

Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI) Volume 15 Nomor 2 Tahun 2026, hal 199-205

STUDI PERBANDINGAN BAJA-LAS TIPE G300 DAN G550 DENGAN MENGGUNAKAN OPTICAL EMISSION SPECTROSCOPY (OES) DAN IMPLIKASI TERHADAP SIFAT FISIS

¹⁾Ainur Rofiatu Sya'diyah, ²⁾Evi Suaebah, ³⁾Nugrahani Primary Putri, ⁴⁾Fany Aditama

¹⁾Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: ainur.22050@mhs.unesa.ac.id

²⁾Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: evisuaebah@unesa.ac.id

³⁾Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: nugrahaniprimary@unesa.ac.id

⁴⁾Laboratorium Fisika, Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri, email: tama_its@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini membandingkan komposisi kimia baja lapis aluminium seng (BjLAS) tipe G300 dan G550 menggunakan Optical Emission Spectroscopy (OES) serta menelaah kaitannya dengan perbedaan kuat tarik berdasarkan data uji tarik. Sebanyak delapan sampel, masing-masing empat untuk G300 dan empat untuk G550, dianalisis terhadap unsur karbon (C), mangan (Mn), fosfor (P), dan sulfur (S). Hasil pengukuran menunjukkan bahwa G300 memiliki rata-rata kadar C 0,0745% dan Mn 0,1562%, sedangkan G550 memiliki kadar C 0,0607% dan Mn 0,1340%. Untuk unsur pengotor, kadar P dan S pada kedua tipe masih berada di bawah batas standar yang dirujuk, dengan P sebesar 0,0213% dan 0,0158%, serta S sebesar 0,0113% dan 0,0163% untuk masing-masing G300 dan G550. Meskipun G300 memiliki kadar C dan Mn sedikit lebih tinggi, G550 menunjukkan kuat tarik rata-rata lebih besar, yaitu 694,25 MPa dibandingkan 404,25 MPa pada G300. Temuan ini menunjukkan bahwa perbedaan komposisi kimia saja belum cukup menjelaskan perbedaan sifat mekanik, karena riwayat termomekanik selama proses produksi diduga turut berperan. Metode OES terbukti efektif dan akurat dalam menganalisis komposisi unsur dengan ketelitian tinggi, yang menjadi dasar untuk kontrol kualitas dan pemilihan material dalam industri.

Kata Kunci: Baja-LAS, *Optical Emission Spectroscopy*, Komposisi Kimia, G300, G550, Karakterisasi Material

Abstract

This study compares the chemical composition of aluminum-zinc coated steel (BjLAS/AZCS) types G300 and G550 using Optical Emission Spectroscopy (OES) and examines its relation to differences in tensile strength using supporting tensile data. Eight samples, consisting of four G300 and four G550 specimens, were analyzed for carbon (C), manganese (Mn), phosphorus (P), and sulfur (S). The results show that G300 has average C and Mn contents of 0.0745% and 0.1562%, respectively, while G550 has 0.0607% C and 0.1340% Mn. The P and S contents of both grades remain below the cited standard limits, with P contents of 0.0213% and 0.0158% and S contents of 0.0113% and 0.0163% for G300 and G550, respectively. Although G300 contains slightly higher C and Mn, G550 exhibits a much higher average tensile strength, 694.25 MPa compared with 404.25 MPa for G300. These findings indicate that chemical composition alone is insufficient to explain the mechanical-property difference; the thermomechanical history during production is likely influential. The OES method has demonstrated efficacy and precision in analyzing elemental composition, providing a foundation for quality control and material selection in industry.

Keywords: AZCS, *Optical Emission Spectroscopy*, Chemical Composition, G300, G550, Material Characterization

I. PENDAHULUAN

Baja merupakan material rekayasa strategis yang mendominasi berbagai sektor industri. Di antara berbagai jenis baja, baja karbon rendah banyak dipilih karena kemudahannya dibentuk (*formability* tinggi) dan biaya produksi yang relatif rendah. Namun, kelemahan utamanya adalah kerentanan terhadap korosi di lingkungan terbuka, yang dapat mengurangi umur pakai secara signifikan (Callister & Rethwisch, 2018). Untuk mengatasi hal ini, dikembangkan teknologi pelapisan logam menggunakan paduan aluminium-seng yang dikenal sebagai Galvalume atau Baja Lapis Aluminium Seng (BjLAS). Lapisan Al-Zn pada gambar 2 terbukti mampu memberikan perlindungan ganda sehingga memperpanjang umur pakai baja secara signifikan pada aplikasi luar ruang seperti atap, dinding, dan rangka bangunan (Kim et al., 2020).

Proses produksi BjLAS umumnya dimulai dari baja karbon rendah dalam bentuk *Cold Rolled Coil* (CRC) yang diperoleh melalui pengerolan dingin (*cold rolling*). Proses ini meningkatkan kualitas permukaan dan mengatur ketebalan secara presisi, tetapi sekaligus meningkatkan kerapatan dislokasi dan menimbulkan tegangan sisa dalam struktur mikro (Zhang & Chen, 2021). Selanjutnya, lembaran baja mengalami *annealing* pada suhu sekitar 700–800 °C untuk merelaksasi tegangan sisa dan memulihkan keuletan, dilanjutkan dengan pelapisan celup panas (*hot-dip coating*) dalam lelehan paduan Al-Zn. Pada G550, proses dilanjutkan dengan pendinginan cepat (*quenching*) yang membentuk fasa metastabil seperti martensit dan bainit dengan kerapatan dislokasi tinggi (Hasan, 2022; Lee & Kim, 2021). Skema umum proses produksi BjLAS ditunjukkan pada Gambar 1.

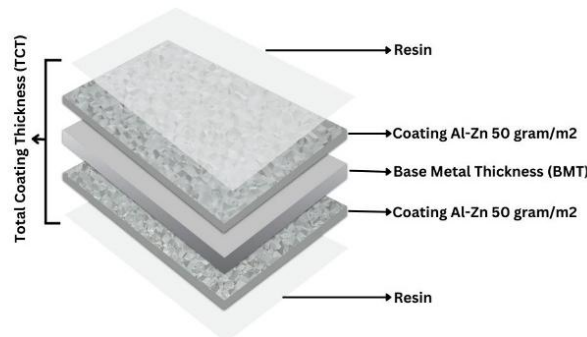
Perbedaan parameter perlakuan panas tersebut menghasilkan dua kelas BjLAS yang dominan di pasaran yakni tipe G300 dan tipe G550 yang dibedakan berdasarkan nilai kekuatan tarik minimum masing-masing, yakni ~300 MPa dan ~550 MPa sesuai SNI 4096:2007 (Badan Standardisasi Nasional, 2007). Meskipun keduanya berbasis baja karbon rendah dengan komposisi kimia yang relatif mirip, G550 umumnya menunjukkan kuat tarik jauh lebih tinggi dan regangan patah lebih rendah dibandingkan G300. Unsur-unsur kimia seperti karbon meningkatkan kekerasan melalui penguatan dislokasi dan pembentukan fasa keras, namun kadar berlebih menurunkan keuletan. Mangan meningkatkan kekuatan dan ketangguhan melalui mekanisme *solid solution strengthening* serta pembentukan inklusi MnS yang lebih stabil dibandingkan FeS. Sebaliknya, fosfor dan sulfur dipandang sebagai pengotor yang harus dikendalikan karena dapat memicu getas antarbutir (*intergranular embrittlement*) dan retak dini pada batas butir bila kadarnya melampaui ambang batas (Callister & Rethwisch, 2018).

Optical Emission Spectroscopy (OES) merupakan teknik karakterisasi yang banyak digunakan di industri untuk analisis komposisi kimia logam secara cepat dan akurat. Metode ini dijelaskan pada gambar 3 yakni bekerja dengan prinsip eksitasi atom melalui pelepasan energi listrik bertegangan tinggi yang diarahkan ke permukaan logam. Ketika arus listrik dialirkan melalui elektroda dan menyentuh sampel, terjadi pelepasan percikan (*spark discharge*) yang memanaskan permukaan logam hingga atom-atomnya tereksitasi. Atom-atom tersebut kemudian memancarkan cahaya (spektrum emisi) pada panjang gelombang tertentu yang khas bagi masing-masing unsur. Cahaya yang dihasilkan ditangkap oleh sistem optik di dalam alat, lalu dipisahkan menjadi spektrum berdasarkan panjang gelombangnya melalui kisi difraksi. Sensor mendeteksi intensitas spektrum tiap panjang gelombang, dan hasilnya dianalisis oleh perangkat lunak komputer untuk dihitung konsentrasi unsur berdasarkan kurva kalibrasi standar.

Meskipun karakterisasi BjLAS telah banyak dilakukan dari sisi ketahanan korosi dan performa pelapisan, kajian yang secara spesifik membandingkan komposisi logam dasar BjLAS tipe G300 dan G550 produksi industri lokal menggunakan OES, kemudian mengaitkannya dengan ketentuan SNI 4096:2007, data uji tarik, dan referensi komposisi dari literatur internasional, masih relatif terbatas. Kesenjangan ini menjadi landasan utama penelitian ini. Dengan mengisi gap tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah yang kuat bagi peningkatan sistem kendali mutu dan pemilihan material yang berbasis sains di lingkungan industri baja lokal.



Gambar 1. Skema Proses Produksi BjLAS (Hasan, 2022)

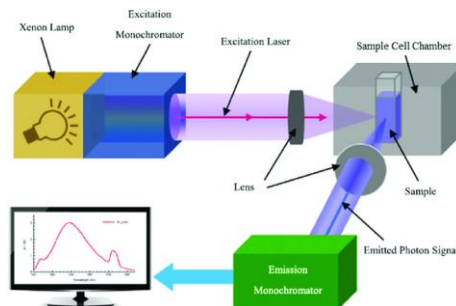


Gambar 2. Struktur Lapisan BjLAS (Sunrise Steel, 2024)

II. METODE

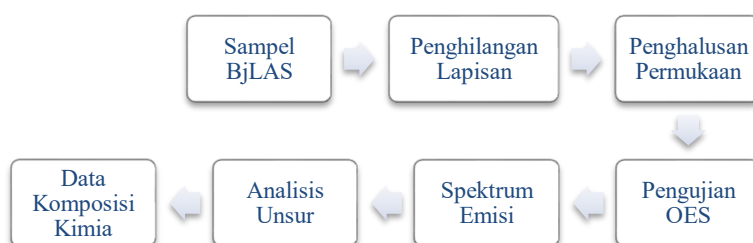
A. Rancangan Penelitian

Penelitian ini bersifat kuantitatif-komparatif, yaitu membandingkan kandungan unsur kimia logam dasar dari baja lapis aluminium seng (BjLAS) tipe G300 dan G550. Penelitian dilakukan melalui pendekatan eksperimental di laboratorium, menggunakan metode *Optical Emission Spectroscopy* (OES) untuk identifikasi dan kuantifikasi unsur penyusun baja. Penelitian ini bertempat di Laboratorium Fisika, Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri (BSPJI) Surabaya. Populasi penelitian mencakup produk BjLAS tipe G300 dan G550 dari industri lokal. Sampel yang diuji berjumlah total 8 lembar baja, yang terdiri dari 4 sampel G300 dan 4 sampel G550.



Gambar 3. Prinsip Kerja OES (InfinitaLab, 2024)

Pengujian komposisi kimia dilakukan menggunakan alat *Optical Emission Spectroscopy* (OES) tipe *Spark OES* yang tersedia di Laboratorium Fisika BSPJI Surabaya.



Gambar 4. Diagram Alur Pengujian Komposisi Kimia BjLAS

B. Variabel Operasional Penelitian

Variabel kontrol penelitian ini yaitu spesifikasi standar material baja lapis aluminium seng (BjLAS). Dengan memanipulasi jenis tipe baja (G300 dan G550). Dan variabel respon yaitu nilai kandungan unsur kimia seperti Karbon (C), Mangan (Mn), Fosfor (P), dan Sulfur (S) dalam satuan % berat.

C. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui pengujian laboratorium dengan metode OES terhadap masing-masing sampel baja. Sebelum pengujian, dilakukan preparasi awal berupa pembersihan lapisan Al-Zn menggunakan larutan HCl dan Aquadest dengan perbandingan 1:1, dilanjutkan penghalusan permukaan logam dasar dengan gerinda halus.

D. Teknik Pengolahan Data

Data yang diperoleh berupa angka kandungan unsur kimia seperti Karbon (C), Mangan (Mn), Fosfor (P), dan Sulfur (S) dalam satuan % berat. Data tersebut disusun ke dalam bentuk tabel perbandingan dan divisualisasikan dalam bentuk grafik batang untuk memudahkan analisis secara kuantitatif dan visual.

E. Teknik Analisa Data

Analisis dilakukan secara deskriptif-komparatif. Pertama, hasil OES dibandingkan dengan batas spesifikasi pada SNI 4096:2007. Kedua, hasil yang sama dibandingkan dengan data literatur teknis untuk baja lapis struktural. Ketiga, hasil komposisi ditafsirkan terhadap data kuat tarik pendukung yang tersedia.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Pengujian komposisi kimia pada lapisan luar BjLAS menunjukkan bahwa semua sampel, baik dari tipe G300 maupun G550, memiliki kadar aluminium (Al) dan seng (Zn) yang sesuai dengan rentang yang ditetapkan dalam SNI 4096:2007. Yaitu 50-60% untuk Al dan 40-50% untuk Zn.

Tabel 1. Rata-rata Komposisi Kimia Lapisan Al-Zn per Tipe

Tipe	Al (%)	Standar Deviasi	Zn (%)	Standar Deviasi
G300	55,00	2,44013	44,00	2,645405
G550	54,25	2,345654	44,25	2,517716
Batas SNI 4096:2007	50-60% [Memenuhi]	-	40-50% [Memenuhi]	-

Nilai ini menunjukkan bahwa pelapis Al-Zn pada kedua tipe BjLAS telah terdistribusi merata dan konsisten antar sampel, mengindikasikan proses pelapisan yang stabil dan memenuhi mutu standar. Perbedaan komposisi logam dasar antara tipe G300 dan G550 lebih menonjol, terutama pada unsur karbon (C) dan mangan (Mn). Berikut ringkasan rata-rata kadar unsur logam dasar dari masing-masing tipe:

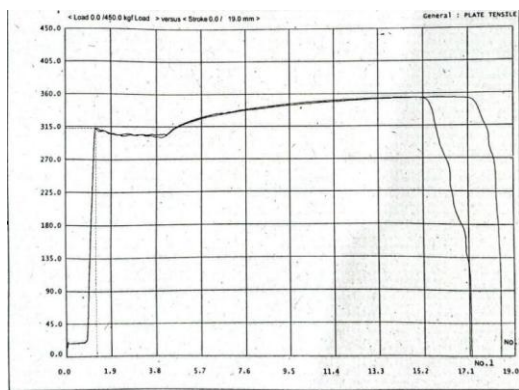
Tabel 2. Rata-rata Komposisi Kimia BjLAS Tipe G300 dan G550

Unsur	G300 (%)	Standar Deviasi	G550 (%)	Standar Deviasi
C	0,0745	0,002082	0,0607	0,002363
Mn	0,1562	0,001258	0,1340	0,003266
P	0,0213	0,000816	0,0158	0,002449
S	0,0113	0,0005	0,0163	0,005354

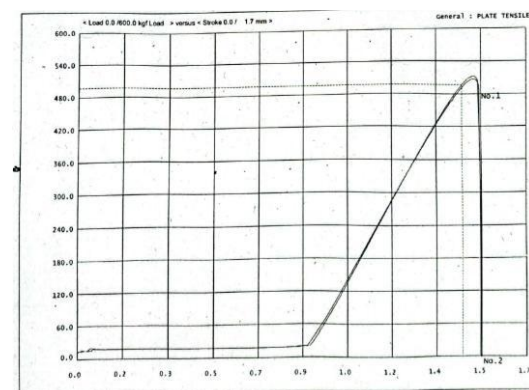
Nilai rata-rata unsur logam dasar diperoleh dari delapan sampel yang diuji secara berpasangan antara G300 dan G550.

Tabel 3. Sifat Mekanis Uji Tarik Delapan Sampel

Sampel	Load (Kgf)		Luas (mm^2)	Batas Ulur (N/mm^2)	Kuat Tarik (N/mm^2)	Panjang (mm)		ϵ (%)
	Yield	Ult				Lo	Lu	
S1	295,5	354,7	8,5	333,11	400,12	49,64	61,49	23,87
S2	304,6	357,8	8,675	336,48	395,49	49,94	62,09	24,33
S3	306,2	367,7	8,525	344,21	413,62	49,94	59,79	19,72
S4	321,5	364	8,625	357,28	404,7	50,04	61,29	22,48
S5	500,2	507,3	7,25	662,22	671,64	49,87	50,84	1,94
S6	496,1	517	7,125	668,31	696,5	49,84	50,97	2,27
S7	500,1	520,9	7,1	676,08	704,24	49,96	50,88	1,84
S8	474,1	486,2	6,875	661,82	678,75	49,7	51,58	3,78



(a)



(b)

Gambar 5. Grafik Uji Tarik (a) BJLAS AS50 G300, (b) BJLAS AS50 G550 (Sumber: Dokumen Pribadi)

B. Pembahasan

Hasil uji komposisi kimia menggunakan *Optical Emission Spectroscopy* (OES) pada **Tabel 1** menunjukkan nilai rata-rata Al untuk G300 dan G550 tidak berbeda signifikan, demikian pula untuk Zn. Besarnya standar deviasi (~2,4%) mencerminkan variabilitas antar sampel yang wajar akibat fluktuasi proses pelapisan hot-dip lintas batch, dan seluruh nilai masih berada jauh dalam rentang SNI. Data ini konsisten dengan komposisi nominal lapisan Galvalume yang dilaporkan Kim et al (2020), yaitu sekitar 55%Al, 43,4%Zn, 1,6%Si, mengindikasikan bahwa proses pelapisan industri lokal telah mencapai kualitas yang setara dengan standar internasional. Secara fungsional, rasio Al:Zn yang tinggi memberikan perlindungan korosi ganda yakni fasa Al berfungsi sebagai lapisan *barrier* tahan oksidasi, sedangkan fasa Zn berfungsi sebagai anoda galvanik yang melindungi baja dasar secara elektrokimia.

Hasil uji komposisi kimia menggunakan OES pada **Tabel 2** menunjukkan bahwa G300 memiliki kadar C lebih tinggi dibandingkan G550, demikian pula Mn. Standar deviasi yang kecil untuk C dan Mn mengindikasikan konsistensi proses produksi yang tinggi antar batch. Sebaliknya standar deviasi yang lebih besar pada Mn dan S untuk G550 dapat mencerminkan variasi komposisi bahan baku antar batch produksi. Seluruh nilai C, Mn, P, dan S pada kedua tipe berada di bawah batas maksimum SNI 4096:2007, mengkonfirmasi bahwa kedua produk memenuhi persyaratan mutu standar nasional. Lebih jauh, komposisi G300 dan G550 produksi lokal sepenuhnya berada dalam rentang yang dilaporkan oleh literatur internasional. Li et al (2019) merekam rentang C 0,05-0,09% untuk baja *galvannealed* berkekuatan tinggi, sedangkan Lee & Kim (2021) memverifikasi rentang Mn 0,10 - 0,50% pada baja lapis Al-Zn yang dioptimalkan proses anilnya.

Atom C menempati posisi interstisial di antara atom Fe dalam kisi BCC (*body centered cubic*), sedangkan Mn menggantikan atom Fe secara substitusional. Kedua atom asing ini menciptakan medan tegangan elastik lokal di sekitar dislokasi, sehingga menghambat gerak dislokasi dan meningkatkan kekuatan baja melalui mekanisme *solid solution strengthening* (Callister & Rethwisch, 2018). Dengan demikian, kadar C dan Mn yang lebih tinggi pada G300 secara teoritis dapat berkontribusi pada peningkatan kekerasan dan hambatan dislokasi. Namun, data uji tarik menunjukkan bahwa G550 justru memiliki kekuatan lebih tinggi meskipun C dan Mn-nya lebih rendah. Fakta ini membuktikan bahwa perlakuan termomekanik lebih dominan daripada komposisi kimia dalam menentukan sifat mekanik akhir BjLAS.

Data pada **Tabel 3** menunjukkan perbedaan sifat mekanik yang sangat kontras antar G300 dan G550. Kelompok G300 (S1-S4) memiliki batas ulur rata-rata 342,77 N/mm² dan kuat tarik rata-rata 403,48 N/mm², dengan regangan rata-rata 21,82%. Seluruh delapan sampel dinyatakan memenuhi persyaratan sifat mekanis SNI 4096:2007. Diketahui bahwa G550 memiliki σ_{uts} rata-rata ~70% lebih tinggi dari G300, meskipun kadar C dan Mn G550 justru lebih rendah. Kontradiksi ini terjawab oleh perbedaan perlakuan termomekanik. Pada G300, proses *annealing* pada ~700-800 °C menghasilkan struktur ferit-perlit yang lunak dan ulet, di mana dislokasi bergerak relatif bebas. Pada G550, setelah *annealing*, dilanjutkan pendinginan cepat (*quenching*) yang memaksa transformasi fasa jauh dari kesetimbangan, menghasilkan fasa martensit atau bainit dengan kisi sangat terdistorsi dan kerapatan dislokasi sangat tinggi, sehingga gerak dislokasi menjadi jauh lebih sulit, dan kekuatan tarik meningkat drastis. Energi deformasi elastis per satuan volume tersimpan memenuhi

$$U = \frac{1}{2} E \varepsilon^2 \quad (1)$$

dan nilai U yang lebih besar pada G550 untuk regangan kecil mencerminkan kemampuannya menyimpan energi sebelum memasuki daerah plastis, tetapi begitu batas luluh terlampaui, fraktur terjadi dengan ε_f yang sangat kecil.

Kurva **Gambar 5a** (G300) menunjukkan fase elastis linear dengan gradien moderat, diikuti transisi bertahap ke daerah plastis yang lebar disertai *work hardening* bertahap sebelum patah pada ~15-17 mm. Puncak beban mencapai sekitar 354-368 kgf, mencerminkan bahwa struktur ferit-perlit yang mendominasi G300, di mana dislokasi bergerak relatif bebas dalam matriks lunak sehingga material dapat menyerap energi deformasi yang besar. Sebaliknya, kurva **gambar 5b** (G550) menunjukkan kenaikan beban yang sangat tajam hingga puncak sekitar 486-521 kgf, yang dicapai hanya pada ~1,7 mm. Setelah melampaui puncak, terjadi penurunan beban yang relatif cepat dan patah yang tiba-tiba, mencirikan perilaku material berkekuatan tinggi dengan deformasi plastis yang sangat terbatas. Gradien elastis (*slope* kurva awal) yang jauh lebih curam pada G550 mencerminkan hambatan yang lebih besar terhadap gerak dislokasi akibat tingginya kerapatan dislokasi dalam kisi martensit/bainit yang terdistorsi.

Secara kuantitatif, perbandingan kedua kelompok menunjukkan bahwa G550 memiliki σ_{uts} ~70% lebih tinggi dari G300 (687,78 vs 403,48 N/mm²), namun regangan patahnya hanya ~11% dari G300 (2,46% vs 21,82%). Yang mana merupakan realisasi dari *strength ductility trade off* di mana peningkatan kekuatan melalui pembentukan fasa keras berbanding terbalik dengan keuletan. Implikasinya adalah G300 lebih tepat untuk komponen yang memerlukan kemampuan pembentukan tinggi seperti atap bergelombang dan *roll forming*, sedangkan G550 lebih sesuai untuk elemen struktural yang memerlukan kekuatan tinggi dengan deformasi minimal, seperti purlin, rafter, dan rangka baja ringan (*light gauge steel framing*).

IV. PENUTUP

A. Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia terhadap baja lapis aluminium seng (BjLAS) tipe G300 dan G550 menggunakan metode *Optical Emission Spectroscopy* (OES), dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan kandungan unsur logam dasar yang cukup signifikan, terutama pada unsur karbon (C) dan mangan (Mn). Tipe G300 memiliki kandungan C dan Mn yang lebih tinggi dibandingkan G550, yang secara teoritis berkontribusi terhadap peningkatan keuletan dan kemampuan deformasi plastis, sesuai dengan

karakteristik baja yang fleksibel. Sementara itu, G550 menunjukkan kadar C dan Mn yang lebih rendah, namun menghasilkan kekuatan tarik yang lebih tinggi, yang diduga berasal dari efek proses perlakuan panas seperti *annealing* dan *quenching* yang menghasilkan mikrostruktur logam yang lebih rapat dan keras. Selain itu, kandungan fosfor (P) dan sulfur (S) pada kedua tipe berada jauh di bawah ambang batas SNI 4096:2007, menunjukkan mutu logam dasar yang baik dan aman dari risiko getas akibat pengotor. Hasil ini memperkuat peran penting analisis komposisi kimia sebagai indikator awal dalam memprediksi performa mekanik material, serta menegaskan bahwa metode OES merupakan alat yang andal, akurat, dan efisien untuk mengidentifikasi karakteristik unsur logam dalam rangka mendukung seleksi material industri yang berbasis sains dan standar mutu nasional.

B. Saran

Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan melakukan karakterisasi struktur mikro menggunakan mikroskop elektron (SEM/EDS) untuk memperkuat interpretasi hubungan antara komposisi kimia dan sifat mekanik. Selain itu, pengujian ketahanan korosi pada lingkungan nyata disarankan untuk mengetahui stabilitas performa BjlAS dalam jangka panjang. Metode OES juga perlu dioptimalkan sebagai bagian dari prosedur pengendalian mutu material logam di industri, mengingat efektivitasnya dalam mendeteksi variasi unsur dengan presisi tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. 2007. SNI 4096:2007 – Baja Lembaran dan Gulungan Lapis Paduan Aluminium Seng. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2017. SNI 8389:2017 – Baja Karbon untuk Keperluan Teknik secara Umum. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Callister, W.D. and Rethwisch, D.G. 2018. Materials Science and Engineering: An Introduction, 10th Ed. New York: John Wiley & Sons.
- Detech Instruments. 2023. Optical Emission Spectroscopy: Operating Principles and Applications. Surabaya: PT Detech Laboratoria.
- Hasan. 2022. Perlakuan Panas dan Celup Cepat (Quenching) untuk Meningkatkan Sifat Mekanik pada Baja Ringan G550. Jurnal Flywheel. Vol 13 (2), 53-62
- InfinitaLab. 2024. Optical Emission Spectroscopy (OES) Testing Laboratory – Metrology Testing Service. [Online]. Tersedia di: <https://infinitalab.com/metrology-testing-service/optical-emission-spectroscopy-oes-testing-laboratory/>
- Kim, J.H., Lee, H.S., & Kang, S.H. 2020. Corrosion Behavior of Hot-Dip Al-Zn Coated Steel in Marine Environment. Journal of Materials Engineering and Performance, 29(12), 7600–7610. <https://doi.org/10.1007/s11665-020-05137-w>
- Lee, M.H., & Kim, D.H. 2021. Heat Treatment Optimization of Galvalume Coated Steel Sheets. Metals and Materials International, 27(5), 711–720. <https://doi.org/10.1007/s12540-020-00762-z>
- Li, Q., et al. 2019. Effect of Rapid Cooling on Microstructure and Mechanical Properties of Galvannealed Steel. Materials Science and Engineering A. 744, 91–97. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2018.12.051>
- Saranalume. 2023. Karakteristik Produk Baja Lapis Aluminium Seng Tipe G300 dan G550. Tersedia di: <https://saranalume.co.id/produk-bjlas>
- Sunrise Steel. 2024. Lapisan Pelindung Al-Zn dan Struktur Baja Lapis. Tersedia di: <https://sunrisesteel.co.id>
- Tata Metal Lestari. 2022. Buku Panduan Produk BjlAS. Bekasi: Tata Metal Lestari.
- Zhang, X. 2004. Galvalume Steel Sheet: Composition, Processing, and Properties. Journal of Metals, 56(2), 58-63.
- Zhang, Y., & Chen, W. 2021. Effect of Annealing Parameters on Mechanical Properties of Cold Rolled Low Carbon Steel. Material Research Express, 8(1), 016503. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/abce3f>