

Analisis Kualitatif Perbandingan Profil Unsur Tablet Parasetamol Generik Menggunakan *Laser-Induced Breakdown Spectroscopy* (LIBS)

Mulan Gevika Amara Putri^{1*}, Ni Ketut Anggun Damayanti¹, Ni Komang Tria Pradnyani Dewi¹
Hery Suyanto², Tambunan Matthew Valentino¹.

¹Program Studi Farmasi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Badung, Indonesia.

²Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Badung, Indonesia.

*Email: mulanagevika@gmail.com

Abstract

Paracetamol is a widely used analgesic-antipyretic drug commonly formulated in generic tablet forms with varying excipients across brands. These differences may affect the elemental composition profile, particularly minor metals such as calcium (Ca) and magnesium (Mg) which are important in pharmaceutical quality control. This study aimed to develop a Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) method to detect elemental variations in generic paracetamol tablets. LIBS parameters were optimized at laser energies of 100, 130, and 150 mJ and delay time detection of 0.1, 0.5, and 1.0 μ s, using C, H, O, and N emission signals as reference. The optimum condition was achieved at 150 mJ and 0.1 μ s, yielding the highest signal intensity. The standard sample spectrum displayed intense emission peaks for H, N, and O, while C was detected as a minor peak. Spectral profiles of five paracetamol tablets varied, particularly in the presence of Ca and Mg. Tablet D exhibited the highest Ca and Mg intensities, followed by tablets B and E, while tablets A and C showed no clear peaks. LIBS proved effective in rapidly and nondestructively identifying elemental differences among paracetamol tablet brands, offering potential as an initial screening method in pharmaceutical quality assessment based on elemental composition.

Keywords: *Excipient; Laser Energy; LIBS; Paracetamol Tablet; Spectrum Analysis;*

Abstrak

Parasetamol merupakan obat analgesik-antipiretik yang banyak digunakan dalam bentuk tablet generik dengan variasi eksipien antar merek. Perbedaan ini dapat mempengaruhi profil kandungan unsur tablet, seperti logam kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) yang penting untuk kontrol mutu farmasi. Penelitian ini bertujuan mengembangkan metode *Laser-Induced Breakdown Spectroscopy* (LIBS) untuk mendeteksi variasi unsur penyusun tablet parasetamol generik. Optimasi parameter LIBS dilakukan pada energi laser (100, 130, 150 mJ) dan *delay time detection* (0,1; 0,5; 1,0 μ s) menggunakan sinyal unsur C, H, O, dan N sebagai acuan. Energi 150 mJ dan *delay time detection* 0,1 μ s menghasilkan intensitas sinyal tertinggi dan dipilih sebagai kondisi optimum. Spektrum sampel standar menunjukkan puncak emisi intens untuk unsur H, N, dan O dengan unsur C terdeteksi sebagai puncak minor. Lima tablet parasetamol menunjukkan variasi profil spektral, terutama pada unsur Ca dan Mg. Tablet D memberikan intensitas puncak Ca dan Mg tertinggi yang diikuti oleh tablet B dan E, sedangkan tablet A dan C tidak menunjukkan puncak jelas. LIBS terbukti mampu mendeteksi variasi unsur antar merek tablet parasetamol secara cepat, nondestruktif, dan berpotensi sebagai metode skrining awal dalam pengawasan mutu sediaan farmasi berbasis komposisi unsur.

Kata Kunci: Analisis Spektrum; Eksipien; Energi Laser; LIBS; Tablet Parasetamol;

1. PENDAHULUAN

Parasetamol (asetaminofen) merupakan salah satu obat analgesik dan antipiretik yang paling banyak digunakan untuk meredakan nyeri dan menurunkan demam. Penggunaan obat ini tersebar luas baik dalam berbagai bentuk dan merek generik dari beberapa industri farmasi khususnya di Indonesia (Oktaviana et al., 2017). Meskipun secara farmakologis zat aktif parasetamol memiliki struktur dan khasiat yang identik, variasi eksipien dapat berkontribusi terhadap perbedaan sifat fisik tablet, stabilitas, proses manufaktur, dan keamanan produk farmasi (Zou et al., 2018). Hal ini menjadikan analisis terhadap unsur-unsur penyusun tablet parasetamol penting dilakukan sebagai indikator kualitas bahan baku, potensi kontaminasi, dan keaslian produk. Selain itu, hasil analisisnya dapat digunakan oleh produsen dalam memastikan homogenitas formulasi, mencegah perbedaan antar batch produksi, dan mendeteksi potensi produk palsu di pasaran (Smith et al., 2020). Variasi formulasi dari berbagai industri menjadikan analisis unsur penyusun tablet parasetamol penting dilakukan, yaitu tidak hanya untuk memverifikasi keberadaan unsur penyusun parasetamol dan keberagaman unsur berbagai merek, namun juga sebagai upaya pengendalian mutu produk farmasi di pasaran.

Metode analisis kandungan unsur dalam produk farmasi yang umum digunakan saat ini seperti AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*) memerlukan preparasi sampel yang panjang dan destruktif (Sbahi et al., 2020). Oleh karena itu, diperlukan suatu metode yang lebih efektif dan akurat dalam mendeteksi sampel obat dalam upaya penjaminan mutu. *Laser-Induced Breakdown Spectroscopy* (LIBS) merupakan teknik spektroskopi plasma yang berkembang pesat dalam analisis bahan farmasi karena keunggulannya dalam deteksi unsur multi-elemen tanpa memerlukan preparasi khusus pada sampel. Metode ini dapat digunakan dalam analisis unsur dengan prinsip kerja yang melibatkan penembakan laser berenergi tinggi ke

permukaan sampel untuk menghasilkan plasma emisi foton dari atom tereksitasi yang dapat diidentifikasi berdasarkan panjang gelombangnya. Selain itu, LIBS telah terbukti efektif dalam analisis logam berat, identifikasi eksipien, hingga digunakan sebagai kontrol mutu farmasi secara cepat dan akurat (Khan et al., 2022).

Analisis kandungan unsur-unsur penyusun sediaan farmasi menggunakan LIBS dapat dilakukan untuk mengetahui keberagaman formulasi tablet khususnya tablet parasetamol dengan memanfaatkan spektrum plasma emisi yang dihasilkan. Puncak emisi tiap unsur penyusun tablet parasetamol ini dapat menjadi landasan variasi formulasi berbagai merek dari beberapa industri yang berasal dari eksipien yang digunakan, seperti unsur kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) dari kalsium karbonat atau magnesium stearat yang umum digunakan sebagai pengisi, pengikat, atau pelicin dalam tablet (Sulaiman & Sulaiman, 2020). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kualitatif kandungan unsur beberapa tablet parasetamol yang beredar di pasaran menggunakan teknik *Laser Induced Breakdown Spectroscopy* (LIBS). Hasil spektrum tiap sampel dibandingkan guna mengevaluasi variasi antar produk khususnya pada unsur logam minor yang mungkin terdapat pada tablet parasetamol dan dapat digunakan sebagai metode skrining komposisi unsur sediaan farmasi secara cepat dan non-destruktif.

2. METODE

2.1 Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan 5 sampel tablet parasetamol generik dari merek yang berbeda dengan dosis 500 mg dan serbuk standar murni parasetamol. Kelima sampel tablet dipilih secara acak dari produk yang tersedia di beberapa apotek dan diberi kode sebagai Tablet A, Tablet B, Tablet C, Tablet D, dan Tablet E. Alat yang diperlukan dalam preparasi bahan adalah mortar, alu, pinset, dan *hydraulic manual pellet press*. Spektrum emisi dari sampel dan standar diperoleh menggunakan instrumen *Laser Induced Breakdown Spectroscopy* (LIBS)

model INSIGHT serial number 115111-R dengan laser Nd-YAG (model CRF 200 mJ, 1.064 nm, 7 ns) dan *spectrometer* Ocean Optic 2500+ / HR 2500+ (14.336 CCD pixel, 200-800 nm). Data spektra yang diperoleh dianalisis dan diidentifikasi menggunakan Microsoft Excel, OriginPro, dan NIST Atomic Spectra Database.

2.2 Optimasi Energi Laser dan *Delay Time Detection* Instrumen

Optimasi parameter instrumen dilakukan terhadap energi laser dan *delay time detection* untuk memperoleh kondisi optimum dalam menghasilkan sinyal atau puncak tiap unsur pada spektrum yang mengacu pada penelitian oleh Anggraeni et al. (2016). Tiga variasi energi laser yang diuji adalah energi 100 mJ, 130 mJ, dan 150 mJ. Evaluasi dilakukan berdasarkan intensitas sinyal salah satu unsur utama parasetamol, yaitu unsur hidrogen (H) yang dapat ditemukan pada panjang gelombang 656,28 nm. Energi terpilih yang menghasilkan intensitas optimal kemudian digunakan untuk optimasi *delay time detection*, yaitu 0,1 μ s, 0,5 μ s, dan 1,0 μ s. Pengujian dilakukan dengan membandingkan intensitas sinyal dari empat unsur utama penyusun parasetamol, yaitu karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), dan nitrogen (N) (Tiwari et al., 2019) yang dihasilkan dari ketiga *delay time*. Unsur karbon tidak menghasilkan sinyal yang membentuk puncak jelas secara visual, maka penilaian dilakukan dengan membandingkan langsung nilai intensitas numerik (a.u). Kondisi yang menghasilkan sinyal unsur tertinggi secara umum ditetapkan sebagai kondisi optimal dan digunakan pada pengujian spektrum sampel.

2.3 Analisis Sampel Standar Parasetamol

Analisis kualitatif terhadap standar parasetamol dilakukan menggunakan instrumen LIBS dalam kondisi optimal yang telah ditetapkan sebelumnya. Serbuk standar murni parasetamol terlebih dahulu digerus hingga halus, kemudian dikempa menggunakan *hydraulic manual pellet press* dengan tekanan sebesar 400 kPa. Sampel standar dalam bentuk pellet selanjutnya ditembak menggunakan laser yang difokuskan ke permukaan pellet

melalui pengamatan dari lensa yang juga mengacu pada penelitian oleh Anggraeni et al. (2016). Emisi foton yang dihasilkan ditangkap oleh detektor dan diolah oleh spektrometer sehingga diperoleh spektrum intensitas emisi terhadap panjang gelombang (Tiwari et al., 2019). Spektrum dianalisis dengan mengidentifikasi puncak-puncak yang terbentuk relatif terhadap *baseline*. Analisis dilakukan menggunakan *software* OriginPro dan referensi NIST Atomic Spectra Database (Moros & Laserna, 2019) dengan fokus utama terhadap unsur-unsur penyusun parasetamol agar hasilnya dapat dibandingkan dengan spektrum hasil analisis sampel kelima tablet.

2.4 Analisis Sampel Tablet Parasetamol

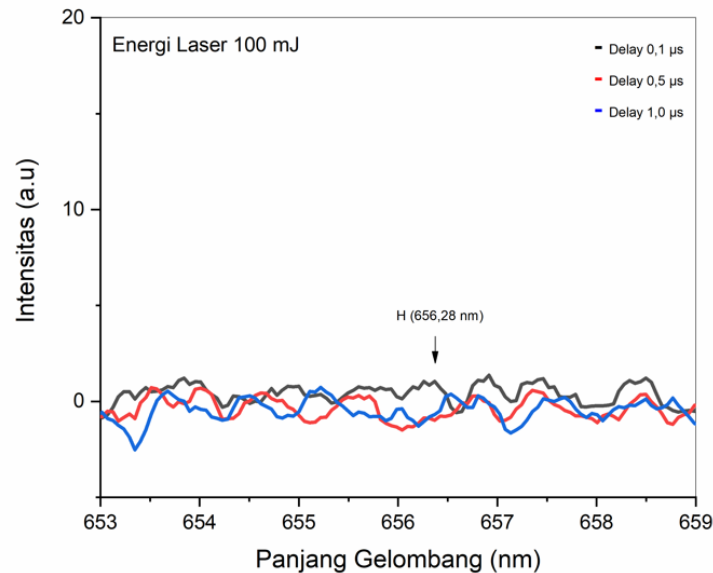
Analisis kelima sampel tablet parasetamol dilakukan secara kualitatif menggunakan instrumen LIBS dengan kondisi optimal yang telah ditentukan. Penembakan laser dilakukan dengan cara yang serupa dengan analisis standar parasetamol, yaitu laser ditembakkan ke permukaan tablet dan sinyal puncak yang terbentuk pada spektrum yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan NIST Atomic Spectra Database. Analisis dilakukan secara bergantian terhadap masing-masing sampel dan hasilnya digunakan untuk membandingkan perbedaan unsur penyusun antar merek tablet parasetamol generik yang juga mengacu pada penelitian oleh Sugito et al. (2020) untuk mengevaluasi potensi variasi komposisinya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

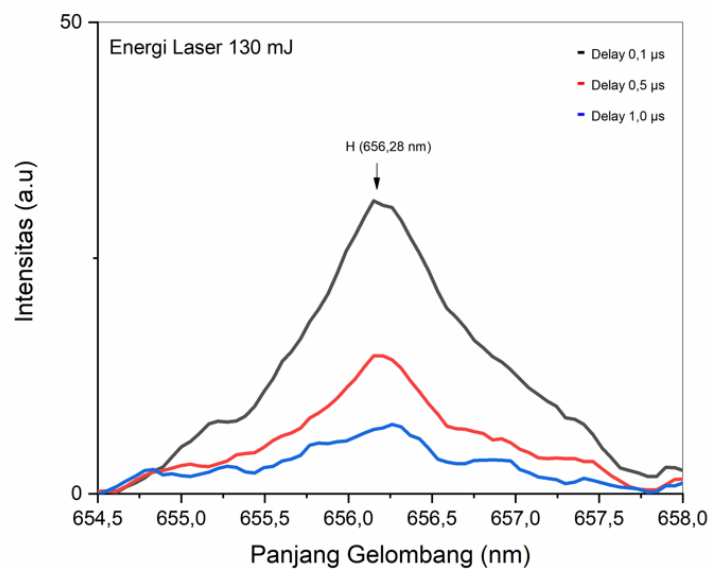
3.1 Optimasi Energi dan *Delay Time Detection*

Optimasi parameter instrumental dalam metode *Laser-Induced Breakdown Spectroscopy* (LIBS) merupakan langkah yang penting dilakukan untuk memperoleh spektrum dengan intensitas maksimum dan *background* minimum. Penelitian ini memfokuskan karakterisasi terhadap dua parameter penting, yaitu energi laser dan *delay time detection* (de Morais et al., 2021). Hasil spektrum puncak emisi unsur H dapat dilihat pada Gambar 1 dari penembakan dengan energi 100 mJ dan

pada Gambar 2 dari penembakan dengan energi 130 mJ.



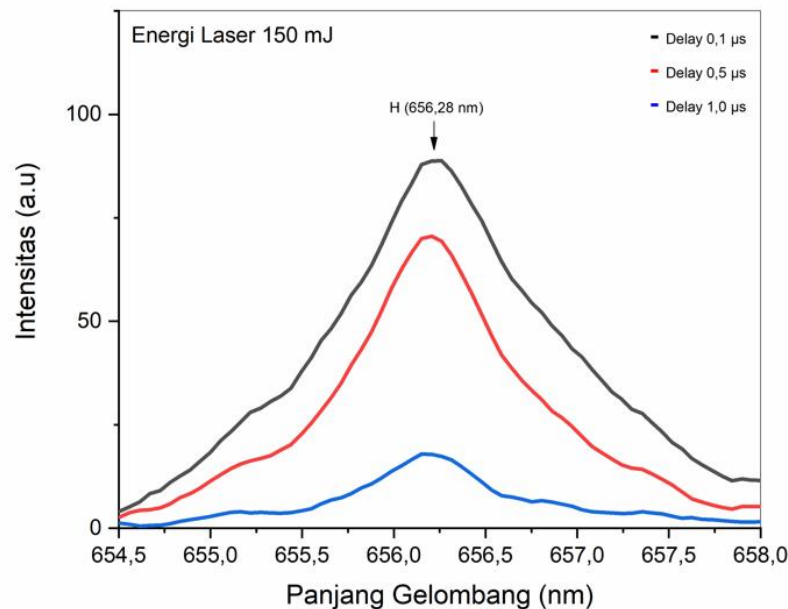
Gambar 1. Spektrum Puncak Emisi Unsur H pada Energi Laser 100 mJ



Gambar 2. Spektrum Puncak Emisi Unsur H pada Energi Laser 130 mJ

Visualisasi spektrum energi 100 mJ menunjukkan energi ini tidak dapat menghasilkan puncak emisi terhadap unsur H. Hal ini dapat terjadi karena pemilihan energi yang terlalu rendah berisiko menghasilkan plasma yang tidak stabil dan tidak cukup panas untuk mengeksipitasi

unsur-unsur target (Oh et al., 2020). Visualisasi spektrum unsur H energi 130 mJ juga menunjukkan bahwa energi ini memiliki intensitas yang masih relatif lebih rendah bila dibandingkan dengan energi 150 mJ dengan hasil yang dapat dilihat pada Gambar 3.



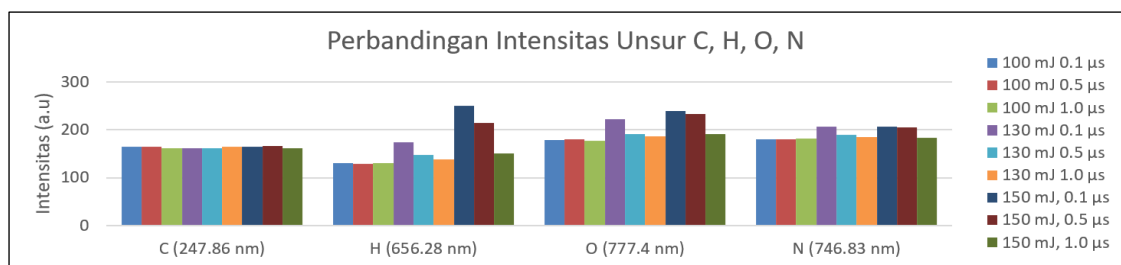
Gambar 3. Spektrum Puncak Emisi Unsur H pada Energi Laser 150 mJ

Visualisasi hasil spektrum menunjukkan bahwa intensitas sinyal unsur H memberikan puncak tertinggi pada energi 150 mJ. Hal ini mengindikasikan bahwa pada energi tersebut, plasma yang terbentuk memiliki temperatur dan kerapatan elektron yang memadai untuk mengeksitasi atom-atom hidrogen secara optimal (Kabir et al., 2022).

Berdasarkan pengamatan spektral, puncak emisi unsur H pada 656,28 nm dipilih sebagai indikator utama dalam evaluasi intensitas karena puncaknya tidak tumpang tindih dengan puncak emisi lain

dan mewakili keberadaan struktur organik dalam sampel (Cervantes et al., 2024). Hasil intensitas spektral ini meningkat seiring bertambahnya energi dari 100 mJ ke 150 mJ menunjukkan efisiensi transfer energi yang lebih baik ke permukaan sampel (Nanou et al., 2025).

Evaluasi selanjutnya terhadap *delay time detection* dilakukan pada energi tetap 150 mJ sebagai energi optimum yang diperoleh. Hasil analisis terhadap intensitas puncak unsur-unsur penyusun senyawa parasetamol yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Intensitas Puncak Spektrum Emisi Unsur C, H, O, dan N pada *Delay Time Detection* 0,1 μs, 0,5 μs, dan 1,0 μs

Hasil perbandingan intensitas energi dari tiap unsur menunjukkan bahwa *delay time* 0,1 μs menghasilkan intensitas paling tinggi untuk unsur H, O, dan N. Hasil intensitasnya pada unsur C sedikit lebih

rendah dibandingkan *delay time* 0,5 μs yang dapat terjadi karena plasma masih berada dalam tahap awal ekspansi, yaitu densitas partikel eksitasi (termasuk atom dan ion) masih tinggi (Anggraeni et al., 2016). Hasil

ini juga mendukung kondisi *delay time detection* yang terlalu lama dapat mengakibatkan penurunan intensitas sinyal karena plasma telah mendingin dan emisi atomik menurun (Kabir et al., 2022). Oleh karena itu, *delay time* 0,1 μ s dipilih sebagai kondisi optimum karena mampu mempertahankan intensitas tinggi tanpa mengorbankan kejelasan spektral.

3.2 Analisis Kualitatif Spektrum Sampel Standar Parasetamol

Spektrum sampel standar parasetamol dianalisis secara kualitatif dengan membandingkan puncak emisi terhadap unsur-unsur penyusun senyawa parasetamol. Hasil analisis puncak emisi yang tertera pada spektra dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Unsur yang Terkandung pada Sampel Standar Parasetamol

Unsur	Panjang Gelombang (nm)
C I	247,856
H I	656,285
N I	742,364
N I	744,229
N I	746,831
O I	777,194
C I	833,515
O I	844,676
N I	868,34

Unsur H, N, dan O menunjukkan puncak emisi yang intens pada spektrum. Unsur C teramati sebagai puncak emisi yang lemah pada panjang gelombang 247,856 nm dan 833,515 nm. Puncak emisi unsur C sesuai dengan studi oleh Tiwari et al. (2019) dan pengamatan mendalam berdasarkan referensi NIST Atomic Spectra Database. Puncak emisi lemah terhadap unsur C disebabkan periode kondisi tereksitasi yang singkat. Karbon memiliki intensitas radiasi atomik yang rendah pada tahap ekspansi plasma akhir dan pembentukan spesi diatomik baru menyebabkan puncak emisi cenderung lemah (Moros & Laserna, 2019).

3.3 Analisis Kualitatif Unsur Sampel Tablet Parasetamol

Analisis kualitatif terhadap spektrum yang dihasilkan dari masing-masing sampel (Tablet A, Tablet B, Tablet C, Tablet D, Tablet E) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Unsur yang Terkandung pada Kelima Sampel Tablet Parasetamol

Unsur	Panjang Gelombang (nm)
Mg II	279,553
Mg II	280,271
Al I	394,401
Ca II	396,847
Ca I	422,673
Mg I	517,268
Mg I	518,36
Na I	588,995
Na I	589,592
H I	656,285
N I	742,364
N I	744,229
N I	746,831
K I	766,49
K I	769,896
O I	777,194
O I	844,676
N I	868,34

Hasil spektra menunjukkan adanya puncak emisi pada beberapa titik panjang gelombang. Unsur C sebagai unsur utama parasetamol membentuk puncak minor sehingga dilakukan perbandingan terhadap intensitasnya pada panjang gelombang 247,856 nm dengan intensitas *baseline*, yaitu dihasilkan perbedaan intensitas tidak lebih dari 5 a.u. Identifikasi lebih lanjut untuk keberadaan unsur C dapat dilakukan seperti penelitian oleh Tiwari et al. (2019) dengan mengidentifikasi sinyal emisi molekul CN atau C₂ Swan *band* pada spektrum.

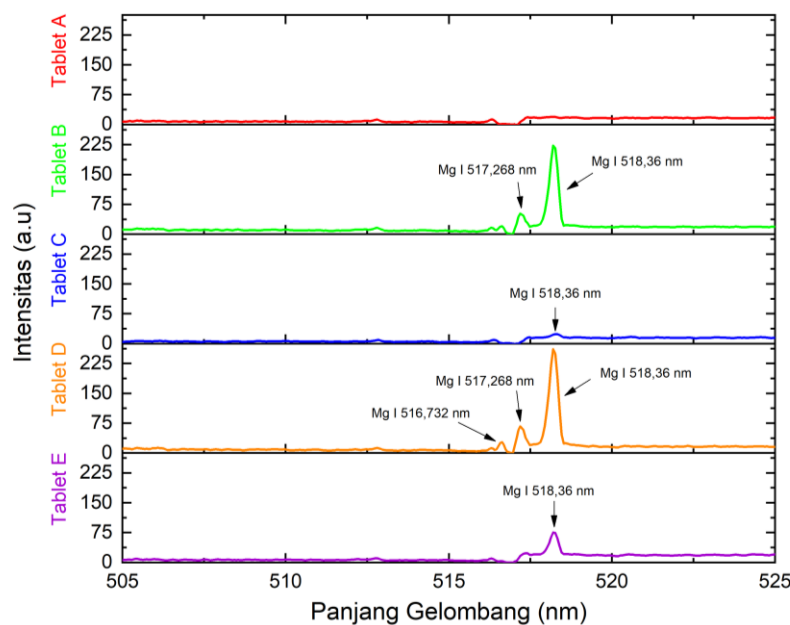
Selain unsur utama parasetamol, unsur lain yang terdeteksi seperti Na, K, Ca, dan Mg dapat berasal dari eksipien tambahan, seperti magnesium stearat, laktosa, dan amilum yang umum digunakan dalam formulasi tablet (Azzahra et al., 2023). Keberadaan puncak tiap unsur yang

dihasilkan relatif terhadap intensitas puncak unsur lain, sehingga beberapa puncak minor tidak terlihat jelas bila dilakukan pengamatan terhadap spektrum utuh yang menyajikan puncak dalam rentang panjang gelombang yang luas. Namun, secara keseluruhan spektrum kelima sampel tablet menunjukkan profil unsur yang kohesif dan perbedaan utamanya terletak pada intensitas puncak dari tiap-tiap unsur.

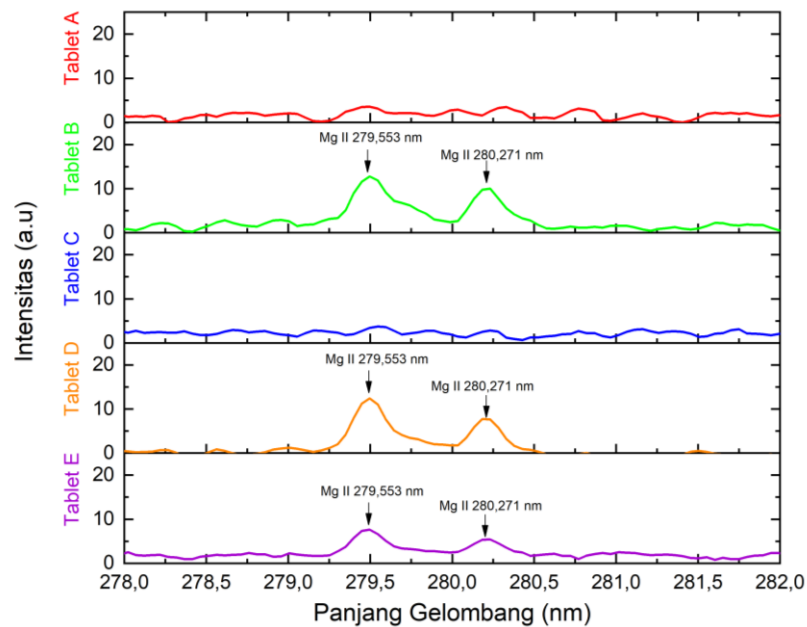
3.4 Perbandingan Unsur Sampel Tablet Parasetamol

Analisis kualitatif perbandingan unsur penyusun dalam beberapa sampel tablet

parasetamol menggunakan LIBS menunjukkan adanya variasi pada intensitas puncak beberapa unsur. Perbedaan utama pada kelima sampel (Tablet A, Tablet B, Tablet C, Tablet D, Tablet E) ditunjukkan pada dua unsur logam minor, yaitu unsur kalsium (Ca) dan unsur magnesium (Mg) dengan perbedaan profil pada intensitas unsur Mg dalam tiap tablet dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



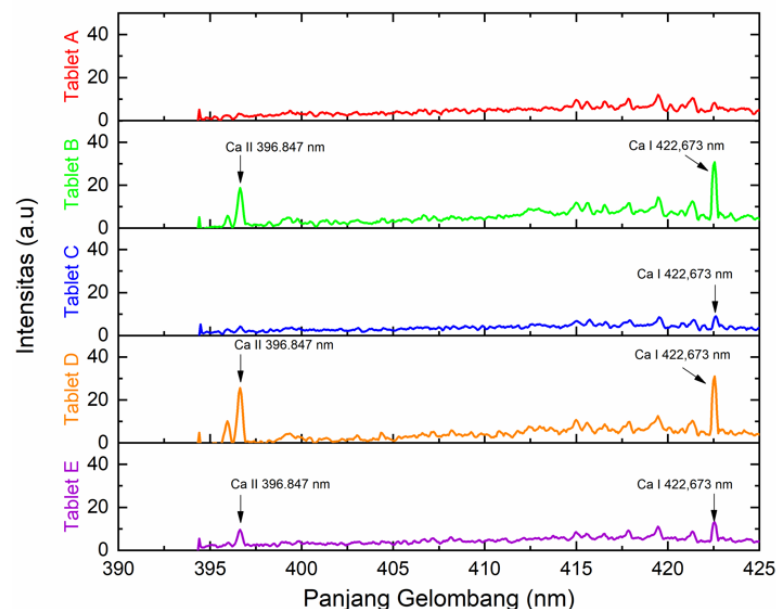
Gambar 5. Perbandingan Spektrum Puncak Emisi Unsur Mg I



Gambar 6. Perbandingan Spektrum Puncak Emisi Unsur Mg II

Pengamatan pada rentang *baseline* 505-525 nm menunjukkan terdeteksinya unsur magnesium melalui puncak emisi spektrum pada unsur Mg I (516,732 nm, 517,268 nm, dan 518,36 nm). Pola distribusi intensitas menunjukkan bahwa sampel Tablet D memiliki intensitas puncak Mg tertinggi, diikuti oleh Tablet B dan Tablet E secara berturut-turut. Spektrum Tablet A dan Tablet C hampir tidak

menunjukkan puncak sinyal unsur Mg secara jelas dengan pengamatan visual pada tiga titik panjang gelombang Mg seperti yang ditunjukkan oleh Tablet B, Tablet D, dan Tablet E. Hasil serupa juga teramati pada unsur Mg II yang memiliki emisi pada titik panjang gelombang 279,553 nm dan 280,271 nm. Hasil analisis perbandingan selanjutnya terhadap unsur Ca dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Perbandingan Spektrum Puncak Emisi Unsur Ca

Hasil yang serupa dengan pengamatan terhadap unsur Mg menunjukkan Tablet A dan Tablet C tidak menghasilkan puncak emisi yang jelas pada Ca II (396,847 nm) dan puncak yang rendah di Tablet C dibandingkan ketiga tablet lainnya pada Ca I (422,673 nm). Keberadaan puncak-puncak yang dihasilkan ini juga relatif terhadap intensitas *baseline* dan rentang penyajian data intensitas pada grafik spektrum yang dapat membuat puncak emisi beberapa unsur terlihat menonjol ataupun membaur dengan *baseline* di sekitarnya. Sehingga, analisis juga dilakukan langsung dengan membandingkan intensitas pada tiap titik panjang gelombang unsur Ca I, Ca II, Mg I, dan Mg II terhadap intensitas *baseline* di sekitarnya. Analisis ini juga mengacu pada penelitian Sugito et al. (2020) dalam memverifikasi titik puncak panjang gelombang kedua unsur logam Ca dan Mg menggunakan LIBS.

Intensitas unsur logam minor kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) berhubungan langsung dengan jumlah relatif unsur tersebut dalam sampel tablet farmasi. Variasi intensitas Mg dan Ca di beberapa sampel pada spektrum LIBS mencerminkan perbedaan komposisi eksipien antar produk atau perbedaan proses manufaktur, seperti densitas tablet, sumber bahan baku yang digunakan dalam proses produksi masing-masing merek, dan distribusi eksipien di dalam matriks sediaan (Khan et al., 2022). Perbedaan intensitas yang juga dihasilkan ini dapat digunakan untuk memprediksi kekerasan relatif tablet karena kekerasan memengaruhi proses pelepasan unsur saat plasma terbentuk akibat laser. Semakin tinggi rasio intensitas, maka semakin keras tablet tersebut. Ini penting dalam kontrol mutu sediaan karena kekerasan tablet memengaruhi disolusi, bioavailabilitas, dan stabilitas fisik sediaan (Smith et al., 2020). Selain itu, terdeteksi unsur logam minor lain pada kelima sampel tablet, seperti unsur Al I (394,401 nm). Namun, puncak emisi unsur ini tergolong pada puncak minor dengan intensitas yang rendah dibandingkan unsur Ca dan Mg.

4. KESIMPULAN

LIBS menunjukkan puncak emisi intens pada unsur H, N, dan O sebagai penyusun utama parasetamol. Variasi antar sampel tablet teridentifikasi pada kandungan logam minor Ca dan Mg, yaitu puncak emisi jelas terdeteksi pada tablet B, D, dan E, sedangkan tablet A dan C tidak menunjukkan sinyal puncak yang jelas. Hasil ini menunjukkan bahwa LIBS merupakan metode analisis cepat, non-destruktif, dan minim preparasi yang potensial digunakan untuk skrining variasi kandungan unsur sediaan tablet.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Laboratorium Terpadu Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Udayana atas fasilitas yang diberikan dalam pelaksanaan penelitian ini.

REFERENSI

- Anggraeni, K., Nasution, A. M. T., & Suyanto, H. (2016). Analisis Penciri Spektral Biji Kopi Hijau Arabika dan Robusta Menggunakan LIBS (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy). In *Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)* (Vol. 1, Issue 2). Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Azzahra, A. J., Kamilah, S., Maria, A. D., Mahfud, S. S., Nurfauziah, S. S., Ainun, F., Amalia, & Yunniarsih, N. (2023). Perbandingan Efektivitas Zat Eksipien Terhadap Granul dalam Pembuatan Tablet Paracetamol dengan Metode Granulasi Basah: Review Artikel. *INNOVATIVE: Journal of Social Science Research*, 3(2), 9813–9830.
- Cervantes, C., Marangoni, B. S., Nicolodelli, G., Senesi, G. S., Villas-Boas, P. R., Silva, C. S., Nogueira, A. R. A., Benites, V. M., & Milori, D. M. B. P. (2024). Laser-Induced Breakdown Spectroscopy Applied to the Quantification of K, Ca, Mg and Mn Nutrients in Organo-Mineral, Mineral P Fertilizers and Rock Fertilizers. *Minerals*, 14(11), 1–10. <https://doi.org/10.3390/min14111109>

- de Morais, C. P., Nicolodelli, G., Mitsuyuki, M. C., Mounier, S., & Milori, D. M. B. P. (2021). Optimization of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy Parameters from the Design of Experiments for Multi-Element Qualitative Analysis in River Sediment. *Spectrochimica Acta - Part B: Atomic Spectroscopy*, 177, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2021.106066>
- Kabir, M. H., Guindo, M. L., Chen, R., Sanaeifar, A., & Liu, F. (2022). Application of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy and Chemometrics for the Quality Evaluation of Foods with Medicinal Properties: A Review. *Foods*, 11(14), 1–19. <https://doi.org/10.3390/foods11142051>
- Khan, Z. H., Ullah, M. H., Rahman, B., Talukder, A. I., Wahadoszamen, M., Abedin, K. M., & Haider, A. F. M. Y. (2022). Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) for Trace Element Detection: A Review. *Journal of Spectroscopy*, 2022, 1–25. <https://doi.org/10.1155/2022/3887038>
- Moros, J., & Laserna, J. (2019). Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) of Organic Compounds: A Review. *Applied Spectroscopy*, 73(9), 963–1011. <https://doi.org/10.1177/0003702819853252>
- Nanou, E., Pliatsika, N., Stefas, D., Polygenis, D., & Couris, S. (2025). Laser induced breakdown spectroscopy as an emerging technique for olive oil, milk and honey authentication and traceability: A review. In *Journal of Food Composition and Analysis* (Vol. 144). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.107650>
- National Institute of Standards and Technology (NIST). (2025, March 16). *NIST Atomic Spectra Database*. National Institute of Standards and Technology (NIST).
- Oh, S., Carter, C. D., Park, Y., Bae, S., & Do, H. (2020). Non-Intrusive Laser-Induced Breakdown Spectroscopy in Flammable Mixtures via Limiting Inverse-Bremsstrahlung Photon Absorption. *Combustion and Flame*, 215, 259–268. <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2020.01.037>
- Oktaviana, E., Hidayati, I. R., & Pristiany, L. (2017). Pengaruh Pengetahuan terhadap Penggunaan Obat Parasetamol yang Rasional dalam Swamedikasi (Studi pada Ibu Rumah Tangga di Desa Sumberpoh Kecamatan Maron Kabupaten Probolinggo). *Jurnal Farmasi Dan Ilmu Kefarmasian Indonesia*, 4(2), 44–51.
- Sbahi, A., Abdelwahed, W., & Sakur, A. A. (2020). A New Flame AAS Application for Magnesium Determination in Solid Pharmaceutical Preparations as an Active Ingredient and an Excipient. *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry*, 21(23), 89–95. <https://doi.org/10.9734/irjpac/2020/v21i2330305>
- Smith, J. P., Zou, L., Liu, Y., & Bu, X. (2020). Investigation of Minor Elemental Species within Tablets using in Situ Depth Profiling via Laser-Induced Breakdown Spectroscopy Hyperspectral Imaging. *Spectrochimica Acta - Part B*, 165, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.sab.2020.105769>
- Sugito, H., Khumaeni, A., Budi, W. S., & Wardaya, A. Y. (2020). Identifikasi Kalsium dan Magnesium dalam Obat Menggunakan LIPS (Laser-Induced Plasma Spectroscopy). *Cendekia Journal of Pharmacy*, 4(1), 26–30.
- Sulaiman, T. N. S., & Sulaiman, S. (2020). Review: Eksipien untuk Pembuatan Tablet dengan Metode Kempa Langsung. *Journal of Pharmaceutical and Sciences (JPS)*, 3(2), 64–76.
- Tiwari, P. K., Rai, N. K., Kumar, R., Parigger, C. G., & Rai, A. K. (2019). Atomic and Molecular Laser-induced Breakdown Spectroscopy of Selected Pharmaceuticals. *Atoms*, 7(3), 1–11. <https://doi.org/10.3390/ATOMS7030071>
- Widiani, A., & Cahyo, D. B. (2019). Variations in the Concentration of Magnesium Stearate as a Lubricant in the Evaluation Test Results of Paracetamol Tablet Preparations. *Strada Journal of Pharmacy*, 1(2), 35–40.
- Zou, L., Kassim, B., Smith, J. P., Ormes, J. D., Liu, Y., Tu, Q., & Bu, X. (2018). In Situ Analytical Characterization and Chemical Imaging of Tablet Coatings Using Laser Induced Breakdown

Spectroscopy (LIBS). *Analyst*, 143,
5000–5007.
<https://doi.org/10.1039/c8an01262h>