

KAJIAN FOTOSTABILITAS SENYAWA KURKUMINDENGAN PENAMBAHAN ION LOGAM Cu^{2+} PADA IRRADIASI SINAR UV

ANNISA LESTARI¹, CEPI KURNIAWAN^{1*}, YUSUF NUGI NUGRAHA¹, SUTIKNO²,
DAN F. WIDHI MAHATMANTI¹

¹Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang,
Jalan Kolonel HR Hadijanto, Sekaran, Kec. Gn. Pati, Semarang

²Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang,
Jalan Kolonel HR Hadijanto, Sekaran, Kec. Gn. Pati, Semarang

*alamat email korespondensi: kurniawan.cepi@mail.unnes.ac.id

Informasi Artikel	Abstrak/Abstract
<p>Riwayat Naskah : Diterima pada 01 September 2020 Diterima setelah direvisi pada 26 Desember 2020 Diterbitkan pada 31 Desember 2020</p> <p>Kata Kunci: Senyawa analog kurkumin; Cu^{2+}- kurkumin; Fotostabilitas; tetapan laju degradasi.</p> <p><i>Keywords: Curcumin analogue compounds, Cu(II)- Curcumin, Photostability, rate constant.</i></p>	<p>Senyawa kurkumin telah dimanfaatkan dalam berbagai bidang, salah satunya dibidang fotovoltaiik sebagai pemanen energi matahari yang akan dikonversi menjadi energi listrik. Keterbatasan dari senyawa ini adalah tidak stabil terhadap cahaya matahari karena adanya gugus keton dan gugus hidroksil. Kedua elektron bebas pada gugus ini dapat berinteraksi dengan logam membentuk senyawa kompleks. Pada penelitian ini, pengaruh ion logam Cu^{2+} terhadap sistem kristal dan stabilitas dikaji. Kurkumin yang digunakan dalam penelitian ini adalah kurkumin komersial yang telah dipurifikasi. Kurkumin dalam pelarut methanol dilarutkan bersama CuSO_4 dengan perbandingan mol 1:2. Setelah campuran di refluks kemudian diperoleh endapan dengan warna kuning tua. Endapan yang telah dikeringkan kemudian dikarakterisasi menggunakan spektrofotometer XRD, FT-IR, dan UV-Vis. Tidak banyak perubahan yang teramati pada pola difraksi sinar-X, IR maupun UV-Vis. Sedikit pergeseran teramati mengindikasikan interaksi antara kurkumin dengan Cu^{2+}. Pengujian fotostabilitas dilakukan dengan melarutkan senyawa kurkumin dan Cu^{2+}-kurkumin dalam dimetilsulfoksida (DMSO) dimasukan dalam ruang dengan sumber lampu UV 10 watt. Pengamatan dilakukan selama 10 hari dan diukur absorbansi maksimum setiap satu hari menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Hasil analisis absorbansi menunjukkan terjadi pergeseran dan puncak baru pada senyawa kompleks pada panjang gelombang diatas 500 nm. Melalui perhitungan menggunakan orde 0, senyawa kurkumin dan Cu^{2+}-kurkumin akan terdegradasi seluruhnya (absorbansi sama dengan 0) pada hari ke-16 dan ke-55.</p> <p><i>Curcumin compounds have been used in various research areas, one of which is in the photovoltaic devices as a solar energy harvester which will be converted into electrical energy. The limitation of this compound is stability. It is unstable to UV-light due to the presence of ketone and hydroxyl groups. The free-electron pairs in this group can interact with the metal to form complex compounds. In this study, the effect of Cu^{2+} metal ions on the crystal system and stability was studied. The curcumin used in this study was purified by commercial curcumin. Curcumin in methanol solvent was dissolved with CuSO_4 with a mole ratio of 1: 2. The mixture was then refluxed, and a dark yellow precipitate was obtained. The dried precipitate was then characterized using XRD, FT-IR- and UV-Vis-Spectrophotometer. The change was not significantly observed in the diffractogram, IR- or UV-Vis- spectra. However, a slight shift was observed both in diffractogram and FT-IR spectra. The results indicate an interaction between curcumin and Cu^{2+} ion. Photostability testing was carried out by dissolving the curcumin and Cu^{2+} -curcumin compounds in dimethyl sulfoxide (DMSO) and put them in the vessel with a 10 watt UV-lamp source. Observations were made for 10 days and the maximum absorbance was measured every day using a UV-Vis spectrophotometer. The results of the absorbance analysis showed that there were shifts and new peaks in complex compounds at wavelengths above 500 nm. Through calculations using the order 0, curcumin and Cu^{2+} -curcumin compounds will be completely degraded (absorbance equals 0) on the 16th and 55th days.</i></p>

PENDAHULUAN

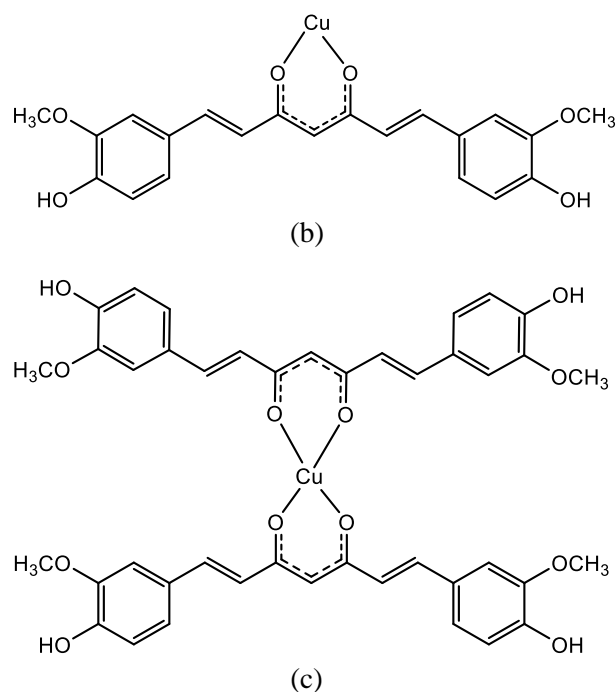
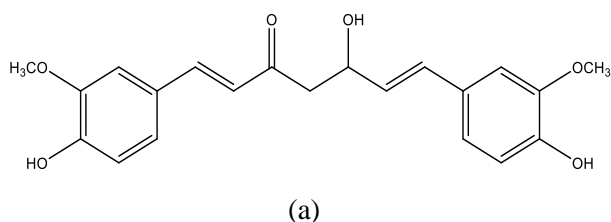
Kunyit merupakan salah satu rempah tradisional yang banyak tumbuh di Indonesia.

Selain dijadikan sebagai rempah tambahan dalam dunia kuliner, kunyit juga memiliki manfaat lain di bidang kesehatan, industri dan kosmetik. Bagian tanaman kunyit yang paling berpotensi

sebagai obat dalam bidang kesehatan adalah rimpang. Rimpang kunyit mengandung senyawa fenolik yang terdiri dari 61-67%, demetoksi-kurkumin 22-26%, bisdemetoksi-kurkumin 1-3%, dan isomer kurkumin 10-11% [1]. Dalam bidang kesehatan, kunyit digunakan sebagai anti-inflamasi, anti-septik, anti-iritansi, anoreksia, obat luka, gangguan hati [2], anti-bakteri, anti-virus dan anti-malaria. Senyawa kurkumin juga menunjukkan adanya aktivitas anti-kanker yang kuat dan telah memasuki uji klinis untuk pengobatan kanker dan berbagai penyakit lainnya, tetapi penemuan ini dengan tingkat keberhasilan yang terbatas [3]. Dalam bidang industri, senyawa kurkumin digunakan sebagai zat warna, baik untuk produk makanan dan minuman maupun dalam industri tekstil sebagai pewarna pakaian atau cat. Banyaknya manfaat yang didapatkan dari senyawa kurkumin menarik para peneliti untuk mengkaji lebih luas lagi pemanfaatannya.

Senyawa kurkumin memiliki keterbatasan, yaitu bersifat tidak stabil, hal ini terjadi akibat dari gugus β -diketon dalam kurkumin yang rentan terhadap hidrolisis [4]. Kestabilan senyawa kurkumin akan terganggu oleh UV-Vis [5], efek cahaya, pelarut dan oksigen [6], panas [7]. Menurut Zebib dan Noirot (2010) kompleks kurkumin dengan logam memberikan kestabilan yang lebih tinggi dibandingkan dengan senyawa kurkumin murni [8]. Senyawa ini memiliki dua gugus -OH dan -OCH₃ yang terikat pada dua cincin aromatik, yang dihubungkan dengan sistem *diene* 1,3-diketon (heptadiene-dion) (**Gambar 1a**), yang dapat membentuk khelat dari tipe 1:1 dan 1:2 dengan tembaga (**Gambar 1b dan 1c**), besi dan logam transisi lainnya [6], [9], [10].

Aplikasi kurkumin sebagai komponen solar sel tersensitasi zat warna telah dilaporkan [11]–[14]. Namun, kajian kestabilan baik kurkumin maupun senyawan turunannya belum banyak dilaporkan. Kestabilan kurkumin sebagai sensitiser sangat diperlukan dalam aplikasi solar sel. Penggunaan ion Cu²⁺ meningkatkan *open-circuit* pada rangkaian solar sel tersensitasi zat warna, namun kestabilannya belum dilaporkan secara komprehensif. Dalam penelitian ini akan dikaji pengaruh penambahan logam tembaga yang membentuk senyawa kompleks dengan kurkumin (Cu²⁺-Kurkumin) serta uji fotostabilitasnya dalam irradiasi sinar UV.



Gambar 1. Struktur senyawa (a) kurkumin, (b) Cu²⁺-kurkumin 1:1, dan (c) Cu²⁺-kurkumin 1:2 [11].

EKSPERIMEN

Material

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk kurkumin (Aldrich), (Cu(OAc)₂) (Merk), etanol 99% (Merk), methanol 96% (Merk), aquades, dimetilsulfoksida (DMSO) (Merk). Semua bahan kimia digunakan tanpa purifikasi.

Peralatan yang digunakan adalah perangkat refluks yang terdiri dari labu dasar bulat 250 mL, kondensor Leibigz, Hotplate magnetic stirrer, Ultrasonic homogenizer, lampu UV 10 watt.

Tahapan sintesis

Sebanyak 1,9055 g kurkumin dicampurkan dengan 0,5012 g Cu(OAc)₂ dalam pelarut etanol. Campuran kemudian direfluks selama 2 jam pada suhu 60 °C. Endapan yang terbentuk kemudian disaring dan dicuci menggunakan campuran air dan metanol dingin berulang kali [15]. Endapan kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 70 °C sampai diperoleh berat konstan. Serbuk kering kemudian digunakan untuk karakterisasi dan pengujian selanjutnya, selanjutnya dituliskan sebagai Cu²⁺-kurkumin.

Karakterisasi

Sejumlah 0,00184 g serbuk Kurkumin dan 0,00399 g Cu²⁺-kurkumin masing-masing

dilarutkan dalam DMSO sehingga terbentuk konsentrasi 0,1 mM. Selanjutnya, serapan pada daerah UV-Vis kedua larutan dianalisis menggunakan SpectroQuant Pharo 300 pada panjang gelombang 200-1000 nm dengan menggunakan larutan blanko DMSO.

Untuk mengetahui adanya perubahan gugus fungsional, senyawa kurkumin dan turunannya dianalisis menggunakan Spektrofotometer FTIR Spectrum-100 Perkin Elmer. Senyawa kompleks Cu^{2+} -kurkumin dicampur dengan KBr menggunakan perbandingan sampel-KBr adalah 2:8, kemudian dibuat pellet. Sampel Cu^{2+} -kurkumin ditempatkan pada *set holder*. Sampel dianalisis pada bilangan gelombang 4000-400 cm^{-1} [13].

Uji fotostabilitas

Sebanyak 10 mL larutan Kurkumin dan Cu^{2+} -kurkumin masing-masing dengan konsentrasi 10 mM dalam pelarut DMSO di sinari dengan lampu UV 10 watt. Setiap rentang waktu 1 hari selama 10 hari, kedua larutan diukur spektrum serapan di daerah UV-Vis. Perubahan spektra absorbansi sebelum dan setelah paparan radiasi diamati untuk mengetahui laju degradasi sampel [16].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Preparasi Cu^{2+} -kurkumin

Serbuk kurkumin berwarna kuning cerah. Setelah direfluks dengan $\text{Cu}(\text{OAc})_2$ diperoleh serbuk kuning kecoklatan. Adapun rendemen dari hasil refluks diperoleh sebanyak 95%. Serbuk yang didapatkan dari hasil sintesis merupakan serbuk senyawa kompleks antara senyawa kurkumin dengan $\text{Cu}(\text{OAc})_2$. Hasil ini menunjukkan telah terjadi pembentukan senyawa kompleks.

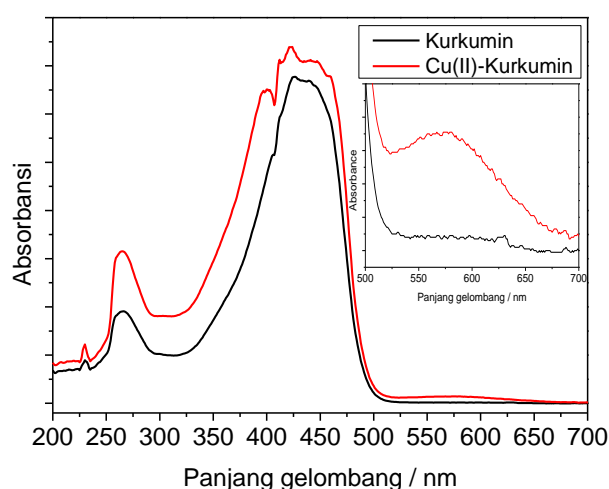
Senyawa Cu^{2+} -kurkumin menunjukkan kelarutan yang tinggi dalam pelarut DMSO namun sedikit larut dalam pelarut metanol. Sifat kelarutan ini juga menunjukkan bahwa senyawa hasil sintesis berbeda dengan Kurkumin. Hal ini mengindikasikan bahwa senyawa turunan kurkumin dengan logam Cu^{2+} bersifat polar. Oleh karena itu, dalam perlakuan berikutnya dipilih pelarut DMSO. Temuan ini sejalan dengan hasil yang dilaporkan sebelumnya [15], [17].

Spektrum Absorbansi Senyawa Kurkumin dan Cu^{2+} -kurkumin

Spektra absorpsi pada UV-Vis terbentuk karena adanya transisi elektronik dari tingkatan

energi yang berbeda pada suatu senyawa. Transisi yang biasanya terjadi yaitu antara orbital ikatan atau orbital pasangan elektron bebas dan orbital non-ikatan kosong atau orbital anti-ikatan. Ikatan rangkap terkonjugasi berperan sebagai penyerapan cahaya pada kromofor [18]. **Gambar 2** menunjukkan spektra absorbansi senyawa kurkumin dan Cu^{2+} -kurkumin dimana kedua senyawa tersebut mempunyai puncak serapan pada daerah di atas 400 nm yaitu 427 nm dan 425 nm, hal ini berarti bahwa pada senyawa tersebut terdapat ikatan rangkap terkonjugasi. Menurut Refat (2013) pada daerah panjang gelombang 200-300 nm merupakan daerah transisi elektronik $\pi \rightarrow \pi^*$, sedangkan pada daerah panjang gelombang 310-470 nm merupakan transisi elektronik dari $n \rightarrow \pi^*$ [19].

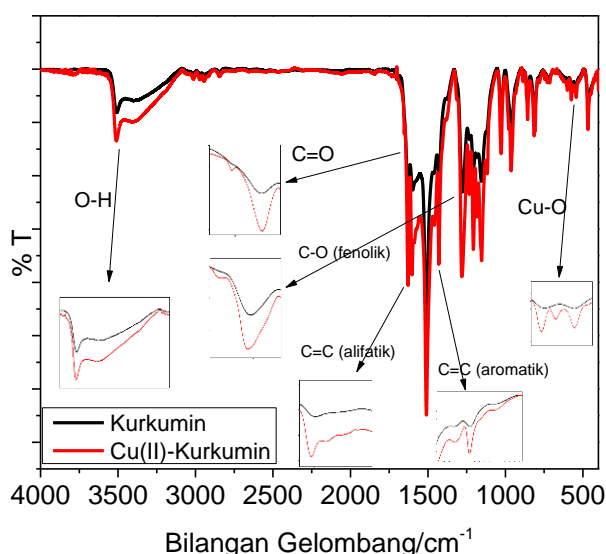
Senyawa kompleks Cu^{2+} -kurkumin puncak serapannya bergeser ke arah dengan panjang gelombang yang lebih kecil, pergeseran ini merupakan pergeseran LMCT (*ligan to metal charge transfer*) yaitu transisi elektron dari ligan ke logam, yang menjadikan serapannya bergeser ke panjang gelombang yang lebih kecil. Kemudian pada senyawa ini juga menunjukkan adanya serapan pada panjang gelombang di atas 500 nm, hal ini terjadi akibat adanya transisi d-d dari orbital d pada logam, sehingga serapan akan bergeser ke arah panjang gelombang yang lebih besar.



Gambar 2. Spektra absorbansi senyawa kurkumin dan Cu^{2+} -kurkumin dalam DMSO dengan konsentrasi 10^{-4} M.

Hasil karakterisasi dengan spektrofotometer inframerah, senyawa kurkumin dan Cu^{2+} -kurkumin menunjukkan adanya gugus fungsi OH, C=O, C=C (alifatik), C=C (aromatis), C-O (fenolik), C-OCH₃ (aromatik) dan C-H (aromatik) (**Gambar 3**). Kompleks senyawa Cu^{2+} -kurkumin menunjukkan adanya vibrasi ikatan Cu-O yang

memiliki bilangan gelombang 561 cm^{-1} yang terdapat didaerah sidik jari. Menurut Barik (2007), ikatan antara ligan dengan logam akan muncul pada bilangan gelombang antara $500\text{--}600\text{ cm}^{-1}$ [17]. Atom oksigen (O) yang membentuk ikatan dengan atom Cu berasal dari gugus fungsi hidroksil dan karbonil. Adanya pergeseran bilangan gelombang pada gugus OH dan C=O menunjukkan adanya interaksi antara atom oksigen (O) dari gugus tersebut dengan atom Cu. Bilangan gelombang gugus OH senyawa kurkumin dari 3507 cm^{-1} menjadi 3511 cm^{-1} pada senyawa kompleks, dan bilangan gelombang dari gugus C=O senyawa kurkumin dari 1628 cm^{-1} menjadi 1653 cm^{-1} . Vibrasi C-O fenolik pada senyawa kurkumin muncul pada bilangan gelombang 1278 cm^{-1} dan untuk senyawa Cu^{2+} -kurkumin muncul pada bilangan gelombang 1281 cm^{-1} .

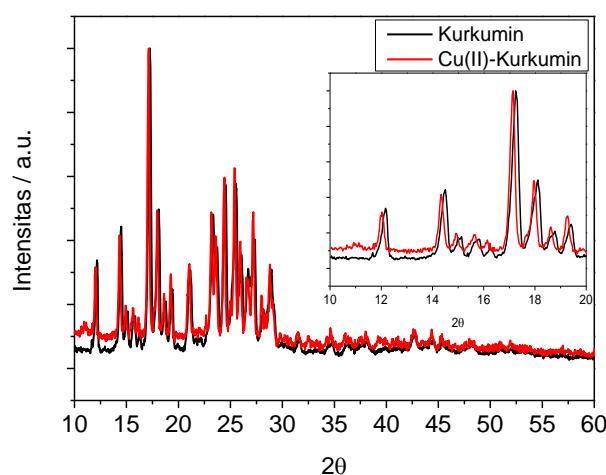


Gambar 3. Spektra IR senyawa kurkumin dan Cu^{2+} -kurkumin

Barik (2007) juga menyebutkan bahwa vibrasi C-O fenolik pada senyawa kurkumin dan kompleks senyawa Cu^{2+} -kurkumin muncul pada bilangan gelombang sekitar 1280 cm^{-1} [17]. Bilangan gelombang muncul pada 857 cm^{-1} yang merupakan vibrasi dari ikatan CH pada cincin aromatik C-CH. Ikatan CH luar dari cincin aromatik C-CH akan muncul pada bilangan gelombang 852 cm^{-1} [20]. Gugus C-OCH₃ pada cincin aromatik muncul pada bilangan gelombang 1154 cm^{-1} , penelitian Rezaei dan Nasirpour (2018) juga melaporkan bahwan vibrasi dari gugus C-OCH₃ pada senyawa kurkumin muncul pada bilangan gelombang 1154 cm^{-1} [21]. Adanya pergeseran bilangan gelombang pada beberapa vibrasi gugus fungsi akibat dari adanya ikatan antara ligan dengan logam.

Hasil Difrasi Sinar-X

Gambar 4 menunjukkan difraktogram kurkumin dan Cu^{2+} -kurkumin. Kristalinitas teramati tidak banyak mengalami perubahan yang signifikan pada intensitas puncak-puncak difraksi. Akan tetapi, secara lebih seksama, telah terjadi pergeseran puncak difraksi pada Cu^{2+} -kurkumin. Dari berbagai kemungkinan penyebab pergeseran puncak ini salah satunya adalah diakibatkan oleh perubahan lingkungan kimia. Perubahan posisi 2θ menjadi lebih kecil mengindikasikan adanya *compressive stress* pada struktur kristal dasarnya.

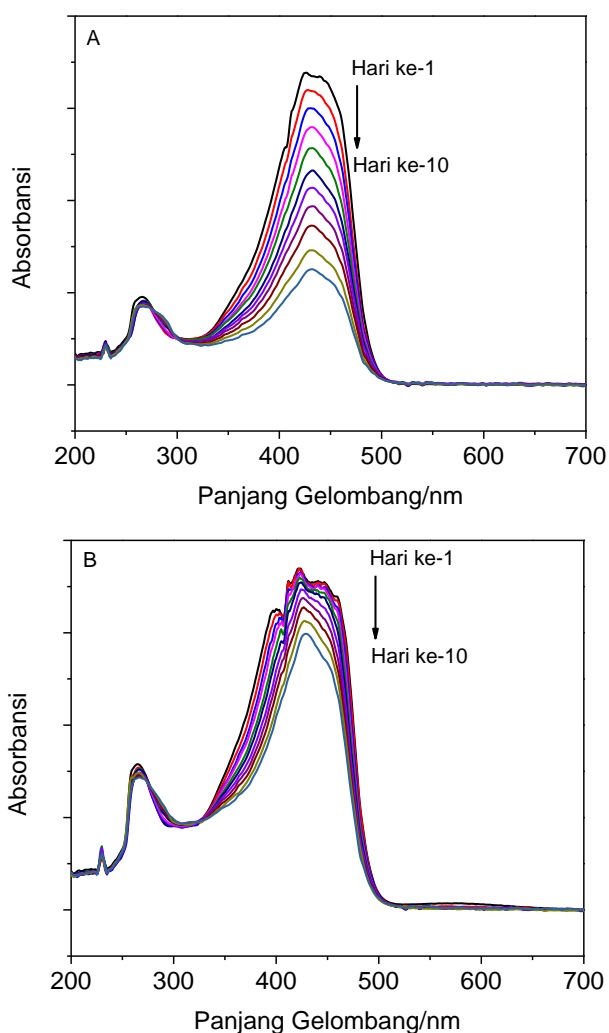


Gambar 4. Difraktogram kurkumin dan Cu^{2+} -kurkumin

Uji Fotostabilitas

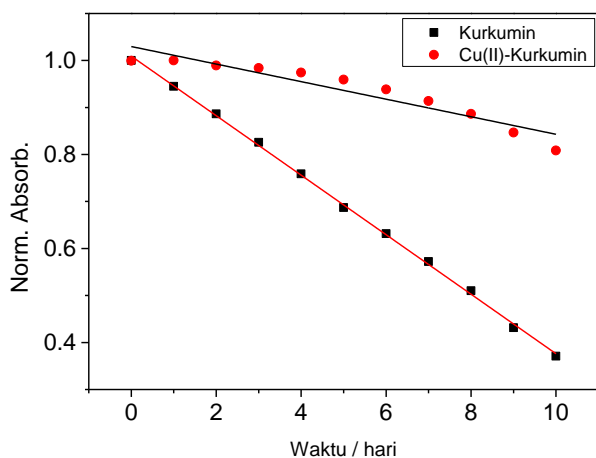
Uji fotostabilitas dilakukan untuk mengetahui laju degradasi. Degradasi senyawa kurkumin dan Cu^{2+} -kurkumin ditandai dengan penurunan intensitas absorbansi senyawa setelah dipaparkan suatu sinar, hal ini disebabkan karena energi yang tinggi dari sinar UV mampu memutuskan ikatan-ikatan rangkap pada molekul organik.

Gambar 5 menunjukkan perubahan spektrum UV-Vis dari kurkumin dan Cu^{2+} -kurkumin akibat irradiasi sinar UV 10 watt. Dapat dilihat bahwa pada kedua spektra senyawa tersebut mengalami penurunan absorbansi seiring dengan bertambahnya waktu pemaparan. Hal ini diduga akibat degradasi senyawa kurkumin dan Cu^{2+} -kurkumin. Absorbansi pada 427 nm berkurang seiring dengan lamanya waktu irradiasi. Senyawa kurkumin pada hari ke-0 memiliki absorbansi 3,385 pada 427 nm , dan pada hari ke-10 absorbansinya menjadi 1,255. Sedangkan senyawa Cu^{2+} -kurkumin hari ke-0 memiliki absorbansi 3,695 pada 424 nm , dan pada hari ke-10 memiliki absorbansi 2,988.



Gambar 5. Spektra absorbansi senyawa (A) kurkumin dan (B) Cu^{2+} -kurkumin yang diamati pada ruang dengan lampu UV 10 watt selama 10 hari.

Adapun tetapan laju degradasi kedua senyawa ini dapat ditentukan dengan membuat plot kurva konsentrasi terhadap waktu seperti ditunjukkan pada **Gambar 6**.



Gambar 6. Plot perubahan absorbansi pada 427 nm untuk Kurkumin dan Cu^{2+} -kurkumin

Reaksi fotodegradasi kedua senyawa mengikuti reaksi orde ke-0 ditandai dengan nilai regresi (R^2) 0,99 kurkumin dan 0,90 untuk Cu^{2+} -kurkumin. Dari kemiringan kurva, dapat diperoleh informasi tetapan laju untuk kurkumin dan Cu^{2+} -kurkumin sebesar $0,2143 \text{ hari}^{-1}$ dan $0,069 \text{ hari}^{-1}$. Nilai tetapan laju degradasi yang lebih besar, menandakan bahwa senyawa kurkumin lebih cepat terdegradasi. Dari data perhitungan didapatkan bahwa senyawa kurkumin dan Cu^{2+} -kurkumin akan terdegradasi seluruhnya (absorbansi sama dengan 0) pada hari ke-16 dan ke-55. Hal ini terjadi karena pada senyawa kompleks Cu^{2+} -kurkumin memiliki kestabilan yang lebih besar akibat adanya resonansi. Ketika resonansi meningkat, maka energi yang dibutuhkan untuk memutus ikatan dalam senyawa menjadi lebih besar.

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini, stabilitas kurkumin dapat ditingkatkan dengan penambahan ion logam Cu^{2+} sehingga melalui pembentukan senyawa kompleks Cu^{2+} -kurkumin. Ion logam Cu^{2+} menjaga stabilitas dengan cara menstabilkan electron resonansi. Pada irradiasi sinar UV nilai ketetapan laju reaksi orde k enol fotodegradasi Cu^{2+} -kurkumin bernilai $0,069 \text{ hari}^{-1}$ dan akan terdegradasi seluruhnya (absorbansi sama dengan nol) pada hari ke-55.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Kementrian Riset dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia melalui skema pendanaan PDUPT tahun 2018-2019. Terima kasih kepada Dekan fakultas sains terapan (*Faculty of Applied Science*), Universiti Teknologi MARA, Malaysia yang telah menerima mahasiswa UNNES untuk Melaksanakan Penelitian di UiTM.

REFERENSI

[1] B. Cahyono, M.D.K. Huda, and L. Limantara, "Pengaruh Proses Pengeringan Rimpang Temulawak (*Curcuma xanthorrhiza* ROXB) Terhadap Kandungan dan Komposisi Kurkuminoid", *Reaktor*, vol. 13, no. 3, pp. 165–171, 2011.

[2] I. Wientarsih, W. Winarsih, and L. N. Sutardi, "Aktivitas Penyembuhan Luka oleh Gel Fraksi Etil Asetat Rimpang Kunyit pada Mencit Hiperglikemik", *Jurnal Veteriner.*, vol. 13, no. 3, pp. 251–256, 2012.

- [3] F. Aqil, J. Jeyabalan, H. Kausar, S.S. Bansal, R.J. Shama, I.P. Singh, *et al.*, "Multi-layer polymeric implants for sustained release of chemopreventives", *Cancer Letters*, vol. 326, no. 1, pp. 33–40, 2012.
- [4] P. Prasad, I. Pant, I. Khan, P. Kondaiah, and A.R. Chakravarty, "Mitochondria-Targeted Photoinduced Anticancer Activity of Oxidovanadium (IV) Complexes of Curcumin in Visible Light", *European Journal of Inorganic Chemistry*, vol. 2014, no. 14, pp. 13-21, 2014.
- [5] M.V. Canamares, J.V. Garcia-Ramos, and S. Sanches-Cortes, "Degradation of Curcumin Dye in Aqueous Solution and on Ag Nanoparticles Studied by Ultraviolet – Visible Absorption and Surface-Enhanced Raman Spectroscopy", *Society for Applied Spectroscopy*, vol. 60, no. 12, pp. 1386–1391, 2006.
- [6] U. Singh, S. Verma, H.N. Ghosh, M.C. Rath, K.I. Priyadaarsina, *et al.*, "Photo-degradation of curcumin in the presence of TiO₂ nanoparticles: Fundamentals and application", *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, vol. 318, pp. 106–111, 2010.
- [7] C. Ahn and S.K. Obendorf, "GC-MS Analysis of Curcumin Dye after Selective Degradation Treatment", *Fibers Polymers*, vol. 8, no. 3, pp. 278–283, 2007.
- [8] B. Zebib, Z. Mouloungui, V. Noirot, "Stabilization of Curcumin by Complexation with Divalent Cations in Glycerol / Water Sistem", *Bioinorganic Chemistry and Applications*, vol. 2010, no. 4, pp. 1–8, 2010.
- [9] H. Ji and H. Zhang, "A new strategy to combat Alzheimer's disease. Combining radical-scavenging potential with metal-protein-attenuating ability in one molecule", *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters*, vol. 15, no. 1, pp. 21–24, 2005.
- [10] O. Vajragupta, P. Boonchoong, and L.J. Berliner, "Manganese Complexes of Curcumin Analogues: Evaluation of Hydroxyl Radical Scavenging Ability, Superoxide Dismutase Activity and Stability towards Hydrolysis", *Free Radical Research*, vol. 38, no. 3, pp. 303–314, 2004.
- [11] K. Hee-Je, K. Dong-Jo, S.N. Karthick, K.V. Hemalatha, C.J. Raj, *et al.*, "Curcumin Dye Extracted from *Curcuma longa* L. Used as Sensitizers for Efficient Dye-Sensitized Solar Cells", *International Journal of Electrochemical Science*, vol. 8, no. 6 pp. 8320–8328, 2013.
- [12] S.J. Yoon, I. Lim, J.H. Kim, S. Adhikira, W.Y. Lee, *et al.*, "Environmental Effects Deprotonated curcumin as a simple and quick available natural dye for dye sensitized solar cells", *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol. 38, no. 2, pp. 183–189, 2016.
- [13] D. Sinha, D. De, and A. Ayaz, "Performance and stability analysis of curcumin dye as a photo sensitizer used in nanostructured ZnO based DSSC", *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 193, pp. 467–474, 2018.
- [14] T.A. Ruhane, M.T. Islam, M.S. Rahaman, M.M.H. Bhuiyan, *et al.*, "Impact of photo electrode thickness and annealing temperature on natural dye sensitized solar cell", *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 20, pp. 72–77, 2017.
- [15] X. Zhao, T. Jiang, L. Wang, H. Yang, S. Zhang, and P. Zhou, "Interaction of curcumin with Zn(II) and Cu(II) ions based on experiment and theoretical calculation", *Journal of Molecular Structure*, vol. 984, no. 1–3, pp. 316–325, 2010.
- [16] R. Febrianto, A.H. Alimuddin, and T.A. Zaharah, "Uji Fotostabilitas Pigmen Bixin Terimobilisasi Bentonit Teraktivasi HCl", *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, vol. 4, no. 4, pp. 29–34, 2015.
- [17] A. Barik, B. Mishra, A. Kunwar, R.M. Kadam, and L. Shen, "Comparative study of copper(II)-curcumin complexes as superoxide dismutase mimics and free radical scavengers", *European Journal of Medicinal Chemistry*, vol. 42, no. 4, pp. 431–439, 2007.
- [18] W. Rahmalia, J. Fabre, T. Usman, and Z. Mouloungui, "Aprotic solvents effect on the UV–visible absorption spectra of bixin", *Spectrochimica Acta Part A Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 131, pp. 455–460, 2014.
- [19] M.S. Refat, "Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy Synthesis and characterization of ligational behavior of curcumin drug towards some transition metal ions: Chelation effect on their thermal stability and biological activity", *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, vol. 105, pp. 326–337, 2013.
- [20] P.R.K. Mohan, G. Sreelakshmi, C.V. Muraleedharan, and R. Joseph, "Vibrational Spectroscopy Water soluble complexes of curcumin with cyclodextrins: Characterization by FT-Raman spectroscopy", *Vibrational Spectroscopy*, vol. 62, pp. 77–84, 2012.

- [21] A. Rezaei and A. Nasirpour, "Encapsulation of curcumin using electrospun almond gum nanofibers : fabrication and characterization", *Int.International Journal of Food Properties*, vol. 21, no. 1, pp. 1608–1618, 2018.