

Analisis Pengaruh Komposisi Aluminium (Al) Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan dan Laju Korosi Anoda Tumbal Berbasis Seng (Zn) untuk Kapal dengan Metode Pengecoran

Herald Matius Unggul, Hosta Ardhyanta dan Alvian Toto Wibisono
Departemen Teknik Material, Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
e-mail: hostaa@mat-eng.its.ac.id

Abstrak—Baja telah digunakan dalam bidang pembuatan kapal, akan tetapi, baja rentan terhadap korosi yang menyebabkan penurunan kualitas suatu bahan akibat reaksi antara bahan dengan lingkungannya. Untuk mengatasi masalah korosi pada logam tersebut salah satunya dapat dilakukan dengan proteksi katodik, yaitu salah satu metodenya adalah dengan anoda tumbal. Salah satu material yang banyak digunakan sebagai anoda tumbal pada kapal adalah seng(Zn). Seng murni dapat digunakan sebagai anoda jika kadar kotoran besi kurang dari 0,0014%. Dari penelitian terdahulu telah diketahui bahwa kadar Fe meski sangat kecil jumlahnya, misalnya 0,001%, berbahaya bagi kinerja anoda tumbal seng dimana dapat menyebabkan pengurangan arus keluaran dan daya dukung potensial anoda, karena pembentukan lapisan dari produk korosi seng terisolasi (menumpuk) di permukaan anoda. Namun, penambahan aluminium sebagai paduan pada anoda seng dapat secara efektif mengurangi dan menghilangkan efek dari Fe serta dapat mentolelir jumlah kadar Fe yang terdapat pada logam seng. Proses pemaduan logam aluminium dan seng dapat dilakukan dengan teknik pengecoran, salah satu metodenya, yaitu dengan sand casting. Dalam prosesnya peleburan logam seng(Zn) dan aluminium(Al) dilakukan dengan menggunakan *electric furnace*. Peleburan logam dilakukan hingga pada temperatur $\pm 700^{\circ}\text{C}$. Untuk mengurangi atau mencegah adanya logam yang teroksidasi akan ditambahkan gas inert(Argon) pada proses peleburan. Dari penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kekerasan, struktur mikro dan laju korosi dari paduan Zn-Al. Komposisi daripada aluminium yang akan dipadukan adalah 0%, 0,2%, 0,4%, 0,6% yang kemudian akan dilakukan pengujian, yaitu *Optical Emission spectroscopy*, metallografi, dan X-RD untuk mendapatkan komposisi kimia, struktur mikro dan fasa kristalin dari logam paduan Zn-Al. Dari uji kekerasan didapatkan Zn tanpa penambahan Al mempunyai kekerasan terendah, yaitu 50,53 HB dan Zn-0,6Al dengan kekerasan tertinggi, yaitu 59,26 HB. Dari uji Tafel didapatkan data laju korosi tertinggi, yaitu Zn-0,6Al sebesar 1,63 mm/year dan laju korosi terendah dimiliki Zn tanpa penambahan Al, yaitu sebesar 0,82 mm/year.

Kata Kunci—Pengecoran, Seng, Aluminium, Korosi, Proteksi Katodik, Anoda Tumbal.

I. PENDAHULUAN

CARA yang ampuh dalam mencegah korosi pada struktur logam di air laut adalah dengan menerapkan proteksi katodik. Teknik ini dilakukan dengan cara menurunkan potensi listrik struktur ke dalam jangkauan proteksinya, yang bisa diwujudkan salah satunya dengan penerapan dengan anoda korban. Karya yang tercatat pertama pada aplikasi

pengorbanan anoda pada tahun 1820-an ketika Sir Humphrey Davy dan asistennya Michael Faraday bekerja untuk Angkatan Laut Kerajaan, dimana tercatat dalam Transaksi Filosofis dari *Royal Society*. Pada 1824, Davy mempresentasikan serangkaian makalah ke *Royal Society* di London, di mana ia menggambarkan bagaimana seng dan anoda besi bisa digunakan untuk mencegah korosi selubung tembaga pada lambung kayu kapal angkatan laut Inggris. Davy mengidentifikasi bahwa korosi dikaitkan dengan perbedaan berpotensi melintasi lembaran tembaga dan, terutama, dimana terdapat produk korosi yang melekat. Dengan menempelkan potongan kawat seng ke gulungan kawat tembaga, Davy mendemonstrasikan proses pengorbanan perlindungan katoda anoda; dia mengembangkan ini untuk percobaan skala yang lebih besar dan, akhirnya, untuk percobaan skala penuh HMS Sammarang dan Kastil Carnbrea menggunakan anoda besi cor. Makalahnya menunjukkan cukup banyak kesadaran intuitif tentang apa yang sekarang diterima sebagai prinsip perlindungan katodik. Beberapa praktis tes dilakukan pada kapal di pelabuhan dan di *seagoing ship*, termasuk efek berbagai arus kepadatan pada tingkat proteksi tembaga[1].

Anoda berbasis seng banyak digunakan untuk aplikasi perkapalan, dan juga digunakan untuk struktur lepas pantai namun densitas dari logam seng yang lebih tinggi dapat menyebabkan keterbatasan berat. Seng murni hanya bisa digunakan jika kadar kotoran besi kurang dari 0,0014%; namun, dengan penambahan aluminium tingkat pengotor besi yang dapat diterima ini dapat sedikit meningkat, dan penambahan kadmium lebih lanjut membuat pembentukan produk korosi yang lembut pada anoda[2].

Untuk dapat membuat benda kerja berupa anoda tumbal dapat dilakukan dengan teknik pengecoran. Pengecoran atau penuangan (*casting*) merupakan salah satu proses pembentukan bahan baku/bahan benda kerja yang relative mahal dimana pengendalian kualitas benda kerja dimulai sejak bahan masih dalam keadaan mentah. Komposisi unsur serta kadarnya dianalisis agar diperoleh suatu sifat bahan sesuai dengan kebutuhan sifat produk yang direncanakan namun dengan komposisi yang homogen serta larut dalam keadaan padat. Proses pengecoran merupakan salah satu proses pembentukan benda kerja yang efisien dan dapat membentuk benda kerja hingga bagian yang tersulit secara tepat dan akurat dengan sedikit atau tidak sama sekali memerlukan proses pemesinan (*machining*). Jenis-jenis dari pengecoran, yaitu *Sand casting* (penuangan dengan cetakan pasir), *Die casting* (penuangan dengan cetakan matres),

Centrifugal casting (penuangan dengan cetakan putar), *Continuous casting*, *Shell moulding*, *Investment casting*. Keberhasilan dalam proses pembentukan benda kerja dengan cara pengecoran relative ditentukan oleh tingkat kerumitan bentuk benda kerja itu sendiri. Proses penuangan juga merupakan seni pengolahan logam menjadi bentuk benda kerja yang paling tua dan mungkin sebelum pembentukan dengan panyayatan (*chipping*) dilakukan[3].

Pada penelitian kali ini anoda tumbal akan dibuat dengan melakukan teknik pengecoran, yaitu dengan meleburkan logam Seng(Zn) dengan mevariasikan kandungan Aluminium(Al), yaitu 0; 0,2; 0,4; dan 0,6%. Kemudian akan dibandingkan keefektifannya dengan pengujian korosi. Ditunjukkan dengan hasil uji potensial dan uji korosi yang memiliki sifat paling korosif terhadap air laut.

II. METODE PENELITIAN

A. Material

Material yang digunakan pada penelitian ini yaitu *raw material ingot* Tembaga dengan kadar 99% dari PT PT. Isopak Indonesia dan Aluminium *Ingot* dengan kadar 99% dari PT Inalum. Seng dan Aluminium ditimbang dengan kadar 0; 0,2; 0,4 dan 0,6% wt Al (Tabel 1).

Tabel 1.
Komposisi Rancangan Paduan Zn-Al

No.	Paduan	Zn (%)	Al (%)
1	Zn	99,99	-
2	Zn-0,2%Al	99,79	0,2
3	Zn-0,4%Al	99,59	0,4
4	Zn-0,6%Al	99,39	0,6

B. Sand Casting

Tahap pengecoran ini dilakukan menggunakan *electric furnace*. Komposisi rancangan yang sebelumnya dihitung dilebur lalu dituang kedalam cetakan pasir (*Sand Casting*) membentuk spesimen uji. Cetakan pasir yang digunakan yaitu *green sand* dengan komposisi pasir silika 87%, *benonite* 10% dan air 3%.

C. Preparasi Spesimen

Preparasi spesimen menggunakan metode *manching*. *Manching* adalah proses preparasi bentuk hasil coran menjadi bentuk spesimen uji yang memenuhi standar menggunakan alat gerinda potong HACKSAW dengan tipe G7016, gerjaji potong PROHEX yang terdapat di Laboratorium Manufaktur, Departemen Teknik Material FTI ITS.

D. Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi kimia adalah untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada komponen yang telah di cor. Identifikasi komposisi kimia material menggunakan alat *Optical Emission Spectroscopy (OES)* di Laboratorium Politeknik Perkakalan Negeri Surabaya (PPNS).

E. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan dengan melakukan indentasi di beberapa titik pada sampel material. Pengujian ini dilakukan dengan metode *Brinell* dimana dalam pengujiannya memakai indenter intan, pembebanan sebesar 30 kgf dan waktu indentasi selama 10 detik. Pengujian ini dilakukan

berdasarkan standar ASTM E10 menggunakan *Universal Hardness Tester HBRV 187.5A* di Laboratorium Metalurgi, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS. Sebelumnya, sampel yang digunakan harus memiliki permukaan yang rata untuk meghindari cacat indentasi.

F. Pengujian X-Ray Diffraction (XRD)

Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mengidentifikasi transformasi fasa yang terbentuk pada paduan setelah mengalami proses *casting*. Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM C958 di Lab Karakterisasi Material, Departemen Teknik Material, FTI, ITS.

G. Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro atau biasa disebut metalografi adalah pengujian yang dilakukan untuk melihat struktur mikro yang terbentuk pada spesimen hasil pemaduan. Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM E-407[4] menggunakan mikroskop optik metalografi tipe OLYMPUS BX51M-RF di Lab Metalurgi, Departemen Teknik Material FTI, ITS.

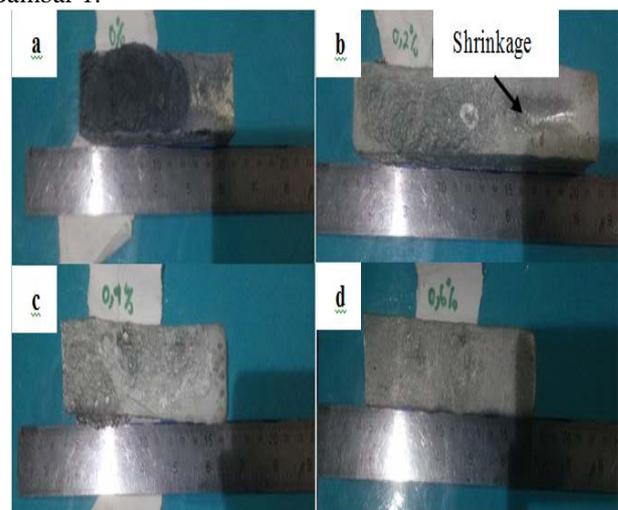
H. Pengujian Tafel

Pengujian Tafel adalah pengujian yang dilakukan untuk melihat laju korosi pada spesimen hasil pemaduan. Pengujian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM G-5[5] dan G-102[6] menggunakan alat pengujian Tafel berupa tabung labu, kalomel, dan electrode pembanding dari karbon di Lab Korosi, Departemen Teknik Material FTI, ITS.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Pengamatan Maskrokopis

Hasil peleburan yang dilakukan untuk membentuk paduan paduan Zn-Al dapat dilihat pada Gambar 1. Warna dari paduan Seng adalah berwarna abu-abu cerah. Seiring bertambahnya unsur Al di dalam paduan, maka paduan akan cenderung berwarna putih keperakan. Hasil dari proses pengecoran logam Zn dan paduan Zn-Al dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil Coran Paduan Zn-Al (a) Zn 100 % (b) Zn-0,2Al (c) Zn-0,4Al (d) Zn-0,6Al

Gambar 1 (a) merupakan hasil peleburan spesimen paduan Zn-0Al- dengan kadar massa 99,99% Zn dan 0,01% adalah pengotor lainnya. Gambar 1 (b) merupakan hasil peleburan spesimen paduan Zn-0,2Al dengan kadar massa 99,79% Zn, 0,2%Al dan 0,01% adalah pengotor lainnya. Paduan ini

menunjukkan warna yang abu-abu yang lebih cerah dikarenakan penambahan unsur Aluminium pada paduan. Pada paduan terdapat shrinkage yang cukup dalam. Gambar 1 (c) merupakan hasil peleburan spesimen paduan Zn-0,4Al dengan kadar massa 99,59% Zn, 0,4% Al dan 0,01% adalah unsur pengotor lainnya. Paduan memiliki warna perak dikarenakan bertambahnya unsur Al di dalam paduan.

Gambar 1 (d) merupakan hasil peleburan spesimen paduan Zn-0,6Al dengan kadar massa 99,39% Zn, 0,6% Al. Paduan memiliki warna perak terang dikarenakan bertambahnya unsur Al di dalam paduan.

Pada paduan b terdapat *shrinkage* yang cukup dalam. Secara umum dapat diterima bahwa ketika logam coran dibuat, memberi tambahan paduan cair dari sprues atau reservoir untuk mengkompensasi penyusutan paduan di dalam rongga cetakan yang terjadi selama pendinginan dari keadaan cair hingga pematatan, kontraksi termal dari padatan paduan sebagai penyebab pengecoran mengalami

penyusutan[7]. Tidak disarankan untuk menghitung ekspansi yang terjadi pada logam karena nilai penyusutan sangat mungkin tergantung pada ukuran dan bentuk spesimen[8].

Ada beberapa factor yang menyebabkan cacat *shrinkage* dari pengecoran. Alasan utama untuk cacat ini adalah:

1. Konsentrasi volumetric dari liquid dan solid
2. Kekuatan yang rendah pada temperature tinggi

Perlu dicatat bahwa pembekuan berlangsung dari bagian cetakan yang luar ke yang dalam dan bahwa sudut luar memiliki tingkat pendinginan yang lebih besar daripada sudut yang bagian dalam[4].

B. Komposisi Kimia Paduan Zn-Al

Proses peleburan yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan *raw material ingot* Zn 99,9% dan Al *ingot* 99%. Rancangan komposisi kimia yang dilakukan pada penelitian dan hasil pengujian komposisi kimia dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Rancangan dan Pengujian Komposisi Kimia

Paduan	Komposisi Rancangan			Komposisi Aktual			Komposisi Akhir		
	Zn (%wt)	Al (%wt)	Others (%wt)	Zn (%wt)	Al (%wt)	Others (%wt)	Zn (%wt)	Al (%wt)	Others (%wt)
Zn 100%	99.99	0	0.01	99.99	0	0,23	99.69	0.08	0,23
Zn-0,2Al	99.79	0.2	0.01	99.19	0.8	0.124	99.65	0.226	0.124
Zn-0,4Al	99.59	0.4	0.01	98.19	1.8	0.295	99.3	0.405	0.295
Zn-0,6Al	99.39	0.6	0.01	97.29	2.7	0.314	99.0	0.686	0.314

Tabel 2 menunjukkan bahwa unsur Al mengalami penambahan persentase. Hal ini terjadi karena unsur Al yang ditambahkan pada saat melakukan proses peleburan lebih besar jumlah massanya daripada jumlah aluminium yang terdapat pada perhitungan. Alasan ditambahkannya massa aluminium sampai melebihi perhitungan yang telah dilakukan karena aluminium mengalami oksidasi selama proses peleburan yang menyebabkan hilangnya massa aluminium pada proses peleburan yang sebelumnya. Menurut diagram ellingham, unsur Al lebih mudah mengalami oksidasi karena memiliki Nilai Energi Bebas Gibbs yang lebih negatif dibandingkan unsur Zn. Unsur Al lebih mudah bereaksi dengan oksigen membentuk aluminium oksida (Al₂O₃) dan terlihat sebagai terak (*slag*) yang mengapung diatas paduan cair[5].

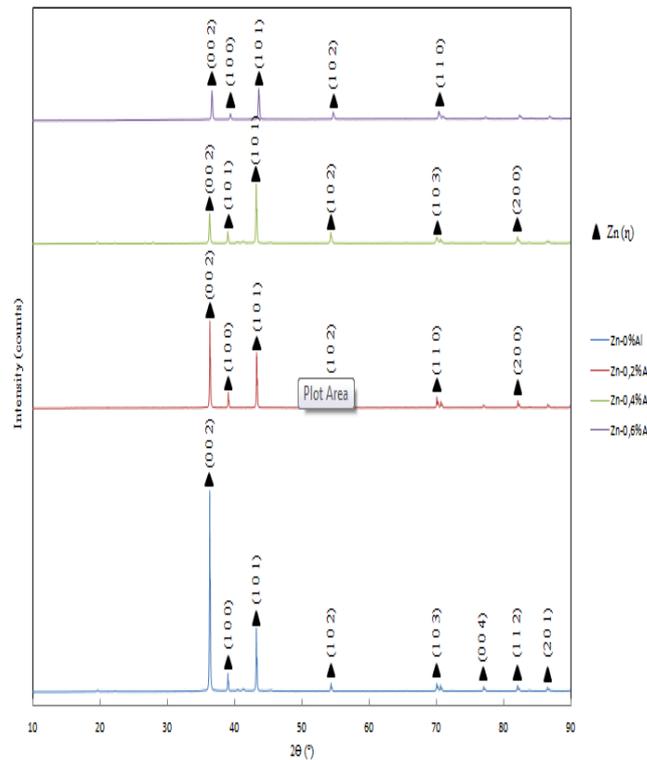
C. Pengamatan Hasil XRD Paduan Zn-Al

Pengujian *X-Ray Diffraction* dilakukan sesuai standar ASTM C958 dengan ukuran 1 x 1 x 0.4cm[6]. Pengamatan XRD bertujuan untuk mengidentifikasi transformasi fasa yang terbentuk pada paduan Zn-Al. Pola XRD hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 1.

Pada Gambar 2 Dari hasil pengujian XRD seluruh paduan logam, pada paduan dengan kadar Al 0% Al 0,2%, 0,4% dan 0,6% *peak* yang muncul menunjukkan *peak* η Zn. *Peak* Zn muncul di 2θ 36,29^o, 2θ 38,78^o, 2θ 43,22^o, 2θ 54,31^o, 2θ 70,07^o, 2θ 77,05^o, 2θ 82,08^o, 2θ 83,75^o, 2θ 86,54^o dengan nama fasa η zinc. Fasa *zinc* yang muncul ini memiliki struktur kristal *hexagonal* sesuai dengan nomor PDF #03-065-5973.

Dari Gambar 2 dapat dilihat penurunan intensitas dari *peak zinc* dengan bertambahnya komposisi dari aluminium. Intensitas XRD paduan ini menurun dengan meningkatnya jumlah komposisi yang tergabung. Distorsi kisi intrinsik yang disebabkan oleh penambahan elemen dengan ukuran atom yang berbeda menghasilkan hilangnya kesempurnaan

kristalisasi yang signifikan dan efek hamburan X-ray yang parah, yang menyebabkan pola XRD dengan ketinggian puncak yang lebih rendah[9].

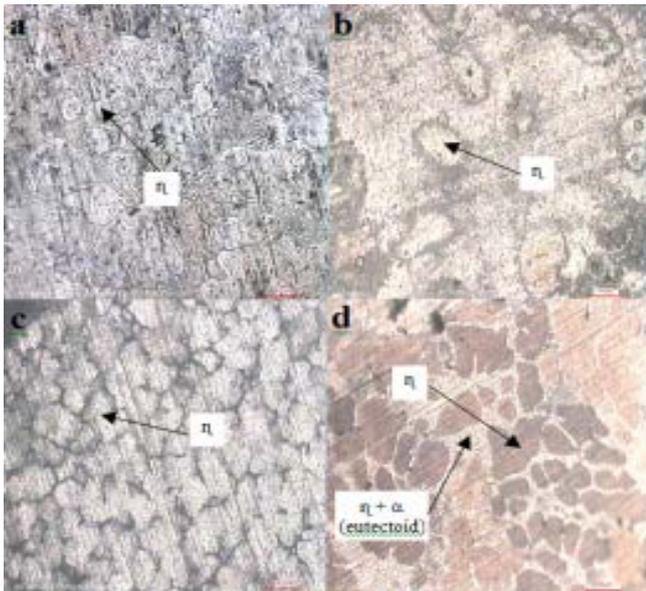


Gambar 2. Hasil pengujian XRD Zn-Al

D. Pengamatan Struktur Mikro Paduan Zn-Al

Pengamatan struktur mikro paduan Zn-Al dilakukan dengan pengujian metalografi sesuai ASTM E-407. Larutan etsa yang digunakan adalah etsa kode 200 dengan bahan 40 gr CrO₃, 3 gr Na₂SO₄, dan 200 ml *aquades*[10]. Pemberian

larutan etsa pada spesimen dilakukan dengan menggunakan metode *immerse*. *Immerse* dilakukan selama ±10-15 s sambil mengaduk aduk Zn didalam larutan. Hasil pengamatan struktur mikro seluruh paduan Zn-Al dapat dilihat pada Gambar 2



Gambar 3. Pengamatan Struktur Mikro Paduan Zn-Al a) Zn 100% (b) Zn-0,2Al (c) Zn-0,4Al (d) Zn-0,6Al pada Perbesaran 20 kali

Pada Gambar 3 (a) menunjukkan pengamatan struktur mikro logam Zn pada perbesaran 20 kali. Struktur mikro yang tampak berupa fasa η Zn.

Gambar 2 (b) dan (c) menunjukkan pengamatan struktur mikro paduan Zn-0,2Al dan Zn-0,4Al pada perbesaran 20 kali. Butir yang terbentuk adalah fasa η Zn. Pada gambar (b) terlihat batas butir dari Zn yang semakin menghitam dan lebih lebar dari gambar (a) dikarenakan adanya alumunium yang terdapat pada didalam logam Zn sebagai *solid solution substitution* dikarenakan jari-jari atom alumunium yang lebih besar. Alumunium terlarut didalam Zn karena batas kelarutan alumunium didalam Zn pada temperature kamar samapi dengan 0,3% seperti terlihat pada Gambar 2.9. Pada gambar (c) batas butir Zn semakin terlihat menghitam dan tersebar merata dan semakin lebar dikarenakan mulai terdapat fasa alumunium yang tumbuh pada batas butir Zn[11].

Pada gambar (d) terlihat butir Zn yang dikelilingi oleh fasa eutektoid dari $\eta + \alpha$, dimana η adalah fasa primer Zn dan α adalah alumunium. Pada diagram fasa yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 terlihat bahwa kelarutan alumunium didalam Zn pada temperatur ±275°C hanya sampai pada 0,6%. Material pertama yang membeku muncul sebagai partikel primer dari larutan padat kaya seng (fase). Kemudian, cairan yang tersisa membeku sebagai eutektoid yang terdiri dari fase dan konstituen temperatur tinggi yang tidak stabil. Alumunium bertindak sebagai pemurni butir dalam cor seng[12].

E. Pengamatan Hasil Uji Kekerasan Paduan Zn-Al

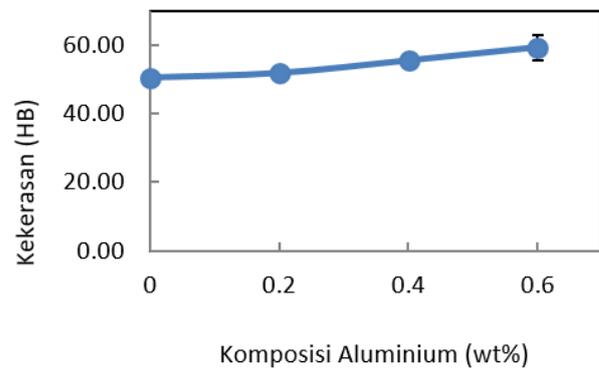
Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui ketahanan paduan Zn-Al terhadap indentasi dan goresan. Pada pengujian ini, dilakukan sesuai standar ASTM E10. Setiap paduan dilakukan pengujian terhadap 3 titik sehingga didapatkan 3 kekerasan pada masing-masing spesimen. Beban yang digunakan adalah 30 kg dan indentasi dilakukan selama 10 detik[13]. Dari ketiga hasil tersebut, dilakukan perhitungan rata-rata kekerasan setiap paduan Zn-Al. Hasil

kekerasan dapat dilihat Tabel 3 dan kenaikan kekerasan dari paduan dapat dilihat pada Gambar 3

Tabel 3.
Hasil Pengujian Kekerasan Paduan Zn-Al

No	Paduan	Kekerasan(HB)
1	Zn	50.53 ± 0.30
2	Zn-0,2Al	51.83 ± 0.92
3	Zn-0,4Al	55.46 ± 0.35
4	Zn-0,6Al	59.26 ± 3.57

Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai kekerasan paduan Seng(Zn) dengan indentasi pada tiga titik memiliki rata-rata kekerasan *Brinell* sebesar 50.53 HB. Logam paduan Zn-0,2Al memiliki rata-rata kekerasan *Brinell* sebesar 51.83 HB. Paduan paduan Zn-0,4Al memiliki rata-rata kekerasan *Brinell* sebesar 55.46 HB. Paduan paduan Zn-0,6Al memiliki rata-rata kekerasan *Brinell* sebesar 59.26 HB.



Gambar 4. Pengaruh Penambahan Unsur Al terhadap Nilai Kekerasan Paduan Zn-Al

Gambar 4 menunjukkan grafik kenaikan nilai kekerasan paduan Zn-Al yang berbanding lurus dengan bertambahnya unsur Al. Semakin besar penambahan unsur Al pada paduan paduan, maka nilai kekerasan semakin besar. Paduan Zn-0,6Al memiliki nilai kekerasan paling besar dibandingkan paduan lainnya. Logam Zn 100% memiliki nilai kekerasan paling rendah.

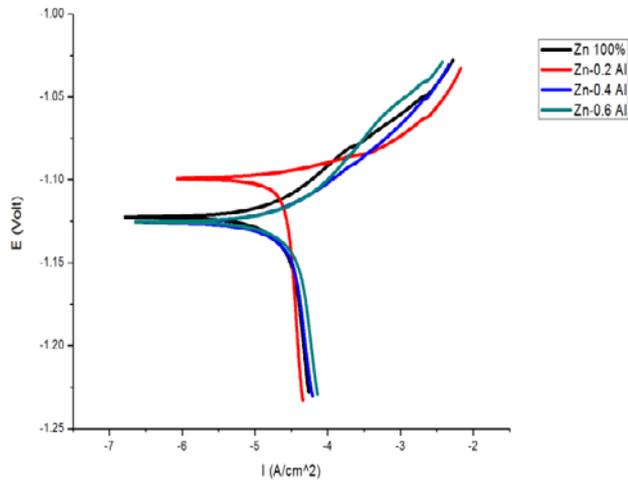
Hal ini disebabkan karena penambahan unsur alumunium. Pada Zn-0,2Al terjadi kenaikan kekerasan sebesar 1,3 HB dari logam cor Zn. Kenaikan kekerasan terjadi karena adanya unsur alumunium yang terlarut didalam logam Zn membentuk *substitutional solid solutions* pada logam Zn yang menyebabkan adanya distorsi pada struktur Kristal Zn. Distorsi dari ruang-kisi dari Zn oleh kehadiran Al juga mengatur sifat fisik dari paduan yang dihasilkan, khususnya ketahanan material dan ketahanan terhadap deformasi mekanik pada umumnya.

Pada Zn-0,4Al juga mengalami *substitutional solid solutions* akan tetapi batas kelarutan dari alumunium didalam Zn pada temperatur kamar hanya sampai pada 0,3%, alumunium yang tidak terlarut didalam Zn akan membentuk presipitat pada batas butir Zn yang menyebabkan kekerasan Zn meningkat sebesar 4.93 HB. Kehadiran partikel kecil Al didalam matriks Zn menyebabkan adanya distorsi didalam matriks Zn yang membuat paduan Zn-0,4Al tahan terhadap deformasi mekanik[14].

Pada Zn-0,6Al terdapat fasa eutektoid yang tampak pada struktur kristal Zn. Perubahan pada struktur Kristal Zn yang dikelilingi fasa eutektoid menyebabkan susunan butir dari fasa Zn tidak teratur dan terjadi dislokasi pada susunan struktur Kristal Zn yang menyebabkan ketahanan terhadap deformasi mekanik dari Zn meningkat pesat[15].

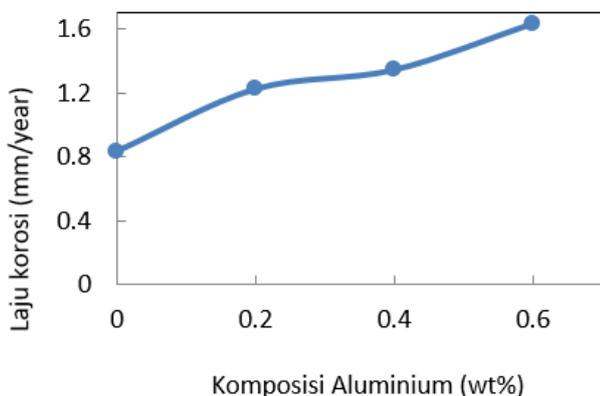
F. Pengujian Tafel Paduan Zn-Al

Pengujian Tafel yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui laju korosi dan mendapatkan nilai dari potensial sel (°E) dari logam seng(Zn) dan logam paduan Zn-Al. Pengujian Tafel dilakukan di Laboratorium Korosi Departemen Material. Uji Tafel dilakukan sesuai dengan standar ASTM G5[16] dan ASTM G102[17]. Grafik hasil pengujian Tafel dari logam hasil coran dapat dilihat dari Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Hasil Pengujian Tafel

Dari pengujian Tafel yang telah dilakukan didapatkan data berupa potensial sel (°E) dan versus arus (I) dari logam paduan Zn-Al yang ditunjukkan oleh Gambar 5 untuk setiap peningkatan komposisi aluminium pada logam paduan.



Gambar 6. Laju Korosi dari Paduan Zn-Al

Gambar 6 memperlihatkan laju korosi dari logam paduan Zn-Al. Bertambahnya komposisi aluminium membuat laju korosi dari logam paduan Zn-Al semakin meningkat dimana pada paduan Zn memiliki laju korosi 0,82544 mm/year, pada paduan Zn-0,2Al memiliki laju korosi 1,2247 mm/year, pada paduan Zn-0,4Al memiliki laju korosi 1,3414 mm/year, dan pada paduan Zn-0,6Al memiliki laju korosi 1,6303 mm/year.

Data hasil pengujian Tafel dapat dilihat pada Tabel 4 untuk potensial sel (E⁰) dan densitas arus serta laju korosi dari logam Zn dan paduan Zn-Al.

Tabel 4.
Data Hasil Pengujian TAFEL

Material	E _{corr} (volt)	I _{corr} (A/cm ²)	Laju Korosi (mm/year)
Zn 100%	-1.1224	2.4356 10 ⁻⁵	0.82544
Zn-0,2% Al	-1.0994	3.6137 10 ⁻⁵	1.2247
Zn-0,4% Al	-1.1258	3.9581 10 ⁻⁵	1.3414
Zn-0,6% Al	-1.1254	4.8106 10 ⁻⁵	1.6303

IV. KESIMPULAN

1. Unsur Al mempengaruhi struktur mikro paduan Zn-Al. Semakin bertambahnya unsur Al dalam paduan, batas butir pada paduan Zn-Al semakin besar dan pada Zn-0,6Al terbentuk fasa eutektoid dimana mempengaruhi nilai kekerasan paduan Zn-Al. Semakin bertambahnya unsur Al dalam paduan, nilai kekerasan paduan semakin tinggi. Nilai kekerasan tertinggi dimiliki oleh logam paduan Zn-0,6Al dengan nilai sebesar 59,26 HB. Nilai kekerasan terendah dimiliki oleh logam Zn 100% dengan nilai sebesar 50,53 HB.
2. Unsur Al mempengaruhi nilai laju korosi dari paduan Zn-Al. Nilai laju korosi terendah pada logam Zn 100% sebesar 0,82544 mm/year dan tertinggi dimiliki oleh logam paduan Zn-0,6Al sebesar 1,6303 mm/year.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Bohnes and G. Franke, "Galvanic (Sacrificial) Anodes," in *Handbook of Cathodic Corrosion Protection*, Gulf Professional Publishing, 1997, pp. 179–206.
- [2] V. Kuklik and J. Kudlacek, *Hot-dip galvanizing of steel structures*. Amsterdam: Butterworth-Heinemann, 2016.
- [3] W. Rosenhain, "The hardness of solid solutions," *Proc. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.*, vol. 99, no. 698, pp. 196–202, Jun. 1921.
- [4] P. N. Rao, *Manufacturing technology foundry, forming and welding*. New Delhi: Tata McGraw-Hill, 2011.
- [5] W. D. Callister and D. G. Rethwisch, *Materials science and engineering: an introduction*. Hoboken N.J.: John Wiley & Sons, 2014.
- [6] A. International, *Standard test method for particle size distribution of alumina or quartz by X-Ray monitoring of gravity sedimentation*. West Conshohocken Pa.: ASTM International, 1999.
- [7] H. Sudjana, *Teknik pengecoran logam, Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2008.
- [8] T. Fusayama, "Factors and technique of precision casting part I," *J. Prosthet. Dent.*, vol. 9, no. 3, pp. 468–485, May 1959.
- [9] J.-W. Yeh, S.-Y. Chang, Y.-D. Hong, S.-K. Chen, and S.-J. Lin, "Anomalous decrease in X-ray diffraction intensities of Cu–Ni–Al–Co–Cr–Fe–Si alloy systems with multi-principal elements," *Mater. Chem. Phys.*, vol. 103, no. 1, pp. 41–46, May 2007.
- [10] ASTM International, *ASTM E407 Standard test method for microetching metals and alloys*. ASTM International, 1999.
- [11] M. T. Abou El-khair, A. Daoud, and A. Ismail, "Effect of different Al contents on the microstructure, tensile and wear properties of Zn-based alloy," *Mater. Lett.*, vol. 58, no. 11, pp. 1754–1760, Apr. 2004.
- [12] J. Sullivan, S. Mehraban, and J. Elvins, "In situ monitoring of the microstructural corrosion mechanisms of zinc–magnesium–aluminium alloys using time lapse microscopy," *Corros. Sci.*, vol. 53, no. 6, pp. 2208–2215, Jun. 2011.
- [13] ASTM International, *ASTM E10 - 18 Standard test Method for brinell hardness of metallic materials*. ASTM International, 1999.
- [14] T. Ishikawa, "Understanding and controlling microstructural evolution in metal forming: an overview," in *Microstructure Evolution in Metal Forming Processes*, J. Lin, B. Daniel, and M. Pietrzyk, Eds. Nagoya: Woodhead Publishing, 2012.
- [15] ASM International, *ASM Handbook Volume 9: Metallography and microstructures*. New York: ASM International, 2004.