

Smart Biosensor Based on The Copper Nanoparticles with Dragon Fruit Peel Reductant as Formalin Detector in Food Samples

Smart Biosensor Berbasis Nanopartikel Tembaga dengan Reduktor Kulit Buah Naga sebagai Pendeteksi Formalin pada Sampel Makanan

Ani Qomariyah*, Adhinda Fisabilla, Nur Lailatul Hanifa, Okta Nata Kusuma

*Program Studi D-IV Teknologi Laboratorium Medik, STIKES Banyuwangi,
Jl. Letkol Istiqlah No. 109 Banyuwangi, Jawa Timur, Indonesia*

*Corresponding author: ani.qomariyah@stikesbanyuwangi.ac.id

Diterima: 26 Agustus 2024, Direvisi: 5 November 2024, Diterbitkan: 09 Desember 2024

ABSTRACT

Green chemistry technique was conducted for the first time to synthesize copper nanoparticles (Cu-NP) using CuSO₄ as precursor and red dragon fruit peel extract as reducing agent which was then applied as formalin sensor. The extraction procedure of red dragon fruit peel was carried out by maceration technique with methanol solvent. Cu-NPs were produced through green chemistry by reduction method. Compounds in red dragon fruit peel extract reduce Cu²⁺ to Cu⁰. The successfully synthesized Cu-NPs were analyzed using FT-IR and UV-Visible Spectrophotometer. Identification of functional groups with FTIR showed a shift in wave number between pure CuSO₄ precursor and Cu-NPs, indicating the interaction of functional groups. Based on 15 samples tested for formaldehyde levels, there were two samples with levels above the threshold, namely meatball 2 with an average formaldehyde level of 13.77 ± 0.25 ppm packaged without a "Halal" label and tofu 3 with a formaldehyde level of 4.18 ± 0.99 ppm packaged without a "Halal" label.

Keywords: nanoparticle, copper, sensing, formaldehyde, dragon fruit peel

ABSTRAK

Teknik *green chemistry* dilakukan untuk pertama kalinya untuk mensintesis nanopartikel tembaga (Cu-NP) dengan menggunakan CuSO₄ sebagai prekursor dan ekstrak kulit buah naga merah sebagai agen pereduksi yang kemudian diaplikasikan sebagai sensor formalin. Prosedur ekstraksi kulit buah naga merah dilakukan dengan teknik maserasi dengan pelarut metanol. Cu-NP diproduksi melalui green chemistry dengan metode reduksi. Senyawa dalam ekstrak kulit buah naga merah mereduksi Cu²⁺ menjadi Cu. Cu-NP yang berhasil disintesis dianalisis dengan menggunakan FT-IR dan Spektrofotometer UV-Visibel. Identifikasi gugus fungsi dengan FTIR menunjukkan adanya pergeseran bilangan gelombang antara prekursor CuSO₄ murni dan Cu-NP, yang menunjukkan adanya interaksi gugus fungsi. Berdasarkan 15 sampel yang diuji kadar formalinnya, terdapat dua sampel yang kadarnya di atas ambang batas, yaitu bakso 2 dengan kadar formalin rata-rata 13,77 ± 0,25 ppm yang dikemas tanpa label "Halal" dan tahu 3 dengan kadar formalin 4,18 ± 0,99 ppm yang dikemas tanpa label "Halal".

Kata kunci: nanopartikel, tembaga, sensor, formalin, kulit buah naga

PENDAHULUAN

Makanan pada umumnya tidak awet untuk disimpan, utamanya bahan pangan yang mempunyai kadar air yang relatif tinggi. Penyimpanan makanan yang relatif sebentar tentu merugikan pihak produsen atau pelaku industri pangan (Fappiano et al., 2022). Kondisi ini mendorong para pelaku industri kecil dan menengah dan industri rumah tangga untuk menambahkan bahan pengawet. Salah satu bahan tambahan yang sering dicampurkan ke dalam makanan adalah berupa formalin (Moznuzzaman et al., 2021). Bahaya paparan formalin dalam jangka waktu pendek apabila tertelan yaitu dapat menyebabkan tenggorokan, mulut dan lambung berasa seperti terbakar, muntah, mual, sulit bernafas, sakit perut parah, dan diare, hipotensi, stupor, sakit kepala, vertigo, kejang sampai pingsan serta perubahan degeneratif dari jantung, hati, otak, pankreas, gangguan limfa, susunan saraf pusat, hematuria, ginjal dalam albuminuria, anuria dan asidosis dapat terjadi (Justo Alonso et al., 2022). Pada Peraturan Menteri Kesehatan Tahun 2012 No.033 telah menyatakan bahwa formalin dilarang sebagai bahan tambahan pangan. Dengan demikian, makanan yang mengandung formalin penting untuk diwaspadai.

Berbagai cara untuk mendeteksi keberadaan formalin pada makanan telah banyak dikembangkan. Deteksi kandungan formalin secara kualitatif dapat dilakukan menggunakan kalium permanganat (KMnO_4) dan kulit buah naga dengan mengamati perubahan warna dari ungu menjadi tidak berwarna setelah bereaksi dengan sampel (Haruna et al., 2022). Selain itu, ekstrak bunga kencana (*Reullia simplex*) dikembangkan untuk deteksi formalin dengan melihat perubahan warna menjadi coklat kemerahan ketika positif mengandung formalin (Elmosallamy et al., 2021). Metode deteksi formalin secara kuantitatif juga banyak dikembangkan, seperti metode Spektrofotometri UV-Visibel yang dikembangkan oleh Some et al., (2021). Namun, metode tersebut memiliki kelemahan yaitu tidak didapatkan hasil yang akurat dan membutuhkan waktu yang lama untuk analisisnya. Oleh karena itu, perlu adanya pengembangan metode yang sederhana, murah, kuantitatif, serta efektif untuk mendeteksi keberadaan formalin dalam makanan.

Akhir-akhir ini, nanopartikel mendapatkan perhatian yang lebih dalam berbagai aplikasi. Nanopartikel merupakan suatu partikel yang berukuran nano yaitu sekitar 1-100 nm (Moznuzzaman et al., 2020). Aplikasi nanopartikel dalam kehidupan manusia seperti pada bidang

lingkungan (Al-Radadi and Abu-Dief, 2022), biomedis (Alam et al., 2023), antimikroba (Neglo et al., 2021), sensor (Putri et al., 2023), katalisis (Rajamma et al., 2020), elektronika (Bouafia et al., 2020), pertanian (Al-Radadi and Abu-Dief, 2022) dan pada bidang lainnya. Berbagai macam nanopartikel untuk sensor formalin yang telah digunakan yaitu nanopartikel oksida tembaga (NP CuO/Cu₂O) (Alam et al., 2023), mikro-oktahedron ZnO rakitan nanopartikel (Román et al., 2020), dan nanosheet SnO₂ dua dimensi (2D) (Chairunnisak et al., 2023) dan nanopartikel Au satu dimensi (0D) (Ambaye et al., 2021). Nanopartikel yang telah digunakan untuk sensor formalin tersebut walaupun sensitif tetapi membutuhkan biaya mahal. Oleh karena itu, perlu dikembangkan metode deteksi formalin yang sederhana, berbiaya rendah, serta stabil, salah satunya yaitu dengan nanopartikel tembaga.

Material nanopartikel dapat disintesis melalui sintesis dengan menggunakan bahan kimia, tetapi metode ini dapat menimbulkan limbah kimia dan membahayakan bagi kelangsungan kehidupan. Oleh karena itu, proses sintesis nanopartikel tembaga dapat menggunakan tumbuhan sebagai agen pereduksi, yaitu dengan menggunakan metode biosintesis (Haruna et al., 2022). Persyaratan dalam

menentukan bioreduktor yang sesuai yaitu adanya gugus -OH yang berikatan dengan atom C sekunder yang mampu mereduksi Cu(II) membentuk Cu(0) dan senyawa yang memiliki gugus -OH akan teroksidasi. Berbagai macam bioreduktor alami untuk mensintesis nanopartikel tembaga telah digunakan diantaranya dengan memanfaatkan ekstrak bunga cengkeh (Neglo et al., 2021), daun Ketapang (Putri et al., 2023), ekstrak limbah kulit buah pinang (Elmosallamy et al., 2021). Meskipun penelitian tersebut menggunakan bahan baku sintesis dari bahan alami yang ramah lingkungan, namun tidak mendapatkan bioreduktor yang praktis dan akurat. Untuk itu, pemanfaatan bahan alami untuk bioreduktor nanopartikel tembaga yang menghasilkan kualitas yang bagus masih terus dikembangkan.

Salah satu tumbuhan yang kandungan bahan reduktornya cukup besar adalah buah naga merah (*Hylocereus costaricensis*). Buah naga merah mengandung antioksidan yang tergolong tinggi. Umumnya yang digunakan dari buah naga yaitu hanya buahnya saja dan kulitnya dibuang. Namun berdasarkan riset yang dijalankan Justo Alonso et al. (2022), kulit buah naga merah sangat kaya akan sumber antioksidan berupa tanin, vitamin C, steroid, flavanoid, alkaloid, dan saponin. Jadi, kulit buah naga potensial untuk

dimanfaatkan sebagai bioreduktor dalam biosintesis nanopartikel tembaga.

Hasil panen buah naga di Kabupaten Banyuwangi tercatat 28.819 ton pada tahun 2014 dengan luas lahan 1.152 hektar (BPS Kabupaten Banyuwangi). Hasil tersebut mengalami peningkatan apabila dibandingkan dengan tahun 2013 yang hanya mencapai 16.631 ton dengan luas lahan 678 hektar. Pusat penghasil buah naga di Banyuwangi berada di Kecamatan Tegaldlimo, Bangorejo, Siliragung, Pesanggaran, dan Purwoharjo. Bangorejo berkontribusi 39% dari total produksi buah naga di Banyuwangi atau ekuivalen dengan 11.000 ton per hektar pada tahun 2013 dengan luas lahan 449 hektar (Cao et al., 2021). Dengan melimpahnya tanaman buah naga di Banyuwangi, maka limbah kulit buah naga yang dihasilkan juga melimpah.

Dalam penelitian ini, telah dilakukan sintesis CuNP menggunakan bioreduktor limbah kulit buah naga. CuNP yang berhasil disintesis telah dianalisis menggunakan *Fourier-Transform Infra Red* (FT-IR) dan Spektrofotometer UV-Visibel. Smart biosensor CuNP kemudian diaplikasikan sebagai pendeteksi adanya kandungan formalin pada sampel makanan.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat

Peralatan yang digunakan dalam riset ini yaitu *Particle Size Analyzer* (PSA) (Shimadzu type SALD-7500nano), *Scanning Electron Microscope* (SEM) (Hitachi FLEXSEM 100), *Fourier Transform-Infra Red Spectroscopy* (FT-IR) (Shimadzu IRPrestige21), Spektrofotometer UV-Visible Genesys 10S, oven (Nabertherm KTR 4500), *centrifuge* (Hitachi), pengaduk magnetik, lumpang dan alu, serta peralatan gelas.

Bahan

Adapun bahan-bahan yang diperlukan dalam riset ini yaitu limbah buah naga (*Hylocereus polyrhizus*) yang berasal dari limbah pedagang jus buah di Kabupaten Banyuwangi Jawa Timur, Aquademin/Aquademineralisata, CuSO₄ (Merck), Natrium Sitrat (Merck), Tricarboxylic acid/ TCA (Merck), Natrium Hidroksida (NaOH) 1 M (Merck), Asam Klorida (HCl) (Merck), Formalin Standar (Merck), Asetonitril (Merck), aquades, reagen Dragendorff, reagen Mayer, kertas pH universal, dan kertas saring Whatman-41.

Ekstraksi Kulit Buah Naga dan Tes Metabolit Sekunder

Kulit buah naga yang sudah matang atau berwarna merah segar dicuci bersih

dan ditimbang sebanyak 20 gram. Kemudian, dimasukkan ke dalam gelas kimia 150 mL dan ditambahkan aquades sebanyak 100 mL lalu dipanaskan selama 15 menit pada suhu 80 °C. Kemudian disaring dan ditutup dengan aluminium foil.

Tes Flavonoid: Satu mL ekstrak diambil dengan bubuk magnesium secukupnya dan 10 tetes asam klorida pekat. Keberadaan flavonoid diwakili oleh adanya zat berwarna kuning, hitam kemerahan, atau oranye (Haruna et al., 2022).

Tes Saponin: Uji saponin dilakukan dengan mengencerkan sampel dalam air suling kemudian dihangatkan selama 15 menit dan kemudian dikocok selama 10 detik. Jika dihasilkan buih yang stabil selama kurang lebih 10 menit dan tidak hilang ketika beberapa tetes asam klorida 2 N dituangkan, maka sampel tersebut positif mengandung saponin (Haruna et al., 2022).

Tes Alkaloid: Satu mL ekstrak ditambahkan ke dalam 2 mL HCl 2 N dan dikocok. Campuran tersebut kemudian dibagi ke dalam 2 tabung yang berbeda. Satu tetes pereaksi Dragendorff diteteskan pada tabung pertama, dan satu tetes pereaksi Mayer diteteskan pada tabung kedua. Keberadaan senyawa alkaloid ditandai dengan terbentuknya endapan kuning pada penambahan pereaksi Mayer

dan terbentuknya endapan merah pada penambahan pereaksi Dragendorff.

Sintesis Nanopartikel Tembaga dengan Ekstrak Kulit Buah Naga

Dalam penelitian ini, tiga campuran disiapkan, masing-masing berisi 38 mL air suling dan 0,03 M CuSO₄ dengan rasio volume 1:1. Kemudian, campuran tersebut diaduk hingga merata. Selanjutnya, 4 mL ekstrak buah naga merah ditambahkan ke dalam larutan sebagai agen pereduksi. Setiap larutan dikondisikan pada nilai pH = 6. Campuran tersebut diaduk selama 15 menit dalam wadah yang berisi es batu. Absorbansi kemudian diukur dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Visible dengan panjang gelombang 400-800 nm. Absorbansi tertinggi digunakan untuk menentukan pH maksimum (Qomariyah, 2024).

Karakterisasi Nanopartikel Cu

Hasil terbaik dari sintesis Cu-NP kemudian dikarakterisasi menggunakan Spektroskopi *Fourier Transform-Infra Red* (FT-IR) dan Spektrofotometer UV-Visibel.

Validasi Metode Analisis Formalin dengan Sensor Cu-NP

Pertama, dibuat serangkaian larutan standar formalin 0,1 ppm, 1 ppm, 5 ppm, 10

ppm, 20 ppm, 30 ppm, dan 40 ppm. Larutan standar formalin dipipet sebanyak 2 mL dan dimasukkan ke dalam Erlenmeyer 25 mL, kemudian ditambahkan nanopartikel tembaga dengan volume 3 mL lalu dikocok perlahan (Moznuzzaman et al., 2020). Kemudian, perubahan warna yang terjadi diamati dan dianalisis dengan spektrofotometri UV-Visible untuk mengukur tingkat absorbansi. Pada tahap ini juga dilakukan prosedur validasi yang meliputi linearitas, reliabilitas, limit deteksi (LoD) dan limit kuantifikasi (LoQ).

Preparasi Sampel Makanan

Preparasi uji dilaksanakan dengan cara memasukkan 1 g sampel bakso, ikan asin, tahu, kerupuk, dan mie basah ke dalam labu ukur 25 mL, mencampurkan 7,5 mL TCA 1% dan 2,5 mL asetonitril, kemudian menambahkan aquades sampai tanda batas. Kemudian, larutan tersebut di vortex selama 1 menit, diultrasonikasi selama 30 menit, dikocok selama 10 menit, dan disentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 4000 rpm. Supernatan yang didapatkan dituangkan ke dalam gelas beaker dengan melewati lembar filter. Setelah itu, larutan supernatan diambil 10 mL dan dituangkan ke labu ukur 25 mL. Kemudian, larutan tersebut ditambahkan asetonitril-aquadest (50:50) hingga tanda batas. Larutan contoh digunakan untuk

bereaksi dengan Cu-NP (Elmosallamy et al., 2021).

Aplikasi Cu-NP sebagai Sensor Formalin pada Sampel Makanan

Supernatan cuplikan sampel makanan (bakso, tahu, ikan asin, kerupuk, dan mie basah) dipindahkan ke dalam erlenmeyer 25 mL, selanjutnya ditambahkan nanopartikel tembaga dengan jumlah 3 mL dan digojok secara pelan-pelan (Moznuzzaman et al., 2021). Kemudian perubahan warna yang terjadi diamati, kemudian dilakukan analisis dengan Spektrofotometri UV-Visibel untuk menentukan nilai absorbansi dan panjang gelombangnya. Lebih lanjut, konsentrasi formaldehid dalam sampel ditetapkan dengan memadankan nilai absorbansi sampel yang telah dipadukan dengan Cu-NP menggunakan persamaan regresi linier yang didapatkan dari deret larutan standar pada langkah sebelumnya.

PEMBAHASAN

Ekstraksi Kulit Buah Naga dan Tes Metabolit Sekunder

Metabolit sekunder bioaktif dari ekstrak kulit buah naga ditemukan melalui skrining fitokimia. Uji khusus dikembangkan untuk memeriksa keberadaan flavonoid, saponin dan

alkaloid. Dari hasil yang dijelaskan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa ekstrak kulit buah naga mengandung flavonoid, saponin dan alkaloid. Senyawa-senyawa tersebut dapat dimanfaatkan sebagai pereduksi elektron untuk sintesis nanopartikel tembaga.

Tabel 1. Hasil tes metabolit sekunder kulit buah naga

Senyawa	Perubahan Warna	Hasil
Flavonoid	Warna orange muda	+
Saponin	Terbentuk buih stabil	+
Alkaloid	Endapan kuning dan merah	+

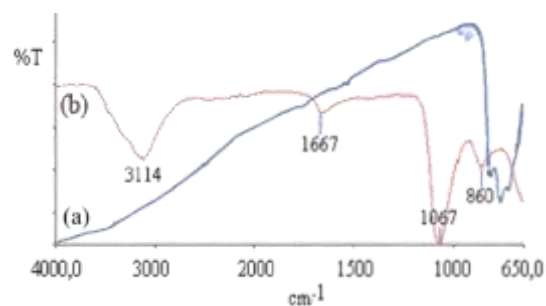
Sintesis Nanopartikel Cu dengan Ekstrak Kulit Buah Naga

Berdasarkan hasil sintesis nanopartikel tembaga (Cu-NP) dengan ekstrak buah naga, adanya metabolit sekunder seperti fenolat yang berperan sebagai pendonor elektron pada logam Cu. Selama proses sintesis nanopartikel tembaga (Cu-NP), terjadi perubahan warna pada saat larutan ekstrak dicampurkan dengan larutan CuSO₄. Perubahan warna ini merupakan indikasi kuat terbentuknya Cu-NPs. Reduksi logam Cu oleh ekstrak buah naga dimungkinkan dengan adanya senyawa fenolik, sehingga terjadi reduksi Cu²⁺ menjadi Cu⁰. Komponen fenolik ini terdiri dari gugus hidroksil yang dapat

mengkelat logam. Kemampuan pengikatan logam dari senyawa fenolik disebabkan oleh karakteristik rantai aromatik yang sangat nukleofilik. Flavonoid adalah kelompok utama senyawa polifenol yang secara efisien mengkelat dan mengurangi ion logam menjadi nanopartikel (Haruna et al., 2022).

Karakterisasi Nanopartikel Cu

Selain itu, spektrum FTIR memberikan beberapa informasi tentang karakter Cu(0) yang diperoleh. Gambar 1a dan b menggambarkan spektrum inframerah FT (FTIR) dari Cu(0) dan CuSO₄. Seperti yang ditunjukkan Gambar 1b, pita serapan pada 601 cm⁻¹ dan 1118 cm⁻¹ masing-masing disebabkan oleh vibrasi pengikatan dan peregangan SO₄ (Neglo et al., 2021). Terdapat juga pengurangan kecil dalam spektrum pada 2359 cm⁻¹ karena keberadaan Cu-S di atmosfer. Serapan pada 1640 cm⁻¹ dan 3392 cm⁻¹ masing-masing terkait dengan tekukan H-O-H dan peregangan O-H.



Gambar 7. Spektra FT-IR dari a) nanopartikel Cu dan b) CuSO₄

Validasi Metode Analisis Formalin

Validasi metode analisis formaldehida dilakukan untuk linearitas, presisi, batas deteksi (LoD) dan batas kuantifikasi (LoQ). Linearitas berarti bahwa metode yang digunakan menghasilkan data yang berbanding lurus antara respon dan konsentrasi analit (Qomariyah, 2022). Keakuratan analisis suatu metode juga dapat digambarkan dengan linearitas (nilai R^2). Keakuratan analisis dapat ditunjukkan dengan nilai koefisien determinasi yang lebih besar dari 0,9970 pada kurva standar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi pada analisis formaldehid dengan Cu-NP berada di atas 0,9970, yaitu sebesar 0,9975 (Tabel 2).

Tabel 2. Validasi metode analisis formaldehida

Parameter	Hasil Perhitungan
Linearity	Equation: $y = 0.0241x + 0.0354$ $R^2 = 0.9975$
Precision	SD = 0.0184 %RSD = 4.6023%
LoD (<i>Limit of Detection</i>)	2.2955
LoQ (<i>Limit of Quantification</i>)	7.6518

Aplikasi Nanopartikel Cu sebagai Sensor Formalin pada Sampel Makanan

Selanjutnya, nanopartikel tembaga digunakan sebagai sensor untuk senyawa formaldehid (formalin) dalam beberapa sampel makanan. Hasil pengujian ditentukan dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Visible. Menurut

Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia (BPOM RI), batas standar formalin dalam makanan berbeda-beda berdasarkan jenis makanan (Tabel 3). Pada penelitian ini, kami mengambil lima jenis sampel makanan, yaitu bakso, tahu, udang garing, mie basah, dan ikan asin. Masing-masing jenis makanan diambil dari merek dan wilayah yang berbeda di Kabupaten Banyuwangi, masing-masing dari tiga sumber, dengan dan tanpa label "Halal". Hasil penghitungan kadar formalin untuk setiap sampel disajikan pada Tabel 3.

Dari 15 sampel yang diuji kadar formalinnya, terdapat dua sampel yang kadarnya di atas ambang batas, yaitu bakso 2 dengan rata-rata kadar formalin $13,77 \pm 0,25$ ppm yang dikemas tanpa label "Halal" dan tahu 3 dengan kadar formalin $4,18 \pm 0,99$ ppm yang dikemas tanpa label "Halal". Kedua sampel tersebut tidak direkomendasikan untuk dikonsumsi. Sebelum dilakukan pengujian kadar formalin dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Visible, terdapat ciri-ciri fisik pada sampel bakso 2 dan sampel tahu 3. Pada sampel bakso 2, bakso tidak mudah hancur, tahan lebih dari tiga hari, dan tidak lengket. Sedangkan pada sampel tahu 3 teksturnya lebih kenyal, tidak mudah pecah, dan lebih tahan lama.

Tabel 3. Konsentrasi formalin dalam sampel makanan

No	Jenis Makanan	Rerata Konsentrasi Formalin* (ppm)	Batas formalin**	Kualifikasi**
1.	Bakso 1	5.15 ± 0.44	6.80	Q, N
2.	Bakso 2	13.77 ± 0.25	6.80	UQ, N
3.	Bakso 3	5.70 ± 0.40	6.80	Q, H
4.	Mie basah 1	0.13 ± 0.03	3.30	Q, H
5.	Mie basah 2	0.00 ± 0.00	3.30	Q, H
6.	Mie basah 3	2.49 ± 0.34	3.30	Q, H
7.	Ikan asin 1	17.09 ± 2.74	35.0	Q, N
8.	Ikan asin 2	9.69 ± 0.64	35.0	Q, N
9.	Ikan asin 3	24.64 ± 1.76	35.0	Q, N
10.	Tahu 1	1.21 ± 0.09	3.30	Q, H
11.	Tahu 2	1.57 ± 0.07	3.30	Q, N
12.	Tahu 3	4.18 ± 0.99	3.30	UQ, N
13.	Kerupuk 1	1.07 ± 0.04	3.30	Q, H
14.	Kerupuk 2	0.30 ± 0.05	3.30	Q, H
15.	Kerupuk 3	2.47 ± 0.34	3.30	Q, N

Keterangan:

*Rata-rata ± SD (Standar Deviasi)

**Berdasarkan regulasi dari BPOM RI Tahun 2019 (ppm)

***Kualifikasi:

Q = Qualified (dibawah ambang batas formalin yang diizinkan)

UQ = Unqualified (diatas ambang batas formalin yang diizinkan)

H = Dikemas dengan label “Halal”

N = Dikemas tanpa label “Halal”

KESIMPULAN

Senyawa dalam ekstrak kulit buah naga merah (hasil uji fitokimia mengandung flavonoid, saponin, dan alkaloid) mereduksi Cu^{2+} menjadi Cu. Identifikasi gugus fungsi dengan FTIR menunjukkan adanya pergeseran bilangan gelombang antara prekursor CuSO_4 murni dan Cu-NP, yang menunjukkan adanya interaksi gugus fungsi. Dari 15 sampel yang diuji kadar formalinnya, terdapat dua sampel yang kadarnya di atas ambang batas, yaitu bakso 2 dengan kadar formalin rata-rata $13,77 \pm 0,25$ ppm yang dikemas tanpa label "Halal" dan tahu 3 dengan kadar formalin $4,18 \pm 0,99$ ppm yang dikemas tanpa label "Halal". Material Cu-NP terbukti dapat digunakan sebagai sensor formalin pada sampel makanan, dimana metode ini lebih sederhana dan akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Alam, T., Ardiansyah, R., Maulidayanti, S., Azvara, D., Purnomo, F.O., Annas, D., 2023. Tyrosinase Inhibitory of Silver Nanoparticles Synthesized using Morus Nigra Leaves Extract. *J. Kim. Sains. Apl.* 3(26):85–90.
- Al-Radadi, N.S., Abu-Dief, A.M., 2022. Silver Nanoparticles (AgNPs) as a Metal Nano-therapy: Possible Mechanisms of Antiviral Action Against COVID-19. *Inorganic and Nano-Metal Chemistry.* 8(9):1–19.

- Ambaye, T.G., Vaccari, M., van Hullebusch, E.D., Amrane, A., Rtimi, S., 2021. Mechanisms and Adsorption Capacities of Biochar for the Removal of Organic and Inorganic Pollutants from Industrial Wastewater. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 18(1):3273–3294.
- Bouafia, A., Laouini, S.E., Ouahrani, M.R., 2020. A Review on Green Synthesis of CuO Nanoparticles using Plant Extract and Evaluation of Antimicrobial Activity. *Asia. Jour. Rese. Chem.* 13(12):65-74.
- Cao, Y., Dhahad, H.A., El-Shorbagy, M.A., Alijani, H.Q., Zakeri, M., Heydari, A., Bahonar, E., Slouf, M., Khatami, M., Naderifar, M., Irvani, S., Khatami, S., Dehkordi, F.F., 2021. Green Synthesis of Bimetallic ZnO–CuO Nanoparticles and Their Cytotoxicity Properties. *Sci Rep* 4(11):23479.
- Chairunnisak, A., Darmadi, D., Adisalamun, A., Yusuf, M., Mukhtar, S., Safitri, U.R., Shafira, O.A., 2023. Study of Synthesis and Performance of Clay and Clay-Manganese Monoliths for Mercury Ion Removal from Water. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi.* 13(26):133–142.
- Elmosallamy, A., El-zaidy, M., Hussein, S., 2021. Green Synthesis of Silver Nanoparticles Using *Mangifera Indica* L. (Musk) Peels Extract and Evaluation of Its Cytotoxic Activities. *Egypt. J. Chem.* 7(10):34-44.
- Fappiano, L., Carriera, F., Iannone, A., Notardonato, I., Avino, P., 2022. Recent Sensing Methods for Determining Formaldehyde in Agri-Food Chain: A Comparison with the Conventional Analytical Approaches. *Foods.* 11:1351.
- Haruna, C.A., Malik, W.A., Rijal, M.Y.S., Watoni, A.H., Ramadhan, L.O.A.N., 2022. Green Synthesis of Copper Nanoparticles Using Red Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*) Extract and Its Antibacterial Activity for Liquid Disinfectant. *J. Kim. Sains Apl.* 13(25):352–361.
- Justo Alonso, M., Madsen, H., Liu, P., Jørgensen, R.B., Jørgensen, T.B., Christiansen, E.J., Myrvang, O.A., Bastien, D., Mathisen, H.M., 2022. Evaluation of Low-Cost Formaldehyde Sensors Calibration. *Building and Environment.* 9(222):109380.
- Moznuzzaman, Md., Islam, Md.R., Khan, I., 2021. Effect of Layer Thickness Variation on Sensitivity: An SPR Based Sensor for Formalin Detection. *Sensing and Bio-Sensing Research.* 17(32):100419.
- Moznuzzaman, Md., Rafiqul Islam, Md., Biplob Hossain, Md., Mustafa Mehedi, I., 2020. Modeling of Highly Improved SPR Sensor for Formalin Detection. *Results in Physic.* 16:102874.
<https://doi.org/10.1016/j.rinp.2019.102874>

- Neglo, D., Tettey, C.O., Essuman, E.K., Kortei, N.K., Boakye, A.A., Hunkpe, G., Amarh, F., Kwashie, P., Devi, W.S., 2021. Comparative Antioxidant and Antimicrobial Activities of the Peels, Rind, Pulp and Seeds of Watermelon (*Citrullus lanatus*) Fruit. *Scientific Africa*. 12(11):e00582.
- Putri, S.E., Herawati, N., Fudhail, A., Pratiwi, D.E., Side, S., Rahman, A., Desa, S.S., Ahmad, N., Junaedi, S., Surleva, A., 2023. Biosynthesis of Copper Nanoparticles Using *Hylocereus Costaricensis* Peel Extract and their Photocatalytic Properties. *Karbala Inter. J. Modern Sci*. 9(32):223-239.
- Qomariyah, A., 2022. Analisis Kadar Timbal dan Arsen dalam Darah dengan Metode Spektroskopi Serapan Atom. *SNST*. 3(12):66-74.
- Qomariyah, A., & Hakim, A. K. (2024). Synthesis of Copper Nanoparticles with Dragon Fruit (*Hylocereus polyrhizus*) Extract as a Bio-Reducer and Their Analysis Using a UV-Visible Spectrophotometer. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 11(3), 212–217. <https://doi.org/10.30598/ijcr.2024.11-ani>
- Rajamma, R., Gopalakrishnan Nair, S., Abdul Khadar, F., Baskaran, B., 2020. Antibacterial and Anticancer Activity of Biosynthesised CuO Nanoparticles. *IET Nanobiotechnol*. 14(15):833–838.
- Román, L.E., Gomez, E.D., Solís, J.L., Gómez, M.M., 2020. Antibacterial Cotton Fabric Functionalized with CuO Nanoparticles. *Molecules*. 16(25):5802.
- Some, S., Das, S., Mondal, R., Gangopadhyay, M., Basak, G.K., 2021. Medicinal Plant Extract Mediated Green Synthesis of Metallic Nanoparticles: A Review. *IJPE*. 12(7):119–132. <https://doi.org/10.18811/ijpen.v7i02.02>