

Pengaruh Variasi Biokomposit (CaCO_3 : Tepung Jagung) Terhadap Nilai Penyusutan, Kekuatan Tarik, Kekuatan Tekuk, dan Mikrostruktur

Agris Setiawan^{(a)*}, Tri Wahyuningsih^(b), dan Margaretha Tri Budi Yuliana^(c)

Prodi Teknik Metalurgi, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia, 55281

Email : ^(a*)agrissetiawan@upnyk.ac.id , ^(b)tri.wahyuningsih@upnyk.ac.id, ^(c)margarethatby2307@gmail.com

Diterima (5 Juli 2022), Direvisi (17 Juli 2022)

Abstract. Limestone can be used in the world of health, namely as a biomaterial for the manufacture of bone support plates. One of the artificial biomaterials used for bone support plates is biocomposite. Before applying biocomposites for bone support plates, it is necessary to know the right composition between bioplastics and bioceramics so that the bone support plates have good mechanical properties, therefore several tests were carried out such as shrinkage, tensile tests, flexural tests, and scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray spectroscopy to determine the microstructure and elements involved. contained in the biocomposite. In this study using 4 variations of the mass ratio of suspension CaCO_3 : Corn Starch as biocomposite, suspension CaCO_3 as matrix and Corn starch as bioplastic. The dimensions of the tensile test specimen are in accordance with the ASTM D638 type 4 standard, and the dimensions of the flexural test specimen are in accordance with the ASTM D790 standard. Samples are given codes such as specimen A code for composition of suspension CaCO_3 20:80 corn starch (weight/weight)%, specimen B code for composition suspension CaCO_3 30:70 corn starch (weight/weight)%, specimen C code for composition suspension CaCO_3 40:60 cornstarch (weight/weight)%, and specimen code D for composition suspension CaCO_3 50:50 corn starch (weight/weight) %. Based on the results of the shrinkage measurement, it showed that specimen B had the highest average shrinkage value of $18 \pm 0,011$ for the shrinkage tensile test specimen, and 16 ± 0.022 for the shrinkage flexural test specimen. The results of the tensile test and flexural test also showed that specimen B had the highest average tensile test value, namely the ultimate tensile strength of 0.11 ± 0.015 MPa and flexural strength of 0.02 ± 0.012 MPa. Meanwhile, from the microstructure characterization use scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray spectroscopy, the results were in the form of a spheroid-shaped specimen morphology and the dominant elements contained in the specimen microstructure were element C is 35.38% mass, element N is 11.74% mass, element O is 50.13% mass and element Ca is 2.74% mass in K atom shell.

Keywords: Biomaterial, Biocomposite, Composition, CaCO_3 , Corn Starch.

Abstrak. Batu kapur dapat dimanfaatkan dalam dunia kesehatan yaitu sebagai biomaterial untuk pembuatan plat penyangga tulang. Salah satu biomaterial buatan yang digunakan untuk plat penyangga tulang adalah biokomposit. Sebelum pengaplikasian biokomposit untuk plat penyangga tulang harus mengetahui komposisi yang tepat antara bioplastik dan biokeramik supaya plat penyangga tulang memiliki sifat mekanik yang baik, oleh karena itu dilakukan beberapa pengujian seperti penyusutan, uji tarik, uji tekuk, dan karakterisasi mikrostruktur menggunakan scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray spectroscopy guna mengetahui mikrostruktur dan unsur yang terkandung dalam mikrostruktur biokomposit. Dalam penelitian ini menggunakan 4 variasi komposisi perbandingan suspensi CaCO_3 : tepung jagung yaitu suspensi CaCO_3 20 : 80 tepung jagung (berat/berat)%, suspensi CaCO_3 30 : 70 tepung jagung (berat/berat)%, suspensi CaCO_3 40 : 60 tepung jagung (berat/berat)%, suspensi CaCO_3 50 : 50 tepung jagung (berat/berat)%. Dimensi spesimen uji tarik sesuai dengan standar ASTM D638 tipe 4 dan dimensi spesimen uji tekuk sesuai dengan standar ASTM D790. Sampel diberikan kode seperti kode spesimen A untuk komposisi suspensi CaCO_3 20 : 80 tepung jagung (berat/berat)%, kode spesimen B untuk komposisi suspensi CaCO_3 30 : 70 tepung jagung (berat/berat)%, kode

spesimen C untuk suspensi CaCO₃ 30 : 70 tepung jagung (berat/berat)%, dan kode spesimen D untuk komposisi suspensi CaCO₃ 30 : 70 tepung jagung (berat/berat)%,. Berdasarkan hasil dari pengukuran penyusutan menunjukkan bahwa spesimen B memiliki nilai rerata penyusutan tertinggi yaitu sebesar $18 \pm 0,011$ untuk spesimen uji tarik, dan $16 \pm 0,022$ untuk spesimen uji tekuk. Hasil uji tarik dan uji tekuk juga menunjukkan bahwa spesimen B memiliki nilai rerata tertinggi yaitu nilai uji tarik maksimum sebesar $0,11 \pm 0,015$ MPa dan uji tekuk maksimum sebesar $0,02 \pm 0,012$ MPa. Karakterisasi mikrostruktur *scanning electron microscopy* dengan *energy dispersive X-ray spectroscopy* didapatkan hasil berupa morfologi spesimen berbentuk *spheroid* dan unsur dominan yang terkandung dalam spesimen yaitu unsur C sebesar 35,38% massa, unsur N sebesar 11,74% massa, unsur O sebesar 50,13% massa, dan unsur Ca sebesar 2,74% massa pada kulit atom K.

Kata kunci: Biomaterial, Biokomposit, Komposisi, CaCO₃, Corn Starch.

PENDAHULUAN

Polimorf pada kalsium karbonat atau CaCO₃ sebanyak 6 jenis yaitu vaterite, aragonite, calcite, amorphous, crystalline monohydrate, dan hexahydrate serta mempunyai sifat biomineral yang terdapat melimpah pada organisme maupun alam dan mempunyai peran penting pada perkembangan industri [1]. Bahan kalsium karbonat telah diaplikasikan untuk memenuhi kebutuhan diberbagai bidang seperti industri seperti besi dan fluks baja, industri manufaktur untuk pembuatan kaca, pembuatan kertas juga bidang pertanian sebagai kondisioner tanah [2]. Potensi penggunaan kalsium karbonat dapat dikembangkan untuk aplikasi biomedis [3]. Salah satu aplikasi untuk biomedis adalah sebagai bahan pembuatan biokeramik, biokeramik sendiri adalah keramik yang digunakan untuk kesehatan tubuh dan gigi pada manusia [4]. Selain pengembangan biokeramik yang berasal dari kalsium karbonat (CaCO₃), tepung jagung dapat dikembangkan menjadi bioplastik. Bioplastik atau sering disebut plastik biodegradable memiliki sifat yang sesuai dengan tubuh. Bioplastik seperti pati jagung dan pati singkong. Pati singkong merupakan polimer alam, untuk keperluan plastisasi dapat ditambahkan gliserol [5], meski sifat mekanik masih rendah dan hidrofilik [6]. Pati jagung dapat dijadikan sebagai bioplastik serta apabila ditambah dengan

Oligomer minyak kedelai teroksidasi asam sitrat (CESO) sifat bioplastik dapat meningkat [7]. Sifat biokompabilitas dan sifat mekanis dapat ditingkatkan dengan menggunakan penguat dari serat alam, selulosa [8]. Hal tersebut sesuai dengan tujuan dari bioplastik sendiri bahwa bioplastik dirancang mempermudah proses degradasi terhadap reaksi enzimatik mikroorganisme pengurai seperti bakteri dan jamur [9], Pati yang dicirikan oleh biodegradabilitas, biaya rendah, berlimpah dan terbarukan. Plastik berbasis pati dianggap sebagai biopolimer yang menjanjikan untuk menggantikan plastik berbasis minyak bumi [10,11] tetapi sebelum diaplikasikan dalam teknologi implantasi tulang, kita harus mengetahui komposisi yang tepat antara bioplastik dan biokeramik supaya plat penyangga tulang tersebut memiliki sifat mekanik yang kuat sehingga dilakukan pengujian tarik dan uji tekuk. Penelitian sebelumnya telah mensintesis biokomposit dari nano hidroksiapatit dan bioplastik pati dengan rasio yang bervariasi [12]. Hasil penelitian Agris dkk, menunjukkan bahwa variasi matrik dan bioplastik mempengaruhi nilai kekuatan tarik dan tekuknya [13]. Perbedaan dengan penelitian ini yaitu bahan yang digunakan. Dalam penelitian agris dkk. menggunakan HA (hidroksiapatit), tepung kanji singkong dan sericin. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui variasi komposisi suspensi CaCO₃ sebagai matriks

dan bioplastik dari kombinasi pati jagung sebagai penguat yang memiliki nilai kuat tarik, kuat tekuk dan karakterisasi SEM untuk mengetahui struktur mikronya.

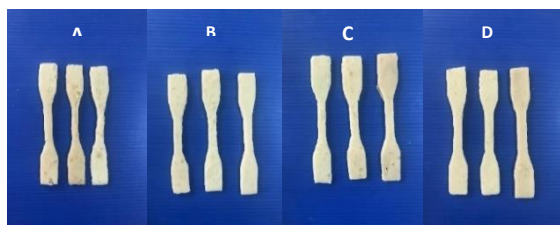
METODOLOGI PENELITIAN

1. Biokomposit

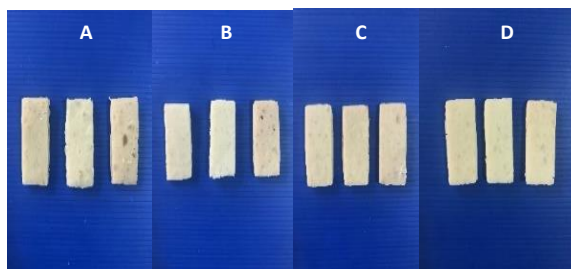
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kalsium karbonat dan tepung jagung/*corn starch* dengan bahan pendukung asam sitrat dan gliserol. Adapun variasi suspensi CaCO_3 dan tepung jagung (bioplastik) dapat dilihat di Tabel 1.

Tabel 1. Variasi Komposisi Pasta Biokomposit

Kode Spesimen	Persen Rasio Berat (w/w)	
	Suspensi CaCO_3	Tepung jagung/ <i>Corn Starch</i>
A	20	80
B	30	70
C	40	60
D	50	50



Gambar 1. Penampang Spesimen Uji Tekuk ASTM D 638 Tipe 4.



Gambar 2. Penampang Spesimen Uji Tekuk ASTM D 790

Biokomposit dibuat dengan proses mencampurkan biokeramik dan bioplastik.

Suspensi CaCO_3 20% (berat/volume) dibuat dengan mendispersikan bubuk CaCO_3 dalam aquades dengan 10% (berat / berat) asam sitrat. Asam sitrat digunakan sebagai dispersan. Suspensi diaduk hingga mendapatkan suspensi yang homogen dan menjadi biokeramik. Suspensi *corn starch* 60% (berat/volume) dibuat dengan mendispersikan *corn starch* dalam aquades dengan penambahan 40% (volume/volume) gliserin. Tepung jagung/*corn starch* diubah menjadi bioplastik dengan pengadukan pada 500 RPM pada suhu 50°C hingga homogen. Pasta komposit dibuat dengan mencampurkan suspensi biokeramik dengan bioplastik dengan perbandingan persen berat yang bervariasi, seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Dimensi benda uji sesuai dengan standar ASTM D 638 tipe 4 (116 mm x 22 mm x 4 mm) untuk benda uji tarik dan standar ASTM D 790 (50 mm x 25 mm x 4 mm) untuk benda uji tekuk. Penampang spesimen uji tarik ASTM D 638 tipe 4 dapat dilihat pada **Gambar 1** dan *flexural test* ASTM D 790 pada **Gambar 2**.

2. Penyusutan

Penyusutan dilakukan setelah proses pengeringan. Tujuan dilakukannya pengukuran penyusutan adalah untuk melihat perubahan volume pada spesimen setelah proses pencetakan. Alat yang digunakan adalah jangka sorong digital dengan merk Insize Type 1108-150.

3. Tensile Test

Tensile test dilakukan untuk mengukur ketahanan suatu material terhadap gaya statis yang diberikan secara lambat. Alat yang digunakan adalah mesin uji tarik dengan merk Hung Ta HT-2402 diproduksi negara Republik Rakyat Cina Mesin uji tarik dengan laju pembebanan 10 mm/menit. Mesin uji tarik dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Mesin uji tarik merk Hung Ta HT-2402 diproduksi negara Republik Rakyat Cina

4. Flexural Test

Uji tekuk/*flexural test* dilakukan untuk mengetahui keelastisitasan dan ketahanan material terhadap pembebanan. Alat yang digunakan adalah mesin uji tekuk dengan merk Hung Ta HT-2402 dengan laju pembebanan 10mm/menit. Mesin uji tekan dapat dilihat pada **Gambar 4**.



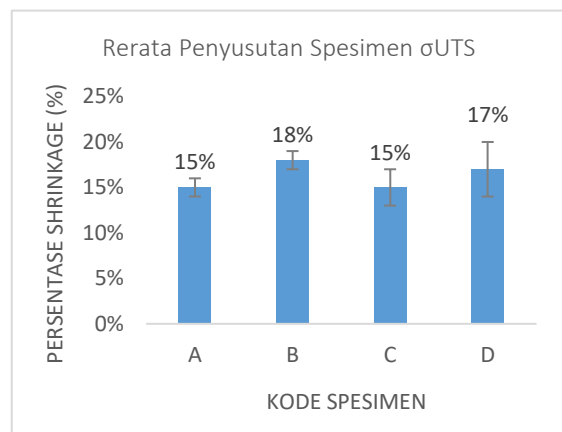
Gambar 4. Mesin uji tekuk merk Hung Ta HT-2402 diproduksi negara Republik Rakyat Cina

HASIL DAN PEMBAHASAN

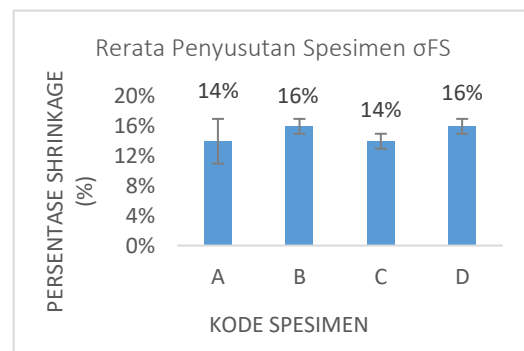
Hasil Analisis Penyusutan

Rerata penyusutan spesimen uji tarik dapat dilihat pada **Gambar 5** dan penyusutan spesimen uji bending dapat dilihat pada **Gambar 6**.

Pada **Gambar 5** dapat dilihat spesimen B ($30 \text{ CaCO}_3 : 70 \text{ Corn Starch}$) (w/w)% memiliki nilai rerata penyusutan tertinggi yaitu sebesar $18 \pm 0,011\%$ dibandingkan dengan spesimen D ($50 \text{ CaCO}_3 : 50 \text{ Corn Starch}$) (w/w)% yang memiliki nilai rerata penyusutan $17 \pm 0,026\%$, spesimen C (suspensi CaCO_3 $40 : 60 \text{ Corn Starch}$) (berat/berat)% sebesar $15 \pm 0,015$ dan spesimen A (suspensi CaCO_3 $20 : 80 \text{ Corn Starch}$) (berat/berat)% sebesar $15 \pm 0,011$.



Gambar 5. Rerata Hasil Penyusutan Spesimen σ_{UTS}

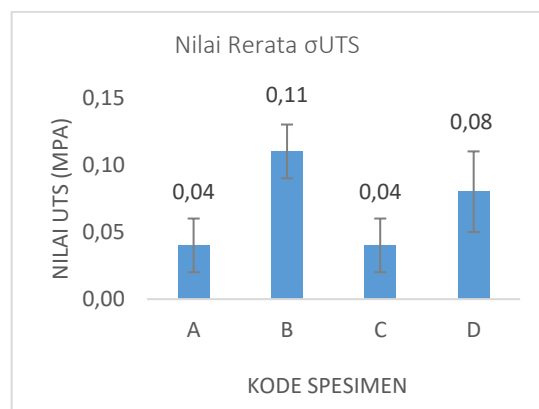


Gambar 6. Rerata Hasil Penyusutan Spesimen σ_{FS}

Pada **Gambar 6** juga dapat dilihat spesimen B (suspensi CaCO_3 30 : 70 tepung jagung) (berat/berat)% memiliki nilai rerata penyusutan tertinggi yaitu sebesar $16 \pm 0,022$ dibandingkan dengan spesimen D (suspensi CaCO_3 50 : 50 Tepung jagung) (berat/berat)% yang memiliki nilai rerata sebesar $16 \pm 0,014$, spesimen C (suspensi CaCO_3 40 : 60 Tepung jagung) (berat/berat)% dan spesimen A (suspensi CaCO_3 20 : 80 Tepung jagung) (berat/berat)% sebesar $14 \pm 0,03$.

Besarnya penyusutan dipengaruhi oleh variasi komposisi dari CaCO_3 dan Tepung jagung, keduanya mengandung aquades yang dapat menyebabkan penyusutan atau penyusutan. Jika komposisi tepung jagung lebih banyak maka spesimen cenderung mengalami penyusutan yang besar juga, tetapi penyusutan ini juga dipengaruhi oleh suspensi CaCO_3 dimana suspensi CaCO_3 ini mengandung aquades, sehingga dengan waktu pengeringan yang sama mendapatkan penyusutan yang berbeda setiap komposisinya dan mendapatkan nilai maksimum pada komposisi (Suspensi CaCO_3 30 : 70 Tepung jagung) (berat/berat)%.

Dari hasil pengukuran penyusutan spesimen σ_{FS} didapatkan hasil yang berbanding lurus dengan hasil pengukuran penyusutan spesimen σ_{UTS} , dimana nilai penyusutan tertinggi terdapat pada spesimen B (Suspensi CaCO_3 30 : 70 Tepung jagung) (w/w)%. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa spesimen B (30 CaCO_3 : 70 Tepung jagung) (w/w)% memiliki ikatan antar material yang padat dan kuat. Peneliti yang dilakukan oleh Krisna dkk, menghasilkan nilai penyusutan yang dipengaruhi oleh aquades yaitu sebesar 28% [14].



Gambar 7. Nilai Rerata σ_{UTS}

Hasil Analisis Tensile Strength (σ_{UTS})

Kekuatan tarik adalah tegangan maksimum yang mampu ditahan oleh sebuah bahan ketika dilakukan penarikan sebelum bahan tersebut patah. Rerata nilai σ_{UTS} dapat dilihat pada **Gambar 7**.

Dari **Gambar 7** dapat dilihat bahwa spesimen B (30 CaCO_3 : 70 Corn Starch) (w/w)% memiliki nilai rerata σ_{UTS} tertinggi yaitu sebesar $0,11 \pm 0,015$ MPa dibandingkan dengan spesimen D (50 CaCO_3 : 50 Corn Starch) (berat/berat)% yang memiliki nilai rerata σ_{UTS} $0,08 \pm 0,026$ MPa, spesimen C (40 CaCO_3 : 60 Corn Starch) (w/w)% sebesar $0,04 \pm 0,021$ MPa dan spesimen A (20 CaCO_3 : 80 Corn Starch) (w/w)% sebesar $0,04 \pm 0,015$ MPa.

Besarnya nilai σ_{UTS} dipengaruhi oleh besarnya penyusutan dan variasi komposisi CaCO_3 : tepung jagung. CaCO_3 berperan sebagai matriks yang bersifat *brittle* atau getas, walaupun sifatnya *brittle* tetapi semakin banyak komposisinya belum tentu memiliki nilai σ_{UTS} yang semakin besar juga karena mempunyai keterbatasan terhadap uji tariknya sehingga harus diperhatikan pula komposisi dari bioplastik tepung jagung sebagai *reinforce* yang berfungsi sebagai pengikat dalam spesimen tersebut dan sifatnya termoplastik. Sehingga untuk mendapatkan nilai maksimum σ_{UTS} harus

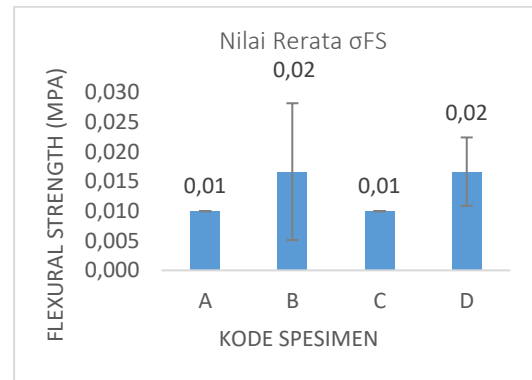
memperhatikan komposisi dari CaCO_3 dan *corn starch* dan pengaruh dari glycerol sebagai plastisizer. Penelitian yang dilakukan oleh Li dkk, pada komposisi komposit dengan kandungan tepung jagung 60% (berat/berat), kekuatan tarik dapat mencapai 10,95 MPa [15].

Hasil Analisis *Flexural Strength* (σ_{FS})

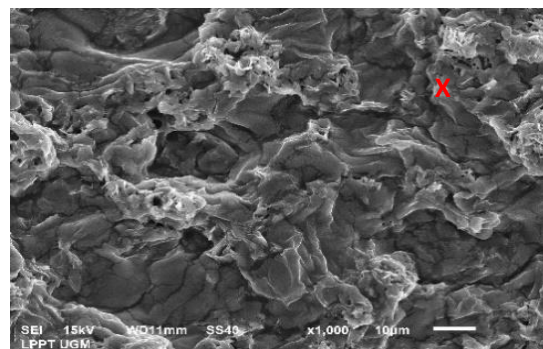
Pengujian kuat lentur bertujuan untuk mengetahui keelastisitasan dan ketahanan material terhadap pembebanan.

Dapat dilihat pada **Gambar 8** bahwa Spesimen B yaitu suspensi CaCO_3 30 : 70 tepung jagung) (berat/berat)% memiliki nilai σ_{FS} tertinggi yaitu sebesar $0,02 \pm 0,012$ MPa dibandingkan dengan spesimen D yaitu suspensi CaCO_3 50 : 50 tepung jagung) (berat/berat)% yang memiliki nilai σ_{FS} sebesar $0,02 \pm 0,006$ MPa, spesimen C yaitu suspensi CaCO_3 40 : 60 tepung jagung) (berat/berat)% sebesar $0,01 \pm 0,000$ MPa, dan spesimen A (suspensi CaCO_3 20 : 80 tepung jagung) (berat/berat)% sebesar $0,01 \pm 0,0$ MPa.

Hasil rerata nilai σ_{UTS} dan σ_{FS} pada empat variasi komposisi spesimen mendapatkan rerata nilai σ_{UTS} dan σ_{FS} terbesar pada spesimen B yaitu sebesar $0,11 \pm 0,015$ MPa untuk nilai rerata σ_{UTS} dan $0,02 \pm 0,012$ MPa untuk rerata nilai σ_{FS} . Hasil dari pengujian tekuk yang rendah jika membanding penelitian yang dilakukan oleh Yamaguchi dkk, nilai dari uji tekan didapatkan nilai uji tekan sebesar 270 MPa dengan menggunakan proses sinter dengan suhu 200°C - 250°C selama 1 jam [16].



Gambar 8. Nilai Rerata σ_{FS}



Gambar 9. Morfologi Penampang Spesimen Pada Komposisi B (suspensi CaCO_3 30:70 *Corn Starch*) (berat/berat)% dengan perbesaran 1.000x

Hasil Analisis Struktur Mikro

Tujuan dilakukannya pengujian SEM-EDX adalah untuk mengetahui morfologi permukaan spesimen dan untuk mengetahui komposisi unsur kimia secara kualitatif dan kuantitatif yang terkandung dalam spesimen.

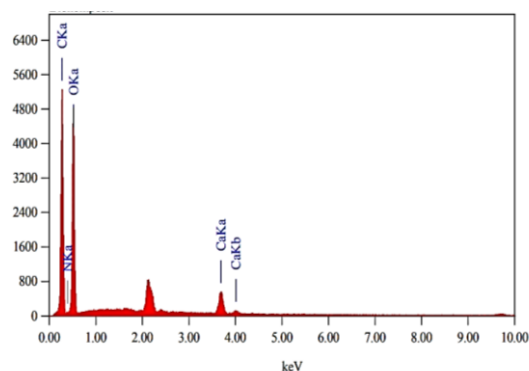
Gambar 9 adalah gambar morfologi penampang spesimen yang merupakan hasil pengamatan dari *Scanning Electron Microscope* (SEM) merk JEOL JSM-6390 (buatan jepang) dengan perbesaran yang bervariasi.

Dapat dilihat pada **Gambar 9** yang merupakan gambar morfologi penampang spesimen hasil pengamatan dari *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dengan perbesaran 1.000x, bahwa bentuk yang

paling dominan dari morfologi spesimen berupa *spheroid*, hal tersebut juga didapatkan dari penelitian Gao dkk yaitu bentuk struktur spherical yang dipengaruhi oleh sulfur dan keasaman [17]. Pemanasan berpengaruh terhadap bentuk dan struktur nanokomposit selulosa/ CaCO_3 , waktu pemanasan 2 jam dan 4 jam terdapat agregasi CaCO_3 dan menginduksi pembentukan struktur berpori pada aglomerat CaCO_3 [18].

Gambar 10. merupakan hasil data EDX pada spesimen biokomposit. Berdasarkan pada **Gambar 10** maka dapat diketahui spesimen biokomposit memiliki kandungan unsur berupa Carbon (C), Nitrogen (N), Oksigen (O), dan Kalsium (Ca) dengan % berat dan % atom yang berbeda.

Pada **Tabel 2** hasil data karakterisasi *scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray spectroscopy* menghasilkan **Gambar 10** yaitu data komposisi unsur pada kulit atom K spesimen B (Suspensi CaCO_3 30:70 *Corn Starch*) (berat/berat)%. Unsur yang diketahui yaitu C sebesar 35,28% massa. Unsur N sebesar 11,74% massa, unsur O sebesar 50,13% massa dan Ca sebesar 2,74% massa, Dari tabel diatas diketahui unsur C dan O mempunyai nilai signifikan, kemudian terdapat ikatan antara C-O sehingga terbentuk biokomposit yang terdiri dari suspensi CaCO_3 dan bioplastik tepung jagung, Ikatan C-O juga ditemui pada penelitian Siriprom dkk, baik didalam bagian CaCO_3 maupun selulosa [19]. Balzer dkk. melakukan penelitian perbandingan unsur mineral CaCO_3 yang terkandung didalam kerang, tiram dan CaCO_3 buatan [20].



Gambar 10. Hasil Data EDX Spesimen Pada Komposisi (Suspensi CaCO_3 30:70 *Corn Starch*) (berat/berat)%.

Tabel 2. Hasil Data EDX

Element	Mass %	Atom %
C	35,38	42,17
N	11,74	12,00
O	50,13	44,85
Ca	2,74	0,98
Total	100	100

KESIMPULAN

Variasi komposisi biokomposit mempengaruhi presentase penyusutan, σ_{UTS} , σ_{FS} dan mikrostrukturnya. Spesimen B (suspense CaCO_3 30:70 *Corn Starch*) (berat/berat)% merupakan spesimen yang memiliki nilai penyusutan, σ_{UTS} dan σ_{FS} tertinggi dibanding spesimen lainnya dengan nilai penyusutan sebesar $18 \pm 0,01$, nilai σ_{UTS} sebesar $0,11 \pm 0,015$ MPa, dan nilai σ_{FS} sebesar $0,02 \pm 0,012$ MPa. Hasil karakterisasi morfologi dan komposisi dari SEM-EDX diketahui bahwa morfologi spesimen berbentuk *spheroid* dan mempunyai unsur dominan Carbon (C) sebesar 35,38 % berat, Nitrogen (N) sebesar 11,74 % berat, Oksigen (O) sebesar 50,13 % berat, Kalsium (Ca) sebesar 2,74 % berat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. G. Ma, S. Liu, L. H. Fu, “Calcium Carbonate and Cellulose/Calcium Carbonate Composites: Synthesis, Characterization, and Biomedical Applications”, *Materials Science Forum*, vol. 875, pp 24-44, Oct., 2016.
- [2] R. Kadli, S. R. Gajula, “Beneficiation of Limestone from Bagalkot, Karnataka for Metallurgical Industry”, *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 3, pp 2095–2097. 2014.
- [3] W. G. Billotte, “Ceramic Biomaterials”, *The Biomedical Engineering Handbook*, 2nd Edition, Washington, CRC Press, 2003.
- [4] A.S. Guzun, M. Jinga, S.I. Jipa, T. Dobre, “Microwave Assisted Synthesis of Bacterial Cellulose-Calcium Carbonate Composites”, *Industrial crops and products*, pp 414-422, 2013.
- [5] V. Tyagi, B. Bhattacharya, B. (2019). “Role of plasticizers in bioplastics”, *MOJ Food Processing & Technology*, vol. 7(4), pp. 128–130. July, 2019.
- [6] K. Kaewtatip, V.Tanrattanakul, “Structure and properties of pregelatinized cassava starch/kaolin composites”, *Materials & Design*, vol 37, pp 423–428, 2012.
- [7] J.Yang, X. Dong, J. Wang, Y.C. Ching, J. Liu, C. Li, Y. Baikeli, Z. Li, N.M. Al-Hada, S. Xu “Synthesis and properties of bioplastics from corn starch and citric acid-epoxidized soybean oil oligomers”, *Journal Of Materials Research And Technology*. vol. 20, pp. 373-380, 2022.
- [8] H. B. M. Z, Islam, M. A. B. H. Susan, A. B. Imran, “Effects of plasticizers and clays on the physical, chemical, mechanical, thermal, and morphological properties of potato starch-based nanocomposite films”, *ACS Omega*, vol. 5(28), pp.17543–17552, 2020.
- [9] M. Avella, A. Buzarovska, M.A. Errico, G. Gentile, A. Grozdanov, *Ecochallenges of bio based polymer composite*. Material 2, pp. 911-925. 2009.
- [10] U. Shah, F. Naqash, A. Gani, F.A. Masoodi, *Art and Science behind Modified Starch Edible Films and Coatings: A Review*, *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 15 (3) (2016) 568–580.
- [11] X. Wang, L. Huang, C. Zhang, Y. Deng, P. Xie, L. Liu, J. Cheng, *Research advances in chemical modifications of starch for hydrophobicity and its applications: A review*, *Carbohydr Polym* 240 ,2020. 116292
- [12] A.E, Tontowi, “Experimental Study on NanoBiocomposite of [nHA/Bioplastic] for Building a Porous Block”, *Nanocon*, vol.14, India, 2014.
- [13] A.Setiawan,A.E,Tontowi,“Mechanical strength of [HA/Bioplastic/Serisin] composite part printed by bioprinter”, dalam *AIP Publishing*, 2016.
- [14] F.K.A., Nugraha, “Shrinkage of Biocomposite Material Specimens[HA/Bioplastic/Serisin] Printed using a 3D Printer using the Taguchi Method”. *International Journal of Applied Sciences and Smart Technologies*, Vol. 4(1), pp. 89–96, 2022.
- [15] C. Li, F. Chen, B. Lin, C. Zhang, C. Liu,”High content corn starch/Poly (butylene adipate-co-terephthalate) composites with high-performance by physical–chemical dual compatibilization”, *European Polymer Journal*, vol. 159. 110737. 2021.

- [16] K. Yamaguchi, S. Hashimoto, “Mechanism of densification of calcium carbonate by cold sintering process”, *Journal of the European Ceramic Society*, vol.42, pp. 6048–6055, 2022.
- [17] C. Gao, H. Fan, J. Chen, D. Zheng, P. Zhu, J. Zhu, “Novel β -TCP/HA biphasic calcium phosphate microspheres with porous surface structure prepared via a calcium carbonate template”, *Materials Letters*, vol. 320, 2022.
- [18] M.G. Ma,* , S. Liu, L.H. Fu, “Calcium Carbonate and Cellulose/Calcium Carbonate Composites: Synthesis, Characterization, and Biomedical Applications”, *Materials Science Forum*, Vol. 875, pp. 24-44. 2016.
- [19] W. Siriprom, N. Witit-anun, A. Choeysuppak, T. Ratana, “Characterization of cellulose/calcium carbonate biocomposite film”, *Key Engineering Materials*, Vol. 675-676, pp 209-212, 2016.
- [20] M. R. Hamestera, P.S. Balzera, D. Becker, “Characterization of Calcium Carbonate Obtained from Oyster and Mussel Shells and Incorporation in Polypropylene,” *Materials Research*. Vol. 15(2): pp. 204-208, 2012.

