



Pembuatan Karbon Aktif Nanopartikel dan Uji Potensinya Sebagai Bahan Aditif Tanah Kering/Tandus Untuk Meningkatkan Produktifitasnya

Riris Nur Aini¹, Pratama Jujur Wibawa^{2*}, Muhammad Nur³, Mukhammad Asy'ari²,
Wijanarka⁵

¹PT. IFARS Pharmaceutical Laboratories, Departemen Produksi. Jl. Solo-Sragen No. KM 14.9, Waru, Pulosari, Kebakkramat, Karanganyar, Jawa Tengah 57762

²Laboratorium Kimia Organik, Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro. Jl. Prof. Sudarto SH, Tembalang, Semarang 50275

³Pusat Penelitian Plasma (Center for Plasma Research), Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Sudarto SH, Tembalang, Semarang 50275

²Laboratorium Biokimia, Departemen Kimia, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Sudarto SH, Tembalang, Semarang 50275

⁴Laboratorium Mikrobiologi, Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Sudarto SH, Tembalang, Semarang 50275

*Corresponding author: pratamajw@live.undip.ac.id

Received: 26 Mei 2024 / Accepted: 25 Juni 2024

Available online: 30 Juni 2024

Abstract

Karbon aktif adalah salah satu material karbon yang sangat berpori dengan struktur material amorf yang dapat diproduksi dari berbagai jenis biomasa melalui proses pirolisis. Sifat dasar yang paling menonjol dari karbon aktif adalah kemampuannya mengadsorpsi atau menyerap berbagai jenis adsorptif dalam fasa gas maupun cair. Sifat adsorpsi karbon aktif yang besar dan unggul dibanding bahan berpori lainnya dapat dimanfaatkan untuk menyimpan molekul-molekul air relatif lebih lama sebelum akhirnya dilepaskan kembali ke lingkungan sekitarnya melalui mekanisme pelepasan lambat mandiri (self-slow release mechanism). Jika disekitarnya itu adalah partikel-partikel tana kering/tandus maka molekul-molekul air ini akan dapat melembabkan permukaan tanah kering/tandus sehingga menjadi lebih produktif. Maksud dari penelitian ini ingin memastikan seberapa mampu partikel-partikel karbon aktif dapat meningkatkan produktifitas tanah kering/tandus bagi tanaman jagung. Dalam penelitian ini karbon aktif nanopartikel berukuran sekitar 200 ± 10 -3 nm berhasil dibuat melalui proses agitasi ultrasonik (40 kHz, 200 watt) pada suhu 50°C selama 30 menit dan aktivasi termal pada suhu 400°C selama 1 jam. Analisis luas permukaan pori, volum pori, dan diameter pori karbon aktif yang dilakukan menggunakan metoda adsorpsi-desorpsi gas nitrogen, diketahui secara berurutan sebesar 178,844 m²g⁻¹, 0,046 cm³g⁻¹, dan 18,060 Å. Sementara itu, kemampuan menyerap pupuk urea partikel karbon aktif tersebut mencapai maksimum setelah 80 menit. Diketahui pula, adisi karbon aktif pada tanah kering/tandus dapat meningkatkan tingkat produktifitasnya sebesar 90% untuk tanaman jagung. Dapat disimpulkan bahwa karbon aktif nanopartikel berpotensi dapat digunakan sebagai bahan aditif tanah kering/tandus untuk meningkatkan produktifitasnya secara signifikan.

Kata Kunci: Karbon aktif nanopartikel; Tanah kering; Tanah tandus; Bahan aditif tanah.

1. Pendahuluan

Karbon aktif merupakan salah satu material berpori yang memiliki banyak manfaat diantaranya sebagai material dalam bidang elektronik dan medis (Bagheri dan Julkapli, 2016), adsorpsi zat warna dan logam berat pada air limbah [1]. Selain itu karbon aktif dapat juga digunakan dalam bidang pertanian yaitu untuk meningkatkan produkti-vitas tanah dengan memadukan-nya dengan pupuk pertanian [2]. Dalam konteks ini, Indonesia sebagai negara agraris yang dikaruniai tanah yang subur, namun terdapat beberapa daerah yang memiliki

tanah pertanian yang kurang subur, kering/tandus. Tanah kering/tandus dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti kurangnya unsur hara di dalam tanah, tidak ada mikro-organisme tanah, dan tidak mampu menyimpan air dalam waktu yang cukup lama.

Karbon aktif nanopartikel berpotensi dapat digunakan sebagai bahan aditif tanah kering/tandus untuk meningkatkan kemampuan adsorpsinya terhadap air, menambah porositas, dan meningkatkan kondusifitasnya bagi tanaman. Pori-

Doi:

pori yang terdapat pada permukaan karbon aktif nanopartikel akan dapat menjerap/mengadsorpsi molekul-molekul air dan menyimpannya beberapa waktu kemudian mendesorpsinya keluar pori menuju permukaan partikel-partikel tanah kering/tandus yang dapat menyebabkan tanah menjadi basah/lembab. Situasi ini dapat mengundang mikro-organisme tanah untuk hidup dan berkembang biak dengan baik, yang pada gilirannya dapat meningkatkan kesuburan tanah kering/tandus. Pada penelitian sebelumnya karbon yang diterapkan pada tanah bersama dengan pupuk kimia mampu meningkatkan produktivitas gandum [3]. Tanah kering/tandus pada penelitian ini berasal dari daerah Wonogiri bagian selatan, yang diketahui merupakan wilayah dengan deretan pegunungan kapur dengan curah hujan yang rendah.

Pada penelitian ini karbon aktif nano-partikel dibuat melalui proses agitasi ultrasonik dengan frekuensi 40 kHz dan energi transduser sebesar 250 watt, dan aktivasi termal 400°C selama 1 jam. Uji peningkatan kesuburan/ produktivitas tanah kering/tandus setelah diperlakukan dengan karbon aktif nanopartikel dilakukan dengan menganalisis pertumbuhan biologis tanaman jagung.

2. Metode Penelitian

Secara garis besar, penelitian ini dilakukan melalui tiga tahap utama, yaitu pertama pembuatan nanogranuler dan aktivasi karbon hitam/arang/biochar. Kedua, karakterisasi karbon aktif nanopartikel, dan ketiga, penerapan karbon aktif nanopartikel sebagai bahan aditif tanah kering/tandus serta uji peningkatan produktivitasnya.

2.1. Alat dan Bahan

Alat: Peralatan gelas dan porcelin yang pada umumnya ada di laboratorium termasuk, Oven listrik (Cosmos, CO-9919R, Indonesia), Furnace suhu tinggi (Vulcan 3-130, USA), Ultrasonik cleaner (40kHz, 2x50 watt, Krisbow, China), PSA Particle Size Analyzer (PSA, HORIBA SZ-100, Germany), Gas adsorption analyzer (Quantachrome ASIQwin 3.01, USA), dan Spektrofotometer UV-Vis (UV-1280, Shimadzu, Japan).

Bahan: Serbuk karbon hitam/arang/ biochar komersial produk lokal, akuades produk laboratorium, Tween-20 (Merck, Germany), Buffer fosfat pH 7 (Sigma-Aldrich, Germany), 4-dimetilaminbenzaldehyd (4-DAB) (Sigma-Aldrich, Germany), Etanol p.a. (Sigma-Aldrich, Germany), Asam klorida (HCl) 35% (Sigma-Aldrich, Germany), Urea, p.a (Sigma-Aldrich, Germany, pupuk Urea (produk lokal), dan sampel tanah kering/tandus (Wonogiri selatan, Jawa Tengah).

2.2. Cara Kerja

2.2.1 Pembuatan Karbon Aktif Nanopartikel

Sebanyak 100 g serbuk arang karbon komersial dihaluskan dengan menggunakan alat penggiling bola-bola (ball milling) selama 7 jam. Selanjutnya, sekitar 5 g serbuk halus arang karbon yang diperoleh dicampur dengan baik kedalam 245 mL akuades dan 5 mL Tween-20 dan diagitasi ultrasonik pada suhu 50°C selama 30 menit, dan diaduk dengan magnetic stirrer selama 15 menit. Campuran ini didiamkan selama 24 jam kemudian diagitasi ultrasonik selama 30 menit pada suhu 50°C. Ukuran partikel produk karbon yang diperoleh ditentukan dengan alat Particle size analyzer (PSA), dan hasilnya dilabel sebagai karbon aktif nanopartikel. Dilain pihak, produk karbon yang diperoleh dipisahkan dari larutannya kemudian dikeringkan dengan menggunakan oven hingga bobot konstan. Gumpalan karbon kering dihaluskan dengan menggunakan mortal selanjutnya diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Partikel karbon yang lolos ayakan 100 mesh diaktivasi secara termal menggunakan furnace pada suhu 400°C selama 1 jam. Partikel karbon aktif yang diperoleh kemudian dianalisis luas permukaan porinya, volum porinya, dan diameter porinya dengan alat penganalisis adsorpsi gas (Gas adsorption analyzer).

2.2.2 Uji Kemampuan Adsorpsi Karbon Aktif Nanopartikel Terhadap Urea

Proses ini dimulai dengan membuat larutan urea 600 ppm, dan larutan 4-dimetilaminbenzaldehyd (4-DAB) sebagai pengompleks urea. Larutan urea 600 ppm dibuat dengan cara melarutkan secara homogen 0,06 g urea kedalam 100 mL buffer fosfat pH 7. Larutan ini digojok hingga homogen dan dilabel sebagai larutan urea 600 ppm. Sedangkan larutan 4-DAB dibuat dengan cara sesuai yang dilaporkan oleh referensi [4], yakni dengan melarutkan 1 gram 4-DAB ke dalam 50 mL etanol kemudian digojok hingga homogen. Larutan ini selanjutnya ditambah 5 mL HCl pekat secara pelan-pelan dan diaduk hingga homogen, dan dilabel sebagai larutan 4-DAB 1,80 %b/v atau 18000 ppm. Tahap berikutnya, membuat larutan kompleks urea dengan cara sebagai berikut, sebanyak 5 ml larutan urea 600 ppm dicampur hingga homogen dengan 5 mL larutan 4-DAB 18000 ppm, dan dilabel sebagai larutan kompleks urea-DAB 1:3. Tahap terakhir uji kemampuan adsorpsi karbon aktif nanopartikel terhadap urea, yang dilakukan sebagai berikut, sebanyak 1 gram karbon aktif nanopartikel dicampur dengan 10 mL larutan kompleks urea-DAB 1:3 dan diaduk selama waktu yang bervariasi, yakni 10, 20, 30 menit, dan seterusnya hingga 90 menit. Konsentrasi urea yang terserap pada karbon aktif nanopartikel ditentukan berdasarkan nilai absorbansi kompleks urea-DAB terhadap sinar UV-Vis pada panjang gelombang maksimum 400 nm, menggunakan spektrofotometri UV-Vis. Konsentrasi urea yang terserap ditentukan dengan menggunakan kurva standar yang menghubungkan antara konsentrasi

Doi:

kompleks urea-DAB 100–600 ppm dan absorbansi UV-Vis nya pada panjang gelombang maksimum 400 nm.

2.2.3 Uji Potensi Karbon Aktif Nanopartikel sebagai Bahan Aditif Tanah Kering/Tandus

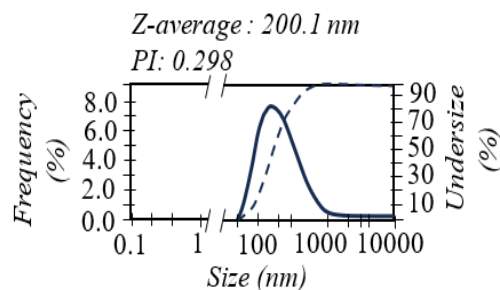
Pertama-tama menyiapkan sebanyak empat pot bunga berukuran sekitar 5 L, dan masing-masing dilabel sebagai pot a, b, c, dan d. Selanjutnya, pot a merupakan sampel diisi dengan campuran 1:1 tanah kering/tandus dengan karbon aktif yang telah menyerap/ mengadsorpsi urea secara maksimal. Pot b diisi dengan tanah kering tanpa urea dan tanpa karbon aktif nanopartikel, sebagai kontrol negatif (-). Pot c diisi dengan tanah kering/ tandus bercampur urea tanpa karbon aktif nanopartikel sebagai kontrol positif1 (+), dan pot d diisi dengan tanah subur yang bercampur urea, sebagai kontrol positif2 (++). Masing-masing dari pot diberi air hingga jenuh. Benih jagung ditanam sebanyak 5 biji sebagai tana-man yang akan dianalisis pertumbuhan biologisnya. Tingkat produktifitas tanah kering/tandus selanjutnya dinilai berdasarkan jumlah biji jagung yang tumbuh dan pertambahan tinggi batang tanaman jagung setiap 24 jam hingga tanaman mati.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karbon Aktif Nanopartikel

Ukuran partikel karbon aktif nanopartikel yang dibuat dalam penelitian ini ditentukan menggunakan alat PSA yang bekerja berdasarkan dinamika hamburan sinar laser (*dynamic light scattering*, DLS) pada panjang gelombang tertentu yang mengenainya. Partikel-partikel karbon aktif yang bergerak ke segala arah secara random (gerakan Brown) akan memancarkan, membelokkan, memantul-kan, dan menyerab sinar laser yang mengena-nya. Oleh karena itu diameter partikel yang terukur merupakan diameter dinamis yang merupakan fungsi jumlah partikel, kecepatan gerak partikel, viskositas media, panjang gelombang maupun intensitas sinar laser yang mengenai maupun yang terpantulkan/terbe-lokkan, suhu, sudut pantulan, dan indeks bias media. Hubungan antara diameter dinamis partikel dan semua paramter diameter partikel itu telah dirumuskan secara matematis oleh persamaan Stokes-Einstein, dan telah dituliskan kembali oleh referensi [5]. Selanjut-nya, dengan parameter pengukuran diset pada suhu tempat sampel 25°C, sudut hamburan 173° radian, viskositas media 0,897 millipascal-second (mPa.s), intensitas trans-misi sinar laser sebelum pengukuran 7520 joules per second (Js⁻¹), laju pencatatan foton terhambur 3164 kilo-counts per second (kCPS), dan bentuk distribusi partikel diset standar, maka ukuran partikel ini diekspresikan dalam bentuk ukuran rata-rata populasi partikel yang diturunkan dari distribusi intensitas sinar laser yang terhambur-kan yang dilabel sebagai Z-average dan indeks polidispersitas (PI) partikel-partikel yang terukur diameternya.

Kurva ukuran rata-rata populasi dan distribusi partikel karbon aktif tersebut ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1: Kurva PSA distribusi ukuran partikel karbon aktif nanopartikel

Terlihat pada Gambar 1, ukuran rata-rata partikel karbon aktif nanopartikel adalah sebesar 200,1 nm. Kurva distribusi menunjukkan populasi partikel yang memiliki ukuran rata-rata 200,1 nm mencapai 80% dari maksimal 100% dengan frekwensi kemunculan/terdeteksi 8 % dari skala 10%. Ukuran 200,1 nm menunjukkan bahwa rata-rata ukuran partikel karbon aktif yang bersangkutan adalah 200 ± 10^{-3} nm. Semenatra, indeks polidispersi (*polydispersion index*, PI) 0,298. Hal ini berarti keseragaman ukuran nano-partikel yang terbentuk masih berada pada rentang homogen yang baik, dengan rentang nilai PI berada dalam rentang 0,1–0,7. Diketahui semakin kecil nilai PI semakin besar keseragaman ukuran dan bentuk partikel yang sedang diukur [6]. Ukuran partikel karbon sebesar 200 nm itu dapat dikategorikan sebagai partikel nano karena pada dasarnya memiliki sifat-sifat yang berbeda atau baru yang lebih baik/unggul dibanding sifat-sifat material sejenisnya yang berukuran lebih besar [7]. Dalam hal ini, ukuran partikel 100 nm pada umumnya memiliki sifat-sifat khusus yang lebih baik dibanding yang berukuran lebih kecil maupun yang lebih besar dari 100 nm [8]. Partikel-partikel yang berukuran lebih kecil akan memiliki luas maupun energi permukaan yang lebih besar dibanding partikel yang berukuran lebih besar. Energi permukaan yang besar ini akan mendorong terjadinya antaraksi antar partikel menjadi lebih besar sehingga beberapa atau sejumlah partikel yang berukuran kecil itu mengalami aglomerasi membentuk gumpalan partikel berukuran lebih besar [9].

Sementara itu, aktivasi secara termal yang dilakukan pada suhu 400°C selama 1 jam menyebabkan beberapa gugus fungsi dan kerangka karbon di permukaan partikel hancur. Kehancuran kerangka karbon ini akan menimbulkan pori-pori baru yang jumlah dan ukurannya setara dengan panjang rantai kerangka karbon dan besarnya gugus fungsi yang hancur. Selain itu, energi termal yang setara dengan suhu 400°C dapat juga mendegradasi/mendekomposisi senyawa-senyawa organik yang terikat pada kerangka karbon. Semua kejadian tersebut memberikan dampak kepada perubahan sifat fisika maupun kimia material karbon yang bersangkutan. Secara fisika, intensitas tampilan warna hitam karbon makin pekat dengan porositas

Doi:

yang lebih besar sehingga kapabilitas adsorpsinya juga akan makin meningkat. Sementara itu, secara kimia menjadi relatif kurang reaktif atau relatif lebih *innert*. Hal itu selaras dengan yang tulis referensi [10] bahwa pemanasan material karbon pada suhu tinggi akan dapat meningkatkan volume pori dan kemampuan adsorpsinya.

3.2. Analisis dan Karakterisasi

Analisis luas permukaan, volum, dan diameter pori karbon aktif nanopartikel dilakukan menggunakan metoda adsorpsi-desorpsi gas nitrogen BET/BJH (berat sampel 0,1128 g, gas nitrogen, mode analisis standar), dan hasilnya seperti yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1: Hasil analisis luas permukaan, volum pori, dan diameter pori karbon aktif nanopartikel

Parameter	METODA*		
	BET	BJH _{ads}	BJH _{des}
• Luas permukaan/m ² g ⁻¹	178,844	25,445	414,116
• Volum pori/cm ³ g ⁻¹	td	0,046	0,424
• Jari-jari pori/Å	td	18,060	15,026

*BET: Brunauer-Emmett-Teller; BJH: Barrett-Joyner-Halenda; ads: adsorpsi; des: desorpsi; td: tidak dihitung.

Luas permukaan sebesar 178,844 m² yang tercatat oleh metoda adsorpsi BET pada Tabel 1 merupakan luas permukaan pori total dari pori yang dimiliki oleh setiap 1 g sampel karbon aktif nanopartikel berukuran rata-rata 200±10-3 nm yang diperoleh dalam penelitian ini. Luas permukaan ini jauh lebih kecil dibanding yang diperoleh referensi [11-14] yakni 4.320,700 m²g⁻¹, 1.773,000 m²g⁻¹, 3.839,000 m²g⁻¹, dan 1.127,000 m²g⁻¹. Hal ini mengindikasikan dua kemungkinan, yang pertama adalah jumlah individual pori karbon aktif nanopartikel jauh lebih sedikit dibanding karbon aktif yang diperoleh oleh ketiga peneliti tersebut. Yang kedua, volum pori dari karbon aktif nanopartikel yang diperoleh dalam penelitian ini jauh lebih kecil dibanding yang diperoleh oleh ketiga peneliti tersebut. Hal ini dapat dipastikan jenis sampel, suhu pirolisis maupun suhu aktivasi termal dan proses pembuatan karbon aktif menjadi faktor utama yang membedakan besarnya luas permukaan karbon aktif yang dihasilkan. Sementara itu, luas permukaan karbon aktif yang diperoleh oleh referensi [15] adalah 199,068 m²g⁻¹ hampir setara dengan yang diperoleh dalam penelitian ini.

Besarnya luas permukaan yang dianalisis dengan metoda BJH baik mode adsorpsi maupun desorpsi tercatat lebih kecil dibanding yang dianalisis dengan metoda BET, yakni secara berurutan 25,445 m²g⁻¹ (adsorpsi) dan 414,116 m²g⁻¹ (desorpsi) dibanding 178,544 m²g⁻¹ (lihat Tabel 1). Hal ini merepresentasikan bahwa sebagian besar pori-pori karbon aktif nanopartikel mempunyai kedalaman yang sangat dangkal dengan distribusi yang tidak beraturan di permukaan partikel karbon aktif. Disamping itu, dengan luas permukaan desorpsi yang lebih besar

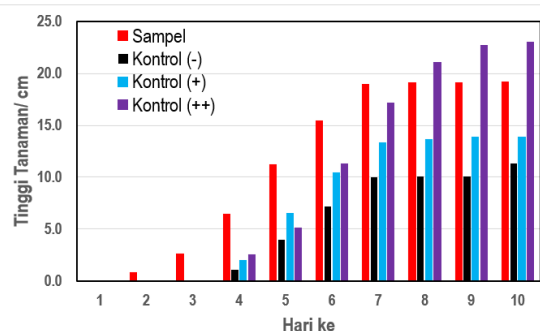
dibanding adsorpsi, ini mengarah kepada sebagian besar pori kemung-kinan berbentuk silinder dengan dinding bagian dalam relatif halus atau sedikit lekukan. Jika kita menggunakan asumsi luas permukaan pori adsorpsi yang kecil itu karena akibat dari pori yang bukan silinder dengan dinding bagian dalam yang kasar, maka kita dapat menghitung prosentase jumlah bentuk pori yang silinder dengan dinding bagian dalam halus dengan menggunakan rumus secara pendekatan sebagai berikut: % Pori silinder = 100 - [(LP_{ads} + LP_{des}) / LP_{des}] × 100, dimana LP_{ads} dan LP_{des} berturut-turut adalah luas permukaan adsorpsi dan luas permukaan desorpsi. Dengan demikian, % jumlah pori yang berbentuk silinder 93,86%, dan yang bukan silinder 6,14%.

Terkait dengan jari-jari pori, terlihat pada Tabel 1, pori-pori yang bentuknya bukan silinder memiliki jari-jari 18,060 angstrom (Å) atau 1,806 nm, sementara yang berbentuk silinder 15,026 Å atau 1,503 nm. Ini berarti diameter mulut pori yang berbentuk bukan silinder sekitar 3,612 nm, dan yang berbentuk silinder sekitar 3,006 nm. Selanjutnya, data ini menunjukkan bahwa pori-pori karbon aktif nanopartikel hasil penelitian ini lebih sesuai dikategorikan sebagai mesopori karena berada dalam rentang 2,00-50,00 nm dari pada sebagai mikropori (< 2,00 nm) maupun makropori (> 50,00 nm) [16,17]. Dalam hal ini, terdapat perbedaan panjang diameter yang tidak signifikan antara pori yang berbentuk bukan silinder dan yang silinder sebesar 0,606 nm atau hanya sekitar 16,78 %, dimana diameter pori yang bukan silinder lebih besar dibanding yang silinder. Keadaan ini tidak akan terlalu berpengaruh kepada kemampuan adsorpsi-desorpsi dari kedua jenis bentuk pori itu ditinjau dari sudut pandang lebar lubang pori.

3.3. Kemampuan Adsorpsi Karbon Aktif Nanopartikel terhadap Urea

Untuk kepentingan penerapan karbon aktif nanopartikel sebagai bahan aditif tanah kering/tandus, maka pertamamula dilakukan penentuan kapasitas dan kinerja adsorpsinya terhadap urea, dan hasilnya seperti yang ditampilkan pada Gambar 2. Terlihat pada Gambar 2, proses adsorpsi karbon aktif nanopartikel terhadap urea berjalan cukup lambat, mulai dari 10 menit sebesar 30,90 ppm, kemudian secara berturut-turut 20, 30, 40, 50, 60, 70 menit naik menjadi 42,55., 50,65 ppm., 54,45 ppm., 56,73 ppm., 57,93 ppm., 61,54 ppm sebelum mencapai optimum pada menit ke 80 sebesar 63,82 ppm.

Doi:



Gambar 4: Grafik pertumbuhan tanaman jagung pada media sampel dan beberapa media kontrol

Gambar 4 grafik warna merah menunjukkan konsistensi pertumbuhan tanaman jagung pada media sampel yang jauh lebih tinggi dibanding pada media kontrol (-) (grafik warna hitam) sejak hari pertama hingga ke 10. Konsistensi ini masih terlihat dengan jelas jika dibandingkan dengan tanaman jagung yang tumbuh pada media kontrol (+), yang ditunjukkan oleh grafik warna biru. Bahkan jika dibanding dengan tanaman jagung yang tumbuh pada media kontrol (++) (grafik warna ungu), terlihat hingga hari ke 7 pertumbuhan tanaman jagung pada media sampel masih lebih tinggi dibanding yang tumbuh di media kontrol (++) .

Fakta diatas membuktikan bahwa karbon aktif nanopartikel berpotensi dapat digunakan sebagai bahan aditif tanah kering/tandus untuk meningkatkan produktifitasnya secara signifikan. Hal ini mirip dengan hasil penelitian referensi [19] yang melaporkan karbon aktif mampu meningkatkan produktifitas tanah dan perbaikan pertumbuhan tanaman kedelai. Pada penelitian tersebut juga disebutkan bahwa karbon aktif mampu meningkatkan serapan terhadap pupuk P dan K.

4. Kesimpulan

Karbon aktif nanopartikel berukuran rata-rata 200 ± 10 -3 nm berdasarkan metoda dinamika hamburan sinar laser (dynamic light scattering, DLS) dengan luas permukaan yang rendah sekitar $178 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ berdasarkan metoda adsorpsi gas nitrogen BET, $25 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ dan $414 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ berturut-turut berdasarkan metoda adsorpsi dan desorpsi gas nitrogen BJH berhasil diperoleh melalui proses agitasi ultrasonik selama 30 menit. Karbon aktif nanopartikel ini berpotensi dapat digunakan sebagai bahan aditif tanah kering/tandus untuk meningkatkan tingkat produktifitasnya secara signifikan terutama untuk tanaman jagung.

Ucapan Terimakasih

Penulis secara tulus menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktur Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kemenristek dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia, melalui Rektor Universitas Diponegoro dan Ketua LPPM Universitas Diponegoro periode 2017–2022 atas hibah penelitian yang diberikan dengan Surat Penugasan Pelaksanaan Penelitian Nomor :

101–127/UN7.P4.3/PP/2018, tanggal 5 Februari 2018.

Daftar Pustaka

- Regti, A., Laamari, M. R., Stiriba, E., dan El Haddad, M., Potential Use of Activated Carbon Derived from *Persea* Species under Alkaline Conditions for Removing Cationic Dye from Wastewaters, *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences*, (2017), 24:10–18.
- Mete, F. Z., Mia, S., Dijkstra, F. A., Abuyusuf, M., dan Hossain, A., Synergistic Effects of Biochar and NPK Fertilizer on Soybean Yield in an Alkaline Soil, *Pedosphere* 25(5), (2015):713–19.
- Sadaf, J., Shah, G. A., Shahzad, K., Ali, N., Shahid, M., Ali, S., Hussain, R. A., Ahmed, Z. I., Traore, B., Ismail, I., dan Rashid, M.I., Improvements in Wheat Productivity and Soil Quality Can Accomplish by Co-Application of Biochars and Chemical Fertilizers, *Science of the Total Environment* 607–608, (2017):715–24.
- Baani, F., Ariadi, R., dan Cholid, M., Pengaruh Agen Pencangkok Heparin Terhadap Kemampuan Transpor Kreatinin Dan Urea Membran Turunan Kitosan. 20(2), (2017):92–94.
- Wibawa, P. J., Nur, M., Asy'ari, M., and Nur, H., 2020, SEM, XRD, and FTIR analyses of both ultrasonic and heat generated activated carbon black microstructures, *Heliyon* 6: e03546.
- Horiba Guidebook, , *A Guidebook To Particle Size Analysis*, (2014), Horiba Instrument Catalog.
- Nurchayyo, R. Y. and Wibawa, P. J., Fabrikasi Ramah Lingkungan Komposit Nano Karbon Aktif-Partikel Perak dan Uji Aktifitas Antibakterinya, *Greensphere: Journal of Environmental Chemistry*, vol. 2, no. 1, (2023), 31-37, May. 2022.
- Nagpal, K., Singh, S. K., and Mishra, D. N., *Chitosan Nanoparticles: A Promising System in Novel Drug Delivery*, 58(11), (2010). 1423–1430.
- Sokolov, Stanislav, V., Tschulik, K., Batchelor-McAuley, C., Jurkschat, K., dan Compton, R. G., Distinguishing Agglomeration and Aggregation at the Nanoscale, *Analytical Chemistry* 87(19) (2015):10033–39.
- Bagheri, S., and Julkapli, N.M., 2016, Effect of Hybridization on the Value-Added Activated Carbon Materials, *International Journal of Industrial Chemistry* 7(3) (2016):249–64.
- Polii, F., Pengaruh Suhu Dan Lama Aktivasi Terhadap Mutu Arang Aktif Dari Kayu Kelapa, *Jurnal Industri Dan Hasil Perkebunan* vol 12(2), (2017):21–28.
- Ahmed, A.S., Alsultan, M., Sabah, A.A., and Swiegers, G.F. Carbon Dioxide Adsorption by a High-Surface-Area Activated Charcoal. *Journal of Composite Science* (2023), 7: 179.
- Lawtae, P. and Tangsathitkulchai, C. The Use of High Surface Area Mesoporous-Activated Carbon from Longan Seed Biomass for Increasing Capacity and Kinetics of Methylene Blue Adsorption from Aqueous Solution.

Doi:

- Molecules* (2021), 26: 6521.
14. Ma, X., Chen, R., Zhou, K., Wu, Q., Li, H., Zeng, Z., and Li, L., Activated Porous Carbon with an Ultrahigh Surface Area Derived from Waste Biomass for Acetone Adsorption, CO₂ Capture, and Light Hydrocarbon Separation, *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* (2020), **8**, **31**: 11721-11728.
 15. Wardalia, Karakterisasi Pembuatan Adsorben Dari Sekam Padi Sebagai Pengadsorp Logam Timbal Pada Limbah Cair, *Jurnal Integrasi Proses* (2016) 6(2):83-88.
 16. Chaudhary, V. and Sharma S., An Overview of ordered mesoporous material SBA-15: Synthesis, functionalization and application in oxidation reactions, *Journal of Porous Materials* (2017), **24**: 741-749.
 17. Zdravkov, B. D., Čermák, J. J., Šefara, M., and Janků, J., Pore classification in the characterization of porous materials: A perspective, *Central European Journal of Chemistry* (2007), **5(2)**: 385-395.
 18. Giraldo, J. D., and Rivas, B. L. Determination of urea using *p-N,N*-dimethylaminobenzaldehyde: Solvent effect and interference of chitosan, *Journal of Chile Chemicals Society* (2017), **62(2)**: 3538-3542.
 19. Hartatik, W., Wibowo, H dan Purwani, J., "Aplikasi Biochar Dan Tithoganic Dalam Peningkatan Produktivitas Kedelai (Glycine Max L.) Pada Typic Kanhapludults Di Lampung Timur Kanhapludults in Lampung Timur." *Jurnal Tanah Dan Iklim*. 39(1) (2015):51-62.