

## Analisis Korosifitas Baja Ringan dengan Metoda *Laser Induced Breakdown Spectroscopy* (LIBS)

<sup>1</sup>Siti Raudatul Jannah, <sup>2</sup>Ni Nyoman Ratini, <sup>3</sup>Windarjoto, <sup>4</sup>Hery Suyanto

<sup>1,2,3,4</sup>Prodi Studi Fisika, FMIPA, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia, 80361

Email Korespondensi: [datuljannah@student.unud.ac.id](mailto:datuljannah@student.unud.ac.id)

Article Info	Abstract
<p><b>Article History</b>            Received: 16 Mei 2021            Revised: 01 June 2021            Published: 30 June 2021</p> <p><b>Keywords</b>            Mild steel; NaCl; Element identification; Corrosion rate</p>	<p><i>A reseach on the analysis of the corrosivity of mild steel using the Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS). Method has been carried out. Research is done on mild steel zinalume type with immersion treatment (NaCl 3.5%) for 10 days, and 30 days and without immersion. Mild steel is laser irradiated (Nd-YAG 1064 nm, 7 ns) with energy of 120 mJ, and the data is taken with an accumulation of 3, delay time of 0.5 <math>\mu</math>s. Elements identification is done by taking data from up to 75 <math>\mu</math>m from the surface. The results of the analysis with LIBS showed immersion for 10 days, the corrosion rate and hardness of mild steel increased with 30 days immersion. The increase in the corrosion rate of mild steel is indicated by decreasing the value of dissolved oxygen intensity, the electrochemical reaction is fast. The decrease in the corrosion rate is indicated by the increase in the intensity value of Zn and Al elements associated with the formation of a passive film on the metal surface as a protective layer to protect further corrosion attacks.</i></p>
Informasi Artikel	Abstrak
<p><b>Sejarah Artikel</b>            Diterima: 16 Mei 2021            Direvisi: 01 Juni 2021            Dipublikasi: 30 Juni 2021</p> <p><b>Kata kunci</b>            Baja Ringan; NaCl; Identifikasi unsur; Laju Korosi</p>	<p>Telah dilakukan penelitian analisis korosifitas baja ringan dengan metoda <i>Laser Induced Breakdown Spectroscopy</i> (LIBS). Pengujian dilakukan pada baja ringan tipe zinalume dengan perlakuan perendaman di dalam larutan NaCl 3,5% selama 10 hari, dan 30 hari, dan tanpa perendaman. Baja ringan diirradiasi laser (Nd-YAG 1064 nm, 7 ns) dengan energi sebesar 120 mJ, dan data diambil dengan akumulasi 3, waktu tunda deteksi 0,5 <math>\mu</math>s. Identifikasi unsur-unsur dilakukan dengan pengambilan data hingga kedalaman 75 <math>\mu</math>m dari permukaan. Hasil analisis dengan LIBS menunjukkan pada saat perendaman selama 10 hari laju korosi lebih tinggi dari pada perendaman 30 hari. Peningkatan laju korosi baja ringan ditunjukkan dengan menurun nilai intensitas oksigen terlarut, reaksi elektrokimia berjalan dengan cepat. Penurunan laju korosi pada perendaman 30 hari ditunjukkan dengan peningkatan nilai intensitas unsur Zn dan Al dihubungkan dengan pembentukan film pasif di permukaan logam sebagai lapisan proteksi untuk melindungi serangan korosi lebih lanjut.</p>
<p><b>Sitasi:</b> Jannah, S.R., Ratini, N.N., Windarjoto, W., &amp; Suyanto, H. (2021), Analisis Korosifitas Baja Ringan dengan Metoda <i>Laser Induced Breakdown Spectroscopy</i> (LIBS), <i>Kappa Journal</i>. 5(1), 1-9.</p>	

### PENDAHULUAN

Pemanfaatan logam sudah menjadi bagian yang tak terpisahkan bagi kehidupan manusia, salah satunya yaitu pemanfaatan baja ringan yang mulai banyak digunakan dalam kerangka bangunan. Baja ringan merupakan salah satu jenis pengganti rangka atap konvensional yang biasanya terbuat dari kayu sebagai struktur rangka atap dan rangka kuda-kuda pada bangunan (Nugroho, 2014). Dalam dunia industri, barang hasil produksi dibuat dan dirancang supaya memiliki ketahanan yang baik terhadap lingkungan, terutama produk yang berbahan logam seperti baja ringan. Baja ringan adalah baja berkualitas tinggi yang bersifat ringan dan tipis, serta kekuatannya tidak kalah dari baja konvensional. Baja tersusun

dari besi dan karbon (Fe dan C) (Surandono, 2014). Apabila unsur tersebut bercampur dengan air dan udara, maka akan timbul reaksi yang mendorong terjadinya karat atau korosi. Maka baja ringan perlu dilapisi anti karat yaitu aluminium, zinc, dan chromium (Al, Zn, dan Cr) untuk menjaga agar material awet dan tahan lama (Duppa, 2016).

Korosi merupakan masalah utama dalam dunia material karena dapat mengakibatkan kerugian yang besar di berbagai bidang seperti dunia industri dan konstruksi. Penelitian mengenai ketahanan korosi baja ringan di lingkungan NaCl telah dilakukan oleh Ispandriatno & Krisnaputra (2015). Dalam penelitian ini didapatkan bahwa air laut memiliki kandungan natrium klorida (NaCl) yang sangat mempengaruhi laju korosi material di lingkungan air laut. Korosi pada baja ringan dipengaruhi oleh konsentrasi ion agresif seperti ion klorida. Ion klorida disebut sebagai ion agresif karena kemampuannya untuk menghancurkan lapisan permukaan pada baja dan mempercepat laju korosinya. Ion klorida apabila dilarutkan dalam air, akan berubah menjadi asam klorida yang dapat menurunkan nilai pH. Pengaruh ion klorida terhadap laju korosi juga dipengaruhi oleh konsentrasi garam. Dimana dalam penelitian ini digunakan larutan (NaCl 3,5%). Selain itu, penelitian mengenai baja ringan pernah dilakukan oleh Suyanto (2013) dengan metode *Laser Induced Breakdown Spectroscopy* (LIBS), kelebihan dari metode ini yaitu dapat menganalisis unsur-unsur yang merupakan penyusun utama bahan dan unsur-unsur tambahan akibat kontaminasi lingkungan, akan tetapi dalam penelitian tersebut tidak membahas korosifitas baja ringan. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan berfokus untuk menganalisis korosifitas baja ringan dengan metode *Laser Induced Breakdown Spectroscopy* (LIBS).

*Laser Induced Breakdown Spectroscopy* (LIBS) adalah suatu teknik analisis sampel secara kuantitatif dan kualitatif yang cepat, tidak merusak sampel, serta tanpa preparasi sampel dalam menganalisisnya (Suyanto, 2013). Selain dari itu LIBS dapat digunakan untuk menganalisis hampir semua unsur kimia yang ada dalam tabel periodik secara serempak (Muliadi Ramli, 2018).

## METODE

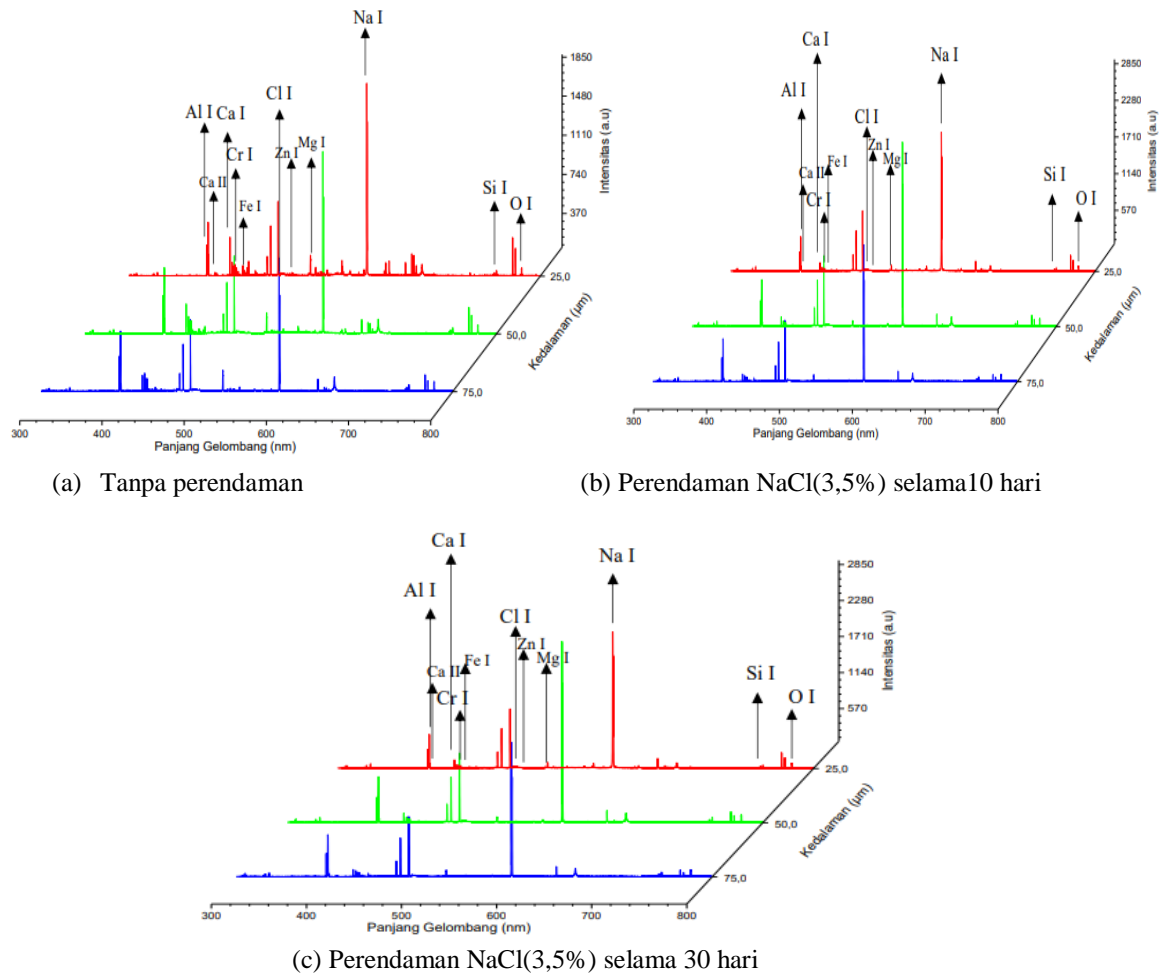
Baja ringan setelah dipotong dengan ukuran masing-masing 1 cm<sup>2</sup>, kemudian direndam dalam larutan NaCl 3,5% dengan perlakuan waktu 10 hari, dan 30 hari serta tanpa perendaman sebagai kontrol. Selanjutnya baja ringan dikarakterisasi dengan LIBS yang mana ketiga sampel tersebut diirradiasi laser (Nd-YAG 1064 nm, 7 ns) dengan energi sebesar 120 mJ, waktu tunda deteksi (*delay time detection*) 0,5 μs dengan akumulasi 3 kali. Pengambilan data dilakukan pada 3 titik lokasi yang berbeda, dan masing-masing titik lokasi dilakukan 3 kali pengambilan data. Setiap pengambilan data terdiri dari 3 pulsa laser sedemikian rupa sehingga didapatkan 3 pulsa laser pertama, kedua dan ketiga pulsa laser dalam satu titik lokasi atau setara dengan kedalaman 25 μm, 50 μm, dan 75 μm. Metode ini disebut metode analisis kedalaman (*depth profile*). Dari hasil karakterisasi LIBS didapatkan data intensitas fungsi panjang gelombang dimana intensitas mempresentasikan konsentrasi dan panjang gelombang mempresentasikan jenis suatu unsur di dalam bahan.

Pada penelitian ini digunakan larutan NaCl 3,5% sebagai pengganti air laut sebagai medium korosi. Karena unsur aluminium (Al) dan zinc (Zn) merupakan pelapis pelindung dari korosi pada baja ringan, maka pada penelitian ini dilakukan analisis konsentrasi (intensitas) dari unsur Al dan Zn, pengaruh lama perendaman dalam larutan NaCl 3,5% terhadap korosifitas.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Spektra Baja Ringan dengan LIBS

Baja ringan yang dianalisis dengan LIBS dengan energi laser 120 mJ, waktu tunda deteksi 0,5 $\mu$ s dan akumulasi 3 kali diperoleh spektra seperti pada Gambar 1.



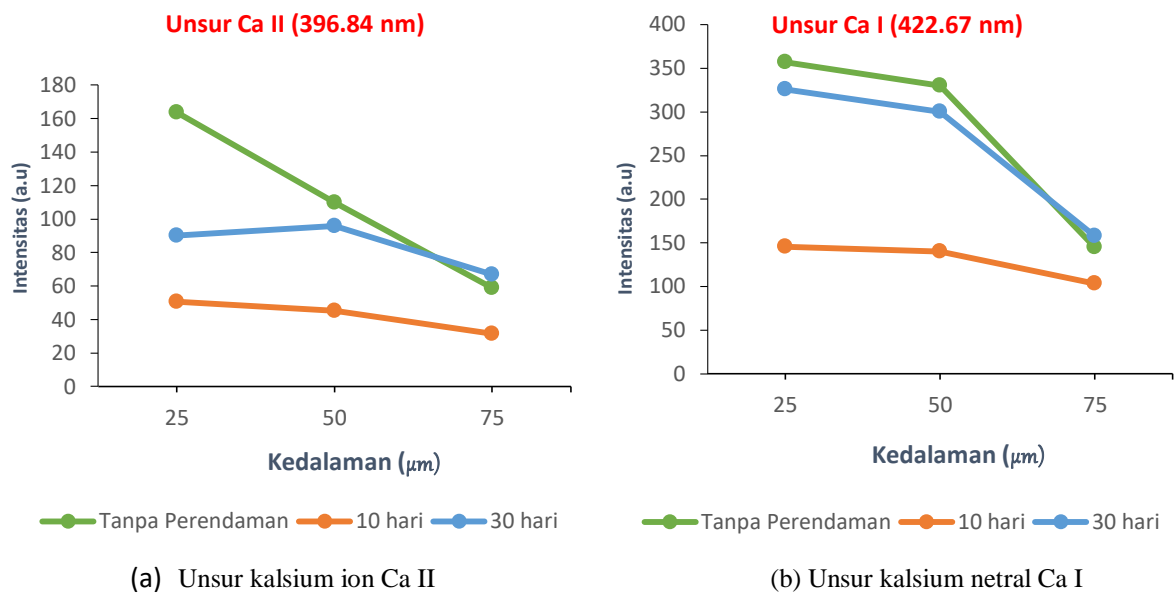
Gambar 1. Spektra sampel baja ringan fungsi kedalaman (a) tanpa perendaman, (b) perendaman NaCl (3,5%) selama 10 hari, (c) perendaman NaCl (3,5%) selama 30 hari

Gambar 1 menunjukkan spektra dari analisis LIBS untuk sampel baja ringan dengan perlakuan perendaman 10 hari, perendaman 30 hari, dan tanpa perendaman, pada kedalaman 25  $\mu$ m, 50  $\mu$ m, 75  $\mu$ m dari permukaan. Sehingga pada Gambar 1 memperlihatkan spektra intensitas sebagai fungsi kedalaman (*depth profile*). Pada Gambar teramati adanya unsur-unsur yang terkandung pada sampel baja ringan yaitu Na, Cl, Fe, Cr, Al, Zn O, Si, Mg, dan Ca. Karena bahan ini mengandung unsur Al, Zn, dan Si maka baja ringan ini merupakan jenis zinalume (Nugroho, 2014).

Untuk mengetahui karakteristik unsur-unsur disetiap kedalaman akibat pengaruh dari perendaman NaCl (3,5%), maka selanjutnya data dianalisis dalam bentuk grafik intensitas sebagai fungsi kedalaman. Unsur-unsur yang dianalisis (atau dikarakterisasi) adalah unsur pelindung korosif baja ringan (Al dan Zn) dan unsur penyebab korosifitas (Na dan Cl) serta unsur Ca untuk perhitungan kekerasan yang hasilnya tertera pada Gambar 2 sampai dengan Gambar 6.

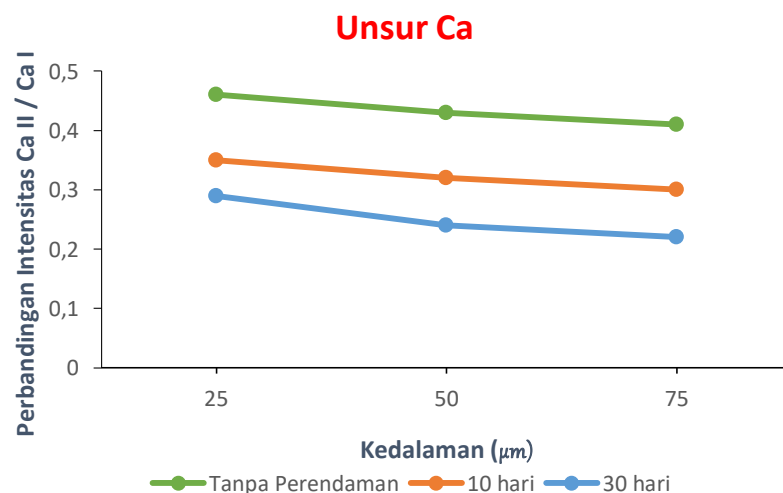
Kekerasan suatu bahan dengan metode LIBS dapat diprediksi berdasarkan rasio intensitas kalsium ion Ca II 396, 84 nm terhadap kalsium netral Ca I 422, 67 (Suyanto et al.,

2018, Abdel - Salam et al., 2009, Pilkington et al., 2015). Grafik intensitas sebagai fungsi kedalaman untuk unsur Ca ion dan Ca netral ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik intensitas sebagai fungsi kedalaman (a) unsur kalsium ion Ca II dan (b) unsur kalsium netral Ca I sampel baja ringan dengan perlakuan: tanpa perendaman, perendaman selama 10 hari, dan perendaman selama 30 hari.

Gambar 2.a dan 2.b masing-masing merupakan spektrum kalsium ionik Ca II 396,84 nm dan kalsium netral Ca I 422,67 nm untuk perlakuan: tanpa perendaman, perendaman NaCl 3,5% selama 10 hari dan 30 hari. Berdasarkan kedua gambar tersebut, bahwa kandungan kalsium dalam baja ringan semakin mengecil dengan bertambahnya kedalaman. Menurut (Suyanto et al., (2018), Abdel - Salam et al., 2009, Pilkington et al., 2015) data dari kedua grafik ini dapat ditentukan kekerasan bahan baja ringan dengan cara membandingkan data intensitas spektra Ca II terhadap Ca I yang hasilnya seperti pada Gambar 3.



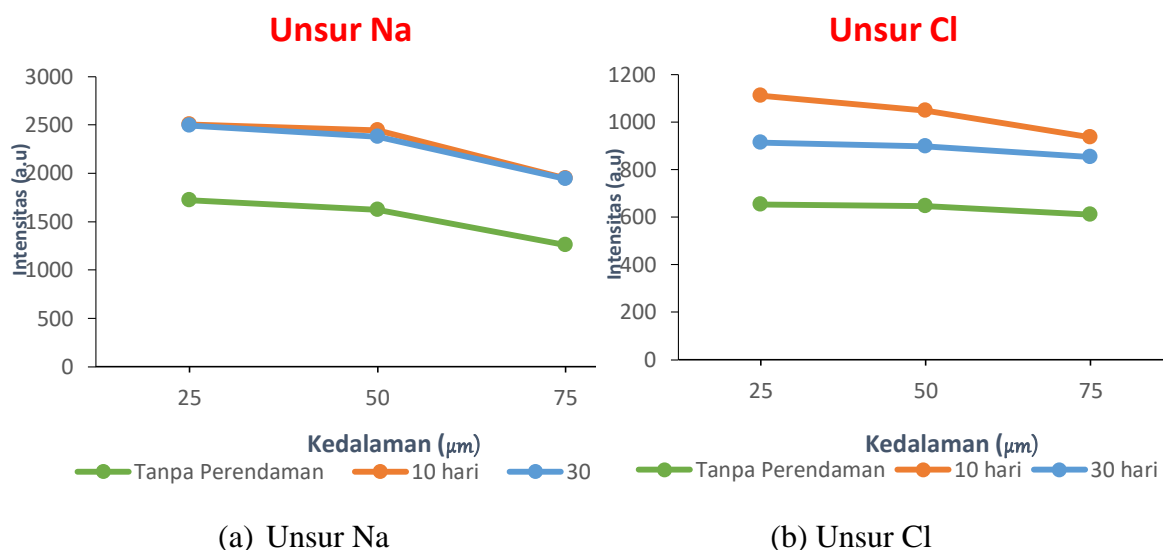
Gambar 3. Grafik perbandingan unsur kalsium ion Ca II 396,84 nm terhadap kalsium netral Ca I 422,67 nm fungsi kedalaman.

Gambar 3 memperlihatkan grafik perbandingan intensitas antara kalsium ion Ca II dan kalsium netral Ca I dari bahan baja ringan dengan perlakuan tanpa perendaman, perendaman 10 hari, dan perendaman 30 hari. Menurut Sinaga & Manurung (2020) nilai kekerasan

dipengaruhi oleh lama perendaman material pada media korosi. Semakin lama material tersebut dikorosikan maka nilai kekerasan pada material akan semakin berkurang. Terlihat pada grafik bahwa setiap fungsi kedalaman, tingkat kekerasan baja ringan menurun setelah mengalami korosi, sehingga baja ringan tanpa perendaman mempunyai kekerasan lebih tinggi dibandingkan dengan baja ringan yang direndam dalam larutan NaCl 3,5% baik pada perendaman 10 hari maupun perendaman 30 hari. Demikian juga perendaman 10 hari lebih keras dibandingkan dengan perendaman 30 hari.

Hubungan kekerasan dan besarnya intensitas emisi suatu unsur dengan metode LIBS dapat diterangkan sebagai berikut. Ketika laser difokuskan pada suatu bahan baja ringan, maka sebagian kecil bahan tersebut akan terablasi dengan kecepatan tinggi (Tjahjo & Suyanto, 2014). Semakin keras suatu bahan, semakin tinggi kecepatan partikel-partikel yang terablasi karena tumbukan antara pulsa laser dengan bahan yang mana mengakibatkan gaya pantulnya meningkat. Partikel-partikel ini selanjutnya akan mengalami kompresi adiabatik dengan gas (udara) disekitarnya dan terjadilah gelombang kejut (*shock wave*) (Budi et al., 1999). Energi *shock wave* ini digunakan untuk mengeksitasi atom-atom yang terablasi. Dalam waktu singkat atom-atom yang tereksitasi ini akan kembali ke keadaan dasar (*ground state*) sambil mengemisikan foton dengan panjang gelombang yang sesuai jenis unsuranya. Selanjutnya foton ini ditangkap oleh detektor dan diplot sebagai intensitas fungsi panjang gelombang. Oleh sebab itu semakin keras suatu bahan, akan semakin besar kecepatan atom-atom yang terablasi dan menghasilkan energi *shock wave* yang tinggi. Energi ini akan menyebabkan sejumlah atom-atom tereksitasi bahkan terionisasi semakin banyak, sehingga munculnya ion ini dapat dihubungkan dengan kekerasan suatu bahan (Abdel - Salam et al., 2009, Pilkington et al., 2015).

Untuk melihat pengaruh perendaman NaCl 3,5% terhadap korosifitas pada baja ringan, maka perlu dilakukan analisis unsur Natrium (Na) dan Klorida (Cl) disetiap fungsi kedalaman dan hasilnya seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

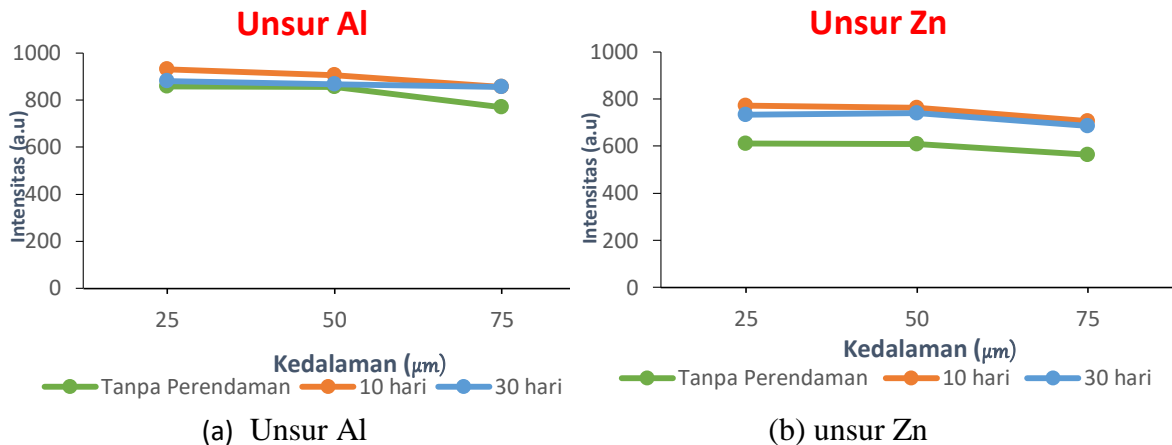


(a) Unsur Na (b) Unsur Cl  
Gambar 4. Grafik intensitas sebagai fungsi kedalaman (a) unsur Na dan (b) unsur Cl dari sampel baja ringan dengan perlakuan; tanpa perendaman, perendaman 10 hari, dan perendaman 30 hari.

Dari Gambar 4 terlihat bahwa ada peningkatan jumlah unsur (intensitas) baik unsur Na maupun Cl setelah perendaman baja ringan. Ini mengindikasikan adanya unsur Na maupun Cl terserap dan berinteraksi dengan unsur-unsur di dalam bahan baja ringan yang mana akan memicu terjadinya korosi (Ispandriatno & Krisnaputra, 2015). Pada Gambar 4 terlihat bahwa intensitas pada saat perendaman 10 hari baik unsur Na maupun Cl lebih tinggi dibandingkan pada saat perendaman 30 hari disetiap lapisan kedalaman. Hal ini disebabkan karena

kekerasan pada perendaman 10 hari lebih keras dibandingkan pada perendaman 30 hari, seperti yang telah dibahas pada Gambar 3.

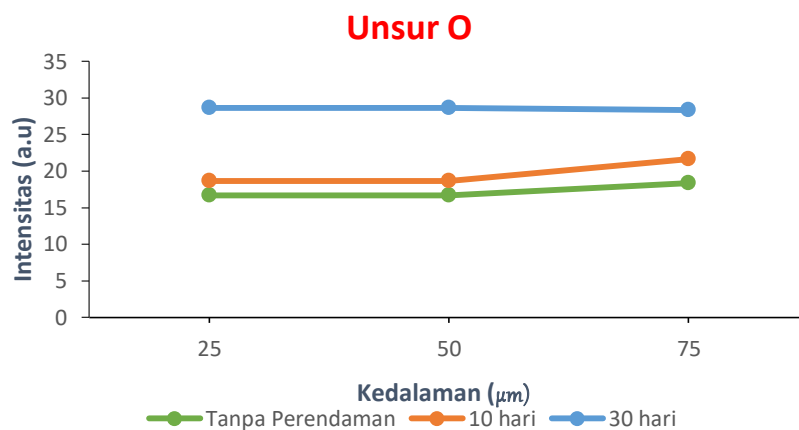
Untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi pada baja ringan dapat menambahkan pelapisan paduan yaitu zinc (Zn) dan Aluminium (Al) (Yanti, 2016). Untuk melihat karakteristik unsur pelindung korosif baja ringan jenis zinalume ini, maka dilakukan analisis pada unsur Al dan Zn dan hasilnya seperti pada Gambar 5.



(a) Unsur Al (b) unsur Zn  
Gambar 5. Grafik intensitas sebagai fungsi kedalaman (a) unsur Al dan (b) unsur Zn sampel baja ringan dengan perlakuan; tanpa perendaman, perendaman 10 hari, dan perendaman 30 hari.

Pada Gambar 5.a dan 5.b terlihat bahwa Al dan Zn sebelum perendaman intensitasnya lebih rendah dibandingkan setelah perendaman. Setelah perendaman terbentuklah korosi yang menyebabkan unsur Al dan Zn bergerak keluar menuju permukaan dan akan membentuk lapisan (film pasif) di permukaan baja ringan untuk melindungi korosi lebih lanjut (Zhang, 2012). Oleh karena itu berdasarkan Gambar 5.a dan 5.b intensitas unsur Al dan Zn meningkat pada saat perendaman 10 hari dan mulai menurun pada saat perendaman 30 hari di semua lapisan kedalaman. Menurut Zhang (2012), selain karena kekerasan pada perendaman selama 10 hari lebih tinggi, ini juga disebabkan banyaknya pelepasan unsur-unsur tersebut sebagai fungsi waktu lama perendaman.

Untuk melihat peranan unsur oksigen ( $\text{O}_2$ ) dalam reaksi redoks (reduksi-oksidasi) dalam pembentukan korosi maka perlu dianalisis karakteristik unsur tersebut dalam setiap lapisan kedalaman dan hasilnya seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik intensitas sebagai fungsi kedalaman unsur oksigen ( $\text{O}_2$ ) pada sampel baja ringan dengan perlakuan: tanpa perendaman, perendaman NaCl(3,5%) selama 10 hari, dan perendaman NaCl(3,5%) selama 30 hari.



Pada Gambar 6, karena adanya perendaman larutan NaCl, maka ada penambahan unsur oksigen pada bahan baja ringan, sehingga intensitas unsur oksigen lebih tinggi pada bahan baja ringan yang mengalami perendaman dibandingkan tanpa perendaman. Karena perendaman 30 hari lebih lama, maka intensitas unsur oksigennya lebih tinggi dibandingkan yang 10 hari. Ini berarti unsur oksigen berperan dalam proses reaksi redoks (Zuchry & Magga, 2017) dalam baja ringan.

## 2. Analisis Pengaruh Waktu Perendaman terhadap Laju Korosi.

Korosi merupakan proses yang terjadi secara alami dan tidak bisa berhenti selama logam tersebut masih berada di lingkungan yang bersifat korosif. Korosi dapat menyebabkan perusakan atau penurunan mutu dari material logam karena logam bereaksi secara kimia atau elektrokimia dengan lingkungan. Kerusakan yang disebabkan karena adanya korosi diantaranya dapat berupa oksida logam, kerusakan permukaan logam, perubahan sifat mekanis, dan perubahan sifat kimia (Muzkantari, 2015).

Berdasarkan grafik intensitas pada Gambar 3 sampai dengan Gambar 6 terlihat bahwa pada saat perendaman 10 hari, laju korosi baja ringan mengalami kenaikan dibandingkan dengan perendaman 30 hari. Hal ini disebabkan karena adanya anion klorida yang berada dalam larutan NaCl dapat bersenyawa sebagai kation logam hasil reaksi anodik yang membentuk senyawa kompleks mudah larut, yang dapat meningkatkan reaksi elektrokimia dan laju korosi secara cepat (Priyotomo et al., 2019). Laju korosi mengalami kenaikan yaitu pada perendaman 10 hari, sehingga waktu perendaman ini disebut sebagai tahap inisiasi. Pada tahap ini reaksi elektrokimia berjalan sangat cepat (Priyotomo et al., 2019), dimana dalam hal ini reaksi oksidasi (anoda) dan reaksi reduksi (katoda) berlangsung. Reaksi elektrokimia juga membutuhkan peranan oksigen (reaksi reduksi) dan ion klorida. Dalam grafik intensitas pada Gambar 6, didapatkan bahwa pada saat perendaman 10 hari, nilai oksigen terlarut lebih rendah dibandingkan dengan perendaman 30 hari. Berdasarkan Sundjono et al., (2017) bahwa kandungan nilai oksigen terlarut menurun seiring dengan peningkatan laju korosi baja. Dengan demikian, pada saat perendaman 30 hari, laju korosi baja cenderung mengalami penurunan dibandingkan pada saat perendaman 10 hari. Hal ini disebabkan karena terjadinya peningkatan tingkat oksigen yang terlarut seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

Penurunan laju korosi juga dihubungkan dengan pembentukan film pasif pada permukaan baja ringan sebagai lapisan proteksi untuk melindungi baja ringan dari serangan korosi lebih lanjut (Priyotomo et al., 2019), ditunjukkan oleh adanya laju pelepasan Zn lebih besar dibandingkan dengan Al seiring bertambahnya waktu (Zhang, 2012). Berdasarkan Gambar 5, selanjutnya dibuat Tabel intensitas dari unsur Zn dan Al sebagai fungsi waktu perendaman seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Laju pelepasan rata-rata Zn dan Al

		LIBS		
	Tanpa Perendaman	10 Hari Perendaman	30 Hari Perendaman	Selisih Intensitas Perendaman 10 Hari dan 30 Hari
	Intensitas (a.u)	Intensitas (a.u)	Intensitas (a.u)	Intensitas (a.u)
Zn	612	773,33	725,67	47,66
Al	858,333	930	890	40

Pada Tabel 1 diketahui konsentrasi Al pada sampel baja ringan lebih besar sehingga unsur Al menjadi kuat dibandingkan dengan unsur Zn, akibatnya pelepasan Zn lebih banyak. Hal ini yang menyebabkan terjadinya penurunan laju korosi pada saat perendaman 30 hari. Berdasarkan Tabel 1, nilai intensitas Al dan Zn lebih rendah dengan bertambahnya lama perendaman, dan pelepasan Zn lebih banyak dibandingkan dengan pelepasan Al, sehingga terbukti laju korosi menurun dengan bertambahnya waktu perendaman.

## KESIMPULAN

Hasil karakterisasi LIBS dari sampel baja ringan jenis zincalume yang direndam di dalam larutan NaCl diperoleh bahwa air garam (NaCl 3,5%) dapat mengakibatkan korosi pada baja ringan jenis zincalume. Hasil analisis dari intensitas unsur Zn dan Al memperlihatkan bahwa laju korosi pada baja ringan yang direndam 10 hari lebih tinggi dari pada yang direndam pada 30 hari.

## SARAN

Penelitian korosifitas baja ringan dengan larutan NaCl 3,5% dapat dijadikan acuan untuk menganalisa laju korosi pada baja ringan, dan disarankan ada penelitian lanjutan dengan pengaruh air hujan terhadap korosi baja ringan. Selain dari itu perlu ditambahkan perlakuan beberapa konsentrasi NaCl dan variasi waktu yang lebih lama lagi serta diperbanyak jenis sampel baja ringannya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis kepada Laboratorium Bersama FMIPA Universitas Udayana atas segala dukungan dan fasilitas yang diberikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Salam, Z. A., Nanjing, Z., Anglos, D., & Harith, M. A. (2009). Effect of experimental conditions on surface hardness measurements of calcified tissues via LIBS. *Applied Physics B: Lasers and Optics*, 94(1), 141–147.
- Budi, W. S., Suyanto, H., Kurniawan, H., Tjia, M. O., & Kagawa, K. (1999). Shock excitation and cooling stage in the laser plasma induced by a Q-switched Nd:YAG laser at low pressures. *Applied Spectroscopy*, 53(6).
- Duppa, H. (2016). Efektifitas Penggunaan Baja Ringan untuk Struktur Rangka Atap Gedung. *Jurnal Ilmiah Teknik*, 7(2), 79-88.
- Muliadi Ramli, N. I. T. N. U. H. K. L. (2018). Karakteristik Fisik Plasma dalam Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) Menggunakan Laser Neodymium:Yttrium-Aluminum-Garnet (Nd-YAG) Pada Sampel Daging Kerang Sungai. *Risalah Fisika*, 2(1), 9–14.
- Muzkantri, V. R., & Fmipa, J. F. (2015). *PENGARUH VARIASI TiO<sub>2</sub> DALAM KOMPOSIT PANi-TiO<sub>2</sub> / CAT SEBAGAI PELAPIS ANTI KOROSI PADA BAJA KARBON ASTM A36 Diah Hari Kusumawati*. 04, 61–64.
- Nugroho, F. (2014). Baja Ringan Sebagai Salah Satu Alternatif Pengganti Kayu Pada Struktur Rangka Kuda-Kuda Ditinjau Dari Segi Konstruksi. *Jurnal Momentum*, 16(2), 108–118.
- Ispandriatno, A. S., & Krisnaputra, R. (2015). Ketahanan Korosi Baja Ringan di Lingkungan Air Laut. *Jurnal Material dan Teknologi Proses*, 1(1), 1-7.
- Pilkington, R. D. ., Astin, J. S. ., & Cowpe, J. S. . (2015). Application of laser-induced breakdown spectroscopy for surface hardness measurements. *Spectroscopy Europe*, 27(6), 13–15.
- Priyotomo, G., Prifiharni, S., Nuraini, L., Sundjono, S., & Purawiardi, I. (2019). Korosi Baja Di Muara Baru Jakarta Dan Indramayu Dengan Simulasi Pasang Surut Uji Wet-Dry. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 12(1), 23.



- Sinaga, A. J., & Manurung, C. (2020). Analisa Laju Korosi dan Kekerasan Pada Stainless Steel 316 L Dalam Larutan 10 % NaCl Dengan Variasi Waktu Perendaman. *Sprocket Journal of Mechanical Engineering*, 1(2), 92–99.
- Sundjono, S., Priyotomo, G., Nuraini, L., & Prifiharni, S. (2017). Corrosion behavior of mild steel in seawater from northern coast of java and southern coast of Bali, Indonesia. *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 49(6), 770–784.
- Surandono, A. (2014). *Perencanaan Rangka Atap Baja Ringan*, TAPAK, Dosen Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Metro, 3(2), 91-95.
- Suyanto, H. (2013). Identifikasi Unsur Utama Penyusun Permukaan Bahan Baja Ringan dengan Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS). *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 6(2), 151–156.
- Suyanto, H., Trisnawati, N. L. P., Putra, I. K., & Suprihatin, I. E. (2018). Characterization of Human Teeth by Laser-Induced Breakdown Spectroscopy. *Journal of Physics: Conference Series*, 1120(1).
- Tjahjo, W., & Suyanto, H. (2014). *Analisis Signal Latar Plasma Laser dan Efeknya Dengan Laser-Induced Breakdown Spectroscopy ( LIBS )*. 2014(Sfn Xxvii), 16–17.
- Yanti, A. F. D. (2016). *Pengaruh pH Air Hujan dan Beban Terhadap Karakteristik Korosi pada Baja Galvalum*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Zuchry, M. and, & Magga, R. (2017). Analisis Laju Korosi Dengan Penambahan Pompa Pada Baja Komersil Dalam Media Air Laut. *Mekanikal*, 8(2), 737–741.
- Zhang, X. (2016). *The Initial release of zinc and aluminium from non-treated Galvalume and the formation of corrosion products in chloride containing media*. Swedia; Science Direct.