

## Analisis Kehalalan Kemasan dalam Pengemasan Makanan Berbahan Dasar Limbah Kelapa Sawit: Perspektif Pendidikan

Efrizal Siregar<sup>1</sup>, Khairil Anwar<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Politeknik Negeri Media Kreatif; [efrizalsiregarchems@gmail.com](mailto:efrizalsiregarchems@gmail.com)

<sup>2</sup> Politeknik Negeri Media Kreatif; [khairilanwar@polimediamedan.ac.id](mailto:khairilanwar@polimediamedan.ac.id)

---

### ARTICLE INFO

#### Keywords:

Kemasan makanan;  
Limbah kelapa sawit; kemasan  
halalan tayyibah

---

#### Article history:

Received 2024-01-14

Revised 2024-01-16

Accepted 2024-02-17

---

### ABSTRACT

Tingginya kebutuhan penggunaan plastik saat ini akan mengakibatkan kerusakan lingkungan karena plastik yang banyak digunakan tidak dapat terurai. Sampah plastik ini berbahaya bagi keberlangsungan rantai makanan, mencemari air dan tanah, menyebabkan pemanasan global dan menyebabkan polusi udara. Penelitian ini mensintesis komposit nanofiber selulosa dengan pati komersial dengan perbandingan 1:1 dengan pengaruh penambahan cairan asap dari limbah kelapa sawit. Tujuan dari penelitian ini adalah mengolah serat nanokomposit selulosa yang dikombinasikan dengan pati komersial dan memanfaatkannya menjadi plastik biodegradable dengan menguji pengaruh pemberian asap cair terhadap pengembangan zat mikroba pada kemasan makanan plastik biodegradable ramah lingkungan. sehingga produk yang dihasilkan diharapkan berpotensi mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan plastik sintetis. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kehalalan kemasan dari kandungan konsentrasi asam cair yang optimum dari tandan kosong kelapa sawit sebagai zat anti mikroba pada bioplastik yang dihasilkan. Penambahan asap cair mengubah sifat bioplastik dari FTIR, XRD, Kekuatan tarik bioplastik. Sampel dengan konsentrasi asap cair tertinggi mempunyai kekuatan tarik paling besar (2,34 MPa). Penambahan konsentrasi asap cair dari cangkang kelapa sawit kosong menunjukkan daerah hambat yang baik terhadap perkembangan bacillus cereus (10,8 mm).

This is an open access article under the [CC BY-NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) license.



---

### Corresponding Author:

First name Last name

Affiliation 1; e-mail@e-mail.com

---

## **1. PENDAHULUAN**

Penggunaan polimer plastik secara keseluruhan hingga saat ini mencapai 8,3 miliar ton plastik yang telah dibuat untuk berbagai kegunaan. Dari jumlah tersebut, hanya 6,3 ribu ton plastik atau sekitar 9% yang didaur ulang, 12% sampah plastik dibakar dan sisanya 79% terakumulasi di darat, laut atau di tempat pembuangan sampah dan menjadi sampah yang belum termanfaatkan dan menimbulkan pencemaran pada lingkungan. tanah, air dan udara [2]. Produksi plastik yang terus meningkat saat ini dan kurangnya kesadaran mengenai pembuangan sampah serta rendahnya persentase pengolahan sampah untuk didaur ulang, sehingga pada tahun 2050 laut diprediksi akan dipenuhi sampah plastik sehingga biota laut seperti terumbu karang dan ikan akan hilang [3]. Oleh karena itu, penggunaan plastik harus ditinggalkan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan mengganti bahan plastik sintetis dengan bahan plastik yang lebih ramah lingkungan seperti bioplastik atau plastik biodegradable [4].

Plastik biodegradable berbahan nanokomposit selulosa yang berasal dari alam memiliki sifat yang hampir mirip dengan polimer plastik yang digunakan saat ini. Plastik biodegradable tidak memberikan dampak negatif terhadap lingkungan dan dapat mengurangi masalah pengelolaan sampah dan polusi. Plastik biodegradable mempunyai sifat fisik yang berbeda dengan polimer plastik sintetis yang banyak digunakan saat ini [5]. Namun pemanfaatan bioplastik masih perlu ditingkatkan terutama dari aspek higienitas kemasan pangan. Bioplastik memiliki tekstur yang lebih kasar dan kaku serta mempunyai ciri morfologi dengan ukuran pori yang sedikit lebih besar dibandingkan dengan plastik sintetis [6]. Oleh karena itu, jika bioplastik digunakan sebagai pembungkus kemasan makanan akan berdampak pada kesehatan. Karena memungkinkan zat mikroba hidup dan berkembang di pori-pori bioplastik yang digunakan dalam kemasan makanan. Penelitian ini bertujuan untuk membuat kemasan makanan berbahan plastik biodegradable yang tahan terhadap pertumbuhan zat mikroba atau bakteri yang tidak baik bagi kesehatan dengan bantuan cairan asap yang disintesis dari limbah padat kelapa sawit [7].

Asap cair atau smoke liquid dapat dibuat dengan memanfaatkan limbah kelapa sawit yang ada di Indonesia khususnya Sumatera Utara. Ketersediaan limbah cangkang kelapa sawit kosong berpotensi untuk diolah menjadi asap cair dan digunakan dalam pembuatan bioplastik yang dapat menghambat pertumbuhan mikroba atau bakteri sehingga makanan kemasan lebih aman dan sehat. Asap cair biasa digunakan sebagai bahan pengawet ikan, tahu, bakso atau daging karena dapat menghambat pertumbuhan mikroba penyebab pembusukan makanan [8]. Teknologi asap cair ini berpotensi menjadi bahan kombinasi pembuatan bioplastik dari

komposit serat nanokomposit selulosa atau pati komersial yang melindungi bioplastik dari pertumbuhan zat mikroba atau bakteri. Dari latar belakang diatas maka peneliti ingin melakukan penelitian kompetitif dengan judul Pemanfaatan Limbah Kelapa Sawit Sebagai Cairan Asap Pada Komposit Nano Serat Selulosa/Pati Komersial Sebagai Zat Anti Mikroba Dalam Produksi Kemasan Makanan [9].

Penggunaan plastik polimer meningkatkan jumlah pencemaran lingkungan. Polutan yang ditemukan dalam rantai makanan menimbulkan ancaman bagi kesehatan manusia. Dari sudut pandang ini, plastik biodegradable dapat menjadi solusi permasalahan yang ditimbulkan oleh plastik polimer. Plastik biodegradable berfokus pada penciptaan dunia yang lebih berkelanjutan dan hijau dengan dampak negatif yang lebih sedikit terhadap lingkungan. Plastik biodegradable juga dapat memiliki sifat yang sama dengan plastik sintesis, namun memiliki sifat yang memberikan manfaat tambahan karena dampaknya yang minimal terhadap lingkungan. Penelitian mengenai plastik biodegradable untuk keberlanjutan telah banyak dilakukan dalam beberapa tahun terakhir [1]. Beberapa plastik biodegradable yang saat ini diproduksi dan diterapkan berdasarkan sumber daya terbarukan antara lain PLA, serat selulosa, dan Pati yang merupakan biopolimer yang diperoleh dari organik [10]. Namun, "biobased" berbeda dengan "biodegradable" atau kompos karena produk biobased mengandung bahan mentah terbarukan dan dapat didaur ulang melalui proses alami. Produk biodegradable meliputi polimer yang dapat terdegradasi oleh mikroorganisme dalam jangka waktu tertentu di lingkungan [11]. Selulosa adalah salah satu polimer paling melimpah di alam yang dapat dengan mudah diperoleh dari biomassa yang tersedia. Nano selulosa juga cocok digunakan dalam penguatan bioplastik karena selulosa dapat menghasilkan bahan nano dengan rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi dan diharapkan memiliki biaya pengelolaan yang lebih rendah jika dibandingkan dengan bahan nano lainnya. Nano selulosa bersifat biodegradable dan ramah lingkungan. Beberapa hasil penelitian menyatakan bahwa selulosa memiliki prospek yang menggembirakan dalam meningkatkan sifat mekanik dan termal polimer [12], [13]. Dua jenis struktur nano selulosa yang dapat diaplikasikan sebagai penguat pada kemasan makanan, yaitu nanokristal selulosa dan nanofiber. Kedua jenis nano selulosa ini dapat memperkuat komposit nano polimer dengan kekuatan dan modulus yang lebih tinggi karena rasio aspek dan keterikatan serat yang lebih signifikan [4]. Sumatera Utara merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki perkebunan kelapa sawit yang cukup luas. Selain menghasilkan buah segar, kelapa sawit juga menghasilkan limbah padat berupa cangkang kosong kelapa sawit yang dapat diolah menjadi produk yang bernilai ekonomi tinggi yaitu asap cair atau asap cair. Asap cair diperoleh dengan cara pemanasan tanpa bantuan oksigen atau biasa kita sebut dengan pirolisis. Cangkang

kelapa sawit kosong yang telah dikumpulkan seberat 4-6 kg dimasukkan ke dalam wadah yang kemudian dipanaskan tanpa oksigen pada suhu 300-380 0C. Untuk menghasilkan asap cair, pada saat pemanasan gas yang dihasilkan akan terkondensasi sehingga menghasilkan asap cair [14]. Asap cair mempunyai sifat yang dapat menghambat pertumbuhan mikroba (anti mikroba) karena asap cair dapat menurunkan kerja mikroba pada suatu bahan sehingga tidak terjadi proses pembusukan. Oleh karena itu, asap cair juga dapat digunakan untuk menghambat mikroorganisme, zat mikroba dalam plastik biodegradable [13].

Dalam fungsinya sebagai pemlastis, phthalate dalam plastik tidak terikat kuat secara kimia dengan polimer inang, maka zat tersebut dapat menguap ke lingkungan. Oleh karena itu, phthalate tidak hanya bersifat karsinogenik, juga dapat menyebabkan gangguan pada inhalasi, sehingga tidak *thoyyib*. Penggunaan bahan tersebut sudah mulai dikurangi dan sebagai penggantinya adalah bahan alami yang mampu membentuk gel sehingga dapat digunakan sebagai pemlastis. Bahan dasar alami pemlastis yang dimaksud tentunya mempunyai sifat biodegradable artinya mudah dihancurkan oleh bakteri di alam. Penggunaan pemlastis alami bersifat *biodegradable*, dengan toksisitas rendah dan kompatibilitas yang baik dengan beberapa plastik, resin, karet dan *elastomer* dalam penggantian pemlastis konvensional, seperti *phthalate* dan turunannya.

## 2. METHODS

Pada penelitian ini material yang digunakan adalah limbah padat kelapa sawit berupa cangkang kosong kelapa sawit yang diperoleh dari pabrik kelapa sawit PTPN IV Serdang Bedagai, Sumatera Utara. Larutan glukosa, urea, air suling, asam asetat, NaOH, NaOCl, Gliserol, dan Etanol. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen dengan kombinasi proses fisika, proses pirolisis dan kimia serta proses uji karakterisasi terhadap produk yang dihasilkan. Uji karakterisasi produk terdiri dari uji asap cair dan kemasan makanan plastik biodegradable dalam kondisi lingkungan yang relevan. Cangkang kelapa sawit yang kosong ditimbang sebanyak 3 kg, kemudian dicuci dengan air bersih dan dikeringkan. Kemudian dimasukkan ke dalam reaktor pembakaran pirolisis hingga menghasilkan 500 mL asap cair selama kurang lebih 9 jam. Asap cair kemudian melewati desikator dan menghasilkan bio oil cair. Kemudian asap cair yang dihasilkan akan menjadi komponen pembuatan NFC dengan variasi 1 mL, 1,5 mL dan 2 mL. Pembuatan bioplastik dari campuran suspensi pati dan NFC 2%+ gliserol menggunakan variasi asap cair 1 mL, 1,5 mL, 2 mL. Kemudian adonan dimasukkan ke dalam cetakan berukuran 15 x 15 cm dan dikeringkan pada suhu kamar. kemudian dilakukan uji karakterisasi terhadap sampel

menggunakan FTIR, XRD, uji daya tarik dan pengaruh perkembangan bakteri [17]. Desain penelitian eksperimental ini ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan Sampel Untuk Melihat Kehalalan

Test	Sample X1 (1 mL + NFC 2% + Glycerol)	Sample X2 (1,5 mL + NFC 2% + Glycerol)	Sample X3 (2 mL + NFC 2% + Glycerol)
FTIR	X1F	X2F	X3F
XRD	X1X	X2X	X3X
Testing Attractiveness	X1T	X2T	X3T
Developmental Bacterial Influence	X1D	X2D	X3D

Untuk melihat karakteristik gugus fungsi sampel yang halal pada bioplastik, dapat menggunakan uji spektrometer Thermos Scientific Nicolet IS50 FT-IR untuk membaca nilai grafik dalam menentukan gugus fungsi. Seluruh spektrum dilakukan dengan 32 scan dengan kekuatan resolusi 4 cm<sup>-1</sup>. Interval bilangan gelombang yang digunakan adalah 400 sampai 4000 cm<sup>-1</sup>. Pengukuran gelombang IR dapat dilakukan setelah lembaran tipis dikeringkan dan diendapkan menggunakan kristal ATR. Pengujian FTIR dilakukan dengan 3 kali pengulangan. Setiap sampel yang berbentuk kristal akan diidentifikasi menggunakan sinar-X yang dilakukan di laboratorium Rigaku dengan menggunakan model HD 2711N. Radiasi yang dihasilkan dapat diproses pada tegangan 40 kV dan 44 mA digunakan untuk pemindaian XRD 20 kali dilakukan dengan kecepatan 28/menit dengan interval suhu 10-50 °C. Selanjutnya sampel juga akan diuji untuk mengukur perkembangan aktivitas antibakteri film bioplastik berdiameter 2 cm. Pada sampel ini nutrisi akan ditempatkan pada permukaan yang mengandung suspensi bakteri gram positif (*staphylococcus aureus*). Cawan petri diinkubasi selama 18 hingga 24 jam dan kemudian akan terlihat perkembangan bakteri pada sampel [17]

Variabel dalam penelitian pembuatan kemasan makanan bioplastik biodegradable berbasis nanokomposit selulosa/pati komersial dengan cairan asap untuk mencegah zat mikroba adalah variasi persen volume asap cair (cairan asap) yang dicampur dengan komposit serat nono selulosa/pati komersial dalam pembuatannya. plastik biodegradable untuk melihat efektivitas dalam mencegah pertumbuhan zat mikroba. Pengumpulan data menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) non faktorial [18].

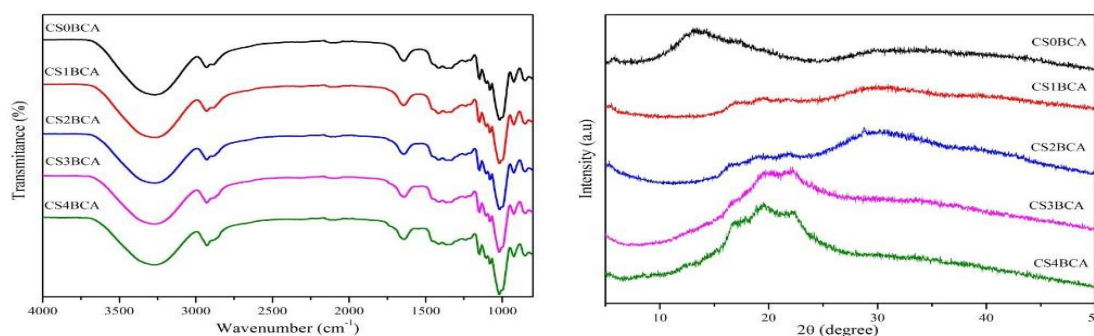
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Analisis Kelompok Gugus Fungsional Halal

Hasil pembacaan FTIR diperoleh data sampel bioplastik dengan bilangan gelombang 3265,4  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan daerah puncak serapan yang dapat diidentifikasi sebagai gugus hidroksil (O-H) yang diduga berasal dari pati komersial. Sampel juga menunjukkan adanya gugus fungsi C=H yang teridentifikasi dari daerah serapan 2929  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan gugus tersebut. Sampel tersebut juga menunjukkan adanya gugus C-O yang menunjukkan puncak 1640  $\text{cm}^{-1}$  yang berasal dari senyawa ester dan asam karboksilat. Beberapa sampel menunjukkan adanya lengkungan pada gugus C-H yang menunjukkan karakteristik sampel bioplastik yang dihasilkan. Perbedaan penularan yang terjadi disebabkan oleh adanya penambahan asap cair dari cangkang kelapa sawit kosong yang dapat mempengaruhi angka penularan berupa penurunan yang mengakibatkan serapan gelombang semakin tinggi. Data penelitian ini juga serupa dengan temuan pada penelitian sebelumnya. Penambahan asap cair sebagai filler pada cangkang kosong kelapa sawit mempengaruhi ikatan hidrogen [17]. Dari hasil analisis gugus fungsi diatas jika dilihat dari kandungan kandungan kemasan limbah kelapa sawit tidak ditemukan senyawa yang tidak halal untuk digunakan.

#### Analisis Halal Dengan XRD

Difraktogram XRD seluruh sampel bioplastik memberikan nilai puncak difraksi sebesar  $2\theta$  pada suhu  $15^\circ$  dan  $20^\circ$  yang menunjukkan bahwa sampel bioplastik mempunyai bentuk kristal. Pati komersial adalah bahan semi-kristal dengan unit kristal dan amorf. Karakteristik XRD seluruh sampel menunjukkan adanya perubahan sudut intensitas sebesar  $2\theta$  yang menyebabkan kristal yang dihasilkan menjadi lebih kaku baik pada sampel asap cair 1 mL, 1,5 mL dan 2 mL yang ditambahkan pada proses produksi bioplastik yang disebabkan oleh interaksi antara ikatan hidrogen dan sampel. Dari analisis ini Kristal yang dianalisis adalah Kristal yang halal karena tidak ada kandungan yang meniadakan kehalalan kemasan tersebut.



**Gambar 2 Sampel Bioplastik FTIR dan XRD [17]**

### Uji Aktivitas Antibakteri

Untuk mengetahui kemampuan bioplastik dalam melindungi pangan dari patogen berbahaya, dilakukan uji pengembangan aktivitas antibakteri. Bioplastik dipandang kemampuannya dalam melawan perkembangan bakteri dengan penambahan acanthopodium terhadap bakteri bacillus cereus dan bakteri E-coly. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 2. Sampel dengan konsentrasi asap cair tertinggi menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam menghambat pertumbuhan bakteri bacillus cereus dan bakteri E-coly. Ekstrak asap cair yang ditambahkan memberikan kemampuan pertumbuhan mikroba yang lambat pada film NFC [4]. Bakteri tidak dapat berkembang pada sampel kemasan yang digunakan sehingga makanan tidak terkontaminasi oleh pertumbuhan bakteri sehingga makanan akan terjaga kehalalannya dari kemasan yang digunakan berbahan dasar limbah kelapa sawit.

Tabel 2. Uji Aktivitas Antibakteri terhadap kehalalan

Bacteria	Sample	Average Diameter of Inhibition Zone	Antibacterial Activity
against bacillus	Sample X1 (1 mL + NFC 2% + Glycerol)	-	weak
	Sample X2 (1,5 mL + NFC 2% + Glycerol)	0.7	weak
	Sample X3 (2 mL + NFC 2% + Glycerol)	0.53	No Activity
E-coly	Sample X1 (1 mL + NFC 2% + Glycerol)	-	Weak
	Sample X2 (1,5 mL + NFC 2% + Glycerol)	0.6	Weak
	Sample X3 (2 mL + NFC 2% + Glycerol)	1.2	No Activity

#### 4. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah:

Kesimpulan dari penelitian ini adalah penelitian ini berhasil menghasilkan asap cair dari cangkang kosong kelapa sawit yang dapat ditambahkan pada proses pembuatan bioplastik yang berpotensi untuk digunakan sebagai bahan ramah lingkungan yang digunakan dalam kemasan makanan. Penambahan asap cair cangkang kelapa sawit kosong mengubah transmisi yang mempengaruhi penyerapan FTIR dan

mempengaruhi kristalisasi sampel pada pengujian XRD. Uji tarik menunjukkan kuat tarik tertinggi sebesar 2,34 MPa sedangkan sampel mampu menghambat pertumbuhan bakteri dengan zona hambat sebesar 10,8 mm. Hasil penelitian ini tampaknya juga didukung oleh hasil penelitian sebelumnya. Penelitian ini merupakan salah satu inovasi dalam bidang kemasan aktif karena keunggulannya dalam melindungi pangan dan mikroorganisme. Jika dianalisis dari aspek kehalalan sampel kemasan makanan tidak ada satupun yang mengandung senyawa yang tidak halal sehingga jika kemasan kontak langsung dengan makan makan tidak akan merubah status makanan menjadi tidak halal. Bahkan dilihat daeri perspektif islam makanan yang menggunakan kemasan makanan berbahan dasar limbah kelapa sawit jauh lebih sehat karena dapat menghambat pertumbuhan bakteri disebabkan asap cair pada kemasan makanan dapat menghambat dan membunuh bakteri sehingga makanan akan menjadi halal tayyibah.

## REFERENCES

- [1] T.D. Moshood, G. Nawanir, F. Mahmud, F. Mohamad, M. H. Ahmad, and A. AbdulGhani, "Sustainability of biodegradable plastics: New problem or solution to solve the global plastic pollution?," *Curr. Res. Green Sustain. Chem.*, vol. 5, no. January, 2022, doi: 10.1016/j.crgsc.2022.100273.
- [2] A. Shafqat, N. Al-Zaqri, A. Tahir, and A. Alsalme, "Synthesis and characterization of starch based bioplastics using varying plant-based ingredients, plasticizers and natural fillers," *Saudi J. Biol. Sci.*, vol. 28, no. 3, pp. 1739–1749, 2021, doi: 10.1016/j.sjbs.2020.12.015.
- [3] E. Siregar, Y. Sinambela, and K. Anwar, "Characterization Of Cellulose Nano Fiber From Solid Waste Of Palm Oil Palm Empty Fruits As Basic Materials Of Bioplastic For Food Packaging," 2022, doi: 10.4108/eai.16-11-2022.2326060.
- [4] C. G. Otoni, H. M. C. Azeredo, B. D. Mattos, M. Beaumont, D. S. Correa, and O. J. Rojas, "The Food–Materials Nexus: Next Generation Bioplastics and Advanced Materials from Agri-Food Residues," *Adv. Mater.*, vol. 33, no. 43, 2021, doi: 10.1002/adma.202102520.
- [5] E. Liwarska-Bizukojc, "Effect of (bio)plastics on soil environment: A review," *Sci. Total Environ.*, vol. 795, p. 148889, 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.148889.
- [6] A. A. El-Refai, G. A. Ghoniem, A. Y. El-Khateeb, and M. M. Hassaan, "Eco-friendly synthesis of metal nanoparticles using ginger and garlic extracts as biocompatible novel antioxidant and antimicrobial agents," *J. Nanostructure Chem.*, vol. 8, no. 1, pp. 71–81, 2018, doi: 10.1007/s40097-018-0255-8.
- [7] efrizal siregar, parningotan simamora, and Y. Sinambela, "Characterization Of Organic Ink From Hydrochar-Based Cellulose Synthesis Of Durian Skin Waste



- Reinforced By Acasia Substance As Printing Ink Printing,” pp. 1–7, 2022, doi: 10.4108/eai.16-11-2022.2326061.
- [8] L. Ni'Mah, M. F. Setiawan, and S. P. Prabowo, “Utilization of Waste Palm Kernel Shells and Empty Palm Oil Bunches as Raw Material Production of Liquid Smoke,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 366, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/366/1/012032.
- [9] Lisa Ginayati, M. Faisal, and Suhendrayatna, “Pemanfaatan Asap Cair Dari Pirolisis Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Pengawet Alami Tahu,” *J. Tek. Kim. USU*, vol. 4, no. 3, pp. 7–11, 2015, doi: 10.32734/jtk.v4i3.1474.
- [10] R. Jancy, S., Shruthy, R., Preetha, “Fabrication of packaging film reinforced with cellulose nanoparticles synthesized from jackfruit non-edible part using response surface methodology,” *Int. J. Biol. Macromol*, vol. 14, pp. 263–272, 2020.
- [11] E. Moohan, J., Stewart, S.A., Espinosa, E., Rosal, A., Rodríguez, A., Larrañeta, “Cellulose nanofibers and other biopolymers for biomedical applications,” *A Rev. Appl. Sc*, vol. 10, p. 65, 2020.
- [12] L. G. Hong, N. Y. Yuhana, and E. Z. E. Zawawi, “Review of bioplastics as food packaging materials,” *AIMS Mater. Sci.*, vol. 8, no. 2, pp. 166–184, 2021, doi: 10.3934/matserci.2021012.
- [13] X. Zhao, K. Cornish, and Y. Vodovotz, “Narrowing the Gap for Bioplastic Use in Food Packaging: An Update,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 54, no. 8, pp. 4712–4732, 2020, doi: 10.1021/acs.est.9b03755.
- [14] R. Arun, R. Shruthy, R. Preetha, and V. Sreejit, “Biodegradable nano composite reinforced with cellulose nano fiber from coconut industry waste for replacing synthetic plastic food packaging,” *Chemosphere*, vol. 291, no. P1, p. 132786, 2022, doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.132786.
- [15] S. Gea, Z. Zulfahmi, D. Yunus, A. Andriyani, and Y. A. Hutapea, “The Isolation of Nanofibre Cellulose from Oil Palm Empty Fruit Bunch Via Steam Explosion and Hydrolysis with HCl 10%,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 979, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1742-6596/979/1/012063.
- [16] S. Gea, N. Panindia, A. F. Piliang, A. Sembiring, and Y. A. Hutapea, “All-cellulose composite isolated from oil palm empty fruit bunch,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1116, no. 4, 2018, doi: 10.1088/1742-6596/1116/4/042013.