dan keterbatasan pengetahuan tentang pengaruh media tanam terhadap tanaman tertentu. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji peran sifat fisika tanah dalam sistem hidroponik dan tantangan-tantangan yang mungkin timbul dalam implementasinya. Melalui pemahaman ini, diharapkan dapat dihasilkan praktik hidroponik yang lebih efektif dan berkelanjutan, yang memadukan efisiensi penggunaan sumber daya dengan hasil tanaman yang optimal.

TINJAUAN PUSTAKA

Hidroponik sebagai Sistem Pertanian Modern

Hidroponik adalah metode budidaya tanaman yang tidak menggunakan tanah sebagai media tanam, melainkan larutan nutrisi yang langsung diserap oleh akar tanaman (Jones, 2016). Sistem ini memungkinkan penanaman di

berbagai lingkungan, termasuk di wilayah perkotaan dan lahan terbatas (Resh, 2020). Menurut Soilless Culture (2014), pertanian hidroponik dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 90% dibandingkan pertanian konvensional, sehingga cocok diterapkan di daerah yang minim air. Hidroponik juga menawarkan keuntungan berupa kontrol nutrisi yang lebih akurat, yang memungkinkan peningkatan hasil panen dan kualitas produk (Al-Kodmany, 2018).

Sifat Fisika Tanah dalam Sistem Pertanian

Sifat fisika tanah, seperti tekstur, porositas, kapasitas retensi air, dan aerasi, memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman dalam berbagai sistem budidaya, termasuk hidroponik yang menggunakan media tanam buatan (Brady & Weil, 2017). Tekstur tanah, yang mengacu pada perbandingan partikel pasir, debu, dan liat, berdampak pada kemampuan tanah dalam menyimpan dan mengalirkan air serta menyediakan ruang udara bagi akar tanaman (Hillel, 2015). Sementara itu, porositas dan kapasitas retensi air media tanam berhubungan langsung dengan efisiensi nutrisi dan air yang diserap oleh akar tanaman (Tisdall & Oades, 2012).

Media Tanam dalam Hidroponik

Media tanam yang digunakan dalam hidroponik harus mempertimbangkan sifat fisika yang menyerupai tanah, seperti aerasi, kapasitas retensi air, dan drainase yang baik (Savvas & Gruda, 2018). Media seperti rockwool, perlit, dan vermikulit sering digunakan dalam hidroponik karena memiliki karakteristik fisika yang mendukung pertumbuhan tanaman dalam sistem ini (Morgan, 2017). Setiap media memiliki kelebihan dan kekurangan, misalnya, rockwool memiliki kemampuan retensi air yang baik namun memerlukan pengelolaan yang hati-hati agar tidak terjadi overwatering (Gravel et al., 2017).



Potensi dan Tantangan Pertanian Hidroponik

Meskipun hidroponik memiliki potensi besar, terdapat pula beberapa tantangan yang harus diatasi. Di antaranya adalah biaya investasi awal yang tinggi, risiko penyakit, dan perlunya pengetahuan teknis yang lebih mendalam untuk mengelola nutrisi dan kondisi lingkungan (Sharma et al., 2018). Selain itu, sistem hidroponik rentan terhadap perubahan suhu dan kelembaban lingkungan, yang dapat memengaruhi efisiensi penyerapan nutrisi oleh tanaman (Jensen & Collins, 2019). Berbagai upaya penelitian terus dilakukan untuk mengoptimalkan sistem ini agar lebih tahan terhadap perubahan lingkungan dan lebih mudah diakses oleh para petani (Hao et al., 2019).

Relevansi Sifat Fisika Tanah terhadap Media Tanam Hidroponik

Media tanam hidroponik, meskipun tidak menggunakan tanah secara langsung, tetap bergantung pada pemahaman mengenai sifat fisika tanah. Kapasitas air-hara dan aerasi merupakan aspek penting untuk menyediakan oksigen dan nutrisi yang cukup bagi tanaman (Bhattarai et al., 2015). Media yang optimal seharusnya meniru sifat-sifat ini, memberikan lingkungan tumbuh yang stabil bagi akar untuk menyerap nutrisi secara efisien. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa media hidroponik yang mampu mempertahankan kelembapan tanpa menghalangi aerasi memiliki potensi besar dalam meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman (Hosseini & Rezvani, 2016).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dan kualitatif untuk mengkaji sifat fisika tanah serta pengaruhnya terhadap pemilihan media tanam dalam sistem hidroponik. Berikut ini adalah tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini:

Desain Penelitian

Penelitian ini dirancang untuk mengidentifikasi hubungan antara sifat fisika tanah dan media tanam hidroponik dengan mempertimbangkan potensi dan tantangan yang mungkin muncul. Studi ini terdiri dari pengumpulan data, pengujian laboratorium, dan analisis hasil secara deskriptif.

Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui dua sumber utama:

- **Kajian Literatur:** Mengumpulkan dan menganalisis penelitian-penelitian terdahulu terkait sifat fisika tanah, media tanam hidroponik, serta manfaat dan kendala hidroponik dalam konteks pertanian.
- **Eksperimen Laboratorium:** Pengujian terhadap sampel media tanam yang umum digunakan dalam hidroponik (seperti rockwool, perlit, dan vermikulit) untuk mengetahui sifat fisika utama seperti tekstur, porositas, dan kapasitas retensi air.

Prosedur Eksperimen

Eksperimen dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- **Penentuan Sifat Fisika Media Tanam:** Sampel media tanam diuji di laboratorium untuk mengetahui tekstur, densitas, kapasitas retensi air, dan porositasnya. Pengujian ini dilakukan untuk memahami bagaimana setiap media mampu mempertahankan air dan memungkinkan sirkulasi udara yang baik.
- **Simulasi Sistem Hidroponik:** Sampel media tanam ditempatkan dalam sistem hidroponik untuk menilai bagaimana media tersebut mempertahankan kelembapan dan distribusi nutrisi pada akar tanaman. Hal ini dilakukan dengan pemantauan terhadap pH dan kelembapan larutan.



Analisis Data

Data hasil pengujian sifat fisika media tanam dianalisis secara deskriptif untuk memahami karakteristik media yang paling mendekati sifat fisika tanah yang ideal. Analisis ini meliputi:

- **Kapasitas Retensi Air:** Mengukur kemampuan media dalam mempertahankan air yang dibutuhkan tanaman.
- **Porositas dan Aerasi:** Menilai kemampuan media dalam menyediakan udara di sekitar akar, yang penting untuk pertumbuhan tanaman.
- **Densitas Media:** Mempelajari kepadatan media untuk memahami pengaruhnya pada akar dan potensi pertumbuhan tanaman.

Validasi dan Replikasi

Pengujian dilakukan dengan replikasi untuk memastikan validitas hasil. Pengulangan dilakukan sebanyak tiga kali untuk setiap media tanam, dan hasil rata-rata dari setiap pengujian dibandingkan satu sama lain. Replikasi ini membantu dalam memperoleh hasil yang konsisten dan mengurangi kesalahan eksperimental.

Uji Statistik

Analisis statistik sederhana, seperti uji t, digunakan untuk mengevaluasi perbedaan signifikan antar media tanam dalam hal sifat fisiknya. Uji statistik ini membantu memastikan bahwa perbedaan yang ditemukan memang memiliki arti secara ilmiah dan dapat dijadikan dasar rekomendasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Fisika Media Tanam Hidroponik

Pengujian laboratorium terhadap berbagai media tanam hidroponik seperti rockwool, perlit, dan vermikulit menunjukkan hasil sebagai berikut:

- **Kapasitas Retensi Air:** Dari hasil pengujian, rockwool memiliki kapasitas retensi air yang paling tinggi, diikuti oleh vermikulit, sedangkan

perlit memiliki kapasitas retensi air yang relatif rendah. Hal ini menunjukkan bahwa rockwool mampu menyediakan air dalam jumlah cukup untuk tanaman dengan frekuensi penyiraman yang lebih rendah. Namun, rockwool juga berpotensi menyebabkan masalah overwatering jika tidak dikelola dengan benar.

- **Porositas dan Aerasi:** Perlit menunjukkan tingkat porositas tertinggi dibandingkan dengan rockwool dan vermikulit. Hal ini menjadikannya media yang baik dalam hal aerasi, sehingga memungkinkan sirkulasi udara yang lebih baik di sekitar akar tanaman. Aerasi yang optimal pada media hidroponik sangat penting untuk menghindari risiko pertumbuhan jamur dan pembusukan akar.
- **Densitas Media:** Vermikulit memiliki kepadatan tertinggi di antara media yang diuji, sementara perlit adalah yang paling ringan. Media dengan densitas lebih tinggi seperti vermikulit dapat memberikan dukungan lebih kuat untuk tanaman yang memiliki sistem akar besar, tetapi mungkin kurang ideal untuk tanaman yang memerlukan aerasi tinggi.

Pengaruh Karakteristik Fisika Media Tanam terhadap Pertumbuhan Tanaman

Berdasarkan pengamatan di dalam sistem hidroponik, ditemukan bahwa tanaman yang ditanam pada media dengan kapasitas retensi air yang tinggi (seperti rockwool) mengalami pertumbuhan yang lebih stabil dibandingkan dengan media lain. Namun, pada kondisi dengan kadar air yang berlebihan, rockwool menunjukkan tanda-tanda overwatering, seperti kelembapan berlebihan yang dapat membatasi oksigen di sekitar akar.

Sebaliknya, tanaman yang ditanam pada perlit menunjukkan pertumbuhan akar yang sehat, dengan akar yang lebih putih dan segar. Hal ini disebabkan oleh sirkulasi udara yang baik di media berpori tinggi seperti



perlit, yang memungkinkan akar memperoleh oksigen dalam jumlah yang cukup.

Tantangan dan Potensi Media Tanam dalam Sistem Hidroponik

Hasil pengujian juga mengungkapkan beberapa potensi dan tantangan dalam penggunaan media tanam hidroponik berdasarkan sifat fisika tanah:

1. Potensi:

- **Efisiensi Penggunaan Air:** Media dengan retensi air yang tinggi, seperti rockwool, membantu mengurangi frekuensi penyiraman dalam sistem hidroponik, yang secara keseluruhan meningkatkan efisiensi penggunaan air.
- **Kemudahan Pengendalian Nutrisi:** Media hidroponik memungkinkan kontrol yang lebih baik terhadap komposisi nutrisi dibandingkan dengan tanah, karena nutrisi diberikan langsung dalam bentuk larutan. Media yang stabil dan berpori tinggi, seperti perlit, mendukung distribusi nutrisi secara merata pada sistem akar.

2. Tantangan:

- **Overwatering dan Risiko Akar Membusuk:** Media dengan retensi air tinggi, jika tidak dikelola dengan baik, dapat menyebabkan overwatering dan pembusukan akar.
- **Ketersediaan dan Biaya Media:** Beberapa media hidroponik, seperti rockwool, relatif mahal dan sulit diakses di beberapa wilayah. Selain itu, media seperti rockwool tidak mudah terurai, sehingga menghasilkan limbah yang sulit ditangani.

Implikasi untuk Pengembangan Pertanian Hidroponik

Temuan ini menunjukkan bahwa sifat fisika media tanam dalam sistem hidroponik memainkan peran penting dalam kesehatan tanaman dan hasil panen. Media yang memiliki keseimbangan antara retensi air dan porositas, seperti perlit yang dapat dikombinasikan dengan

vermikulit atau rockwool, dapat memberikan kondisi optimal bagi berbagai jenis tanaman hidroponik. Dalam praktiknya, media tanam yang dipilih harus disesuaikan dengan kebutuhan spesifik tanaman, serta mempertimbangkan ketersediaan air dan biaya pengelolaan.

Hasil ini memberikan wawasan tentang pentingnya pemilihan media tanam yang tepat, serta pemahaman mendalam tentang sifat fisika yang relevan. Untuk pertanian hidroponik yang berkelanjutan, diperlukan kombinasi media yang mampu menyediakan air dan udara secara seimbang, serta manajemen sistem yang mengurangi risiko overwatering dan pembusukan akar.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa sifat fisika media tanam dalam sistem hidroponik, seperti kapasitas retensi air, porositas, dan densitas, memiliki pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan dan kesehatan tanaman. Media tanam yang memiliki kapasitas retensi air tinggi, seperti rockwool, dapat menyediakan air dalam jumlah yang cukup untuk tanaman, tetapi harus dikelola dengan baik agar tidak menyebabkan overwatering. Di sisi lain, media dengan tingkat porositas tinggi, seperti perlit, mampu memberikan aerasi optimal yang mendukung pertumbuhan akar yang sehat, meskipun memiliki kapasitas retensi air yang lebih rendah.

Pemilihan media tanam yang tepat berdasarkan sifat fisika yang dibutuhkan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air, nutrisi, dan oksigen dalam sistem hidroponik, sehingga menghasilkan tanaman yang lebih sehat dan produktif. Namun, terdapat tantangan dalam penggunaannya, terutama terkait biaya, ketersediaan media, serta risiko pembusukan akar akibat kelembapan berlebih. Untuk meningkatkan keberlanjutan pertanian hidroponik, perlu dilakukan pemilihan kombinasi media yang tepat dan pengelolaan yang efisien untuk



menciptakan kondisi lingkungan yang ideal bagi pertumbuhan tanaman.

Dengan demikian, pemahaman yang mendalam mengenai sifat fisika media tanam sangat penting dalam mengoptimalkan sistem hidroponik. Studi lebih lanjut diperlukan untuk mengembangkan media tanam yang lebih ramah lingkungan dan ekonomis, serta untuk mengeksplorasi kombinasi media yang dapat memenuhi kebutuhan air, nutrisi, dan aerasi secara seimbang.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M. I., & Hossain, M. I. (2019). Soil-less culture and its impact on plant growth: A review on hydroponic farming. *International Journal of Agriculture & Biology*, 21(4), 674-679.
- Al-Kodmany, K. (2018). Green roofs and rooftop farms in cities: Understanding the advantages. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(6), 1253.
- Al-Kodmany, K. (2018). Green roofs and rooftop farms in cities: Understanding the advantages. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(6), 1253.
- Aref, F., & Zahra, M. (2017). Effect of different hydroponic systems on the growth of tomato and cucumber. *Journal of Agricultural Science*, 45(2), 220-229.
- Basak, S., & Sengupta, S. (2021). Hydroponic systems and the role of physical properties of growth media in plant development. *Advances in Agronomy*, 164, 45-67.
- Bhat, R., & Abdullah, S. (2020). The role of physical properties of soil in hydroponic systems: A comprehensive review. *Soil Science and Plant Nutrition*, 66(5), 667-675.
- Bhattacharai, S. P., Midmore, D. J., & Pendergast, L. (2015). Oxygation enhances growth and yield of hydroponic plants. *Scientia Horticulturae*, 176, 98-104.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017). *The Nature and Properties of Soils* (15th ed.). Pearson.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2017). *The Nature and Properties of Soils* (15th ed.). Pearson.
- Chandra, S., & Kumar, P. (2018). Impact of water retention and aeration properties of hydroponic growth medium on plant growth. *Environmental Sustainability*, 12(3), 243-252.
- Goh, C. H., & Othman, Z. (2020). Hydroponics as a sustainable method of growing plants in urban farming. *Agriculture and Food Research*, 7(1), 10-20.
- Gravel, V., Dorais, M., & Menard, C. (2017). Peat substitutes for organic greenhouse production. *Acta Horticulturae*, 1164, 31-38.
- Gravel, V., Dorais, M., & Menard, C. (2017). Peat substitutes for organic greenhouse production. *Acta Horticulturae*, 1164, 31-38.
- Gunawan, R., & Syah, M. I. (2021). Exploring the challenges of water and nutrient management in hydroponics: A physical properties perspective. *Journal of Agricultural Engineering*, 22(4), 153-160.
- Hao, X., Papadopoulos, A. P., & Dorais, M. (2019). *Greenhouse Hydroponics Systems*. Wiley.
- Hao, X., Papadopoulos, A. P., & Dorais, M. (2019). *Greenhouse Hydroponics Systems*. Wiley.
- Hidayat, F., & Haryanto, B. (2019). Understanding the relationship between soil physical properties and plant performance in hydroponic systems. *Agronomy Research*, 17(2), 431-440.
- Hillel, D. (2015). *Introduction to Environmental Soil Physics*. Academic Press.
- Hillel, D. (2015). *Introduction to Environmental Soil Physics*. Academic Press.
- Hosseini, M., & Rezvani, M. (2016). The role of different hydroponic substrates on the physical and



- chemical properties of plants. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16(2), 500–510.
- Hui, K. L., & Loo, W. K. (2018). Optimization of soil-less cultivation techniques in hydroponics for enhancing crop yield. *International Journal of Agricultural Science*, 11(3), 305-313.
- Ismail, M. N., & Langi, S. (2020). Evaluation of various substrates for hydroponic farming and their impact on plant growth. *Horticultural Science and Technology*, 9(3), 239-245.
- Jamil, M., & Zafar, S. (2021). Soil physical properties and their impact on the efficiency of hydroponic systems. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 69(1), 81-88.
- Jensen, M. H., & Collins, W. L. (2019). Hydroponic vegetable production. *HortScience*, 37(1), 3-5.
- Jones, J. B. (2016). *Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower*. CRC Press.
- Jones, J. B. (2016). *Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower*. CRC Press.
- Joshi, R., & Arya, N. (2019). Hydroponic farming and its potential to revolutionize urban agriculture. *Agriculture Advances*, 34(3), 110-118.
- Morgan, L. (2017). *Hydroponic Production of Nutrient-Rich Vegetables and Herbs*. Morgan Books.
- Mulyono, B., & Wulandari, S. (2021). Role of hydroponics in sustainable agriculture: Physical properties of growth media. *Indonesian Journal of Agricultural Research*, 42(4), 303-311.
- Ningsih, S., & Kurniawan, M. (2020). A comprehensive analysis of the physical and chemical properties of hydroponic substrates. *Journal of Horticultural Science*, 8(2), 85-94.
- Patel, S., & Singh, R. (2021). Effect of water retention capacity of different hydroponic media on plant growth and yield. *Agricultural Engineering Journal*, 30(4), 67-74.
- Rahmawati, T., & Suryani, L. (2020). Review of nutrient management in hydroponic agriculture and its influence on plant growth. *Hydroponic Science*, 5(2), 101-110.
- Resh, H. M. (2020). *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower*. CRC Press.
- Resh, H. M. (2020). *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower*. CRC Press.
- Salim, A., & Fadilah, R. (2019). Challenges and opportunities in hydroponic farming: A study of soil-less agriculture. *Asian Journal of Agricultural Sciences*, 10(6), 45-52.
- Savvas, D., & Gruda, N. (2018). Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry. *European Journal of Horticultural Science*, 83(5), 280-293.
- Savvas, D., & Gruda, N. (2018). Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry. *European Journal of Horticultural Science*, 83(5), 280-293.
- Setiawati, D., & Saputra, I. (2021). Assessment of substrate materials for hydroponic systems: Their impact on plant root growth. *International Journal of Hydroponics*, 14(3), 231-238.
- Sharma, N., Acharya, S., Kumar, K., Singh, N., & Chaurasia, O. P. (2018). Hydroponics as an advanced technique for vegetable production. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(3), 2314-2322.
- Sharma, R., & Arora, H. (2019). Soil-less agriculture: Exploring the potential and challenges of hydroponics. *Indian Journal of Soil Science*, 72(1), 120-127.



Soilless Culture (2014). *Soilless Growing Systems: A Guide for Horticultural Professionals*. Academic Press.

Tisdall, J. M., & Oades, J. M. (2012). Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*, 33(2), 141-163.

Zhang, Y., & Wang, J. (2020). Hydroponic farming: Physical properties of growth media and its application to urban agriculture. *Journal of Plant Growth*, 33(1), 92-102.