



SINTESIS MATERIAL IMPLAN BIOKOMPOSIT PLA-ABS-Mg : SIFAT MEKANIK, MIKROSTRUKTUR, DAN PERILAKU ELEKTROKIMIA

Aprilia Erryani^a, Yulianti^b, Yudi Nugraha Thaha^a, Franciska Pramuji Lestari^a,
Adi Noer Syahid^a, Rahma Nisa Hakim^a

^aPusat Penelitian Metalurgi dan Material - LIPI

Gedung 470 Kawasan Puspipetek Serpong, Indonesia 15310

^bTeknik Metalurgi, Universitas Teknologi Sumbawa

Jl. Olat Maras, Batu Alang, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

*E-mail: apri001@lipi.go.id

Masuk Tanggal :16-08-2020, revisi tanggal:16-08-2020, diterima untuk diterbitkan tanggal : 25-11-2020

Abstrak

Pada penelitian ini telah dilakukan pembuatan implan yang dapat diserap oleh tubuh dengan material polimer logam komposit. PLA/ABS/Mg (polylactic acid/acrylonitrile butadiene styrene/magnesium) dibuat dengan menggunakan metode *solvent casting* dengan tiga komposisi PLA:ABS yakni 70:30, 60:40, 80:20 dengan komposisi Mg masing-masing 5%, 10% dan 15%. Komposit logam polimer kemudian dilarutkan dengan kloroform sebanyak 17 ml sehingga mendapatkan sampel berbentuk film. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi optimal PLA/ABS terhadap karakteristik mekanik, morfologi, perilaku elektrokimia dengan adanya penambahan Mg. Hasil karakterisasi mekanik menggunakan uji tarik dengan komposisi PLA:ABS 80:20 pada variasi Mg 10% dan 15% menunjukkan hasil yang optimal, sehingga Mg terbukti meningkatkan sifat mekanik dari PLA. Semakin banyak penambahan Mg pada polimer menunjukkan peningkatan nilai kekerasan vicker's pada polimer logam komposit. Spektrum impedansi direkam pada potensi sirkuit terbuka. Terlihat bahwa resistansi pemindahan muatan berubah secara signifikan dengan meningkatnya kandungan Mg pada komposit. Magnesium terdistribusi secara homogen pada komposit PLA-ABS. Perubahan R_{ct} (tahanan transfer muatan) mengalami perubahan perilaku korosi komposit PLA-ABS, semakin tinggi konsentrasi Mg pada matriks PLA-ABS maka Mg cenderung semakin mudah terkorosi karena sifat Mg yang mudah terkorosi.

Kata Kunci: PLA, ABS, Mg, material implan, biokomposit

Abstract

In this study, implants that can be absorbed by the body with metal composite polymer materials have been developed. Polymer polylactic acid-acrylonitrile/butadiene-styrene/magnesium (PLA/ABS/Mg) was built using a three-composition solvent casting process. The PLA: ABS ratio was 70:30, 60:40, 80:20 with different Mg values of 5, 10, and 15 %. All the compositions were dissolved with 17 mL of chloroform to produce a sample in film form. The goal of this study is to determine the optimum variation of PLA/ABS in mechanical, morphological, and electrochemical activity with the addition of Mg. Characterization of mechanical properties using the tensile test, the PLA: ABS composition of 80:20 at 10% and 15% of the Mg variations showed optimal results. Mg has been shown to improve the mechanical properties of PLA. In addition to the polymer, Mg showed an increase in the hardness of Vicker's in the composite metal-polymer. The impedance spectrum is recorded at the potential of the open circuit. It can be shown that the load transfer resistance changes dramatically with an increase in the Mg content of the composites. The Mg was evenly distributed in the PLA-ABS composite. The improvement in R_{ct} (charge transfer resistance) indicates a change in PLA-ABS composites corrosion: the higher the Mg concentration in the PLA-ABS matrix, the more likely Mg to be eroded the easily corroded nature of Mg.

Keywords: PLA, ABS, Mg, implant material, biocomposite

1. PENDAHULUAN

Beberapa komponen biomedis, seperti sendi buatan, implan, dan *drug delivery system* membutuhkan penggunaan material yang memiliki sifat biokompatibilitas (*biocompatible*) dan mudah terurai (*biodegradable*) sehingga diperlukan pengembangan biomaterial baru agar dapat digunakan untuk aplikasi tersebut [1]-[2]. Salah satu karakteristik yang diinginkan adalah kemampuan suatu material untuk bisa terurai secara langsung dalam tubuh manusia untuk menghindari operasi pengangkatan kedua, dan mengurangi risiko peradangan lokal yang mungkin muncul setelah penanaman jangka panjang dari implan yang bersifat permanen [3]. Biokompatibilitas material sangat penting untuk menghindari reaksi inflamasi dan respon sitotoksik pada tubuh. Dengan implan logam, biokompatibilitas sulit dicapai karena sifat logam yang korosif. Selain itu, logam menunjukkan sifat mekanik yang tidak sebanding dengan jaringan alami sehingga sifat mekaniknya perlu diubah. Untuk memperoleh sifat mekanik yang diinginkan, komposit merupakan salah satu material yang bisa dipilih [4]-[6].

Ketika partikel (serpihan atau bubuk) dari material penguat tertanam dalam matriks, terbentuklah jenis komposit partikel, jenis lainnya adalah komposit yang diperkuat oleh serat dan komposit laminar [4]. Dalam penelitian ini komposit yang diperkuat partikulat telah dikembangkan dengan menambahkan partikel logam dalam matriks polimer. Polimer digunakan sebagai material dengan matriks karena ringan, lebih ekonomis, mudah diproses, tersedia secara luas dan ramah lingkungan. Jenis matriks polimer dan interaksinya dengan material penguat yang digunakan sangat mempengaruhi sifat fisik dan mekanik komposit [5]-[6].

PLA (*polylactic acid*) adalah salah satu material polimer yang memiliki sifat biologis dan sangat serbaguna bila diaplikasikan secara komersial. Namun, sifat mekanik PLA murni tidak dapat memenuhi persyaratan untuk menjadi material implan sehingga perlu material pengisi yang dapat meningkatkan sifatnya agar layak menjadi sebuah material implan [7].

PLA merupakan jenis polimer yang dapat terurai (*biodegradable*), termoplastik dan poliester alifatik yang terbuat dari bahan-bahan terbarukan seperti pati jagung atau tanaman tebu. Akan tetapi PLA mempunyai beberapa kekurangan seperti kristalinitas rendah, deformasi termal rendah, dan mudah rapuh [8]. Oleh karena itu, pencampuran PLA dengan polimer lain adalah metode yang paling praktis

dan ekonomis untuk meningkatkan sifat dari PLA. Salah satu polimer yang digunakan yakni ABS (*acrylonitrile-butadiene-styrene*) yaitu untuk menguatkan PLA karena sifatnya yang sangat baik seperti ketangguhan tinggi, kekakuan, stabilitas panas yang baik dan ketahanan korosi yang baik. Ini juga efektif, tahan lama dan koefisien perpindahan panas yang rendah, sehingga mudah untuk mencetak produk dengan stabilitas dimensi yang baik. Keunggulan ini membuat ABS dan PLA sangat cocok untuk digunakan dalam aplikasi implan [9].

Beberapa penelitian telah dilakukan mengenai penggunaan material yang melepaskan ion bioaktif seperti Zn^{2+} , Si^{4+} dan Mg^{2+} untuk regenerasi jaringan pada area yang mengalami kerusakan dalam tubuh manusia [13]-[15]. Ion Mg^{2+} memiliki kelebihan tersendiri karena sangat penting dalam metabolisme pada tubuh manusia, seperti sintesis protein, fungsi otot, sistem saraf dan kekebalan [10]-[11]. Beberapa riset menunjukkan bahwa ion Mg^{2+} meningkatkan pembaruan jaringan kulit, meningkatkan fungsi pelindung kulit, meningkatkan hidrasi kulit, dan mengatur proliferasi dan diferensiasi epiderma [12]-[13]. Selain itu, ion Mg^{2+} yang dilepaskan memberikan respons biologis yang sangat baik dan mendorong pembentukan kolagen pada luka kulit [14]. Keunggulan ini memberikan peluang yang menjanjikan untuk penggunaan Mg sebagai biomaterial regenerasi jaringan, material implan dan *drug delivery system*.

Penambahan logam Mg pada polimer selain karena manfaat ion yang dihasilkan juga memiliki sifat-sifat yang dapat terurai secara alami di dalam tubuh. Kehadiran Mg pada komposit juga dapat meningkatkan sifat mekanik polimer dan dengan adanya polimer dapat mengendalikan laju degradasi Mg. Selain untuk meningkatkan sifat mekanik Mg, polimer juga dapat meningkatkan sifat kekuatan mulur (*creep*) dan biokompatibilitas dari Mg [15].

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui variasi optimal PLA/ABS terhadap karakteristik sifat mekanik, morfologi dan karakteristik elektrokimia dengan variasi penambahan Mg.

2. PROSEDUR PERCOBAAN

2.1 Persiapan Material

Bahan dasar pada penelitian ini adalah PLA/ABS/Mg (*polylactic acid/acrylonitrile-butadiene-styrene/magnesium*) dengan pemberian variasi pada komposisinya. Serbuk Mg dilakukan penggerusan terlebih dahulu dengan mortar selama 15 menit. Pelet PLA-ABS dicampur

dengan serbuk Mg akan dilarutkan dengan kloroform dan dengan menggunakan metode *solvent casing* untuk mendapatkan sampel uji berbentuk film. Pelet PLA, ABS dan serbuk Mg dengan komposisi yang telah ditentukan kemudian ditimbang dan diberi kodefikasi. Berat total sampel sebesar 5 gram dengan komposisi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi material komposit dengan variasi Mg pada perbandingan PLA:ABS = 70:30

Komposisi Material (PLA:ABS)Mg	Berat Serbuk (gram)		
	PLA	ABS	Mg
(70:30) 5%	3,325	1,425	0,25
(70:30)10%	3,325	1,425	0,5
(70:30)15%	3,325	1,425	0,75

Tabel Error! No text of specified style in document.. Komposisi material komposit dengan variasi Mg pada perbandingan PLA:ABS = 60:40

Komposisi Material (PLA:ABS)Mg	Berat Serbuk (gram)		
	PLA	ABS	Mg
(60:40) 5%	2,7	1,8	0,25
(60:40)10%	2,7	1,8	0,5
(60:40)15%	2,7	1,8	0,75

Tabel 2. Komposisi material komposit dengan variasi Mg pada perbandingan PLA:ABS = 80:20

Komposisi Material (PLA:ABS)Mg	Berat Serbuk (gram)		
	PLA	ABS	Mg
(80:20) 5%	3,4	0,85	0,25
(80:20) 10%	3,4	0,85	0,5
(80:20)15%	3,4	0,85	0,75

Pencampuran material dilakukan dengan melarutkan pelet PLA dan ABS menggunakan larutan cloroform sebanyak 20 ml selama 2 jam 30 menit, kemudian serbuk Mg ditambahkan dan diaduk hingga menjadi pasta/mengental. Pasta yang sudah mengental kemudian dicetak. Sampel hasil cetak kemudian dikarakterisasi untuk mengetahui karakteristik sifat mekanik, morfologi struktur mikro dan kestabilan dalam larutan elektrokimia.

2.2 Uji Tarik

Uji tarik dilakukan dengan alat Tinius Olsen menggunakan standar ASTM E8 untuk memperoleh nilai kuat luluh (*yield strength*), dan kuat tarik maksimum (*ultimate tensile strength*).

2.3 Uji Kekerasan

Uji kekerasan komposit secara mikro menggunakan metode vicker's (merk HM-200 Mitutoyo) dengan pembebanan 0,01N dan waktu pembebanan selama 5 detik.

2.4 SEM

Untuk melihat struktur topografi permukaan, ukuran butiran, dan cacat struktural pada komposit diamati dengan menggunakan SEM (*scanning electron microscope*) merk JEOL JSM6390A. SEM juga didukung dengan EDS (*energy dispersive spectroscopy*) dan *mapping* untuk mengetahui sebaran logam magnesium pada komposit. Sampel komposit sebelum diuji, dilakukan *mounting* dan diampelas permukaannya hingga halus menggunakan amplas ukuran 1200.

2.5 EIS

EIS (*electrochemical impedance spectroscopy*) digunakan untuk melihat perilaku elektrokimia biokomposit PLA/ABS/Mg. Pengujian EIS dilakukan menggunakan alat Metrohm Autolab PGSTAT 302N dengan software NOVA 2.0. Perilaku elektrokimia diukur dari grafik Nyquist yang diplot dari Z real dan Z imajiner dan diukur pada frekuensi 0,1Hz – 0,1 MHz.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Kekuatan Tarik

Nilai hasil uji tarik komposit dengan perbandingan polimer PLA/ABS sebesar 70:30, 60:40, 80:20 dengan penambahan Mg sebesar (%berat) 5, 10 dan 15 ditunjukkan pada Tabel 4, sedangkan kurva tegangan vs regangan dapat dilihat pada Gambar 1(a)-(c).

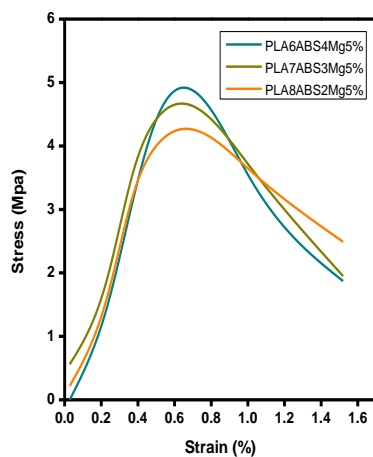
Tabel 4. Nilai kuat tarik komposisi PLA dan ABS dengan penambahan Mg (%berat)

PLA-ABS-Mg	σ_y (MPa)	σ_U (MPa)	σ_f (MPa)	E (MPa)	e (%)
60-40-5	3,60	4,45	1,95	900	1,23
70-30-5	4,17	5,47	1,87	706	0,59
80-20-5	3,24	4,03	1,49	1130	2,38
60-40-10	3,25	4,13	2,65	959	2,14
70-30-10	3,00	5,33	1,90	109	4,92
80-20-10	4,47	5,25	3,30	918	1,77
60-40-15	4,59	6,30	2,82	784	0,63
70-30-15	4,23	6,70	2,83	971	1,68
80-20-15	4,59	6,30	2,80	816	1,71

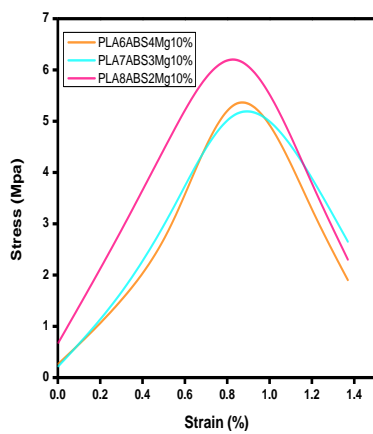
Pada kurva tegangan vs regangan dalam Gambar 1(a)-1(c) terlihat bahwa tren linier melebihi nilai 3-4 MPa untuk penambahan 5 dan 10%berat Mg, sedangkan dengan penambahan 15%berat Mg tren linier meningkat melebihi nilai 4 MPa, dimana nilai kekuatan luluh tertinggi (σ_y) dihasilkan pada komposisi PLA60/ABS40/Mg15 dan PLA80/ABS20/Mg15 dengan nilai kekuatan luluh sebesar 4,59 MPa (Tabel 4). Kondisi ini juga membuktikan bahwa kekuatan komposisi PLA/ABS meningkat seiring dengan bertambahnya penambahan Mg dalam paduan.

Tren linier pada Gambar 1(a)-1(c) kemudian berubah secara signifikan dalam tahapan yang

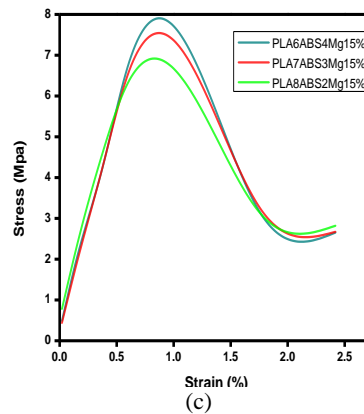
berbeda untuk setiap komposisi komposit saat kekuatan tarik maksimum tercapai (σ_U). Kekuatan tarik maksimum tertinggi (σ_U) diperoleh pada komposisi PLA70/ABS30/Mg15 yaitu sebesar 6,7 MPa dan Young Modulus sebesar 971 MPa, serta menghasilkan elongasi cukup tinggi yaitu 1,68% dengan mulur sampai dengan putus sepanjang 10,1 mm. Komposisi PLA80/ABS20/Mg5 menghasilkan kekuatan tarik maksimum terendah yaitu 4,03 MPa dan Young Modulus sebesar 1130 MPa serta menghasilkan elongasi cukup tinggi sebesar 2,38% dengan mulur sampai dengan putus sepanjang 7,3 mm (Gambar 1(c) dan Tabel 4). Komposisi ini memiliki tingkat kekakuan paling tinggi dengan keuletan yang cukup baik karena kandungan PLA cukup besar yaitu 80 %berat [16].



(a)



(b)



Gambar 1. Kurva tegangan vs regangan dari komposisi PLA-ABS dengan penambahan Mg (%berat) sebesar; (a) 5, (b) 10, dan (c) 15

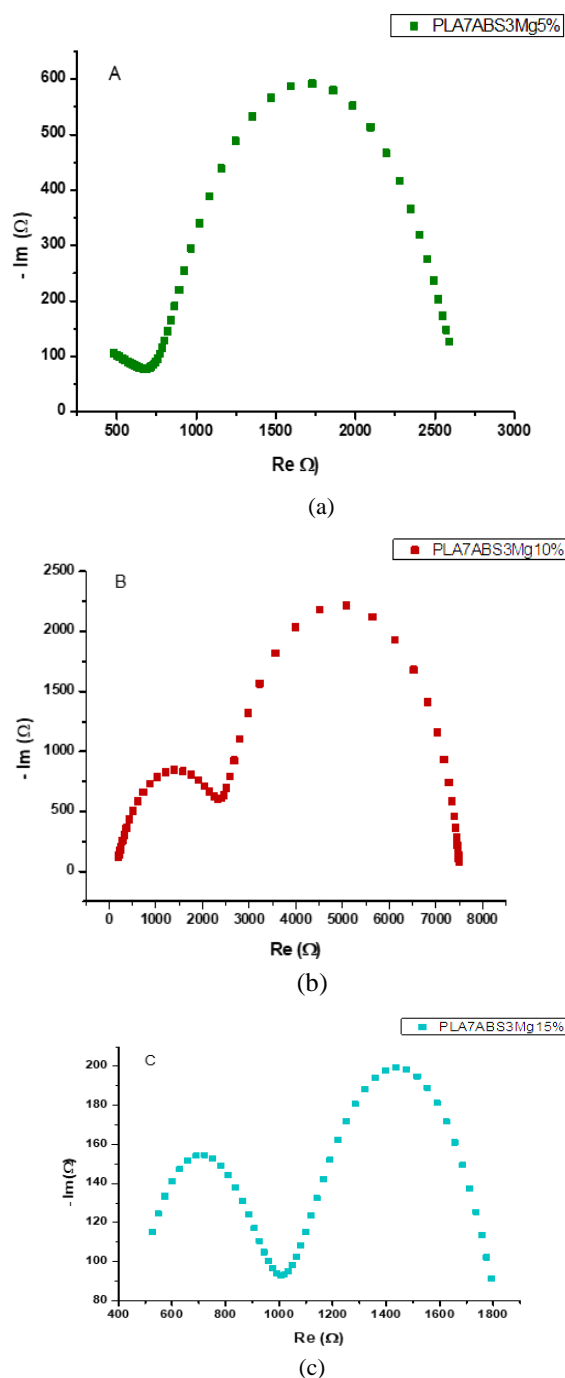
Dari Gambar 1(a)-1(c) dan Tabel 4, dapat disimpulkan bahwa semakin banyak variasi Mg yang ditambahkan maka akan meningkatkan kekuatan tarik maksimum komposisi PLA/ABS/Mg. Dalam penelitian paduan magnesium kekuatan tinggi (AZ31) yang diperkuat komposit PLA untuk aplikasi potensial fiksasi fraktur tulang dengan proses injeksi plastik pada batang Mg, menunjukkan bahwa komposit memiliki kekuatan tarik maksimum yang lebih tinggi bila dibandingkan PLA murni. Hal ini menunjukkan bahwa lapisan MgO memainkan peran yang sangat penting dalam meningkatkan sifat mekanik komposit pada penelitian tersebut. Caranya adalah dengan meningkatkan adhesi antarmuka antara Mg dan PLA melalui ikatan mekanis yang lebih tinggi berupa penahan secara mikro serta ikatan kimia dengan atom H dan O antara PLA dan lapisan MgO [17].

3.2 Analisis Korosi dengan EIS

Dalam penelitian ini spektrokopi impedansi diukur sebagai fungsi frekuensi untuk melakukan analisis perilaku elektrokimia polimer logam komposit. *Nyquist* plot digunakan untuk memperoleh perilaku elektrokimia dari komposit PLA/ABS/Mg. Plot *Nyquist* diperoleh dari nilai real (Z') dan nilai imajiner (Z'') yang didapat dari hasil respon komposit PLA/ABS/Mg terhadap larutan elektrolit dengan rentan frekuensi yang diberikan [18].

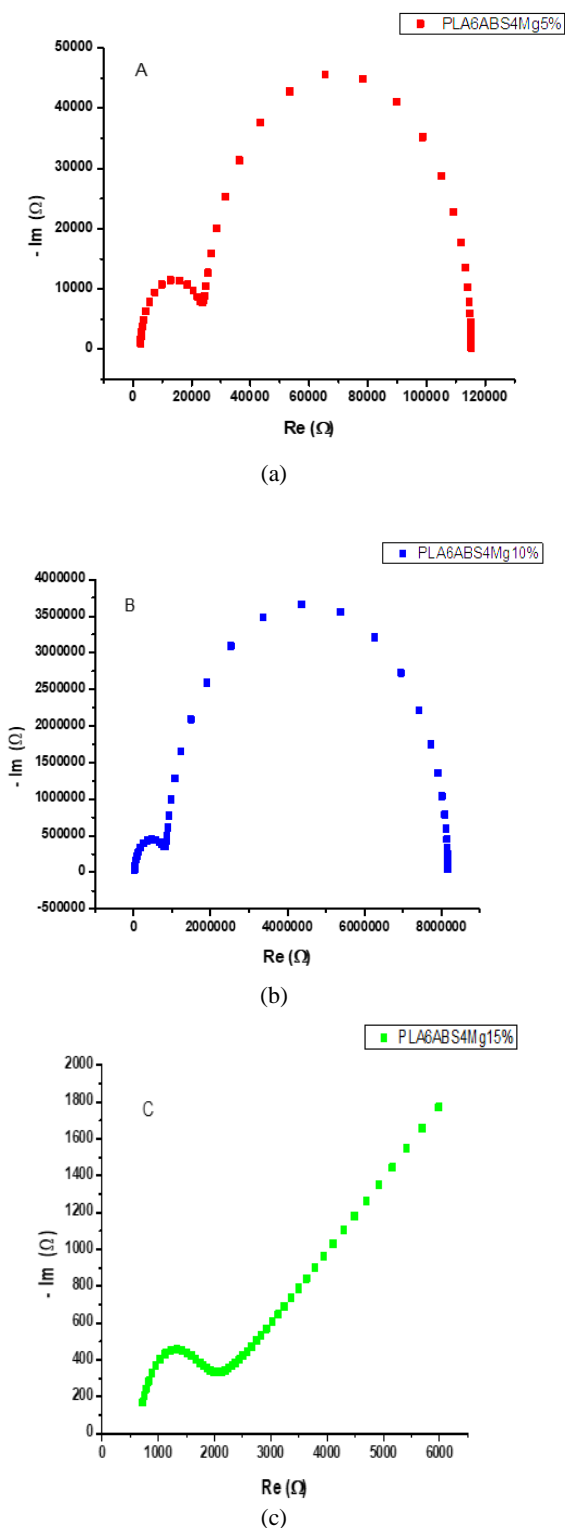
Hasil pengujian EIS (*electrochemical impedance spectroscopy*) pada komposit PLA70/ABS 30 dengan variasi Mg (%berat) 5, 10 dan 15 dapat dilihat pada hasil plot *Nyquist* (Gambar 2). Pada grafik *Nyquist* diperoleh 2 *semi circle* dimana *semi circle* yg pertama menunjukkan transfer masa dan *semi circle* kedua menunjukkan transfer muatan. Semakin

banyak jumlah Mg pada komposit maka pola *semi circle* yang pertama semakin besar, artinya transfer massa semakin besar. Dengan pola seperti ini, semakin banyak jumlah Mg pada komposit maka semakin mudah material itu terkorosi.



Gambar 2. Grafik Nyquist material komposit dengan perbandingan PLA70 ABS30 dan penambahan Mg (%berat); (a) 5, (b) 10, dan (c) 15

Hasil pengujian EIS pada komposit PLA60/ABS40 dengan variasi Mg (%berat) 5, 10 dan 15 dapat dilihat pada Gambar 3. Plot *Nyquist* yang terbentuk hampir sama dengan perbandingan polimer PLA70/ABS30, dimana perubahan grafik lebih dipengaruhi dengan penambahan partikel Mg.



Gambar 3. Grafik Nyquist material komposit dengan perbandingan PLA60 ABS40 dan penambahan Mg (%berat); (a) 5, (b) 10, dan (c) 15

Pola *semi-circle* merupakan adanya hambatan elektrolit yang terjadi karena terbentuknya reaksi elektrokimia dalam elektrolit tersebut sehingga antara elektrolit dan permukaan material aktif akan membentuk lapisan ganda (*double-layer*). Sedangkan pola *straight line* merupakan proses difusi ion ke dalam *bulk*

material elektroda atau biasa disebut difusi *warburg*.

Titik awal dari pola *semi-circle* yaitu hambatan elektrolit (Z_{Real}). Jarak dari titik Re ke titik akhir pola *semi-circle* disebut hambatan *charge-transfer* [19]. Hambatan *charge-transfer* menentukan nilai elektrokimia dari komposit PLA60/ABS40/Mg15 terlihat meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa semakin sempit pola yang dihasilkan maka reaktivitasnya semakin besar, sedangkan nilai impedansi semakin kecil seiring dengan semakin sempitnya pola dari *semi-circle*.

Gambar 4 menunjukkan hasil EIS pada PLA80/ABS20/Mg5-10-15. Sama dengan perbandingan polimer PLA70/ABS30 dan PLA60/ABS40, perubahan pola *semi circle* pada grafik *Nyquist* dipengaruhi oleh penambahan partikel Mg.

Pengujian EIS dilakukan untuk mempelajari perilaku elektrokimia dari komposit PLA ABS Mg. Spektrum impedansi direkam pada potensi sirkuit terbuka. Terlihat bahwa resistansi pemindahan muatan berubah secara signifikan dengan meningkatnya kandungan Mg pada komposit (Gambar 4). Hasil penelitian menunjukkan bahwa Mg terdistribusi secara homogen pada komposit PLA/ABS. Perubahan Rct menunjukkan juga perubahan perilaku korosi komposit PLA/ABS, semakin tinggi konsentrasi Mg pada matriks PLA/ABS maka Mg cenderung semakin mudah terkorosi.

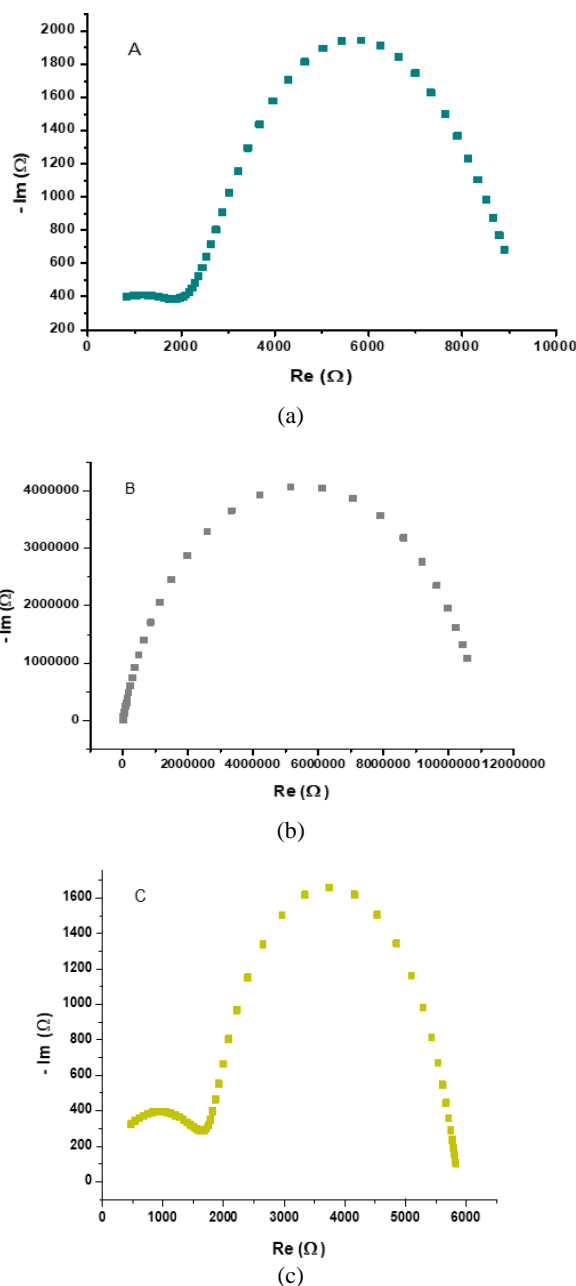
Hubungan spektrum impedansi dengan komposisi PLA/ABS/Mg terlihat pada frekuensi impedansi rendah, lebar setengah lingkaran pada frekuensi rendah cenderung menurun dengan bertambahnya konsentrasi Mg pada komposit. Ini menunjukkan perilaku antarmuka yang berubah secara signifikan antara komposit dan elektrolit.

3.3 Analisis Hasil Uji Keras

Nilai hasil uji kekerasan mikro Vicker's PLA70/ABS30, PLA60/ABS40, PLA80/ABS20 dengan masing masing variasi Mg (%berat) sebesar 5, 10 dan 15 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil uji kekerasan mikro vicker's logam polimer komposit (PLA/ABS/Mg)

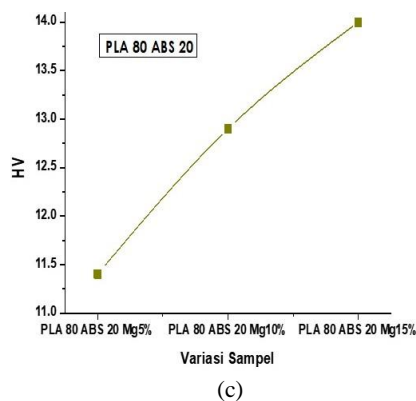
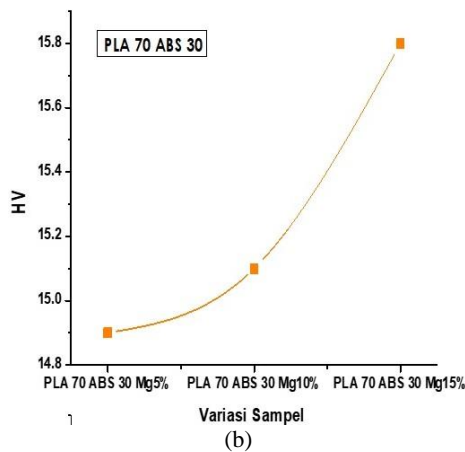
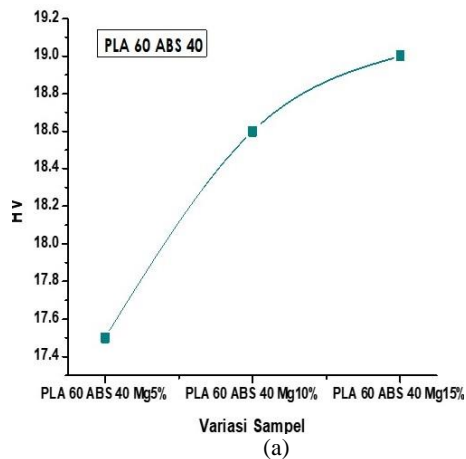
Komposisi Material PLA-ABS-Mg	Kekerasan Mikro (HVN)
70-30-5	14,9
70-30-10	15,1
70-30-15	15,8
60-40-5	17,5
60-40-10	18,6
60-40-15	19,0
80-20-5	11,4
80-20-10	12,9
80-20-15	14,0



Gambar 4. Grafik Nyquist material komposit dengan perbandingan PLA80 ABS20 dan penambahan Mg (%berat); (a) 5, (b) 10, dan (c) 15

Dari data Tabel 5 di atas dibuat grafik antara nilai kekerasan mikro terhadap komposisi (Gambar 7) terlihat nilai kekerasan semakin bertambah besar sebanding dengan jumlah penambahan variasi Mg. Hal ini dikarenakan Mg meningkatkan sifat mekanik dari polimer PLA/ABS[20].

Gambar 5 menunjukkan tingkat kekerasan komposit PLA/ABS/Mg dengan beban yang diberikan sebesar 0,01N. Nilai optimal komposit PLA70/ABS30 pada variasi Mg 15% yakni 15,8 HVN. Sedangkan pada komposit PLA60 ABS40 nilai kekerasan optimal terdapat pada variasi Mg15% dengan nilai 19,0 HVN dan PLA80/ABS20 nilai kekerasan optimum pada variasi 15% Mg yakni 14,0 HVN.



Gambar 5. Hasil uji kekerasan mikro Vicker's polimer logam komposit pada komposisi PLA/ABS; (a) 60:40, (b) 70:30, dan (c) 80:20

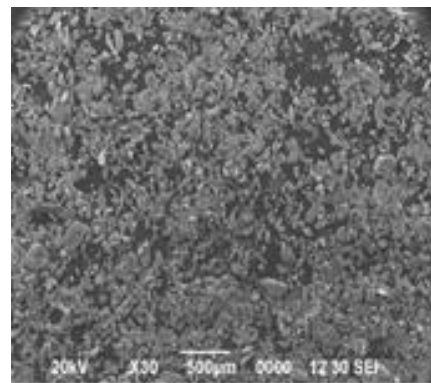
3.4 Analisis Hasil SEM

Gambar 8(a)-8(c) menunjukkan foto hasil SEM (*scanning electron microscope*) ukuran dan bentuk serbuk Mg setelah digerus selama 15 menit dengan mortar pada perbesaran foto yang berbeda. Proses penggerusan yang dilakukan selama 15 menit belum cukup membuat ukuran partikel Mg menjadi seragam.

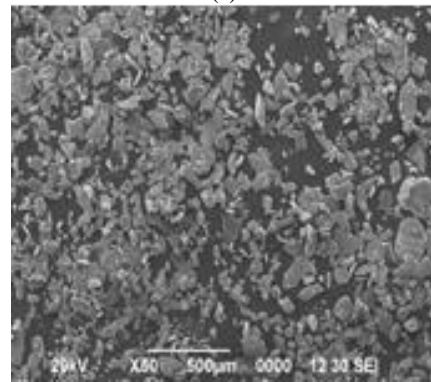
Gambar 9-11 menunjukkan foto hasil SEM dari variasi komposisi PLA/ABS/Mg pada posisi melintang. Hal ini bertujuan untuk melihat apakah partikel Mg sudah terlingkup di dalam matriks polimer. Adanya campuran polimer yang

berbeda, tidak mempengaruhi persebaran partikel Mg pada komposit.

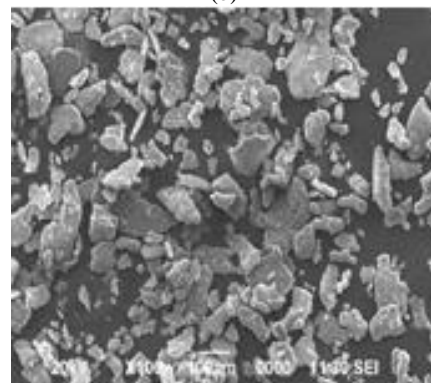
Pada proses pelarutan polimer dengan cloroform, larutan ABS memiliki kekentalan yang lebih tinggi dibanding PLA. Namun setelah dicampur, larutan PLA dan ABS dapat tercampur dengan baik karena sama-sama larut sempurna dalam chloroform. Dengan homogennya pencampuran polimer, proses pencampuran Mg pada komposit dapat tersebar merata. Pada komposit PLA70/ABS30/Mg (Gambar 9), PLA60/ABS40/Mg (Gambar 10) dan komposit PLA80/ABS20/Mg (Gambar 11), sebaran Mg pada komposit sudah cukup merata dan didukung oleh hasil plot *Nyquist* pada EIS yang menunjukkan semakin banyak partikel Mg maka interkoneksi antar partikel semakin naik.



(a)

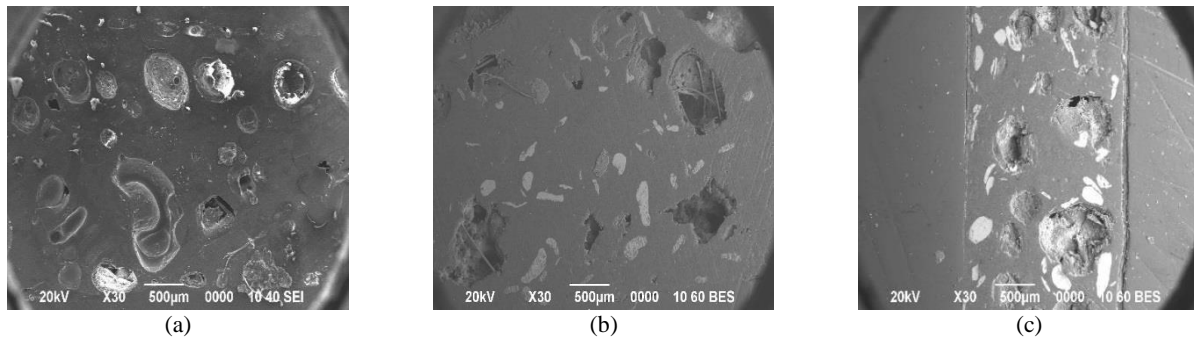


(b)

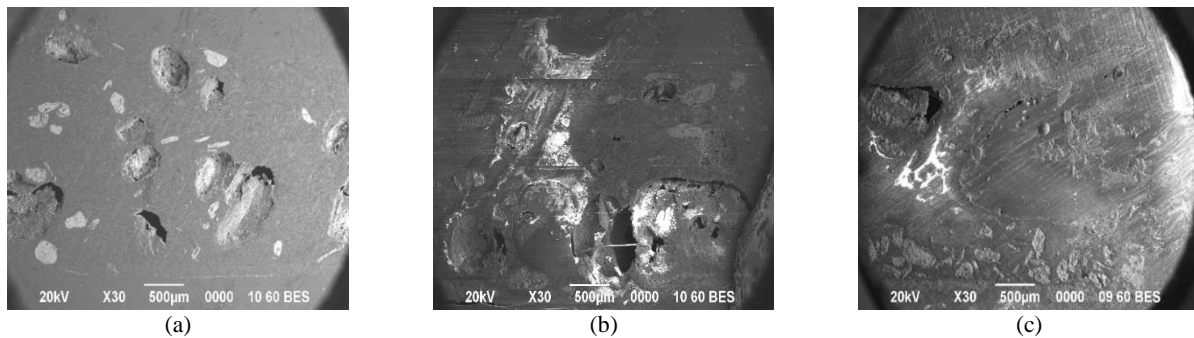


(c)

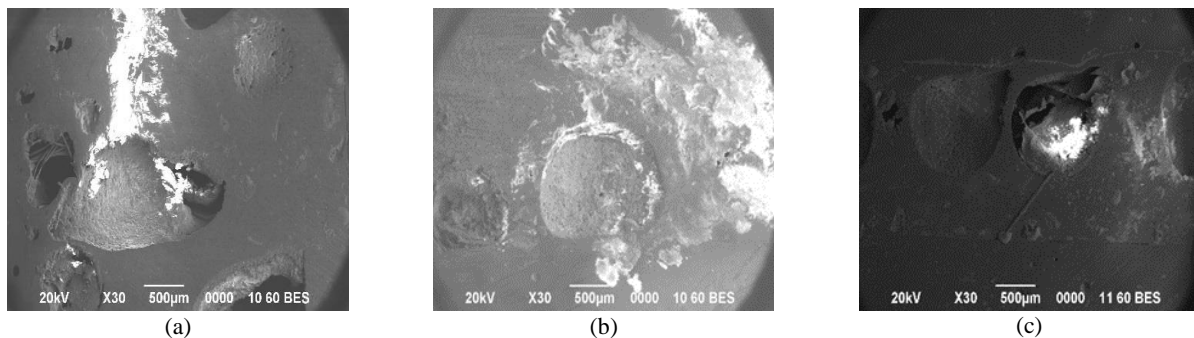
Gambar 8. Morfologi ukuran serbuk Mg setelah digerus dengan mortar selama 15 menit pada perbesaran foto; (a) 30X, (b) 50X, dan (c) 100X



Gambar 9. Struktur mikro komposit PLA70/ABS30 dengan Mg sebesar (%berat); (a) 5, (b) 10, dan (c) 15



Gambar 10. Struktur mikro komposit PLA60/ABS40 dengan Mg sebesar (%berat); (a) 5, (b) 10, dan (c) 15



Gambar 11. Struktur mikro komposit PLA80/ABS20 dengan Mg sebesar (%berat); (a) 5, (b) 10, dan (c) 15

4. KESIMPULAN

Sintesis biokomposit PLA-ABS-Mg telah berhasil dilakukan. Dari hasil karakteristik mekanik diperoleh bahwa pada komposisi PLA:ABS 80:20 pada variasi Mg 10% dan 15% merupakan komposisi dengan hasil yang paling optimal, dimana Mg terbukti dapat meningkatkan sifat mekanik dari komposit. Semakin banyak penambahan persentasi Mg pada polimer menunjukkan peningkatan nilai kekerasannya. Plot *Nyquist* yang dihasilkan menunjukkan sebaran Mg pada komposit sudah homogen. Pola *semi siracle* pada setiap penambahan jumlah Mg menunjukkan lebar setengah lingkaran dengan frekuensi rendah cenderung menurun. Semakin banyak jumlah partikel Mg pada komposit maka inter-koneksi antar partikel semakin naik yang akan mengakibatkan laju korosi semakin meningkat. Hasil pengamatan dengan menggunakan SEM (*scanning electron microscope*) menunjukkan partikel Mg sudah terlingkup oleh matriks polimer. Jarak antar

partikel semakin rapat dengan meningkatnya jumlah partikel Mg.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – LIPI atas terselenggaranya kegiatan ini. Kontributor utama dalam makalah ilmiah ini adalah Aprilia Erryani.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. V Gohil, S. Suhail, J. Rose, T. Vella, dan L. S. Nair, "Polymers and composites for orthopedic applications," Elsevier Inc., 2020.
- [2] E. Göktürk dan H. Erdal, "Biomedical applications of polyglycolic acid (PGA)," vol. 21, no. 6, pp. 1237–1244, 2017. Doi: 10.16984/saufenbilder.283156.
- [3] X. Li, C. L. Chu, L. Liu, X. K. Liu, J. Bai, C. Guo, F. Xue, P. H. Lin, dan P. K. Chu, "Biomaterials biodegradable poly-lactic acid based-composite reinforced

- unidirectionally with high-strength magnesium alloy wires,” vol. 49, pp. 135–144, 2015. Doi: 10.1016/j.biomaterials.2015.01.060.
- [4] X. Li, C. Chu, Y. Wei, C. Qi, J. Bai, C. Guo, F. Xue, P. Lin, dan P. K. Chu, “Acta biomaterialia in vitro degradation kinetics of pure PLA and Mg / PLA composite: Effects of immersion temperature and compression stress,” *Acta Biomater.*, vol. 48, pp. 468–478, 2017. Doi: 10.1016/j.actbio.2016.11.001.
- [5] K. Aoki dan N. Saito, “Biodegradable polymers as drug delivery systems for bone regeneration,” pp. 1–19, 2020. Doi: 10.3390/pharmaceutics12020095.
- [6] F. Bensiamar, B. Olalde, dan S. C. Cifuentes, “Antibacterial effect of novel biodegradable and bioresorbable PLDA / Mg composites,” *Biomed. Mater.*, vol. 12, 015025, 2017. Doi : 10.1088/1748-605X/aa5a14.
- [7] A. F. Montero, M. Lieblisch, J. L. G.-Carrasco, R. Benavente, V. Lorenzo, R. Detsch, A. R. Boccaccini, dan B. Ferrari, “Development of biocompatible and fully bioabsorbable PLA/Mg films for tissue regeneration applications,” *Acta Biomater.*, vol. 98, pp. 114–124, 2019. Doi: 10.1016/j.actbio.2019.05.026.
- [8] C. Zhao, H. Wu, J. Ni, S. Zhang, dan X. Zhang, “Development of PLA/Mg composite for orthopedic implant: Tunable degradation and enhanced mineralization,” *Compos. Sci. Technol.*, 2017. Doi: 10.1016/j.compscitech.2017.04.037.
- [9] M. Ziabka, M. Dziadek, dan E. Menaszek, “Biocompatibility of poly(acrylonitrile-butadiene-styrene) nanocomposites modified with silver nanoparticles,” *Polymers (Basel).*, vol. 10, no. 11, pp. 1–13, 2018. Doi: 10.3390/polym10111257.
- [10] G. Manivasagam dan S. Suwas, “Biodegradable Mg and Mg based alloys for biomedical implants,” *Mater. Science Technol.*, vol. 30, no. 5, pp. 515–520, 2014. Doi: 10.1179/1743284713Y.0000000500.
- [11] Q. Chen dan G. A. Thouas, “Metallic implant biomaterials,” *Mater. Sci. Eng. R*, vol. 87, pp. 1–57, 2015. Doi: 10.1016/j.mser.2014.10.001.
- [12] J. M. Carbajo dan F. Maraver, “Salt water and skin interactions: new lines of evidence,” *International Journal of Biometeorology*, vol. 62, no. 8, pp. 1345–1360, 2018. Doi : 10.1007/s00484-018-1545-z.
- [13] E. Proksch , H. P. Nissen, M. Bremgartner, dan C. Urquhart “Bathing in a magnesium-rich Dead Sea salt solution improves skin barrier function , enhances skin hydration , and reduces inflammation in atopic dry skin,” *Int. J. Dermatol.*, pp. 151–157, 2005.
- [14] J. Vormann, “Magnesium: Nutrition and metabolism,” *Molecular Aspects of Medicine*, vol. 24, no. 1–3. pp. 27–37, 2003. Doi: 10.1016/S0098-2997(02)00089-4.
- [15] M. C. F. Calderóna, D. R. Guzmánac, A. F. M. C. P. Giraldo, J. L. G. Carrasco, M. L. R. B. B. Ferrari, M. L. G. Martín, dan A. M. G. Moreno, “Impact of PLA/Mg films degradation on surface physical properties and biofilm survival,” *Colloids Surfaces B Biointerfaces*, 2019. Doi: 10.1016/j.colsurfb.2019.110617.
- [16] M. Bijarimi, N. Shahadah, A. Ramli, S. Nurdin, dan W. Alhadadi, “Poly (Lactic Acid) (PLA)/acrylonitrile butadiene styrene (ABS) with graphene nanoplatelet (GNP) nanocomposites,” *Indones. J. Chem.*, pp. 1–6, 2017. Doi: 10.22146/ijc.40880.
- [17] M. S. Butt, J. Bai, dan F. Xue, “Biodegradable Mg strengthened polylactic acid composite through interfacial properties,” vol. 900, pp. 7–11, 2017. Doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.900.7.
- [18] R. Vadori, M. Misra, dan A. K. Mohanty, “Sustainable biobased blends from the reactive extrusion of polylactide and acrylonitrile butadiene styrene,” *J. Appl. Polym. Sci.*, 2016. Doi: 10.1002/app.43771.
- [19] A. Rigoussen, J. M. Raquez, P. Dubois, dan P. Verge, “A dual approach to compatibilize PLA/ABS immiscible blends with epoxidized cardanol derivatives,” *Eur. Polym. J.*, 2019. Doi: 10.1016/j.eurpolymj.2019.02.017.
- [20] S. C. Cifuentes, E. Frutos, J. L. G. Carrasco, Muñoz, M. Multigner, J. Chao, R. Benavente, dan M. Lieblisch, “Novel PLLA / magnesium composite for orthopedic applications: A proof of concept,” vol. 74, pp. 239–242, 2012. Doi: 10.1016/j.matlet.2012.01.134.

