



Analisis Pengaruh Penambahan *Crosslinker* CaCl₂ Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Bioplastik Berbasis Agar dan Na-Alginat

Analysis of the Effect of CaCl₂ Crosslinker Addition on the Physical and Mechanical Properties of Agar- and Na-Alginate-Based Bioplastics

Yulia Maretha ^{*,1}, Ginanjar Pratama ¹, Rifki Prayoga Aditia ¹

¹ Program Studi Ilmu Perikanan, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang, Indonesia

*Penulis Korespondensi

Email: yulia.maretha@gmail.com

Abstrak. Bioplastik adalah jenis plastik yang dibuat dari sumber daya alam terbarukan seperti alga yang memproduksi agar dan Na-alginat, kedua bahan ini memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan baku dalam pembuatan bioplastik. Dalam upaya mengoptimalkan kinerja agar dan Na-alginat, diperlukan penambahan pengikat silang untuk meningkatkan sifat mekanik bioplastik khususnya pada ketahanan air. Kalsium klorida pada ion Ca²⁺ berfungsi sebagai jembatan silang (*crosslinker*) yang menghubungkan rantai polimer Na-alginat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dan konsentrasi kalsium klorida (CaCl₂) terbaik. Metode penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) terdiri dari 4 taraf perlakuan dengan konsentrasi penambahan kalsium klorida (0%, 1%, 2%, dan 3%) dan 3 kali ulangan. Penelitian ini terdiri dari dua tahapan. Tahap pertama adalah pembuatan agar rumput laut *Gracilaria sp.* dan tahap kedua pembuatan bioplastik dengan parameter pengujian meliputi, ketebalan, ketahanan air, kuat tarik, elongasi, dan biodegradasi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi CaCl₂ memberikan pengaruh terhadap sifat fisik dan mekanik bioplastik. Konsentrasi CaCl₂ 3% memiliki perlakuan terbaik dengan sifat mekanik yang meliputi ketebalan 0,13 mm, ketahanan air 87,33%, kuat tarik 25,22 MPa, elongasi 14,48%, dan hasil biodegradasi 58,67%.

Kata kunci: agar, bioplastik, kalsium klorida, Na-alginat.

Abstract. Bioplastics are a type of plastic made from renewable natural resources such as algae, which produce agar and Na-alginate. These two materials have the potential to be used as raw materials in the manufacture of bioplastics. To optimize the performance of agar and Na-alginate, the addition of crosslinkers is necessary to improve the mechanical properties of bioplastics, particularly their water resistance. Calcium chloride (CaCl₂), through its Ca²⁺ ions, serves as a crosslinker that connects the Na-alginate polymer chains. The purpose of this study was to determine the effect and optimal concentration of calcium chloride (CaCl₂). This study used a Completely Randomized Design (CRD), consisting of four treatment levels of calcium chloride concentration (0%, 1%, 2%, and 3%) and three replications. The research was carried out in two stages: the first stage was the production of agar from *Gracilaria sp.* seaweed, and the second stage was the manufacture of bioplastics. The bioplastics were tested for various parameters, including thickness, water resistance, tensile strength, elongation, and biodegradability. The results showed that the addition of CaCl₂ had a significant effect on the physical and mechanical properties of the bioplastics. The 3% CaCl₂ concentration was the most effective, producing

bioplastics with a thickness of 0.13 mm, water resistance of 87.33%, tensile strength of 25.22 MPa, elongation of 14.48%, and a biodegradation rate of 58.67%.

Keywords: *agar, bioplastic, calcium chloride, Na-alginate.*

1. Pendahuluan

Penggunaan plastik telah begitu meluas dalam kehidupan sehari-hari karena sifatnya yang serbaguna dan ekonomis. Perkembangan di era modern saat ini menunjukkan bahwa hampir semua sektor beralih menggunakan plastik sebagai bahan pembungkus utama (Grabowski *et al.*, 2015). Perilaku membuang sampah, terutama sampah plastik, ke sungai dan saluran air menjadi masalah serius bagi lingkungan, baik di wilayah perkotaan maupun pedesaan. Purwaningrum (2016), Indonesia bahkan menempati posisi kedua dunia setelah Cina dalam hal jumlah sampah plastik yang mencemari perairan dengan total mencapai 187,2 juta ton, oleh sebab itu diperlukan solusi yang tepat untuk mengurangi ketergantungan terhadap plastik yang konvensional (Marlina & Achmad, 2021). Bioplastik adalah jenis plastik yang dibuat dari sumber daya alam terbarukan seperti pati jagung, tebu, selulosa, minyak nabati, atau biomassa lain berbeda dengan plastik konvensional yang berasal dari minyak bumi (Enio *et al.*, 2021). Bioplastik didesain agar lebih ramah lingkungan karena dapat terurai secara alami melalui proses biodegradasi oleh mikroorganisme atau faktor lingkungan seperti kelembaban dan sinar matahari, terdapat berbagai sumber yang dapat dimanfaatkan untuk memproduksi bioplastik, terutama yang berasal dari tanaman pertanian, seperti jagung, gandum, dan makroalga (Suryani *et al.*, 2021).

Makroalga berpotensi sebagai sumber biomassa yang baru dan potensial untuk produksi bioplastik, karena alga dapat dibudidayakan di lahan akuakultur dan memiliki siklus panen yang cepat, salah satu produk hasil setengah jadi dari produksi makroalga berupa agar dan Na-alginat (Chew *et al.*, 2017). Agar adalah polimer dengan berat molekul tinggi yang diperoleh dari karbohidrat agarosa, agar memiliki kandungan selulosa yang tinggi (Prasetyo *et al.*, 2024). Na-alginat adalah metabolit primer yang merupakan senyawa hidrokolid yang memiliki kekuatan gel yang tinggi. Menurut Fransiska *et al.* (2021) Na-alginat memiliki potensi sebagai bahan dasar untuk pembuatan bioplastik karena *film* yang dihasilkan selama proses pembuatan *edible film*. Namun, bioplastik yang berbasis hidrokolid Na-alginat memiliki kelemahan dalam hal ketahanan terhadap air yang rendah, yang disebabkan oleh tingginya kandungan gugus hidroksil (-OH) dalam strukturnya (Choi *et al.*, 2022).

Dalam upaya mengoptimalkan kinerja agar dan Na-alginat, diperlukan penambahan pengikat silang untuk meningkatkan sifat mekanik bioplastik khususnya pada ketahanan air. Hidrofobisitas Na-alginat dan agar dapat ditingkatkan melalui penambahan logam polivalen, terutama kation seperti Ca^{2+} . Proses ini melibatkan difusi ion-ion tersebut ke dalam larutan Na-alginat yang memicu pertukaran ion dimana ion natrium pada Na-alginat digantikan oleh ion Ca^{2+}

(Chew *et al.*, 2017). Ion Ca^{2+} yang terdapat dalam CaCl_2 dapat berinteraksi dengan gugus karboksilat pada polisakarida, membentuk ikatan silang. Proses ini berlangsung ketika larutan polisakarida dicampurkan dengan larutan CaCl_2 yang akan menghasilkan gel yang stabil dan tidak mudah larut dalam air (Ridlo, 2023). Berdasarkan pemaparan diatas maka penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas bioplastik melalui konsentrasi terbaik *crosslinker* CaCl_2 sebagai pengikat silang terhadap sifat fisik dan mekanik bioplastik berbasis agar rumput laut *Gracilaria* sp. dan Na-alginat.

2. Bahan dan Metode

Bahan utama yang digunakan yaitu rumput laut kering jenis *Gracilaria* sp. didapatkan dari pembudidaya rumput laut di Desa Lontar Serang, Banten. Na-alginat dan kalsium klorida (CaCl_2) (Tetra), bahan lainnya adalah kalsium hipoklorit (Pudak scientific), asam asetat (Tetra), akuades, gliserol (Wilmar), tanah kompos dan KCl (Tetra).

Metode penelitian ini adalah eksperimen skala laboratorium dimana variable bebas penelitian ini adalah perlakuan penambahan bahan *crosslinker* CaCl_2 , sedangkan variable terikatnya meliputi ketebalan, ketahanan air, kuat tarik, elongasi dan biodegradasi. Penelitian ini menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 4 taraf perlakuan yaitu penambahan konsentrasi CaCl_2 dengan 3 kali ulangan. Taraf penelitian ini yaitu: (BP 1: Penambahan konsentrasi CaCl_2 0%, BP 2: Penambahan konsentrasi CaCl_2 1%, BP 3: Penambahan konsentrasi CaCl_2 2%, BP 4: Penambahan konsentrasi CaCl_2 3%).

Analisis bioplastik meliputi ketebalan bioplastik mengacu pada penelitian Ridlo *et al.*, (2023) menggunakan mikrometer digital diambil rata ratanya di lima titik berbeda. Pengujian ketahanan air mengacu pada penelitian Zanjabila *et al.*, (2023) menggunakan metode *Dry and Wet Weight Test*. Pengujian kuat tarik dan elongasi menggunakan metode ASTM D 882, dan pengujian biodegradasi menggunakan metode *Weight loss test* yang dimana sampel bioplastik atau plastik biodegradable dikubur di dalam tanah selama periode 7 hari, kemudian diamati perubahan beratnya sebagai indikator tingkat biodegradasi.

Prosedur penelitian memiliki dua tahap yaitu pembuatan agar *gracilaria* sp. dan pembuatan bioplastik. Pembuatan agar pada penelitian ini mengacu pada penelitian Fransiska *et al.*, (2021) yaitu, penimbangan sebanyak 100 gr rumput laut *gracilaria* sp. kering dicuci hingga bersih, kemudian proses *bleaching* rumput laut tersebut direndam ke dalam larutan kalsium hipoklorit dengan konsentrasi 10% selama 30 menit. Selanjutnya, rumput laut ditiriskan dan dibilas hingga pH-nya menjadi netral. Setelah itu, rumput laut direndam dengan akuades sebanyak 1:16 dan ditambahkan asam asetat hingga pH mencapai 6 selama 15 menit, lalu rumput laut dihaluskan menggunakan blender. Rumput laut yang sudah halus dimasukkan ke dalam gelas beker yang telah

berisi campuran akuades dan asam asetat, kemudian diekstraksi selama 2 jam pada suhu 90-95°C. Ekstrak *Gracilaria* sp. disaring menggunakan kain saring, setelah itu KCl sebanyak 12,5 gr ditambahkan pada filtrat dan dihomogenkan. Agar didiamkan pada suhu ruang selama 18 jam hingga menjedal, setelah menjedal agar dimasukkan ke dalam *freezer* selama 24 jam, kemudian dilakukan *thawing* agar beku hingga mencair. Selanjutnya, agar disaring untuk mendapatkan filtratnya. Tahap berikutnya, agar dikeringkan dengan oven pada suhu 70°C selama 18 jam, kemudian diblender hingga halus dan disaring menggunakan saringan *mesh*. Agar *gracilaria* sp. siap digunakan.

Tabel 1. Karakteristik bioplastik Japanese Industrial Standars

No	Parameter	Nilai
1.	Ketebalan	Max 0,25 mm
2.	Kuat tarik	Min 0,392266 MPa
3.	Pemanjangan (elongasi)	70%

Sumber : [JIS Z 1707:1997](#)

Tabel 2. Standar Nasional Indonesia Bioplastik

No	Karakteristik	Nilai
1.	Kuat tarik	24,7 - 302 MPa
2.	Persen perpanjangan	21-210%
3.	Daya kembang (<i>Swelling</i>)	99%

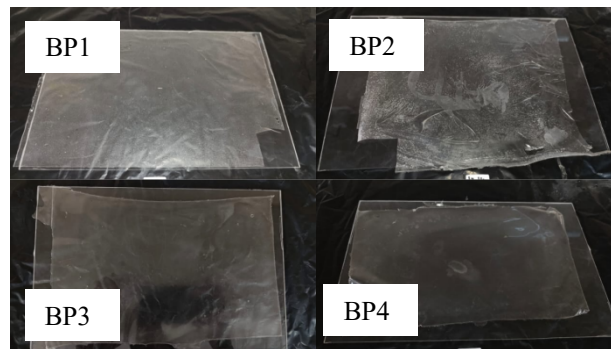
Sumber : [SNI 7188:7:2016](#)

Prosedur pembuatan Bioplastik mengacu pada penelitian [Fransiska et al. \(2021\)](#) dan [Ridlo et al. \(2023\)](#) dengan beberapa modifikasi. Agar rumput laut *Gracilaria* sp yang telah diekstrak ditimbang sebanyak 1,5%, Na-alginat 1% ditimbang lalu ditambahkan gliserol 2%, campurkan semua bahan dengan 150 ml akuades. Proses pembuatan bioplastik dibuat dengan memanaskan campuran agar-agar, Na-alginat, gliserol dan akuades menggunakan *hot plate* pada suhu 80-90°C sambil diaduk dengan *stirrer*, setelah 10 menit masukan campuran ke dalam cetakan lalu rendam pada larutan CaCl₂ sebagai agen pengikat silang sesuai perlakuan 0%, 1%, 2%, dan 3% rendam selama 5 menit lalu keringkan dalam oven pada suhu 50°C selama 24 jam setelah itu, lepaskan bioplastik pada cetakan. Bioplastik dianalisis pengujiannya meliputi ketebalan, ketahanan air, kuat tarik, elongasi, dan biodegradasi. Standar JIS Z 1707:1997 dan SNI 7188:7:2016 menjadi acuan parameter uji kualitas bioplastik sebagaimana yang ditunjukkan pada [Tabel 1](#) dan [Tabel 2](#).

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan signifikan pada nilai yang diperoleh dari berbagai parameter seperti ketebalan, ketahanan terhadap air, kuat tarik, elongasi, dan tingkat biodegradasi pada bioplastik dari perlakuan penambahan *crosslinker* kalsium klorida (CaCl₂). Penambahan CaCl₂ sebagai *crosslinker* berperan dalam membentuk ikatan silang antara

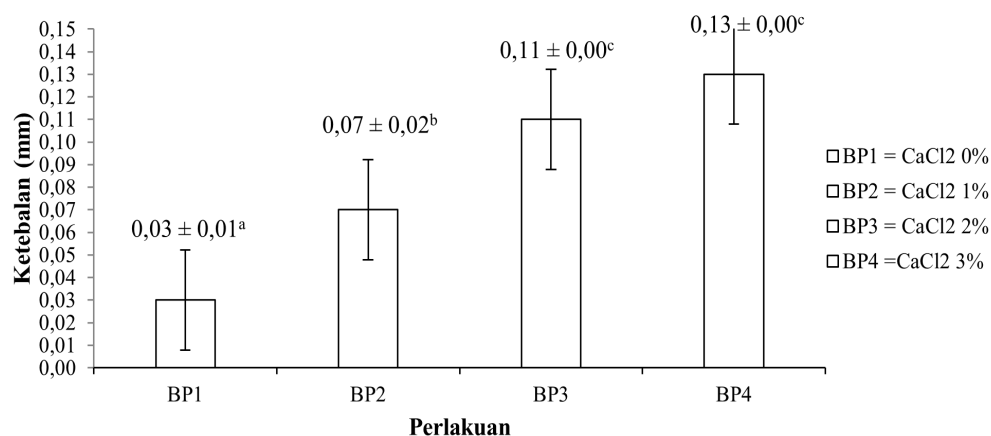
ion Ca^{2+} sehingga meningkatkan struktur jaringan polimer dan memengaruhi sifat fisik serta mekanik bioplastik. Berdasarkan hasil penelitian secara visual, terdapat kecenderungan yang jelas dimana peningkatan konsentrasi kalsium klorida yang digunakan dalam pembuatan bioplastik menyebabkan perubahan signifikan pada tingkat kejernihan atau transparansi bioplastik (Ridlo *et al.*, 2023). Semakin tinggi konsentrasi kalsium klorida yang ditambahkan ke dalam campuran, maka bioplastik yang dihasilkan tampak semakin jernih (Gambar 1).



Gambar 1. Kenampakan Bioplastik

3.1 Ketebalan

Ketebalan merupakan parameter penting pada penggunaan dalam produk kemasan. pengukuran ketebalan dilakukan pada lima titik yang berbeda, kemudian dihitung rata-ratanya. Bioplastik yang terlalu tipis cenderung mudah robek. Ketebalan bioplastik dipengaruhi oleh jumlah zat terlarut, luas permukaan, dan volume larutan yang digunakan dalam proses pencetakan. Nilai ketebalan bioplastik dapat dilihat pada Gambar 2.



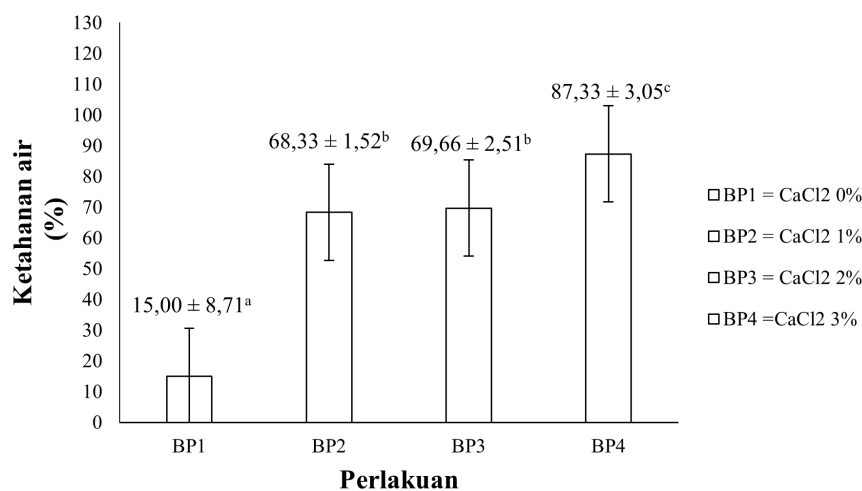
Gambar 2. Grafik nilai ketebalan bioplastik

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam (ANOVA) menghasilkan H_0 ditolak dan H_1 diterima, dapat disimpulkan bahwa penambahan kalsium klorida (CaCl_2) pada bioplastik memberikan pengaruh nyata terhadap nilai ketebalan ($P < 0,05$). Nilai rata-rata ketebalan bioplastik berkisar 0,03-0,13 mm yang artinya keempat bioplastik memenuhi standar Japanese Industrial Standard (JIS) yaitu max 0,25 mm. Nilai parameter ketebalan ini lebih rendah dibandingkan

dengan penelitian [Ridlo et al., \(2023\)](#) yang membuat biokomposit dari CaCl_2 , alginat, dan CMC bioplastik mengalami peningkatan ketebalan seiring peningkatan konsentrasi CaCl_2 , yaitu berkisar antara 0,10-0,16 mm. Hasil analisis ketebalan menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi kalsium klorida (CaCl_2) menyebabkan ketebalan bioplastik semakin tinggi. Hal ini disebabkan interaksi antara alginat dan kalsium klorida langsung membentuk *eggbox* atau jaringan tiga dimensi, Ca^{2+} berikatan dengan gugus karboksilat, yang akan membentuk ikatan silang antar rantai polimer alginat dan agar, proses ini menghasilkan struktur gel yang lebih stabil dan tidak larut dalam air selain itu, ion Ca^{2+} dapat menyisip di antara rantai-rantai polimer, yang menyebabkan perubahan konfigurasi dari struktur linear menjadi lebih terorganisir sehingga meningkatkan ketebalan material ([Ridlo et al., 2022](#)).

3.2 Ketahanan air

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam (ANOVA) dapat dilihat pada [Gambar 3](#) menghasilkan H_0 ditolak dan H_1 diterima, dapat disimpulkan bahwa penambahan kalsium klorida (CaCl_2) pada bioplastik memberikan pengaruh nyata terhadap nilai ketahanan air ($P < 0,05$). Nilai rata-rata ketahanan air bioplastik berkisar 15-88%. Keempat bioplastik memenuhi Standar Japanese Industrial Standard (JIS) yaitu max 99%. Nilai ketahanan air tertinggi bioplastik diperoleh pada BP 4 dengan konsentrasi 3% yaitu 88% dan nilai ketahanan air terendah bioplastik diperoleh perlakuan kontrol BP 1 dengan konsentrasi 0% yaitu 15%. Nilai ketahanan air pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian [Zanjabila et al. \(2023\)](#) yang menggunakan barium klorida (BaCl_2) sebagai *crosslinker* yaitu berkisar 34-52%. Hasil analisis nilai ketahanan air menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi CaCl_2 semakin tinggi nilai ketahanan air bioplastik.



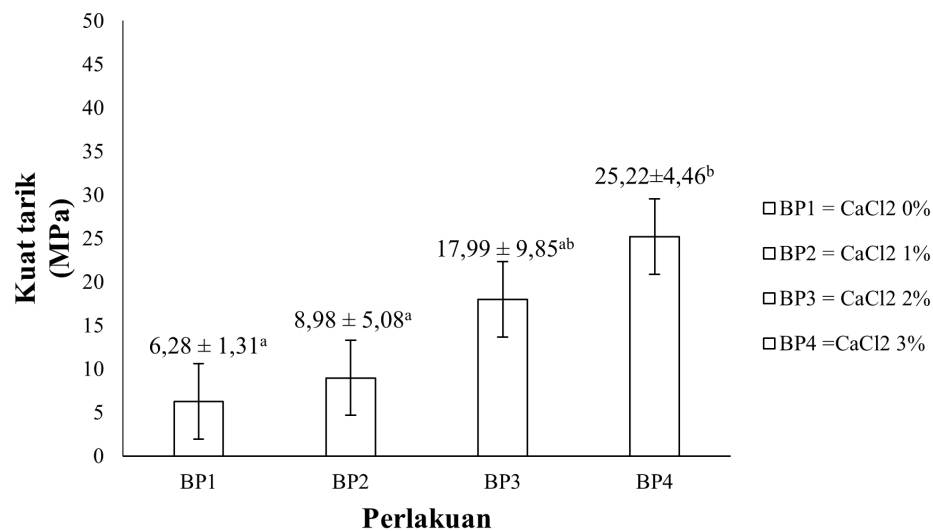
Gambar 3. Grafik nilai ketahanan air bioplastik

Penambahan kalsium klorida (CaCl_2) sebagai *crosslinker* dapat menghasilkan pembentukan jaringan yang lebih stabil. menurut pemaparan [Anwar et al., \(2021\)](#) *crosslinker* menghubungkan

rantai polimer satu sama lain, membentuk jaringan tiga dimensi yang lebih stabil. Struktur ini mengurangi ruang kosong di antara rantai polimer, sehingga menghambat penetrasi air ke dalam jaringan dengan jaringan yang lebih padat, material menjadi lebih tahan terhadap pengaruh air. *Crosslinking* membantu mengontrol proses *swelling* (pembengkakan) saat material terpapar air, dengan adanya ikatan silang, pergerakan rantai polimer saat menyerap air menjadi terbatas, sehingga material tidak mudah larut atau hancur saat direndam dalam air (Zanjabila *et al.*, 2023).

3.3 Kuat tarik

Kekuatan tarik adalah kemampuan suatu material untuk menahan gaya tarik sebelum mengalami kerusakan. Dalam konteks bioplastik, kekuatan tarik menjadi parameter penting yang menunjukkan seberapa baik material tersebut dapat bertahan dalam aplikasi praktis (Melani *et al.*, 2022). Nilai kekuatan tarik dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik nilai kuat tarik bioplastik

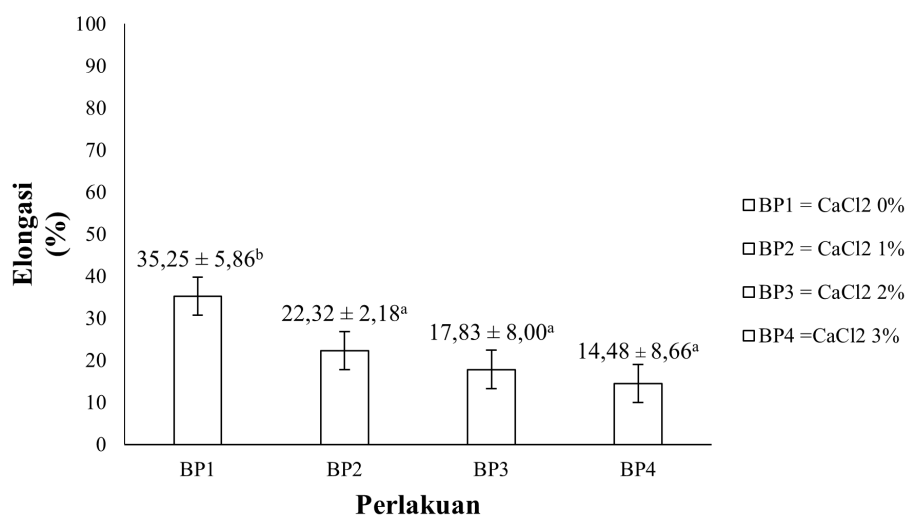
Berdasarkan hasil analisis sidik ragam (ANOVA) menghasilkan H₀ ditolak dan H₁ diterima, dapat disimpulkan bahwa penambahan kalsium klorida (CaCl₂) pada bioplastik memberikan pengaruh nyata terhadap nilai kuat tarik ($P < 0,05$). Nilai rata-rata kuat tarik bioplastik berkisar 6,28-25,22 MPa, dari keempat bioplastik hanya BP 4 yang memenuhi standar SNI yaitu 24,7-302 MPa sedangkan jika mengacu pada standar Japanese Industrial Standard (JIS) keempat sampel memenuhi kriteria yaitu Min 0,392266 MPa. Nilai kuat tarik tertinggi bioplastik diperoleh pada BP 4 dengan konsentrasi 3% yaitu 25,22 MPa dan nilai kuat tarik terendah bioplastik diperoleh perlakuan kontrol BP 1 dengan konsentrasi 0% yaitu 6,28 MPa. Nilai kuat tarik pada penelitian ini lebih tinggi dibandingkan penelitian Rohmad (2018) yang menghasilkan nilai kuat tarik tertinggi sebesar 22,88 MPa pada variasi penambahan kalsium karbonat.

Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan yang dilakukan oleh Pinpru and Woramongkolchai (2020), yang menunjukkan bahwa penambahan *crosslinker* dapat

meningkatkan kekuatan tarik bioplastik, hal ini disebabkan oleh reaksi ion Ca^{2+} dengan alginat dan karagenan yang menghasilkan gel kuat dan sulit larut dalam air, sehingga berkontribusi pada peningkatan kekuatan material. Campuran alginat dan agarosa yang ditambahkan Ca^{2+} akan menghasilkan jaringan hibrida yang stabil, dimana kedua polimer saling memperkuat struktur gel. Tanpa keberadaan ion Ca^{2+} , campuran alginat-agarosa cenderung mudah terdispersi dalam air dan tidak mampu membentuk struktur gel yang kokoh (Guswantoro *et al.*, 2020).

3.4 Elongasi

Elongasi merupakan sifat mekanis suatu material, terutama dalam konteks pengujian kekuatan tarik. Elongasi mengacu pada kemampuan material untuk meregang atau memanjang sebelum putus. Nilai elongasi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik nilai elongasi bioplastik

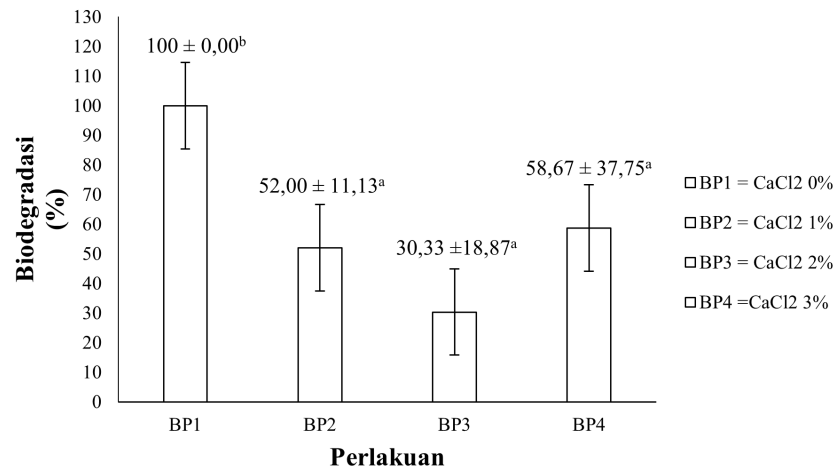
Berdasarkan hasil analisis sidik ragam (ANOVA) menghasilkan H_0 ditolak dan H_1 diterima, dapat disimpulkan bahwa penambahan kalsium klorida (CaCl_2) pada bioplastik memberikan pengaruh nyata terhadap nilai elongasi ($P < 0,05$). Nilai rata-rata elongasi bioplastik berkisar 35,25-14,48% dari keempat bioplastik hanya BP 1 dan 2 yang memenuhi standar SNI yaitu 21-220% sedangkan jika mengacu pada standar Japanese Industrial Standard (JIS) keempat sampel tidak memenuhi kriteria yaitu 70%. Nilai elongasi terbesar ada pada perlakuan kontrol yaitu 35,25% dan nilai elongasi terkecil ada pada BP 4 yaitu sebesar 14,48% berdasarkan grafik hasil dari penambahan kalsium klorida (CaCl_2) semakin bertambahnya konsentrasi semakin menurunkan nilai elongasi.

Pengaruh rasio guluronat/mannuronat terhadap kuat tarik dan elongasi bioplastik terutama berkaitan dengan struktur dan ikatan silang polimer dalam bahan dasar bioplastik, seperti alginat. Menurut Brilianti *et al.*, (2023) secara umum, terdapat hubungan berbanding terbalik antara kuat tarik dan elongasi pada bioplastik peningkatan kuat tarik biasanya diikuti dengan penurunan

elongasi, dan sebaliknya. Penambahan *crosslinker* seperti CaCl_2 yang bereaksi dengan blok guluronat memperkuat ikatan silang, meningkatkan kuat tarik, tetapi menurunkan elongasi karena bioplastik menjadi lebih kaku dan kurang elastis (Ridlo *et al.*, 2023).

3.5 Biodegradasi

Degradasi bioplastik adalah proses penguraian bioplastik menjadi senyawa-senyawa sederhana seperti air, karbon dioksida, dan biomassa melalui aktivitas mikroorganisme atau reaksi kimia tertentu. Nilai uji biodegradasi dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik nilai biodegradasi bioplastik

Berdasarkan hasil analisis sidik ragam (ANOVA) menghasilkan H_0 ditolak dan H_1 diterima, dapat disimpulkan bahwa penambahan kalsium klorida (CaCl_2) pada bioplastik memberikan pengaruh nyata terhadap nilai biodegradasi ($P < 0,05$). Dapat dilihat pada Gambar 6 Bioplastik BP1 yaitu kontrol tanpa perlakuan CaCl_2 terdegradasi sempurna atau 100% terdegradasi sedangkan BP 2 terdegradasi 52% BP 3 terdegradasi 30,33% dan BP 4 terdegradasi 58,67% terjadi peningkatan pada proses degradasi pada bioplastik BP 4 yaitu konsentrasi 3% CaCl_2 peningkatan konsentrasi tertentu CaCl_2 dapat meningkatkan biodegradabilitasnya (Sari *et al.*, 2020). Penambahan *crosslinking* pada bioplastik dapat menghambat proses degradasi karena struktur yang terbentuk menjadi lebih kuat dan stabil. Semakin tinggi konsentrasi *crosslinker*, bioplastik semakin mudah terdegradasi. Proses biodegradasi plastik terjadi karena aktivitas mikroorganisme, beberapa mikroorganisme tersebut memproduksi enzim. Garam seperti Co^{2+} , Ca^{2+} , Zn^{2+} , Ba^{2+} , Fe^{2+} dapat meningkatkan aktifitas enzim sehingga plastik lebih mudah terdegradasi (Asiandu *et al.*, 2020). Pernyataan tersebut membuktikan bahwa semakin tinggi konsentrasi *crosslinker*, maka semakin tinggi konsentrasi garam sehingga proses biodegradasi lebih cepat.

Crosslinking menciptakan ikatan yang lebih kuat antara rantai polimer, sehingga mengurangi kemampuan mikroorganisme untuk menguraikan bioplastik tersebut. Penelitian Ridlo *et al.*, (2022), menunjukkan bahwa bioplastik dengan tingkat *crosslinking* menggunakan CaCl_2 pada

komposit alginat dan karagenan menghasilkan yang lebih tinggi cenderung memiliki degradasi yang lebih lambat dibandingkan dengan bioplastik tanpa perlakuan *crosslinking*.

4. Kesimpulan

Bioplastik berbasis hidrokoloid agar dan Na-alginat memiliki kelemahan dalam hal ketahanan terhadap air yang rendah, dalam upaya mengoptimalkan kinerja agar dan Na-alginat, diperlukan penambahan pengikat silang untuk meningkatkan sifat mekanik bioplastik khususnya pada ketahanan air. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perlakuan BP 4 yaitu konsentrasi CaCl_2 3% memiliki perlakuan terbaik dengan sifat mekanik yang meliputi ketebalan 0,13 mm, ketahanan air 87,33%, kuat tarik 25,22 MPa, elongasi 14,48%, dan hasil biodegradasi 58,67%.

Singkatan yang Digunakan

SNI	Standar Nasional Indonesia
CaCl_2	Kalsium Klorida
Na-alginat	Natrium Alginat
MPa	Megapascal
BP 1	Penambahan konsentrasi CaCl_2 0%
BP 2	Penambahan konsentrasi CaCl_2 1%
BP 3	Penambahan konsentrasi CaCl_2 2%
BP 4	Penambahan konsentrasi CaCl_2 3%

Pernyataan Ketersediaan Data

Data akan tersedia berdasarkan permintaan.

Kontribusi Para Penulis

Yulia Maretha: Persiapan, pembuatan sampel, sumber daya dan penulisan draf. **Ginjar Pratama:** kurasi data, metodologi, sumber daya dan pengawasan. **Rifki Prayoga Aditia:** pengawasan, sumber daya, konseptualisasi, dan metodologi.

Pernyataan Konflik Kepentingan

Para penulis naskah ini menyatakan tidak ada konflik kepentingan atau kepentingan yang bersaing.

Ucapan Terima Kasih

Tidak ada ucapan terima kasih

Daftar Pustaka

- Anwar, M., Pervaiz, F., Shoukat, H., Noreen, S., Shabbir, K., Majeed, A., & Ijaz, S. (2021). Perumusan dan evaluasi jaringan interpenetrasi xanthan gum dan polyvinylpyrrolidone sebagai matriks hidrofilik untuk sistem pengiriman obat terkontrol. *Polim Sapi*, 78(1), 59–80. <https://doi.org/10.1007/s00289-019-03092-4>
- Asiandu, A. P., Wahyudi, A., & Sari, S. W. (2021). A Review: Plastics Waste Biodegradation Using Plastics-Degrading Bacteria. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 9(1), 148–157. [https://doi.org/10.47277/JETT/9\(1\)157](https://doi.org/10.47277/JETT/9(1)157)

- Brilianti, K.F., Ridlo, A. & Sedjati, S. (2023). Sifat Mekanik dan Ketebalan Bioplastik dari *Kappaphycus alvarezii* Menggunakan Variasi Konsentrasi Amilum dengan Pemlastis Gliserol. *Journal of Marine Research*, 12(1), 95-102. <https://doi.org/10.14710/jmr.v12i1.34169>
- Chew, K. W., Yap, J. Y., Show, P. L., Suan, N. H., Juan, J. C., Ling, T. C., & Chang, J. S. (2017). Microalgae biorefinery: high value products perspectives. *Bioresource technology*, 229(1), 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.01.006>
- Choi, I., Lee, Y., Lyu, J. S., Lee, J. S., & Han, J. (2022). Characterization of ionically crosslinked alginate films: Effect of different anion-based metal cations on the improvement of water-resistant properties. *Food Hydrocolloids*, 13(1), 107-116. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107785>
- Enio, Z., Eya, D., Bhavish, P., Tobias, B., Horst P., Adrian P., & Christian L. (2021). Algal cellulose, production and potential use in plastics: Challenges and opportunities. *Algal Research*, 56(1), 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102288>.
- Fransiska, D., Basriman, I., Falafi, A. R., Priambudi, P. Nurhayati, & Agusman. (2021). Development and characterization of alginate based biocomposite films reinforced by *Gracilaria* powder. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 934(1), 1-12. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/934/1/012084>
- Grabowski, S. E. M., Selke, R., Auras, M. K., Patel, R., & Narayan. (2015). Life cycle inventory data quality issues for bioplastics feedstocks. *Int. J. Life Cycle Assess.*, 20(2) 584–596. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0853-3>.
- Guswantoro, T., Supratman, A. S., & Asih, I. S. (2020). Karakterisasi Alginat Sebagai Bahan Setara Dengan Jaringan Lunak Untuk Radioterapi. *EduMatSains: Jurnal Pendidikan, Matematika dan Sains*, 4(2), 125-138. <http://repository.uki.ac.id/id/eprint/2896>
- Japanese Industrial Standard. (1997). *General rules of plastic films for food packaging-1707*. <https://standardsclub.com/product/jis-z-17071997/>
- Marlina, L., & Achmad, N.T.F. (2021). Pengaruh variasi penambahan kitosan dan gliserol terhadap karakteristik plastik biodegradable dari pati ubi jalar. *Jurnal Tedc*, 15(2), 125-133. <https://ejournal.poltektedc.ac.id/index.php/tedc/article/view/476>
- Melani, A., Herawati, N. & Kurniawan, A.F. (2022). Bioplastik pati umbi talas melalui proses melt intercalation. *Jurnal Distilasi*, 2(2). 53-67. <https://doi.org/10.32502/jd.v2i2.1204>
- Pinpru, N. & Woramongkolchai, S. (2020). Crosslinking effects on alginate/carboxymethyl cellulose packaging film properties. *Chiang Mai Journal of Science*, 47(4), 712-722. <https://epg.science.cmu.ac.th/ejournal/journal-detail.php?id=11100>
- Prasetyo, M. Y., Hendri, M., & Shiyan, S. (2024). Analisis termogravimetri dan sifat mekanis edible film rumput laut *Gracillaria* sp. sebagai bahan alternatif bioplastik. *Jurnal Penelitian Sains*, 26(2), 147-155. <https://doi.org/10.56064/jps.v26i2.1016>
- Purwaningrum. (2016). Upaya mengurangi timbulan sampah plastik di lingkungan. *Jurnal teknologi perkotaan dan lingkungan indonesia*, 8(2), 141-147. <https://doi.org/10.25105/urbanenvirotech.v8i2.1421>
- Ridlo, A., Sedjati, S., Supriyantini, E., & Putri, O.K. (2022). Karakteristik bioplastik komposit CMC- gliserol-alginat dari *Sargassum* sp. dengan kalsium klorida. *Jurnal Kelautan Tropis*, 25(2), 257–265. <https://doi.org/10.14710/jkt.v25i2.13773>
- Ridlo, A., Sedjati, S., Supriyantini, E., & Zanjabila, D. A. (2023). Pengembangan dan karakterisasi bioplastik karagenan-alginat-gliserol dengan perlakuan kalsium klorida. *Buletin Oseanografi Marina*, 12(1), 43-53. <https://doi.org/10.14710/buloma.v12i1.48020>
- Rohmad, J. (2018). *Pengaruh Penambahan Kalsium Karbonat Terhadap Sifat Mekanik Bioplastik Pati Ubi Kayu Dengan Pemlastis Gliserol* [Doctoral dissertation]. Retrieved from <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/168228>

- Sari, D. P., Amir, H., & Elvia, R. (2020). *Isolasi Bakteri Dari Tanah Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Air Sebakul Sebagai Agen Biodegradasi Limbah Plastik Polyethylene* [Skripsi]. Retrived from <http://repository.unib.ac.id/id/eprint/12668>
- Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional. (2023). *Timbulan Sampah, 2020-2022*. SIPSN-Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional.
- Standarisasi Nasional Indonesia. (2016). *Kriteria Ekolabel – Bagian 7: Kategori Produk Tas Belanja Plastik dan Bioplastik Mudah Terurai*. Badan Standarisasi Nasional. https://bsn.go.id/uploads/download/22kepka229_pencabutan_sni_7188.7_2016.pdf
- Suryani, R. R., Hakim, A., Yusrianti, Y., Auvaria, S. W., & Mustika, I. (2021). Penambahan chitosan dan plasticizerglycerin dalam pembuatan bioplastik berbahan dasar ekstrak protein ampas tahu. *Jukung (Jurnal Teknik Lingkungan)*, 7(2), 159-169. <http://repository.uinsa.ac.id/id/eprint/2458>
- Zanjabila, D. A., Ridlo, A., & Supriyantini, E. (2023). Karakteristik Bioplastik Berbahan Karagenan-Alginat-Gliserol dengan Penambahan BaCl₂ sebagai Crosslinker. *Journal of Marine Research*, 12(2), 167-176. <https://doi.org/10.14710/jmr.v12i1.35245> <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jmr/article/view/35245>