

Identifikasi Boraks Menggunakan *Carbon Nanodots* dari Kulit Buah Naga (*Hylocereus polyrhizus*)

Jenny Ayu Rahmawati[✉], Mahardika Prasetya Aji

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Indonesia
Gedung D7 Lt. 2, Kampus Sekaran Gunungpati, Semarang 50229

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima Februari 2021

Disetujui April 2021

Dipublikasikan April 2021

Keywords:

C-Dots, borax, Hylocereus polyrhizus, detection

Abstrak

Boraks (natrium tetraborate) merupakan salah satu bahan aditif yang berbahaya pada makanan karena bersifat toksik. Penggunaan boraks dalam makanan dilarang menurut Peraturan Menteri Kesehatan RI No 033 tahun 2012 tentang bahan tambahan pangan. Umumnya boraks dapat dideteksi secara sederhana dengan mengamati perubahan warna menggunakan serbuk kunyit. Kurkumin pada kunyit akan mendekomposisi ikatan boraks menjadi asam boraks dan mengikatnya pada kompleks warna rosa. Akan tetapi, beberapa bahan lain juga dapat dijadikan sebagai reagen untuk deteksi boraks seperti pigmen antosianin. Perubahan warna reagen dengan boraks sangat identik dengan proses pembentukan nanopartikel C-Dots dengan metode oksidasi kimia. Penelitian ini berfokus pada deteksi boraks dari emisi cahaya nanopartikel C-Dots berbahan dasar kulit buah naga yang kaya akan kandungan pigmen antosianin. Hasil reaksi divariasikan pada massa kulit buah naga 0,1 g, 0,2 g, 0,3 g, 0,4 g, 0,5 g. Hasil reaksi menunjukkan sifat fluoresensi dengan warna biru kekuningan saat diradiasi sinar UV. Fluoresensi yang dihasilkan mengindikasikan terbentuknya C-Dots. Sifat optik C-Dots dari reaksi serbuk kulit buah naga dan larutan boraks memiliki puncak absorpsi pada panjang gelombang 230 nm dan 275 nm dan puncak emisi pada 420 nm.

Abstract

Borax (sodium tetraborate) is a dangerous food additive because it is toxic. The use of borax in food is prohibited according to the Regulation of the Minister of Health of the Republic of Indonesia Number 033 of 2012 concerning Food Additives. Generally borax can be detected only by observing the color change using turmeric powder. The curcumin in turmeric will break down the borax bond into boric acid and bind it to the rose color complex. However, some other materials can also be used as reagents for borax detection such as anthocyanin pigments. The color change of the reagent with borax is identical to the process of forming C-Dots nanoparticles by chemical oxidation method. This research focuses on the detection of borax from the light emission of C-Dots nanoparticles made from dragon fruit peel which is rich in anthocyanin pigments. The reaction results varied the mass of dragon fruit peel 0.1 g, 0.2 g, 0.3 g, 0.4 g, 0.5 g. The reaction results showed fluorescence with a yellowish blue color when irradiated with UV light. The resulting fluorescence indicates the formation of C-Dots. The optical properties of C-Dots from the reaction of dragon fruit peel powder and borax solution have absorption peaks at wavelengths of 230 nm and 275 nm and emission peaks at 420 nm.

PENDAHULUAN

Dampak buruk dari penggunaan boraks dalam makanan telah lama diketahui oleh masyarakat. Namun pemahaman akan bahaya yang dapat ditimbulkan penggunaan boraks dalam makanan tidak lantas produk makanan terbebas dari bahan pengawet berbahaya ini. Hingga kini, masih banyak produk makanan ditemukan yang mengandung boraks. Hasil penelitian di kecamatan Medan Denai menunjukkan 42,85% bakso bakar terkonfirmasi boraks (Napitupulu & Abadi., 2018). Deteksi kandungan boraks di wilayah Kecamatan Pamulang, Tangerang Selatan memperoleh presentase tinggi yaitu 74% dari sampel makanan di pasar tradisional positif mengandung boraks (Rumanta et al, 2016). Sementara itu, penelitian terhadap cincau hitam di pasar tradisional Kota Padang menyentuh angka yang cukup tinggi yakni 16 dari 18 sampel cincau hitam dinyatakan positif mengandung boraks (Athaya et al, 2015).

Penyalahgunaan boraks dalam makanan didasarkan pada sifatnya yang mampu menghambat pertumbuhan jamur dan mikroorganisme sehingga produk makanan yang mengandung boraks dapat bertahan lebih lama (Hartati, 2017).

Disamping itu, penggunaan boraks membuat produk makan lebih padat, kenyal dan renyah sehingga mampu memikat konsumen (Azmi et al, 2018). Konsumsi makanan yang mengandung boraks dapat menyebabkan iritasi saluran pencernaan, kerusakan ginjal, dan bahkan dalam kadar yang sangat tinggi dapat mengakibatkan kematian (Fitri et al, 2018). Penggunaan boraks dalam bahan makanan juga sudah dilarang menurut Peraturan Menteri Kesehatan RI No 033 tahun 2012 tentang bahan tambahan pangan.

Keberadaan boraks dalam makanan sangat penting diketahui untuk mencegah konsumsi produk makanan yang membahayakan tubuh. Produk makanan yang mengandung boraks tampak tidak berbeda secara visual sehingga sangat sulit memastikan bahwa sebuah produk makanan terdapat

boraks. Cara sederhana telah sering digunakan untuk mendeteksi boraks pada produk makanan yaitu dengan mengamati perubahan warna serbuk kunyit. Pigmen kurkumin dalam kunyit sangat peka terhadap cahaya, suhu, dan tingkat keasaman sehingga mampu cepat bereaksi dengan asam borat dalam boraks (Astuti et al, 2017). Kurkumin pada kunyit dapat mendekomposisi ikatan boraks menjadi asam boraks dan mengikatnya ke dalam kompleks warna rosa atau disebut senyawa boron cyanocurcumin kompleks yang merupakan warna merah (Rahman, 2019). Disamping serbuk kunyit, beragam jenis bahan telah digunakan sebagai reagen untuk deteksi boraks yaitu ekstrak dari bahan organik yang mengandung pigmen antosianin tinggi seperti pada buah dan kulit buah naga (Freyre dan Quesenberry, 2015; Oktarni et al, 2016).

Proses perubahan warna reagen akibat reaksi dengan boraks sangat identik dengan proses pembentukan nanopartikel Carbon Dots (C-Dots) dengan metode oksidasi kimia. Partikel C-Dots terbentuk dari reaksi bahan organik dengan oksidan kimia seperti asam nitrat (HNO_3), asam fosfat (H_2PO_4), dan asam sulfat (H_2SO_4) (Zulfajri et al, 2020). Akibat reaksi dengan larutan asam, rantai-rantai karbon penyusun pigmen dalam bahan organik mengalami pemutusan rantai ikatan karbon, penyusunan ulang rantai ikatan karbon, dan pembentukan partikel-partikel karbon dengan ukuran yang sangat kecil dalam orde nanometer (C-Dots) (Wisniak, 2005). Jenis material baru dari keluarga karbon ini memiliki sifat khas berupa memancarkan emisi cahaya (luminesensi) saat diradiasi sinar UV. Berdasar kemampuan C-Dots memancarkan emisi cahaya, C-Dots telah digunakan sebagai bahan biosensing untuk *Escherichia coli*, Carcinoembryonic antigen, D-penicillamine dan lain-lain (Liu et al, 2017; Idris et al, 2019).

Partikel C-Dots berpotensi terbentuk dari reaksi bahan organik dengan boraks. Potensi terbentuknya partikel C-Dots menjadi indikator baru untuk mengidentifikasi boraks dalam produk makanan. Penelitian ini berfokus pada deteksi bahan berbahaya boraks dengan pengamatan emisi cahaya dari nanopartikel C-Dots dengan bahan dasar kulit buah naga. Ukuran partikel C-Dots yang sangat kecil dan

memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap sinar UV diharapkan mampu mengidentifikasi boraks.

METODE PENELITIAN

Langkah pertama yang dilakukan yaitu membuat serbuk kulit buah naga. Kulit buah naga yang digunakan diambil secara acak. Mekanisme pembuatan serbuk kulit buah naga meliputi beberapa tahap yaitu memotong kulit buah naga menjadi potongan kecil, menjemur kulit buah naga di bawah terik matahari, menghancurkan kulit buah naga menggunakan blender kering hingga menjadi serbuk halus. Variasi massa yang digunakan adalah 0,1 gram; 0,2 gram; 0,3 gram; 0,4 gram; dan 0,5 gram.

Langkah kedua yaitu sintesis boraks. Boraks yang digunakan dalam penelitian ini berupa butiran kasar. Pembuatan larutan boraks terdiri dari beberapa tahapan yaitu menimbang boraks 0,1 gram dan melarutkan ke dalam 20 ml aquades. Larutan diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 10 menit dan disaring menggunakan kertas saring halus. Konsentrasi boraks yang didapatkan sebesar 0,5 M.

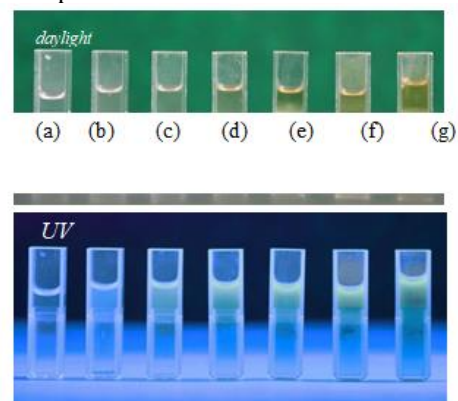
Langkah yang ketiga yaitu karakterisasi terbentuknya C-Dots dari Hasil Reaksi. C-Dots yang terbentuk dari hasil reaksi antara serbuk kulit buah naga dan larutan boraks dianalisis sifat optik (absorpsi), fotoluminesensi, dan strukturnya. Uji awal terbentuknya C-Dots dideteksi dengan menggunakan radiasi sinar UV. Jika sampel mengalami fluoresensi (berpendar), maka diasumsikan terbentuk partikel C-Dots.

Karakterisasi UV-Vis digunakan untuk mengetahui interaksi antara materi dengan cahaya pada panjang gelombang ultraviolet sampai visible light (cahaya tampak). Karakterisasi sifat optik lain yaitu karakterisasi photoluminescence (PL) menggunakan alat Cary Eclipse Spectrofluorometer MY14440002. Struktur C-Dots yang terbentuk dianalisis menggunakan Fourier Transform Infrared (FTIR) PerkinElmer Spectrum Version 10.03.06.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil reaksi larutan boraks dan serbuk kulit buah naga dengan variasi massa ditunjukkan pada Gambar 1. Larutan boraks

yang diberi serbuk kulit buah naga mengalami perubahan warna. Hal ini menunjukkan bahwa larutan boraks dan serbuk kulit buah naga mengalami reaksi. Beberapa indikasi terjadi proses reaksi secara kimia antara dua larutan yaitu dihasilkannya panas, timbul gelembung, perubahan warna, atau dihasilkannya endapan (Zulfajri et al., 2020). Perubahan warna akibat reaksi asam borik dalam boraks dan pigmen antosianin yang terdapat dalam kulit buah naga terdapat dalam Gambar 1.



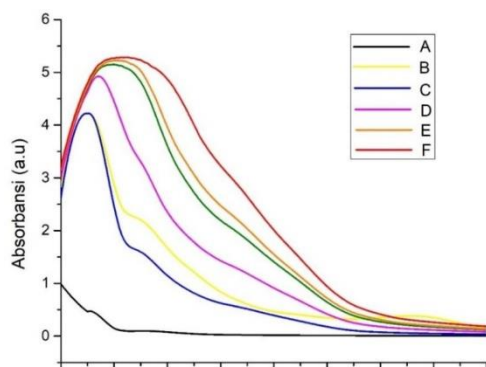
Gambar 1. Irradiasi daylight (atas) dan sinar UV (bawah) untuk sampel : (a) larutan boraks 0,5 M, (b) larutan serbuk kulit buah naga 0,1 g; larutan boraks 0,5 M dengan serbuk kulit buah naga : (c) 0,1 g, (d) 0,2 g, (e) 0,3 g, (f) 0,4 g, dan (g) 0,5 g.

Antosianin dalam kulit buah naga tersusun dari ikatan terkonjugasi, yaitu susunan rantai-rantai karbon dengan ikatan rangkap dan tunggal saling bergantian. Ikatan karbon rangkap sebagai ikatan π mudah putus akibat pengaruh panas atau pemberian asam (Ingrath et al., 2015). Perubahan warna pada Gambar 4.1 mengindikasikan terdapat reaksi asam borik dalam larutan boraks dengan pigmen antosianin dalam serbuk kulit buah naga. Proses reaksi ini menyebabkan putusnya ikatan rantai-rantai karbon rangkap dan mengalami penyusunan ulang hingga membentuk susunan baru. Hasil reaksi ini berpotensi membentuk partikel-partikel karbon seperti C-Dots.

Pancaran emisi dari larutan boraks dengan serbuk kulit buah naga teramati saat larutan campuran ini diirradiasi sinar UV, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1. Sedangkan larutan boraks 0,5 M dan serbuk

kulit buah naga 0,1 g tidak memancarkan emisi walaupun diirradiasi sinar UV. Hasil ini menunjukkan bahwa partikel-partikel C-Dots terbentuk dari reaksi larutan boraks dan serbuk kulit buah naga.

Sifat absorpsi C-Dots dari reaksi serbuk kulit buah naga dan larutan boraks telah diuji menggunakan spektrofotometer Shimadzu UV 2600 yang didispersikan menggunakan aquades. Aquades digunakan sebagai pendispersi karena memiliki sifat yang polar. Kepolaran tersebut disebabkan karena elektronegativitas oksigen yang tinggi sehingga menjadikan aquades mudah mengikat molekul lain yang didispersikan. Pelarut polar juga memberikan efek yang kuat terhadap gugus permukaan C-Dots yang berhubungan dengan emisi cahaya C-Dots yang dihasilkan (Papaioannou et al, 2018). Hasil pengukuran spektrum absorpsi C-Dots dari reaksi ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Spektrum Absorbansi untuk sampel: (A) larutan boraks 0,5 M, (B) larutan serbuk kulit buah naga 0,1 g; larutan boraks 0,5 M dengan serbuk kulit buah naga : (C) 0,1 g, (D) 0,2 g, (E) 0,3 g, (F) 0,4 g, dan (G) 0,5 g.

Gambar 2 menunjukkan bahwa spektrum absorpsi C-Dots dari reaksi serbuk dan larutan boraks berada pada rentang panjang gelombang 200-325 nm. Spektrum absorpsi pada C-Dots dari bahan organik biasanya menunjukkan absorpsi yang kuat di daerah ultraviolet yaitu pada rentang panjang gelombang 280-360 nm dengan ekor (tail) yang

meluas di daerah cahaya tampak (Zulfajri et al, 2020).

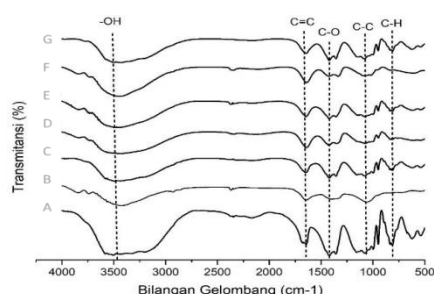
Hasil analisis spektrum absorpsi dengan massa yang divariasikan menunjukkan peningkatan seiring penambahan massa serbuk. Peningkatan cenderung kecil pada kenaikan massa 0,3-0,5 gram dan mengalami pelebaran spektrum absorpsi pada rentang panjang gelombang 350-450 nm. Pelebaran spektrum absorpsi terjadi akibat transisi elektronik dan vibrasi elektron ikatan dalam molekul (Suhartati, 2017).

Puncak spektrum absorpsi C-Dots dari serbuk kulit buah naga dan larutan boraks terletak pada panjang gelombang 230 nm dan 275 nm. Keberadaan puncak tersebut menunjukkan adanya transisi elektron pada C-Dots dari reaksi antara serbuk kulit buah naga dan larutan boraks. Absorpsi radiasi elektromagnetik dalam daerah UV dan cahaya tampak oleh sebuah molekul menyebabkan adanya transisi elektronik yakni elektron berpindah dari level energi rendah ke level energi tinggi. Transisi elektron pada C-Dots dijelaskan melalui perpindahan elektron pada keadaan orbital yang terisi penuh oleh elektron High Occupied Molecular Orbital (HOMO) menuju keadaan orbital yang kosong Lowest Unoccupied Molecular Orbital (LUMO) (Niu et al., 2014). Puncak pada 230 nm mengindikasikan adanya transisi elektron $\pi-\pi^*$ dari ikatan C=C aromatik dan ikatan C-C yang berhubungan dengan inti C-Dots (Ansi & Renuka, 2018). Sementara itu, puncak pada 275 nm berhubungan dengan transisi $\pi-\pi^*$ dari C=C dan transisi $n-\pi^*$ dari ikatan C=O yang berhubungan dengan permukaan C-Dots (Pires et al., 2015).

Sifat fluoresensi C-Dots dari reaksi kulit buah naga dan larutan boraks diukur dengan menggunakan spektrofotometer Cary Eclipse Spectrofluorometer MY14440002. Panjang gelombang yang digunakan untuk mengeksitasi yaitu 365 nm. Hasil pengukuran spektrum fluoresensi C-Dots dari hasil reaksi ditunjukkan pada Gambar 3.

Fluoresensi adalah proses pemancaran radiasi oleh suatu materi setelah tereksitasi oleh berkas cahaya berenergi tinggi. Emisi cahaya terjadi karena proses absorpsi cahaya oleh atom

yang mengakibatkan keadaan atom tereksitasi. Perpindahan yang dihasilkan dari senyawa yang diradiasi sinar UV disebut fotoluminesensi (Retno, 2013). Peristiwa fotoluminesensi merupakan sifat khas yang dimiliki partikel C-Dots (Nelson et al, 2016). Pancaran emisi dari larutan boraks dengan serbuk kulit buah naga dipengaruhi oleh massa serbuk.



Gambar 3. Spektrum fluoresensi hasil reaksi larutan boraks dan massa kulit buah naga yang divariasi.

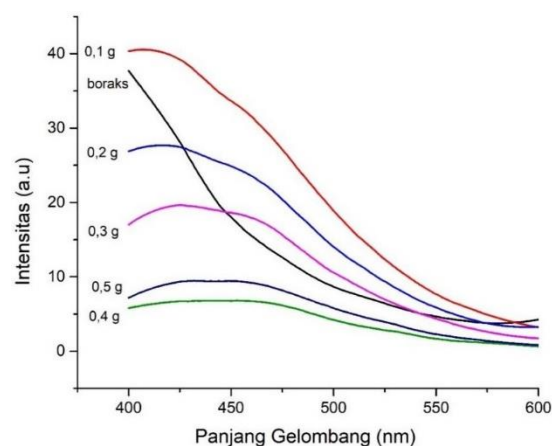
Gambar 3 memperlihatkan bahwa spektrum fluoresensi C-Dots dari reaksi kulit buah naga dan larutan boraks pada rentang panjang gelombang 400 nm hingga 650 nm. C-Dots pada umumnya mengemisikan cahaya pada rentang panjang gelombang 350–650 nm (Pires et al., 2015). Reaksi kulit buah naga dan larutan boraks yang membentuk C-Dots menunjukkan puncak fluoresensi pada 420nm.

Pada hasil analisis sifat absorpsi, hasil reaksi serbuk dan larutan boraks yang menghasilkan C-Dots memiliki transisi elektronik dari $\pi-\pi^*$ dan $n-\pi^*$. Mekanisme fluoresensi C-Dots diprediksi akibat adanya transisi elektron radiatif pada orbital.

Elektron dari keadaan dasar π dan n HOMO pindah menuju keadaan tereksitasi LUMO π^* karena mendapat energi dari luar yaitu energi yang berasal dari sinar UV. Pada keadaan tereksitasi, elektron tidak stabil kemudian kembali menuju keadaan dasar dengan memancarkan foton pada panjang gelombang cahaya tampak. Intensitas fluoresensi ditentukan oleh jumlah elektron pada level energi tertinggi di keadaan dasar dan tereksitasi tinggi (Aji et al., 2017). Emisi fluoresensi suatu material dipengaruhi oleh

metode sintesis, bahan dasar pembuatan, dopping dan modifikasi kimia, efek solvatochromic, serta transfer energi (Wu et al., 2017).

Struktur C-Dots dari reaksi serbuk kulit buah naga dan larutan diidentifikasi menggunakan spektrofotometer FTIR PerkinElmer Spectrum Version 10.03.06. C-Dots dideskripsikan sebagai inti karbon yang memiliki gugus fungsi pada permukaannya (Park et al., 2016). Oleh karena itu, diperlukan analisis FTIR untuk mengetahui struktur gugus fungsi yang terdapat dalam C-Dots dari reaksi serbuk kulit buah naga dan larutan boraks. Hasil karakterisasi FTIR C-Dots dari hasil reaksi tersebut pada variasi konsentrasi dan massa ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Spektrum FTIR untuk sampel: (A) larutan boraks 0,5 M, (B) larutan serbuk kulit buah naga 0,1 g; larutan boraks 0,5 M dengan serbuk kulit buah naga : (C) 0,1 g, (D) 0,2 g, (E) 0,3 g, (F) 0,4 g, dan (G) 0,5g.

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa hasil karakterisasi FTIR sebelum dan sesudah reaksi memiliki perbedaan struktur molekuler.

Secara umum, elemen utama C-Dots yang berasal dari tanaman adalah atom C, O, H, dan N. Sumber utama karbon berasal dari asam sitrat, asam amino, asam askorbat, polisakarida, karbohidrat, protein, dan beberapa molekul kecil lain (Chu et al., 2019). Ikatan kimia yang

terbentuk pada C- Dots yang berasal dari bahan organik adalah -OH, C-H, C-O, C=C. Ikatan kimia ini bisa terlihat pada pita bilangan gelombang 3427 cm⁻¹, 760 cm⁻¹, 1620 cm⁻¹, dan 1400 cm⁻¹. C-Dots yang berasal dari bahan organik umumnya juga memiliki ikatan C-C, C- N, C-O, dan N-H (Meng et al., 2019).

Selama proses reaksi, ikatan-ikatan rantai karbon akan terurai membentuk C- Dots di bawah ukuran 20 nm. Ikatan rantai karbon yang terurai dan tersusun ulang akan mengikat atom-atom seperti oksigen, hidrogen, dan gugus fungsi lain. Ikatan karbon mengikat oksigen dari lingkungan dan menghasilkan gugus fungsi karbonil C=O yang ditunjukkan pada 1420 cm⁻¹. Gugus fungsi -OH yang ditunjukkan pada 3430 cm⁻¹ menunjukkan aquades sebagai pendispersi C-Dots. Keberadaan ikatan C=C yang berada pada 1400 cm⁻¹ didukung oleh hasil spektrum absorpsi sebelumnya, yaitu puncak serapan 230 nm. Sementara itu ikatan C-O yang berada pada 1620 cm⁻¹ didukung oleh hasil spektrum absorpsi pada puncak serapan 320 nm.

Keberadaan gugus fungsi -C-O-, -C=O-, -C-C-, dan -C=C- pada C-Dots dari reaksi serbuk dan larutan boraks menyatakan bahwa partikel C-Dots sudah terbentuk dan sangat berkaitan dengan struktur permukaan C-Dots (Meng et al., 2019). Struktur permukaan C-Dots mempengaruhi mekanisme fluoresensinya. Gugus fungsi pada permukaan C-Dots dapat menjebak eksiton sehingga emisi yang dipancarkan C-Dots menjadi lemah (Bao et al., 2011). Dari Gambar 4.5 terlihat bahwa perubahan struktur terjadi ketika serbuk kulit buah naga direaksikan dengan larutan boraks. Hal ini menunjukkan bahwa proses reaksi dapat menguraikan ikatan molekul-molekul di dalamnya sehingga membentuk C-Dots.

Partikel C-Dots yang terbentuk akibat reaksi larutan boraks dengan serbuk kulit buah naga bersesuaian dengan hasil yang diperoleh oleh (Tafreshi, et al, 2020) dan (V Roshni et al, 2019). Partikel C-Dots dengan ukuran 30 nm terbentuk dari reaksi asam pada buah anggur dengan senyawa etilendiamin dan 40 nm dari reaksi dengan buah lemon (Fini et al, 2016). Dengan demikian, partikel C-Dots yang terbentuk akibat reaksi asam borik dari boraks dengan serbuk kulit buah naga secara tidak

langsung dapat menjadi sebuah indikator sederhana untuk mendeteksi keberadaan bahan aditif yang sangat beracun ini.

SIMPULAN

Proses reaksi antara serbuk kulit buah naga dan larutan boraks membentuk nanopartikel karbon dan fluoresensi C-Dots dari reaksi antara kulit buah naga dan larutan boraks merupakan indikasi adanya boraks. Sifat optik C-Dots dari reaksi serbuk kulit buah naga dan larutan boraks memiliki puncak absorpsi pada panjang gelombang 230 nm dan 275 nm dan puncak emisi pada 420 nm. Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, hasil studi ini dapat dikembangkan sebagai pendeteksi makanan yang mengandung boraks.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, M. P., Susanto, Wiguna, P. A., & Sulhadi. (2017). Facile synthesis of luminescent carbon dots from mangosteen peel by pyrolysis method. *Journal of Theoretical and Applied Physics*, 11(2),119-126. <https://doi.org/10.1186/s40201-014-0133-3>
- Ansi, V. A., N. K. Renuka. (2018). Table Sugar Derived Carbon dot- A Naked Eye Sensor for Toxic Pb²⁺ Ions. *Journal Elsevier Sensor and Actuators B: Chemical*, 264, 67-75. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2018.02.167>
- Astuti, E. D., Widagdo S. N. (2017). Kemampuan Reagen Curcuma Mendeteksi Boraks dalam Bakso yang Direbus. *Jurnal Sain Veteriner*, 35 (1).
- Athaya, R. Z., Elmatris, Husnil K. (2015). Identifikasi Boraks Pada Cincau Hitam yang Diproduksi Beberapa Produsen Cincau Hitam di Kota Padang. *Jurnal Kesehatan Andalas*, 3 (1).
- Azmi, A. R., Machdawaty M, Rosfita R. (2018). Uji Kualitatif Boraks Pada Beberapa Produk Kerupuk Ikan Yang Dijual di Kota Padang

- Tahun 2018. Jurnal Kesehatan Andalas, 7 (4).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230646>
- Bao, et al. (2011). Electrochemical tuning of luminescent carbon nanodots: From preparation to luminescence mechanism. *Advanced Materials*, 23(48), 5801– 5806.
- Chu K-W., Sher L. L., Chi-Jung C., Lingyun L. (2019). Recent Progress of Carbon Dot Precursors and Photocatalysis Applications. *Polymers*, 11(4). 619.
<http://dx.doi.org/10.3390/polym11040689>
- Feng Y., Zhong D., Hong M., Xiaoming Y. (2015). Carbon Dots Derived from Rose Flowers for Tetracycline Sensing. *Journal Talanta*, 140. 128-133.
<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.03.038>
- Fini, S. A. F., Niasari, M. S., Ghanbari, D. (2018). Hydrothermal Green Synthesis of Magnetic Fe₃O₄ Carbon Dots by Lemon and Grape Fruit Extracts and as A Photoluminescence Sensor for Detecting of E-Coli Bacteria. *Spectrochimica Acta*.
<https://doi.org/10.1016/j.saa.2018.06.02>
- Park, Y., Yoo, J., Lim, B., Kwon, W., & Rhee, S. W. (2016). Improving the functionality of carbon nanodots: Doping and surface functionalization. *Journal of Materials Chemistry A*, 4(30), 11582–11603.
<https://doi.org/10.1039/c6ta04813g>
- Pires, N. R., Santos, C. M. W., Sousa, R. R., de Paula, R. C. M., Cunha, P. L. R., & Feitosa, J. P. A. (2015). Novel and fast microwave-assisted synthesis of carbon quantum dots from raw cashew gum. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 26(6), 1274–1282.
<https://doi.org/10.5935/01035053.20150094>
- Tafreshi, F. A., Fatahi Z., Ghasemi, S. F., Taherian, A., Efsaniari, N. (2020). Ultrasensitive Fluorescent Detection of Pesticides in Real Sample by Using Green Carbon Dots. *PLOS ONE*.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230646>
- V, Roshni., Misra S., Santra, M. K., Ottoor, D. (2019). One Pot Green Synthesis of C- Dots from Grandnuts and Its Application as Cr (VI) Sensor and In Vitro Bioimaging Agent. *Journal of Photochemistry & Photobiology A: Chemistry* 373, 28-36.
<https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2018.12.028>
- Meng, W., Xue B., Boyang W., Zhongyi L., Siyu L. (2019). Biomass-Derived Carbon Dots and Their Applications. *Energy and Environmental Materials Wiley*, 1-21.
<https://doi.org/10.1002/eem2.12038>
- Wang Y., Aigou H. (2014). Carbon Quantum Dots: Synthesis, Properties and Applications. *Journal of Materials Chemistry C*, 34.
<https://doi.org/10.1039/C4TC00988F>
- Wang, R., Lu, K.-Q., Tang, Z.-R., & Xu, Y.-J. (2017). Recent progress in carbon quantum dots: synthesis, properties and applications in photocatalysis. *J. Mater. Chem. A*, 5(8), 3717–3734.
<https://doi.org/10.1039/C6TA08660H>
- Wu, Z. L., Liu, Z. X., & Yuan, Y. H. (2017). Carbon dots: Materials, synthesis, properties and approaches to long-wavelength and multicolor emission. *Journal of Materials Chemistry B*, 5(21), 3794–3809.
<https://doi.org/10.1039/c7tb00363c>
- Zhang, Q., Xiaofeng S., Hong R., Keyang Y., Hongguang L. (2017). Production of Yellow-Emitting Carbon Quantum Dots from Fullerene Carbon Soot. *Journal Springer: Science China Materials*, 60(2), 141-150
[10.1007/s40843-016-5160-9](https://doi.org/10.1007/s40843-016-5160-9)
- Zhu, S., Meng, Q., Wang, L., Zhang, J., Song, Y., Jin, H., ... Yang, B. (2013). Highly photoluminescent carbon dots for multicolor patterning, sensors, and bioimaging. *Angewandte Chemie - International Edition*, 52(14), 3953–3957.
<https://doi.org/10.1002/anie.201300519>

Zulfajri, Muhammad., Hani N.A., Sri S., Sandhiya D., Akhtar R., Ahsan H., Genin G.H. (2020). Plant Part-Derived Carbon Dots for Biosensing. Journal Biosensors, 10 (6). <https://dx.doi.org/10.3390%2Fbios10060068>