

PREPARASI DAN KARAKTERISASI NANOMATERIAL C-DOTS BERBAHAN LIMBAH CAIR BUDIDAYA LELE DENGAN METODE PEMANASAN OVEN

Preparation and Characterization of Nanomaterial C-Dots Made From Liquid Waste Catfish Cultivation by Oven Heating Method

Kartika Aulia Widyani¹ *Wipar Sunu Brams Dwardaru²

Mahasiswa Jurusan Pendidikan Fisika Universitas Negeri Yogyakarta¹ dan Dosen Jurusan Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Yogyakarta²

Prodi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta. Email : kartikaaulia.2017@student.uny.ac.id

Abstrak- Penelitian ini bertujuan untuk (1) preparasi nanomaterial C-dots limbah cair budidaya ikan lele dengan pemanasan oven, (2) karakteristik nanomaterial C-dots limbah cair budidaya ikan lele berdasarkan uji UV-Vis dan energi *gap*, (3) perbandingan volume limbah dengan massa serbuk limbah. Variasi waktu pemanasan oven data sampel yang digunakan, yaitu: 15 menit, 30 menit, 45 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit. Hasil sintesis C-dots dikarakterisasi menggunakan uji UV-Vis dan energi *gap*. Larutan yang diperoleh berwarna kuning-kecoklatan. Semakin lama pemanasan oven maka warna larutan semakin gelap. Selanjutnya, diperoleh perbandingan volume limbah cair dengan massa serbuk limbah sebesar 1 ml : 0,415 mg. Hasil uji UV-Vis menunjukkan puncak absorpsi pada panjang gelombang 298 nm, 209 nm, 345 nm, 306 nm, 283 nm, dan 368 nm. Selain itu, energi *gap* yang dihasilkan adalah 5,29915 eV; 4,32056 eV; 3,67953 eV; 4,8062 eV; 3,91167 eV; dan 3.81538 eV.

Kata-Kata Kunci: C-dots, budidaya lele

Abstract- The study aims to (1) prepare nanomaterials C-dots liquid waste catfish cultivation by oven heating, (2) characteristics of c-dots of liquid waste waste catfish cultivation based on UV-Vis tests and energy gaps, (3) comparison of waste volume with waste powder mass. Variations in the oven heating time of sample data used, namely: 15 minutes, 30 minutes, 45 minutes, 60 minutes, 90 minutes, and 120 minutes. The synthesis of C-dots is characterized using UV-Vis tests and gap energy. The solution obtained is yellow-brownish. The longer the oven heats, the darker the color of the solution. Furthermore, a comparison of the volume of liquid waste with the mass of waste powder amounted to 1 ml: 0.415 mg. UV-Vis test results showed absorption peaks at wavelengths of 298 nm, 209 nm, 345 nm, 306 nm, 283 nm, and 368 nm. In addition, the energy gap produced is 5.29915 eV; 4,32056 eV; 3.67953 eV; 4,8062 eV; 3,91167 eV; and 3.81538 eV.

Keywords: C-dots, Catfish Cultivation

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan Negara yang memiliki beragam kekayaan alam. Salah satu jenis kekayaan alamnya yaitu hewan. Beragam jenis hewan terdapat di Indonesia. Salah satu hewan yang banyak ditemukan dan dibudidayakan adalah ikan lele (*Clarias batrachus*). Ikan lele banyak dibudidayakan karena memerlukan modal yang sedikit dan mudah dibudidayakan. Menurut data Kementerian Kelautan dan Perikanan RI produksi ikan lele di Indonesia mencapai 347.511,58 ton pada tahun 2020.

Limbah atau residu budidaya lele berupa limbah cair dan limbah padat. Kedua macam limbah ini dihasilkan dari kegiatan budidaya yang dilakukan pada kolam terpal, kolam semen, dan kolam fiber maupun kegiatan budidaya lainnya. Budidaya lele berkembang sangat pesat. Hal ini tercermin dari produksi lele negara yang terus meningkat. Pada Tahun 2009 produksi lele

sebesar 200.000 ton dan ditarget pada tahun 2014 produksi lele menjadi 900.000 ton atau meningkat sebesar 450% (KKP, 2010). Peningkatan produksi ini tentunya dibarengi pula dengan meningkatnya limbah yang dihasilkan.

Menurut Corey (1987) limbah pada umumnya mengandung bermacam-macam unsur. Di antaranya, sisa-sisa bahan organik dan anorganik, logam berat, serta gas berbau busuk yang berdampak kurang baik terhadap lingkungan. Limbah organik bila dikelola dengan baik dan tepat akan sangat menguntungkan antara lain menghasilkan biogas maupun pupuk organik yang bermutu tinggi.

Belum banyak yang mengerti tentang pengelolaan limbah cair yang dihasilkan dari pembudidayaan ikan lele ini. Limbah cair yang dihasilkan dari ikan lele sering kali mengganggu orang lain jika dibuang sembarangan. Hal ini disebabkan

limbah yang dihasilkan akan menjadi tempat nyaman bagi nyamuk untuk bertelur. Selain itu, limbah ini memiliki bau yang sangat menyengat dan tidak sedap.

Menurut Isnaeni (2018), material yang sama-sama memiliki elemen atom karbon dapat memiliki sifat yang berbeda, mulai dari arang yang berharga murah hingga intan yang mahal harganya. Nanopartikel berbahan dasar karbon telah banyak dikembangkan, seperti *carbon nanotubes* (CNT), *fullerene*, *graphene*, dan *carbon dots* (C-dots).

Carbon nanodots (C-dots) adalah salah satu nanopartikel yang berasal dari unsur karbon (C). C-dots umumnya memiliki ukuran 1 nm – 10 nm. C-dots dikenal dengan nanopartikel *quasi-spherical* dan berbentuk seperti bola. Nanopartikel ini umumnya berbentuk *amorf* dan terdapat inti nanokristal karbon. C-dots memiliki konfigurasi karbon sp^2 dan beberapa konfigurasi sp^3 (Bao *et al.*, 2015). C-dots memiliki sifat non-toksik dan biokompatibel yang baik. Selain itu, C-dots mudah disintesis dan dapat diperoleh dari berbagai macam bahan baik bahan organik maupun anorganik (Liu *et al.*, 2007).

Menurut Fatimah *et al.*, (2017) C-dots adalah jenis karbon yang termasuk dalam material berpendar dengan stabilitas kimia dan biokompatibilitas. Bahan karbon yang berstruktur nano ini memiliki emisi yang efisien dalam rentang cahaya tampak yang menunjukkan pengembangan penghasil emisi karbon yang baik. Emisi C-dots berasal dari elektron yang mengalami perpindahan dari *single state* ke keadaan dasar berupa foton yang menyebabkan terjadinya pendaran pada C-dots.

C-dots memiliki beberapa sifat, salah satunya adalah sifat luminesens. Luminesens adalah fenomena fisis berupa pancaran cahaya akibat adanya penyerapan energi cahaya. Sifat luminesens C-dots dapat diamati ketika sumber eksitasi yang digunakan adalah sinar UV. Sinar UV yang diserap oleh C-dots menyebabkan elektron C-dots yang berada pada pita valensi meloncat ke pita konduksi. Keadaan ini disebut dengan eksitasi elektron. Pada keadaan ini, elektron dalam keadaan yang tidak stabil. Elektron bertahan beberapa saat sebelum akhirnya kembali ke keadaan dasar. Keadaan ini disebut dengan deeksitasi elektron (Fadli, 2018).

Jika material disinari dengan gelombang elektromagnetik maka foton akan diserap oleh elektron dalam material. Setelah menyerap foton, elektron akan berusaha meloncat ke tingkat energi yang lebih tinggi (Abdullah, 2010).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang didasarkan dalam pengambilan data dimana hasil penelitian dapat mengetahui karakteristik nanomaterial

C-Dots berbahan dasar limbah cair budidaya ikan lele. Penelitian ini dilakukan di Lab Fisika Koloid, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, UNY yang beralamat di Karangmalang, Desa Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta. Penelitian ini dilakukan selama jangka waktu tiga bulan yaitu bulan Maret sampai dengan Mei 2021.

Terdapat beberapa metode untuk melakukan preparasi C-dots, salah satunya menggunakan metode pemanasan oven. Metode ini dilakukan karena memiliki langkah-langkah yang mudah untuk dilakukan dan menggunakan bahan yang relatif sedikit. Pengambilan sampel menggunakan metode ini juga memiliki waktu yang singkat. Selain itu, dalam penelitian dilakukan pula pengukuran perbandingan massa serbuk limbah yang diperoleh dari proses pengeringan menggunakan *microwave*. Proses pengeringan menggunakan *microwave* termasuk dalam salah satu langkah kerja dalam sintesis C-dots limbah cair budidaya ikan lele.

Menurut Adinata (2013), proses karbonasi dengan pemanasan dilakukan dengan cara membakar bahan dalam kondisi minim oksigen. Metode ini dapat mengubah bentuk fisik, struktur dan ukuran bahan. Salah satu alat yang digunakan pada metode pemanasan adalah oven.

Bahan yang dimanfaatkan dalam pembuatan C-dots adalah limbah cair budidaya lele. Air yang diambil dari kolam lele dipanaskan terlebih dahulu menggunakan *microwave* hingga tersisa serbuknya, kemudian serbuk tersebut dikumpulkan. C-dots dapat terbentuk ketika serbuk limbah ikan lele tersebut dipanaskan menggunakan oven pada suhu 250 °C dengan variasi waktu 15 menit, 30 menit, 45 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit.

Dalam penelitian ini juga dilakukan variasi volume limbah air lele yang dipanaskan sehingga didapatkan serbuk limbah ikan lele. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan volume limbah ikan lele yang dipanaskan dengan massa serbuk yang didapat. Selanjutnya, dilakukan penyaringan agar larutan terpisah dengan ampas serbuk limbah cair lele.

Berbagai penelitian tentang C-dots telah dilakukan. Hal ini mendorong peneliti untuk mengetahui sifat dari C-dots yang dihasilkan dari bahan organik. Limbah dari budidaya lele akan menghasilkan kandungan karbon berasal dari sisa-sisa makanan maupun dari kotoran ikan lele sendiri. Dari sini peneliti menggunakan bahan dari limbah cair budidaya ikan lele. Lebih lanjut, ditentukan karakteristik C-dots berbahan dasar limbah cair budidaya ikan lele menggunakan spektrofotometer UV-Vis dan energi *gap*. Dari uji tersebut, diharapkan dapat diperoleh produk dan karakteristik C-dots berbahan dasar limbah cair budidaya ikan lele.

Karakterisasi UV-Vis dilakukan untuk mengetahui puncak absorbansi sampel pada panjang gelombang tertentu dengan menggunakan spektrofotometer UV-2400PC Series. Karakteristik yang diperoleh berupa puncak absorbansi pada panjang gelombang tertentu. Panjang gelombang yang dipilih berada pada rentang 200 nm – 800 nm.

Alur sintesis yang berbeda mempengaruhi sifat optik C-dots yang dihasilkan serta adanya perbedaan penjelasan absorbansinya. C-dots yang disintesis dengan metode kimia ataupun metode fisika, keduanya tetap akan menghasilkan dua puncak absorbansi dalam rentang UV 260-360 nm dengan ekor memanjang sampai dengan wilayah cahaya tampak. Absorpsi C-dots menunjukkan adanya transisi $\pi \rightarrow \pi^*$ dari ikatan C=C dan $n \rightarrow \pi^*$ dari ikatan C=O, adanya gugus fungsi tertentu dan atau efek ukuran kuantum. (Wu *et al.*, 2017).

Menurut Sari (2019), adanya puncak absorbansi mengindikasikan bahwa dalam sampel yang diuji mengandung suatu material. Dalam kasus ini material yang dimaksud adalah C-dots. Semakin tinggi puncak absorbansi maka semakin banyak material C-dots yang terkandung didalamnya.

Energi *gap* adalah energi minimum yang dibutuhkan untuk mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Berdasarkan pengisian elektron, pita energi dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu pita valensi dan pita konduksi. Pita valensi adalah pita energi teratas yang terisi penuh oleh elektron, dan pita konduksi adalah pita energi yang berada di atas pita valensi yang terisi oleh sebagian atau tidak terisi sama sekali oleh elektron (Triwardiati, 2018).

Energi termal diterima oleh elektron pada pita valensi, jika energi termal lebih besar atau sama dengan nilai energi *gap*-nya, elektron akan melewati celah pita terlarang dan berpindah ke pita konduksi sebagai elektron hampir bebas. Elektron yang meninggalkan pita valensi menyebabkan kekosongan yang sering disebut sebagai *hole* (Maslakah, 2018).

Analisis energi *gap* dilakukan untuk mengetahui energi *gap* yang diperlukan electron untuk berpindah dari pita konduksi ke pita valensi. Penentuan energi *gap* dilakukan menggunakan grafik *Tauc Plot*. Pada C-dots bahan dasar limbah cair budidaya ikan lele diperoleh berdasarkan data absorbansi dan panjang gelombang uji UV-Vis. Diperoleh grafik hubungan antara $(ah\nu)^2$ dengan energi *gap*-nya.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Sintesis C-dots

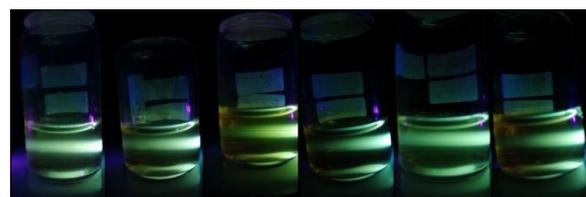
Proses pengolahan limbah cair budidaya ikan lele menjadi serbuk menggunakan metode *top-down*. Pengertian *top-down* sendiri yaitu mengubah partikel atau bahan yang besar menjadi lebih kecil. Pada penelitian ini, *microwave* digunakan sebagai alat pengolahan limbah cair menjadi serbuk. Hal tersebut dilakukan dengan cara mengeringkan limbah cair yang dimasukkan ke dalam gelas beker, kemudian dipanaskan selama 30 menit untuk volume limbah sebesar 175 ml. Limbah cair yang sudah dikeringkan akan berbentuk kerak yang kemudian dikumpulkan menjadi serbuk.



Gambar 1. . Larutan C-dots dengan lama waktu pemanasan oven 15 menit, 30 menit, 45 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit (dari kiri ke kanan).

Sintesis C-dots berbahan dasar limbah cair budidaya ikan lele menghasilkan C-dots dalam bentuk larutan. Larutan ini disebut C-dots *stock solution*. Larutan ini diperoleh dari hasil rendaman serbuk C-dots yang dimasukkan ke dalam akuades dan direndam selama beberapa hari. Hasil rendaman atau sintesis setelah beberapa hari menghasilkan warna kuning hingga kecoklatan yang tidak pekat. Perbedaan warna larutan disebabkan oleh variasi waktu dalam pemanasan oven.

Pada penelitian ini, variasi waktu pemanasan oven dalam akuades menghasilkan larutan C-dots berwarna kuning kecoklatan semakin pekat. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama pemanasan oven serbuk limbah, maka larutan C-dots yang dihasilkan berwarna kuning kecoklatan relatif semakin pekat.



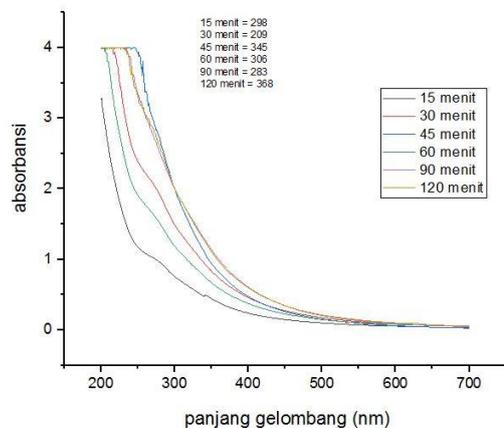
Gambar 2. Pendaran larutan C-dots dengan lama waktu pemanasan oven 15 menit, 30 menit, 45 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit (dari kiri ke kanan).

Adanya C-dots dalam larutan dapat diamati dengan cara menembakkan laser UV/ungu ke larutan sampel sehingga dihasilkan pendaran dalam larutan. Hasil dari penembakan laser UV/ungu dapat dilihat pada Gambar 10. Laser UV/ungu yang ditembakkan ke arah larutan sampel menghasilkan pendaran berwarna sian – hijau kebiruan). Jika dilihat secara kualitatif, intensitas pendaran yang dihasilkan dipengaruhi oleh kepekatan larutan. Variasi waktu pemanasan oven limbah budidaya lele dalam akuades mempengaruhi kepekatan larutan. Intensitas pendaran semakin tinggi bila semakin lama pemanasan oven dilakukan.

B. Karakterisasi Limbah Cair Budidaya Ikan Lele

1. Hasil Karakterisasi UV-Vis

Hasil karakterisasi UV-Vis menunjukkan grafik hubungan antara panjang gelombang dalam satuan nanometer dengan absorbansi sampel uji. Panjang gelombang yang digunakan berada pada rentang 200 nm – 800 nm, yang mana rentang ini merupakan spektrum sinar tampak (*visible*) dan UV. Karakterisasi ini dilakukan untuk menentukan kandungan bagian senyawa C-dots yang dihasilkan dari limbah cair budidaya ikan lele.



Gambar 3. Hasil karakterisasi UV-Vis larutan C-dots dengan waktu pemanasan oven 15 menit, 30 menit, 45 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit.

Pada penelitian ini, variasi waktu pemanasan oven pada pembuatan larutan C-dots adalah 15 menit, 30 menit, 45 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit. Masing-masing larutan C-dots diambil 5 tetes, kemudian dilarutkan dalam 10 ml akuades.

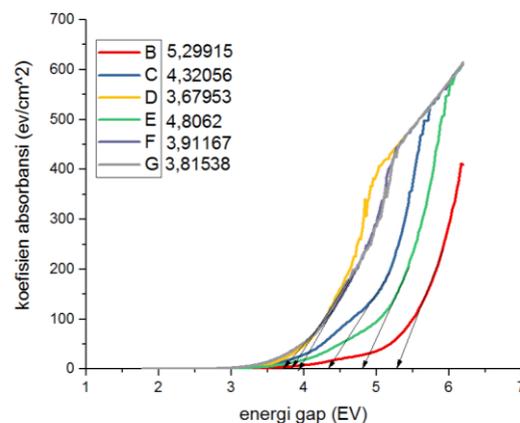
Hasil karakterisasi UV-Vis untuk sampel pertama dengan waktu pemanasan oven 15 menit ditunjukkan oleh garis hitam. Puncak bahu yang dihasilkan dalam sampel ini berada pada panjang gelombang 298 nm.

Sampel kedua dengan waktu pemanasan oven 30 menit ditunjukkan oleh garis berwarna merah. Puncak bahu pada larutan sampel kedua ini berada pada panjang gelombang 290 nm. Sampel ketiga dengan waktu pemanasan 45 menit memiliki puncak bahu dengan panjang gelombang 345 nm. Sampel keempat dengan waktu pemanasan 60 menit memiliki puncak bahu dengan panjang gelombang 306 nm. Sampel kelima dengan waktu pemanasan 90 menit memiliki puncak bahu dengan panjang gelombang 283 nm. Sampel keenam dengan waktu pemanasan 120 menit memiliki puncak bahu dengan panjang gelombang 368 nm.

Adanya puncak bahu pada masing-masing variasi waktu pemanasan oven pada larutan C-dots menunjukkan adanya transisi elektron tersebut. Puncak bahu yang terbentuk menandakan bahwa daerah puncak yang dihasilkan lemah. Hal ini disebabkan oleh daerah serapan yang terlalu luas. Menurut Wang dan Hu (2014), daerah serapan luas ini disebabkan C-dots memiliki struktur pita energi yang rumit dan tingkat energi yang acak.

2. Analisis Energi Gap

Pada tahap ini, hasil uji UV-Vis larutan C-dots berbahan dasar limbah cair budidaya ikan lele dianalisis energi *gap*-nya. Analisis ini dilakukan untuk mengetahui celah energi yang terjadi pada larutan C-dots yang dihasilkan dari limbah cair budidaya ikan lele. Nilai energi *gap* dapat ditentukan berdasarkan data absorbansi dan panjang gelombang serapan uji UV-Vis (Witjaksono, 2011). Pada penelitian ini, energi *gap* diperoleh menggunakan metode *Tauc Plot* yang mana pengukuran ini dilakukan dengan menarik garis linier pada grafik hubungan $ah\nu$ dengan $h\nu$ hingga memotong sumbu-x ($h\nu$).



Gambar 4. Hasil energi *gap* larutan C-dots bahan dasar limbah cair budidaya ikan lele.

Gambar 4 menunjukkan grafik *Tauc Plot* larutan C-dots berbahan dasar limbah cair budidaya ikan lele masing-masing variasi waktu pemanasan oven. Energi *gap* dihitung menggunakan metode *direct band gap*. Berdasarkan Gambar 4, energi *gap* sampel C-dots berbahan dasar limbah cair budidaya ikan lele berada pada rentang 3,68 eV – 5,30 eV. Menurut Amar *et al.* (2016), bergesernya energi *gap* disebabkan oleh berubahnya ukuran partikel. Berubahnya ukuran partikel mengindikasikan bahwa sampel tidak stabil dan mengalami aglomerasi. Pada sampel Cdots berbahan dasar limbah cair budidaya ikan lele, pergeseran energi *gap*-nya cukup signifikan.

Nilai energi *gap* yang semakin rendah menunjukkan bahwa energi yang diperlukan semakin rendah pula. Hal ini disebabkan oleh ukuran partikel C-dots berbahan dasar limbah cair budidaya ikan lele semakin besar. Menurut Triwardiati dan Ermawati (2018), efek pergeseran energi *gap* yang dikenal dengan *quantum effect* adalah akibat dari perubahan partikel dari sampel. Berubahnya ukuran partikel ini yang menjadi indikasi bahwa sampel tidak stabil dan mengalami aglomerasi.

3. Perbandingan massa serbuk dengan volume limbah cair budidaya ikan lele

Proses yang dilakukan pada tahap ini dengan tujuan mengetahui perbandingan yang diperoleh dari volume limbah cair dengan massa serbuk yang dihasilkan. Metode ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan sebagai salah satu dari langkah kerja preparasi C-dots. Pengeringan serbuk dilakukan menggunakan *microwave* dengan data ditunjukkan oleh Tabel 1.

Pemanasan *microwave* dilakukan berulang dengan beberapa variasi volume dari limbah cair budidaya ikan lele. Hal ini dilakukan agar dapat dihasilkan nilai yang lebih akurat dalam perhitungan perbandingan volume dengan massa serbuk yang didapat. Dari hasil perhitungan didapatkan perbandingan volume limbah yang dikeringkan dengan massa serbuk.

No	volume (ml)	massa (gram)	v/m (ml/g)
1	175	0,073	0,417142857
2	70	0,01	0,142857143
3	175	0,077	0,44
4	175	0,083	0,474285714
5	175	0,085	0,485714286
6	75	0,015	0,2
7	175	0,081	0,462857143
	1020	0,424	0,000415686

Tabel 1. Perbandingan volume dengan massa serbuk yang dihasilkan.

Perbandingan volume limbah cair budidaya ikan lele dengan massa serbuk yang dihasilkan sesuai dengan Tabel 3. Dapat diamati bahwa 1 mL limbah cair dapat menghasilkan sebanyak 0,000415686 gram atau setara dengan 0,415 mg serbuk. Hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa banyak volume limbah cair ikan lele yang dibutuhkan apabila ingin dihasilkan massa serbuk yang dikehendaki.

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan: (1) preparasi C-dots bahan dasar limbah cair budidaya ikan lele dapat dilakukan menggunakan metode *top-down* melalui pemanasan oven (2) karakterisasi C-dots dengan variasi waktu 15 menit, 30 menit, 45 menit, 60 menit, 90 menit, dan 120 menit menggunakan uji UV-Vis dengan hasil puncak absorbansi pada panjang gelombang masing-masing 298 nm, 209 nm, 345 nm, 306 nm, 283 nm, dan 368 nm. Selain itu, hasil karakterisasi Energi *gap* yang dihasilkan adalah 5,29915 eV; 4,32056 eV; 3,67953 eV; 4,8062 eV; 3,91167 eV; dan 3,81538 eV (3) berdasarkan perhitungan dari data yang diperoleh menghasilkan perbandingan 1 mL volume limbah cair budidaya ikan lele dapat menghasilkan 0,415 mg serbuk limbah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada penguji utama, penguji pendamping, validator, Universitas Negeri Yogyakarta, dan semua yang berperan aktif dan membantu saya pada penyelesaian penelitian ini. Sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik dan tepat waktu.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. K. (2010). Karakterisasi Nanomaterial Teori, Penerapan, dan Pengolahan Data. Bandung: CV Rezeki Putera
- Adinata, Mirsa. (2013). Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang Sebagai Karbon Aktif. Jawa Timur: FTI Kimia UPN.
- Bao, Z., *et al.* (2014). *Green Preparation of Reduced Graphene Oxide for Sensing and Energy Storage Applications*. Sci. Rep. 4 (4684), 1-8
- Correy, J.E. 1987. Metal Element in Sluge Amanded Soil. A Nine Years Study. Soil Sci. Vol. 143.No. 2. p 124-131

- Fadli, A. L. (2018). Preparasi dan Karakterisasi Nanomaterial Carbon-Dot, Carbon-Dot/Sulfur, dan Carbon-Dot/Silver Nanoparticle Berbahan Dasar Buah Namnam (*Cynometra Cauliflora L*) dengan Metode Penggorengan Berbasis Minyak. Skripsi: Universitas Negeri Yogyakarta
- Fatimah, Siti, *et al.* (2017). Sintesis dan Karakterisasi Fotoluminisens Carbon Dots Berbahan Dasar Organik dan Limbah Organik. ISSN No. 2301-4970.
- Isnaeni. (2018). *Penelitian P2F-LIPI Mengembangkan Material Karbon Dot Berpendar dari Bahan Limbah*. 55
- <http://www.fisika.lipi.go.id/fisika/news/read/peneliti-p2f-lipimengembangkan-material-karbon-dot-berpendar-dari-bahan-limbah> diakses 31 Januari 2021.
- KKP (2010). Kementerian Kelautan dan Perikanan dalam Angka. Jakarta.
- Liu, W., *et al.* (2017). *Highly Crystalline Carbon Dots from Fresh Tomato: UV Emission and Quantum Confinement*. 2017 IOP Publishing Ltd. Nanotechnology, Volume 28, Number 48
- Maslakah, Umi. (2015). Analisis Lebar Celah Pita Energi dan Ikatan Molekul Lapisan Tipis a-Si:H yang ditumbuhkan dengan Metode PECVD. Skripsi Jurusan Fisika: Institut Teknologi Sebelas Maret.
- Sari, E. K. (2019). Sintesis dan Karakterisasi *Carbon-Dots* Berbasis Minyak Zaitun Berbahan Dasar Limbah Tulang Ayam. Skripsi Universitas Negeri Yogyakarta.
- Triwardiati, Diana & Ermawati, Imas R., (2018). *Analisis Bandgap Karbon Nanodots (C-dots) Kulit Bawang Merah Menggunakan Teknik Microwave*. ISSN No. 2502-8782.
- Wu, Z.L., Liu, Z.X., Yuan, Y.H. (2017). Carbon Dots: Materials, Synthesis, Properties and Approaches to Long-Wavelength and Multicolor Emission. *J. Mater. Chem B*, 2017. 5 :3794-3809.