

**PEMBUATAN FILM KOMPOSIT KITOSAN-ASAM TANAT
DENGAN PEMLASTIS *DEEPEUTECTIC SOLVENTS* (DES)
SEBAGAI KANDIDAT POTENSIAL KEMASAN AKTIF
MAKANAN**

SKRIPSI

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S-1 Program Studi Kimia**



Oleh :

Maulida Septya Febriani

20106030032

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2025**

PENGESAHAN TUGAS AKHIR



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1096/Un.02/DST/PP.00.9/06/2025

Tugas Akhir dengan judul : Pembuatan Film Komposit Kitosan-Asam Tanat dengan Pemlastis Deep Eutectic Solvents (DES) sebagai Kandidat Potensial Kemasan Aktif Makanan

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : MAULIDA SEPTYA FEBRIANI
Nomor Induk Mahasiswa : 20106030032
Telah diujikan pada : Jumat, 07 Maret 2025
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Dr. rer. medic. Esti Wahyu Widowati, M.Si., M. Biotech
SIGNED

Valid ID: 684f83739b39d



Penguji I

Dr. Robertus Wahyu Nayan Nugroho
SIGNED

Valid ID: 684d0f4e723ea



Penguji II

Endaruji Sedyadi, M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 684b9d9b430ea



Yogyakarta, 07 Maret 2025
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 684f8be956ad0

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Maulida Septya Febriani
NIM : 20106030032
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “Pembuatan Film Komposit Kitosan-Asam Tanat dengan Pemplastis *Deep Eutectic Solvents* (DES) sebagai Kandidat Potensial Kemasan Aktif Makanan” merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjana di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 26 Februari 2025




Maulida Septya Febriani
NIM. 20106030032

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UIINSK-04-03-03/RO

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Maulida Septya Febriani
NIM : 20106030032
Judul Skripsi : Pembuatan Film Komposit Kitosan-Asam Tanat dengan Pemlastis Deep

Eutectic Solvents (DES) sebagai Kandidat Potensial Kemasan Aktif Makanan

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Kimia.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunafasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 25 Februari 2025

Pembimbing


Dr. rer. medic. Esti Wahyu Widowati, M.
Biotech

NIP: 197660830 200312 2 001

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

MOTTO

“Maka, sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan.”

(QS. Al-Insyirah:5-6)



HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya tulis ini penulis persembahkan untuk almamater tercinta, Program Studi Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillahirobbil Alamin, puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan nikmat sehat jasmani dan rohani sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Pembuatan Film Komposit Kitosan-Asam Tanat dengan Pemlastis *Deep Eutectic Solvents* (DES) Sebagai Kandidat Potensial Kemasan Aktif Makanan” sebagai syarat untuk mencapai sarjana Program Studi Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih atas segala bantuan, bimbingan, semangat, dan doa yang diberikan oleh berbagai pihak selama proses penelitian dan penyusunan tugas akhir ini. Ucapan terima kasih tersebut secara khusus diberikan kepada:

1. Ibu Dr. Khurul Wardati, M. Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Ibu Prof. Dr. Maya Rahmayanti, S.Si. M.Si. selaku Ketua Program Studi Kimia UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
3. Ibu Dr. rer. medic. Esti Wahyu Widowati, M. Biotech. dan Bapak Ing. Robertus Wahyu Nayan Nugroho S.Si., Ph.D. selaku pembimbing yang telah membantu memberikan masukan dan arahan, serta senantiasa membimbing dalam setiap proses penelitian dan penyusunan tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen Program Studi Kimia UIN Sunan Kalijaga yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat.
5. Seluruh peneliti di Pusat Riset Kimia KST BJ Habibie BRIN, terkhususnya Dr. Hera Desvita S.T., M.T., atas bantuannya selama penulis melakukan penelitian di laboratorium.
6. Kedua orang tua, Bapak Muhammad Syaifudin dan Ibu Istiqomah yang penulis cintai, yang selalu memberikan dukungan dan mendoakan dalam setiap langkah penulis.
7. Sahabat Hilya yang senantiasa memberikan *support* terbaiknya, mendengarkan keluh kesah penulis, serta menemani hingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Teman-teman CWS belakang yang menemani penulis selama penelitian di laboratorium, yang banyak memberikan saran dan masukan, serta menjadi teman diskusi yang baik.
9. Sahabat/i Korp Sapphire yang telah banyak memberikan semangat dan dukungan kepada penulis.
10. Teman-teman Hydroxyl, yang menjadi teman seperjuangan di program studi Kimia.
11. Seventeen, yang lagu-lagunya selalu menemani penulis dalam setiap proses yang dilalui, menjadikan penulis dapat bertahan hingga titik ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga penulis mengharapkan kritik, saran dan masukan untuk menunjang perbaikan kedepannya. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan berkontribusi dalam perkembangan ilmu pengetahuan secara umum.

Aamiin Yaa Rabbal'alamiin.

Wassalamu 'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, Maret 2025

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR.....	iv
MOTTO.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
DAFTAR ARTI SINGKATAN.....	xiv
ABSTRAK.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Batasan Permasalahan.....	4
C. Rumusan Masalah.....	4
D. Tujuan Penelitian.....	5
E. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	6
A. Tinjauan Pustaka.....	6
B. Landasan Teori.....	9
C. Kerangka Berpikir dan Hipotesis.....	30
BAB III METODE PENELITIAN.....	33
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	33
B. Alat-alat Penelitian.....	33
C. Bahan Penelitian.....	33
D. Prosedur Kerja Penelitian.....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	40
A. Film Komposit Kitosan-Asam Tanat.....	40
B. Film Komposit Kitosan-Asam Tanat dengan Pemlastis DES.....	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	77
A. Kesimpulan.....	77
B. Saran.....	78
DAFTAR PUSTAKA.....	79
LAMPIRAN.....	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur kitosan	10
Gambar 2.2 Struktur asam tanat	13
Gambar 2.3 Ilustrasi mekanisme reaksi kitosan-asam tanat	15
Gambar 2.4 Struktur gliserol	18
Gambar 2.5 Struktur kolin klorida	19
Gambar 2.6 Ilustrasi reaksi DES kolin klorida-gliserol	20
Gambar 2.7 Struktur betaine hidroklorida.....	21
Gambar 2.8 Zona inhibisi pertumbuhan bakteri.....	30
Gambar 4.1 Film CS (a) dan CS/TA (b)	40
Gambar 4.2 Spektrum FTIR dari film CS (a) dan film komposit CS/TA (b)	42
Gambar 4.3 Hasil uji ketebalan film CS dan CS/TA menunjukkan bahwa CS/TA memiliki ketebalan lebih besar daripada CS. Pengukuran dilakukan menggunakan mikrometer sekrup dengan 2 kali pengulangan dan standar deviasi 0.....	44
Gambar 4.4 Hasil uji kuat tarik film CS dan CS/TA menunjukkan bahwa CS memiliki kuat tarik yang lebih tinggi. Pengukuran dilakukan menggunakan instrumen UTM dengan 2 kali pengulangan.	46
Gambar 4.5 Hasil uji elongasi film CS dan CS/TA menunjukkan bahwa CS memiliki elongasi yang lebih tinggi. Pengukuran dilakukan menggunakan instrumen UTM dengan 2 kali pengulangan.	47
Gambar 4.6 Hasil uji modulus Young film CS dan CS/TA menunjukkan bahwa CS memiliki modulus Young yang lebih tinggi. Pengukuran dilakukan menggunakan instrumen UTM dengan 2 kali pengulangan.	49
Gambar 4.7 Hasil uji WVTR film CS dan CS/TA menunjukkan penurunan pada CS/TA. Pengukuran dilakukan 1 kali menggunakan WVTR <i>tester</i>	50
Gambar 4.8 DES ChCl-G dan Bet-G.....	54
Gambar 4.9 Film CS/ChCl-G (a), CS/Bet-G (b), CS/TA/ChCl-G (c), dan CS/TA/Bet-G (d).....	55
Gambar 4.10 Spektrum FTIR dari film CS (a); CS/ChCl-G (b); CS/Bet-G (c); CS/TA/ChCl-G (d); dan CS/TA/Bet-G (e).	57
Gambar 4.11 Hasil pengukuran ketebalan film CS, CS/ChCl-G, CS/Bet-G, CS/TA/ChCl-G, dan CS/TA/Bet-G. Pengukuran dilakukan menggunakan mikrometer sekrup dengan 2 kali pengulangan dan standar deviasi 0.....	62
Gambar 4.12 Hasil pengukuran kuat tarik film CS, CS/ChCl-G, CS/Bet-G, CS/TA/ChCl-G, dan CS/TA/Bet-G. Pengukuran dilakukan menggunakan instrumen UTM dengan 2 kali pengulangan.	64
Gambar 4.13 Hasil pengukuran elongasi film CS, CS/ChCl-G, CS/Bet-G, CS/TA/ChCl-G, dan CS/TA/Bet-G. Pengukuran dilakukan menggunakan instrumen UTM dengan 2 kali pengulangan.	66
Gambar 4.14 Hasil pengukuran modulus Young film CS, CS/ChCl-G, CS/Bet-G, CS/TA/ChCl-G, dan CS/TA/Bet-G. Pengukuran dilakukan menggunakan instrumen UTM dengan 2 kali pengulangan.	68

Gambar 4.15 Hasil pengukuran WVTR film CS, CS/ChCl-G, CS/Bet-G, CS/TA/ChCl-G, dan CS/TA/Bet-G. Pengukuran dilakukan 1 kali menggunakan WVTR tester.....	69
Gambar 4.16 Foto zona inhibisi film komposit terhadap bakteri <i>S. aureus</i>	72



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rumus umum DES.....	17
Tabel 3.1 Komposisi Variasi Film Komposit.....	35
Tabel 4.1 Data zona inhibisi film komposit CS/TA terhadap bakteri <i>E. coli</i> dan <i>S. aureus</i>	51
Tabel 4.2 Data luas area peak hasil dekonvolusi pita –OH (3000-3600 cm ⁻¹) pada spektrum FTIR dalam semua variasi film	59
Tabel 4.4 Hasil pengujian aktivitas antibakteri film CS, CS/ChCl-G, CS/Bet-G, CS/TA/ChCl-G, dan CS/TA/Bet-G terhadap bakteri <i>E. coli</i> dan <i>S. aureus</i>	71
Tabel 4.5 Data ketebalan, kuat tarik, elongasi, dan WVTR dari semua variasi film komposit	73
Tabel 4.6 Hasil pengujian aktivitas antibakteri semua variasi film terhadap bakteri <i>E. coli</i> dan <i>S. aureus</i>	75

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Kurva Hasil Dekonvolusi Pita –OH ($3000\text{-}3600\text{ cm}^{-1}$) pada Spektrum FTIR	90
Lampiran 2 Dokumentasi Penelitian	93



DAFTAR ARTI SINGKATAN

Singkatan	Arti dan Keterangan
Bet	Betaine Hidroklorida
ChCl	Kolin Klorida (<i>Choline Chloride</i>)
CS	Kitosan (<i>Chitosan</i>)
CS/Bet-G	Film kitosan dengan DES betaine hidroklorida-gliserol
CS/ChCl-G	Film kitosan dengan DES kolin klorida-gliserol
CS/TA	Film komposit kitosan-asam tanat
CS/TA/Bet-G	Film komposit kitosan-asam tanat dengan DES betaine hidroklorida-gliserol
CS/TA/ChCl-G	Film komposit kitosan-asam tanat dengan DES kolin klorida-gliserol
DES	<i>Deep Eutectic Solvents</i>
FTIR	<i>Fourier Transform Infrared</i>
G	Gliserol
TA	Asam Tanat (<i>Tannic Acid</i>)
WVTR	<i>Water Vapor Transmission Rate</i>

ABSTRAK

Pembuatan Film Komposit Kitosan-Asam Tanat dengan Pemlastis *Deep Eutectic Solvents* (DES) sebagai Kandidat Potensial Kemasan Aktif Makanan

Oleh: Maulida Septya Febriani

Pembimbing 1: Dr. rer. medic. Esti Wahyu Widowati, M. Biotech

Pembimbing 2: Ing. Robertus Wahyu Nayan Nugroho S.Si., Ph.D

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh penambahan asam tanat dan *deep eutectic solvents* (DES) terhadap sifat film berbasis kitosan, dengan fokus pada kesesuaiannya untuk aplikasi kemasan makanan aktif. Film komposit kitosan-asam tanat (CS/TA) disiapkan dengan penambahan DES sebagai pemlastis untuk meningkatkan performa mekanik dan sifat antibakterinya. Dua jenis DES yang digunakan adalah kolin klorida-gliserol (ChCl-G) dan betain hidroklorida-gliserol (Bet-G), masing-masing dengan rasio molar 1:2. Film dikarakterisasi menggunakan spektroskopi *Fourier Transform Infrared* (FTIR), uji sifat mekanik, analisis laju transmisi uap air (WVTR), dan uji aktivitas antibakteri. Hasil FTIR mengonfirmasi terbentuknya ikatan hidrogen pada film komposit, sementara pengujian WVTR menunjukkan peningkatan nilai secara signifikan akibat penambahan DES. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan asam tanat sebagai agen penghubung silang, dikombinasikan dengan DES Bet-G, secara efektif meningkatkan fleksibilitas matriks kitosan tanpa secara signifikan mengurangi kekuatan tariknya. Nilai kekuatan tarik optimum yang diperoleh adalah 19,08 MPa dari sistem CS/TA/Bet-G dengan nilai elongasi sebesar 49,27%. Selain itu, film komposit CS/TA/Bet-G menunjukkan aktivitas antibakteri yang menjanjikan, dengan diameter zona hambat sebesar 7,00 mm terhadap *Staphylococcus aureus* dan 10,33 mm terhadap *Escherichia coli*. Temuan ini menunjukkan bahwa penggabungan asam tanat dan DES, terutama Bet-G, ke dalam film kitosan dapat meningkatkan ketahanan mekanik dan performa antibakteri, sehingga menjadikannya kandidat ramah lingkungan yang potensial untuk aplikasi kemasan pangan aktif.

Kata kunci: Kitosan, asam tanat, *deep eutectic solvents*, film, kemasan aktif makanan.

ABSTRACT

Preparation of Chitosan-Tannic Acid Composite Film Using Deep Eutectic Solvents (DES) Plasticizer as Potential Candidate for Active Food Packaging

By: Maulida Septya Febriani

Supervisor 1: Dr. rer. medic. Esti Wahyu Widowati, M. Biotech

Supervisor 2: Ing. Robertus Wahyu Nayan Nugroho S.Si., Ph.D

*This study aimed to investigate the effect of incorporating tannic acid and deep eutectic solvents (DES) on the properties of chitosan-based films, with a focus on their suitability for active food packaging applications. Chitosan-tannic acid (CS/TA) composite films were prepared with the addition of DES as plasticizers to enhance their mechanical performance and antibacterial properties. Two types of DES were utilized: choline chloride-glycerol (ChCl-G) and betaine hydrochloride-glycerol (Bet-G), each in a 1:2 molar ratio. The films were characterized using Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy, mechanical property testing, water vapor transmission rate (WVTR) analysis, and antibacterial activity assays. FTIR results confirmed the formation of hydrogen bonding in the composite films, while WVTR measurements showed a significant increase in values due to the addition of DES. The results further demonstrated that the inclusion of tannic acid as a crosslinking agent, combined with Bet-G DES, effectively enhanced the flexibility of the chitosan matrix without significantly comprising its tensile strength. The optimum tensile achieved was 19,08 MPa from CS/TA/Bet-G system with elongation at break was 49,27%. Moreover, the CS/TA/Bet-G composite film exhibited promising antibacterial activity, with inhibition zone diameters of 7,00 mm against *Staphylococcus aureus* and 10,33 mm against *Escherichia coli*. These findings indicate that the incorporation of tannic acid and DES, particularly Bet-G, into chitosan films improves both mechanical robustness and antibacterial performance, making them a viable, eco-friendly candidate for active food packaging applications.*

Keywords: Chitosan, tannic acid, deep eutectic solvents, film, active food packaging.

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kemasan makanan berperan penting dalam menjaga kualitas pangan dengan melindungi dari kerusakan fisik, kontaminasi mikroorganisme, dan bahan kimia (Marsh & Bugusu, 2007; Priyadarshi & Rhim, 2020). Namun, industri kemasan saat ini masih menghadapi tantangan dalam mengatasi limbah kemasan yang sulit terurai, seperti *polypropylene*, *polyethylene*, dan *polystyrene*. Selain itu, kemasan komersial memiliki keterbatasan dalam mencegah pertumbuhan mikroorganisme, sehingga tidak dapat mempertahankan umur simpan makanan secara optimal (Halim dkk., 2018; Wen dkk., 2021). Oleh karena itu, diperlukan pengembangan kemasan makanan yang lebih ramah lingkungan.

Berbagai pendekatan untuk mengatasi permasalahan tersebut telah dikembangkan, salah satunya pengembangan kemasan yang ramah lingkungan, biodegradabel, dan inovasi kemasan aktif makanan guna mempertahankan kualitas makanan secara efisien (Wen dkk., 2021). Kemasan aktif makanan dalam bentuk film menjadi salah satu solusi yang saat ini banyak dikembangkan. Film kemasan aktif merupakan lapisan tipis yang ditambahkan komponen/zat aktif dengan tujuan meningkatkan masa simpan dan mempertahankan kualitas pangan (Yildirim dkk., 2018). Namun, pengembangan kemasan aktif makanan masih terdapat kendala, seperti efektivitasnya dalam menghambat pertumbuhan bakteri dan kestabilan zat aktif yang ditambahkan ke dalam polimer.

Salah satu bahan yang menjadi kandidat ideal untuk bahan film kemasan aktif makanan adalah kitosan. Kitosan termasuk polimer alami yang merupakan turunan dari kitin dan pada umumnya diperoleh dari eksoskeleton krustasea. Kitosan terbentuk dari mekanisme deasetilasi dari gugus asetil yang terkonversi menjadi gugus amina. Sama halnya dengan polimer lainnya, kitosan juga memiliki sifat khas biopolimer seperti sifat kationik, biodegradabel, biokompatibel, tingkat toksisitas yang rendah, dan sifat mukoadhesif. Kitosan juga diketahui memiliki sifat antimikroba terhadap berbagai jenis mikroorganisme (Bernabé dkk., 2020; Shagdarova dkk., 2021). Kitosan sebagai biopolimer diketahui dapat membentuk film dan memiliki permeabilitas selektif terhadap CO₂ dan O₂ yang pada penerapannya dapat digunakan pada kemasan makanan untuk mempertahankan kualitas pangan dan meningkatkan umur simpan (Ayyubi dkk., 2021). Meskipun begitu, pada beberapa penelitian dilaporkan bahwa film dari kitosan murni memiliki kekurangan dalam sifat mekanik serta menunjukkan karakteristik penghalang uap air yang relatif rendah (Xu dkk., 2005).

Peningkatan sifat mekanis film berbasis kitosan telah dieksplorasi oleh para peneliti melalui penggabungan bahan lain sebagai *crosslinker*. Asam tanat pada penelitian ini ditambahkan sebagai *crosslinker* untuk meningkatkan sifat dari film kitosan. Asam tanat merupakan senyawa polifenolik lemah yang dapat ditemukan dalam berbagai tanaman. Asam tanat terdiri dari unit galat yang terikat pada inti glukosa dan memiliki gugus hidroksil fenolik aktif. Gugus ini memungkinkan asam tanat berinteraksi dengan substrat melalui ikatan hidrogen, ionik, dan π - π . Ikatan hidrogen asam tanat dengan kitosan dapat membentuk ikatan silang yang kuat dan

stabil, sehingga meningkatkan sifat mekanik kitosan. Penambahan asam tanat ke dalam kitosan membentuk sebuah film komposit, yaitu film yang terbentuk dari dua komponen atau lebih (Chen dkk., 2022; Lee dkk., 2023). Penelitian yang dilakukan oleh Lee dkk. (2023) menunjukkan bahwa penambahan asam tanat pada film kitosan dapat meningkatkan kuat tarik film, akan tetapi menurunkan nilai elongasi. Untuk mengatasinya, digunakan bahan aditif untuk meningkatkan fleksibilitas film, yaitu pemlastis. Pemlastis yang digunakan pada penelitian ini adalah *deep eutectic solvent* (DES), yang terdiri dari kolin klorida-gliserol dan betaine hidroklorida-gliserol.

Penelitian yang dilakukan oleh Rolińska dkk. (2024) menunjukkan bahwa film kitosan dengan pemlastis DES dapat mencapai kekuatan tarik hingga 26 MPa dan peregangan hingga 210%. Film ini juga efektif mencegah penurunan berat tomat ceri dan pertumbuhan jamur pada roti, dengan hasil terbaik pada DES kolin klorida-asam sitrat. Akan tetapi, DES kolin klorida-gliserol tidak dibahas lebih lanjut karena film yang dihasilkan keruh dan terjadi pengendapan substrat. Wan dkk. (2024) menghasilkan film gelatin dengan pemlastis DES kolin klorida-gliserol dan betaine hidroklorida-gliserol, masing-masing dengan rasio molar 1:2, yang transparan, permukaan yang lebih halus, dan elongasi yang lebih baik dibandingkan film gelatin biasa. Akan tetapi, pada penelitian tersebut menggunakan gelatin sebagai matriks polimer, sedangkan dalam penelitian ini digunakan kitosan sebagai bahan utama pembentuk film.

Berdasarkan latar belakang masalah di atas maka penelitian tentang pembuatan film komposit kitosan-asam tanat dengan pemlastis *deep eutectic solvents* (DES) sebagai kandidat potensial kemasan aktif makanan perlu dilakukan.

B. Batasan Permasalahan

Agar penelitian ini dapat berjalan sesuai dengan yang diinginkan dan tidak terjadi penyimpangan, maka diperlukan batasan masalah penelitian. Adapun batasan permasalahannya, yaitu:

1. Kitosan yang digunakan adalah serbuk kitosan komersial dengan derajat deasetilasi $\geq 75\%$, dan *medium molecular weight*.
2. Konsentrasi kitosan yang digunakan adalah 1% b/v, sedangkan konsentrasi asam tanat yang digunakan adalah 1% b/v.
3. Jenis DES yang digunakan adalah kolin klorida-gliserol dan betaine hidroklorida-gliserol dengan masing-masing perbandingan molar 1:2.
4. Karakteristik film meliputi sifat mekanik, WVTR, dan sifat antibakteri.
5. Pengujian sifat mekanik meliputi pengukuran *tensile strength*, elongasi, dan modulus Young.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang maka diperoleh rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan asam tanat terhadap film kitosan?
2. Bagaimana karakteristik film komposit kitosan-asam tanat dengan pemlastis DES sebagai kemasan aktif makanan?

D. Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mempelajari pengaruh penambahan asam tanat terhadap film kitosan.
2. Menganalisis karakteristik film komposit kitosan-asam tanat dengan pmlastis DES dan potensinya sebagai kemasan aktif makanan.

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang didapatkan dari penelitian ini adalah:

1. Menjadi referensi dan literatur untuk penelitian yang akan datang, serta menambah pengetahuan terkait kemasan aktif makanan dari bahan biodegradabel dan ramah lingkungan.
2. Mengembangkan penelitian terkait pembuatan film kemasan aktif makanan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan dari kitosan-asam tanat dengan pmlastis DES.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan asam tanat pada film kitosan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap sifat mekanik dari film kitosan, namun menurunkan *water vapor transmission rate* (WVTR) dan aktivitas antibakteri. Film komposit CS/TA memiliki ketebalan 0,04 mm, kuat tarik 80,44 MPa, elongasi 3,66%, modulus Young 22,07 MPa, WVTR 1432,06 g/(m².24h), zona inhibisi terhadap *E. coli* 9,00 mm dan terhadap *S. aureus* sebesar 6,00 mm.
2. Penambahan *deep eutectic solvents* (DES) pada film komposit kitosan-asam tanat secara signifikan mempengaruhi sifat mekanik film, nilai WVTR, dan aktivitas antibakteri. Film komposit kitosan-asam tanat dengan pemlastis DES menunjukkan karakteristik yang memenuhi standar kelayakan untuk aplikasi kemasan aktif makanan dengan variasi optimum yaitu CS/TA/Bet-G. Film komposit CS/TA/Bet-G memiliki ketebalan 0,05 mm, kuat tarik 19,08 MPa, elongasi 49,27%, modulus Young 0,38 MPa, WVTR 2026,87 g/(m².24h), zona inhibisi terhadap *E. coli* 10,33 mm dan terhadap *S. aureus* sebesar 7,00 mm.

B. Saran

Penelitian yang telah dilakukan ini tentunya masih terdapat kekurangan, berikut ini saran untuk penelitian selanjutnya, antara lain:

1. Eksplorasi jenis DES dan variasi konsentrasi yang berbeda diperlukan untuk dapat mengoptimalkan sifat film yang dihasilkan.
2. Perlu dilakukan pengujian lanjutan dengan instrumen lain untuk lebih memahami proses reaksi yang terjadi di dalam film. Seperti *X-ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui perubahan struktur kristalin, *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk mengamati morfologi permukaan film, dan *Thermogravimetric Analysis* (TGA) untuk mengevaluasi kestabilan termal.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbott, A. P., Al-Barzinjy, A. A., Abbott, P. D., Frisch, G., Harris, R. C., Hartley, J., & Ryder, K. S. 2014. Speciation, physical and electrolytic properties of eutectic mixtures based on $\text{CrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and urea. *Physical Chemistry Chemical Physics*. 16. 19. 9047.
- Abbott, A. P., Boothby, D., Capper, G., Davies, D. L., & Rasheed, R. K. 2004. Deep Eutectic Solvents Formed between Choline Chloride and Carboxylic Acids: Versatile Alternatives to Ionic Liquids. *Journal of the American Chemical Society*. 126. 29. 9142–9147.
- Abranches, D. O., Martins, M. A. R., Silva, L. P., Schaeffer, N., Pinho, S. P., & Coutinho, J. A. P. 2019. Phenolic hydrogen bond donors in the formation of non-ionic deep eutectic solvents: The quest for type V DES. *Chemical Communications*. 55. 69. 10253–10256.
- Aelenei, N., Popa, M. I., Novac, O., Lisa, G., & Balaita, L. 2009. Tannic acid incorporation in chitosan-based microparticles and in vitro controlled release. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. 20. 5. 1095–1102.
- Akilie, M. S. 2024. Tren Kemasan Edible Sebagai Kemasan Pangan Terkini Dan Masa Depan: The Tren Of Edible Film As Food Packaging For The Present And Future. *Jurnal : Agricultural Review*. 3. 1. 49–60.
- AlOmar, M. K., Hayyan, M., Alsaadi, M. A., Akib, S., Hayyan, A., & Hashim, M. A. 2016. Glycerol-based deep eutectic solvents: Physical properties. *Journal of Molecular Liquids*. 215. 98–103.
- Ambaye, T. G., Vaccari, M., Prasad, S., Van Hullebusch, E. D., & Rtimi, S. (2022). Preparation and applications of chitosan and cellulose composite materials. *Journal of Environmental Management*. 301. 113850.
- Anandito, R. B. K., Nurhartadi, E., & Bukhori, A. 2012. Pengaruh Gliserol Terhadap Karakteristik Edible Film Berbahan Dasar Tepung Jali (*Coix lacryma-jobi L.*). *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*. 2. 5. 17-23.
- Ankita, & Nain, A. K. 2020. Study of solvation behaviour and interactions of drug betaine hydrochloride in aqueous-D-xylose/L-arabinose solutions at different temperatures by using volumetric, acoustic and viscometric methods. *The Journal of Chemical Thermodynamics*. 143. 106046.
- Ariyani, D., Hilma, N. K., Utami, U. B. L., Santoso, U. T., & Mujiyanti, D. R. 2023. Study Effect of Chitosan-Epichlorohydrin Macropore Beads on Decreasing the Value of Total Dissolved Solid (TDS) and Dyes in Sasirangan Liquid Waste Treatment. *Indo. J. Chem. Res.* 11. 1. 65–71.

- Ayyubi, S. N., Kusmiyati, K., Purbasari, A., & Pratiwi, W. Z. 2021. Review: Aplikasi Material Komposit Berbasis Kitosan sebagai Bahan Kemasan Makanan. *TEKNIK*. 42. 3. 335–352.
- Barik, M., BhagyaRaj, G. V. S., Dash, K. K., & Shams, R. 2024. A thorough evaluation of chitosan-based packaging film and coating for food product shelf-life extension. *Journal of Agriculture and Food Research*. 16. 101164.
- Bernabé, P., Becherán, L., Cabrera-Barjas, G., Nesic, A., Alburquenque, C., Tapia, C. V., Taboada, E., Alderete, J., & De Los Ríos, P. 2020. Chilean crab (*Aegla chilchol*) as a new source of chitin and chitosan with antifungal properties against *Candida* spp. *International Journal of Biological Macromolecules*. 149. 962–975.
- Bhatia, S., Al-Harrasi, A., Ullah, S., Al-Azri, M. S., Bekhit, A. E.-D. A., Karam, L., Albratty, M., Aldawsari, M. F., & Anwer, Md. K. 2023. Combined Effect of Drying Temperature and Varied Gelatin Concentration on Physicochemical and Antioxidant Properties of Ginger Oil Incorporated Chitosan Based Edible Films. *Foods*. 12. 2. 364.
- Božič, M., Gorgieva, S., & Kokol, V. 2012. Homogeneous and heterogeneous methods for laccase-mediated functionalization of chitosan by tannic acid and quercetin. *Carbohydrate Polymers*. 89. 3. 854–864.
- Branca, C., D'Angelo, G., Crupi, C., Khouzami, K., Rifici, S., Ruello, G., & Wanderlingh, U. 2016. Role of the OH and NH vibrational groups in polysaccharide-nanocomposite interactions: A FTIR-ATR study on chitosan and chitosan/clay films. *Polymer*. 99. 614–622.
- Buntinx, M., Willems, G., Knockaert, G., Adons, D., Yperman, J., Carleer, R., & Peeters, R. 2014. Evaluation of the Thickness and Oxygen Transmission Rate before and after Thermoforming Mono- and Multi-layer Sheets into Trays with Variable Depth. *Polymers*. 6. 12. 3019–3043.
- Chai, K., Lu, X., Zhou, Y., Liu, H., Wang, G., Jing, Z., Zhu, F., & Han, L. 2022. Hydrogen bonds in aqueous choline chloride solutions by DFT calculations and X-ray scattering. *Journal of Molecular Liquids*. 362. 119742.
- Chen, C., Yang, H., Yang, X., & Ma, Q. 2022. Tannic acid: A crosslinker leading to versatile functional polymeric networks: a review. *RSC Advances*. 12. 13. 7689–7711.
- Cho, Y. I., No, H. K., & Meyers, S. P. 1998. Physicochemical Characteristics and Functional Properties of Various Commercial Chitin and Chitosan Products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46. 9. 3839–3843.

- Damayanti, W., Rochima, E., & Hasan, Z. 2016. Aplikasi Kitosan Sebagai Antibakteri Pada Filet Patin Selama Penyimpanan Suhu Rendah. *JPHPI*. 3. 19. 321-328.
- Demirbas, U. 2019. Cr:Colquiriite Lasers: Current status and challenges for further progress. *Progress in Quantum Electronics*. 68. 100227.
- Dhumal, C. V., & Sarkar, P. 2018. Composite edible films and coatings from food-grade biopolymers. *Journal of Food Science and Technology*. 55. 11. 4369–4383.
- Dwi Masahid, A., Aniza Aprillia, N., Witono, Y., & Azkiyah, L. 2023. Karakteristik Fisik dan Mekanik Plastik Biodegradable Berbasis Pati Singkong dengan Penambahan Whey Keju dan Plastisiser Gliserol. *Jurnal Teknologi Pertanian*. 24. 1. 23–34.
- Dwidjoseputro, P. D. D. 1988. *Pengantar Fisiologi Tumbuhan*. Jakarta: PT. Gramedia.
- El Ghaouth, A., Arul, J., Asselin, A., & Benhamou, N. 1992. Antifungal activity of chitosan on post-harvest pathogens: Induction of morphological and cytological alterations in *Rhizopus stolonifer*. *Mycological Research*. 96. 9. 769–779.
- Etikasari, R., Murharyanti, R., & Wiguna, A. S. 2023. Evaluasi Pigmen Karotenoid Karang Lunak *Sarcophyton Sp.* Sebagai Agen Antibakteri Potensial Masa Depan. *Indonesia Jurnal Farmasi*. 2. 1. 60.
- Fahrullah, F., Kisworo, D., Bulkaini, B., Yulianto, W., Wulandani, B. R. D., Haryanto, H., Azhary Noersidiq, Maslami, V., Ulkiyah, K., Kartika, K., & Rahmawati, L. 2024. Optimization of the Thickness, Water Vapour Transmission Rate and Morphology of Protein-Based Films Incorporating Glycerol and Polyethylene Glycol Plasticizers. *Jurnal Ilmu-Ilmu Peternakan*. 34. 1. 11–20.
- Faisal, M., Djuned, F. M., Abubakar, Y., & Desvita, H. 2024. Chikuwa preservation by edible coating from a combination of young coconut shell liquid smoke and chitosan. *South African Journal of Chemical Engineering*. 50. 135–142.
- Fan, H., Wang, L., Feng, X., Bu, Y., Wu, D., & Jin, Z. 2017. Supramolecular Hydrogel Formation Based on Tannic Acid. *Macromolecules*. 50. 2. 666–676.
- Ferreira, E. S. C., Voroshyllova, I. V., & Cordeiro, M. N. D. S. 2024. Probing the interface of choline chloride-based deep eutectic solvent ethaline with gold surfaces: A molecular dynamics simulation study. *Surfaces and Interfaces*, 46. 104051.

- Gaioto, R. C., Dias, M. C. G. C., Ndiaye, P. M., Igarashi-Mafra, L., & Mafra, M. R. 2023. Choline chloride aqueous solution: A thermophysical study. *Fluid Phase Equilibria*. 574. 113903.
- Galvis-Sánchez, A. C., Castro, M. C. R., Biernacki, K., Gonçalves, M. P., & Souza, H. K. S. 2018. Natural deep eutectic solvents as green plasticizers for chitosan thermoplastic production with controlled/desired mechanical and barrier properties. *Food Hydrocolloids*. 82. 478–489.
- Halim, A. L. A., Kamari, A., & Phillip, E. 2018. Chitosan, gelatin and methylcellulose films incorporated with tannic acid for food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*. 120. 1119–1126.
- Hamel, A., Sacco, M., Mnasri, N., Lamaty, F., Martinez, J., De Angelis, F., Colacino, E., & Charnay, C. 2014. Micelles into Glycerol Solvent: Overcoming Side Reactions of Glycerol. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 2. 6. 1353–1358.
- Hayyan, M., Hashim, M. A., Hayyan, A., Al-Saadi, M. A., AlNashef, I. M., Mirghani, M. E. S., & Saheed, O. K. 2013. Are deep eutectic solvents benign or toxic? *Chemosphere*. 90. 7. 2193–2195
- Huri, D., & Nisa, F. C. 2014. Pengaruh Konsentrasi Gliserol dan Ekstrak Ampas Kulit Apel Terhadap Karakteristik Fisik dan Kimia Edible Film. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*. 4. 2. 29–40.
- Islam, S., Bhuiyan, M. A. R., & Islam, M. N. 2017. Chitin and Chitosan: Structure, Properties and Applications in Biomedical Engineering. *Journal of Polymers and the Environment*. 25. 3. 854–866.
- Jakubowska, E., Gierszewska, M., Nowaczyk, J., & Olewnik-Kruszkowska, E. 2020. Physicochemical and storage properties of chitosan-based films plasticized with deep eutectic solvent. *Food Hydrocolloids*. 108. 106007.
- Jangir, A. K., Bhawna, Verma, G., Pandey, S., & Kuperkar, K. 2022. Design and thermophysical characterization of betaine hydrochloride-based deep eutectic solvents as a new platform for CO₂ capture. *New Journal of Chemistry*. 46. 11. 5332–5345.
- Kaczmarek, B. (2020). Tannic Acid with Antiviral and Antibacterial Activity as A Promising Component of Biomaterials—A Minireview. *Materials*. 13. 14. 3224.
- Konijnenberg, A., Butterer, A., & Sobott, F. 2013. Native ion mobility-mass spectrometry and related methods in structural biology. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Proteins and Proteomics*. 1834. 6. 1239–1256.

- Krochta, J., & Mulder-Johnston, C. D. 1997. Edible and biodegradable polymer films: Challenges and opportunities. *Food Technol.* 2. 51. 61-74.
- Kusumawati, D. H., Putri, W. D. R., Veteran, J., & Korespondensi, P. 2013. Karakteristik Fisik dan Kimia Edible Film Pati Jagung yang Diinkorporasi Dengan Perasan Temu Hitam. *Jurnal Pangan dan Agroindustri.* 1. 1. 90-100.
- Lee, S. J., Gwak, M. A., Chathuranga, K., Lee, J. S., Koo, J., & Park, W. H. 2023. Multifunctional chitosan/tannic acid composite films with improved anti-UV, antioxidant, and antimicrobial properties for active food packaging. *Food Hydrocolloids.* 136. 108249.
- Liu, C., Yu, J., Hu, J., Xu, J., Yu, A., Liu, T., Wang, Z., Luo, X., Deng, C., Luo, F., He, J., & Zeng, G. 2024. Ultra-low viscosity betaine hydrochloride-formic acid deep eutectic solvent for leaching critical metals from spent NCM lithium-ion batteries. *Journal of Environmental Chemical Engineering.* 12. 3. 112586.
- Liu, Y., Liu, R., Shi, J., Zhang, R., Tang, H., Xie, C., Wang, F., Han, J., & Jiang, L. (2023). Chitosan/esterified chitin nanofibers nanocomposite films incorporated with rose essential oil: Structure, physicochemical characterization, antioxidant and antibacterial properties. *Food Chemistry.* 10. 18, 100714.
- Mandasari, A., Safitri, M. F., Perangin-angin, E. R., Sunarwati, D., Safitri, W. D., & Nasution, H. I. 2018. Karakterisasi Uji Kekuatan Tarik (Tensile Strength) Film Plastik Biodegradable dari Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Penguat Zink Oksida dan Gliserol. *EINSTEIN e-JOURNAL.* 5. 2.
- Marsh, K., & Bugusu, B. 2007. Food Packaging—Roles, Materials, and Environmental Issues. *Journal of Food Science.* 3. 72. 39-55.
- Mattsson, K., Jovic, S., De Lima, J. A., Hansson, L.-A., & Gondikas, A. 2018. *Nanoplastics in aquatic environments—Sources, sampling techniques, and identification methods.* Zeng, Eddy Y. *Microplastic Contamination in Aquatic Environments.* Amsterdam: Elsevier. 381–397.
- Mayenti, Y. P., Hardeli, H., Sanjaya, H., & Etika, S. B. 2021. Pengaruh Agen Pengikat Silang dan Waktu Polimerisasi Poli Asam Tanat pada Efisiensi Dye Sensitized Solar Cell (DSSC). *Jurnal Periodic Jurusan Kimia UNP.* 2. 10. 7.
- McHUGH, T. H., Avena-Bustillos, R., & Krochta, J. M. 1993. Hydrophilic Edible Films: Modified Procedure for Water Vapor Permeability and Explanation of Thickness Effects. *Journal of Food Science.* 58. 4. 899–903.
- Mirzaei-Mohkam, A., Garavand, F., Dehnad, D., Keramat, J., & Nasirpour, A. 2020. Physical, mechanical, thermal and structural characteristics of

- nanoencapsulated vitamin E loaded carboxymethyl cellulose films. *Progress in Organic Coatings*. 138. 105383.
- Nur Hanani, Z. A., Sonawane, A. D., & Mahajan, P. V. 2023. Impact of humidity, temperature and condensation on O₂ and CO₂ transmission rate of modified atmosphere packages. *Food Packaging and Shelf Life*. 39. 101132.
- Nurhayati, L. S., Yahdiyani, N., & Hidayatulloh, A. 2020. Perbandingan Pengujian Aktivitas Antibakteri Starter Yogurt dengan Metode Difusi Sumuran dan Metode Difusi Cakram. *Jurnal Teknologi Hasil Peternakan*. 1. 2. 41.
- Paju, N., & Yamlean, P. V. Y. 2013. Uji Efektivitas Salep Ekstrak Daun Binahong (*Anredera cordifolia* (Ten.) Steenis) pada Kelinci (*Oryctolagus cuniculus*) yang Terinfeksi Bakteri *Staphylococcus aureus*. *Jurnal Ilmiah Farmasi*. 1. 2. 51-61.
- Pelczar, M. J., & Chan, E.C.S. 2008. *Dasar-dasar Mikrobiologi*. Diterjemahkan oleh: Hadioetomo, S. R, Imas, T., Tjitrosomo, S. S., Angka, S. L. Jakarta: UI Press.
- Popescu, C.-M., Popescu, M.-C., Singurel, G., Vasile, C., Argyropoulos, D. S., & Willfor, S. (2007). Spectral Characterization of Eucalyptus Wood. *Applied Spectroscopy*. 61. 11. 1168–1177.
- Priyadarshi, R., & Rhim, J.-W. 2020. Chitosan-based biodegradable functional films for food packaging applications. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 62. 102346.
- Purwanti, A. (2010). Analisis Kuat Tarik dan Elongasi Plastik Kitosan Terplastisasi Sorbitol. *Jurnal Teknologi*. 3. 2. 99-106.
- Rahmalia, W., Shofiyani, A., Sutiknyawati, Y., & Septiani, S. 2022. Simple Green Routes for Metal-Bixin Complexes Synthesis Using Glycerol-Based Deep Eutectic Solvent. *Indonesian Journal of Chemistry*. 22. 6. 1759.
- Rahmawati, P. A., Dewi, D. M. A., & Hanif, M. L. F. 2024. Pemanfaatan Edible Film dan Edible Coating Sebagai Eco Friendly Packaging Pengganti Kemasan Sintetis. *Jurnal Agrifoodtech*. 1. 3. 9–21.
- Ramadhani, P. D., Supriyadi, S., Hendrasty, H. K., Laksana, E. M. B., & Santoso, U. 2023. Karakteristik Edible Film Aktif Berbasis Kitosan dengan Penambahan Ekstrak Daun Jati. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*. 1. 34. 1–12.
- Rinaudo, M. 2006. Chitin and chitosan: Properties and applications. *Progress in Polymer Science*. 31. 7. 603–632.

- Rokhati, N., Pramudono, B., Widiasta, N., & Susanto, H. 2012. Karakterisasi Film Komposit Alginat dan Kitosan. *Reaktor*. 14. 2. 158.
- Rolińska, K., Jakubowska, E., Żmieńko, M., & Łęczycka-Wilk, K. 2024. Choline chloride-based deep eutectic solvents as plasticizer and active agent in chitosan films. *Food Chemistry*. 444. 138375.
- Rudyardjo, D. I. 2014. Pengaruh Penambahan Plasticier Gliserol Terhadap Karakteristik Hidrogel Kitosan-Glutaraldehid Untuk Aplikasi Penutup Luka. *JURNAL ILMIAH SAINS*. 1. 14. 18.
- Rusli, A., Metusalach, M., & Tahir, M. M. 2017. Characterization of Carrageenan Edible films Plasticized with Glycerol. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*. 20. 2. 219.
- Sahrin, N. T., Nawaz, R., Fai Kait, C., Lee, S. L., & Wirzal, M. D. H. 2020. Visible Light Photodegradation of Formaldehyde over TiO₂ Nanotubes Synthesized via Electrochemical Anodization of Titanium Foil. *Nanomaterials*. 10. 1. 128.
- Sajjadur Rahman, M., Kyeremateng, J., Saha, M., Asare, S., Uddin, N., Halim, M. A., & Raynie, D. E. 2022. Evaluation of the experimental and computed properties of choline chloride-water formulated deep eutectic solvents. *Journal of Molecular Liquids*. 350. 118520.
- Setiani, W., Sudiarti, T., & Rahmidar, L. 2013. Preparasi dan Karakterisasi Edible Film dari Poliblend Pati Sukun-Kitosan. *VALENSI*. 2. 3. 100-109.
- Shagdarova, B., Konovalova, M., Zhuikova, Y., Lunkov, A., Zhuikov, V., Khaydapova, D., Il'ina, A., Svirshchevskaya, E., & Varlamov, V. 2021. Collagen/Chitosan Gels Cross-Linked with Genipin for Wound Healing in Mice with Induced Diabetes. *Materials*. 15. 1. 15.
- Shah, A. A., Hasan, F., Hameed, A., & Ahmed, S. 2008. Biological degradation of plastics: A comprehensive review. *Biotechnology Advances*. 26. 3. 246–265.
- Shahidi, F., & Abuzaytoun, R. 2005. *Chitin, Chitosan, and Co-Products: Chemistry, Production, Applications, and Health Effects*. Taylor, S. *Advances in Food and Nutrition Research*. Vol. 49. Amsterdam: Elsevier. 93–135.
- Sharma, R., & Dhamodharan, R. 2024. Tannic acid crosslinked chitosan-guar gum composite films for packaging application. *International Journal of Biological Macromolecules*. 260. 129317.
- Shekaari, H., Zafarani-Moattar, M. T., & Mohammadi, B. 2020. Thermophysical properties of choline chloride/urea deep eutectic solvent in aqueous solution at infinite dilution at T = 293.15–323.15 K. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 139. 6. 3603–3612.

- Shutava, T., Prouty, M., Kommireddy, D., & Lvov, Y. 2005. pH Responsive Decomposable Layer-by-Layer Nanofilms and Capsules on the Basis of Tannic Acid. *Macromolecules*. 38. 7. 2850–2858.
- Šimkovic, I. 2013. Unexplored possibilities of all-polysaccharide composites. *Carbohydrate Polymers*. 95. 2. 697–715.
- Sirviö, J. A., Kantola, A. M., Komulainen, S., & Filonenko, S. 2021. Aqueous Modification of Chitosan with Itaconic Acid to Produce Strong Oxygen Barrier Film. *Biomacromolecules*. 22. 5. 2119–2128.
- Smith, E. L., Abbott, A. P., & Ryder, K. S. 2014. Deep Eutectic Solvents (DESs) and Their Applications. *Chemical Reviews*. 114. 21. 11060–11082.
- Stefanowska, K., Bucher, M., Reichert, C. L., Sip, A., Woźniak, M., Schmid, M., Dobrucka, R., & Ratajczak, I. 2024. Chitosan-based films with nanocellulose and propolis as active packaging materials. *Industrial Crops and Products*. 219. 119112.
- Suliwarno, A. 2014. Karakterisasi Sifat Fisik dan Mekanik Hidrogel Metilselulosa Hasil Sintesis Menggunakan Iradiasi Berkas Elektron. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*. 10. 1. 45–54.
- Supeni, G., & Irawan, S. 2014. Pengaruh Penggunaan Kitosan Terhadap Sifat Barrier Edible Film Tapioka Termodifikasi. *Jurnal Kimia dan Kemasan*. 34. 1. 199.
- Suyatma, N. E., Tighzert, L., Copinet, A., & Coma, V. 2005. Effects of Hydrophilic Plasticizers on Mechanical, Thermal, and Surface Properties of Chitosan Films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53. 10. 3950–3957.
- Szafran, M., Koput, J., Baran, J., & Głowiak, T. 1997. Structure and vibrational spectra of pyridine betaine hydrochloride. *Journal of Molecular Structure*. 436–437. 123–142.
- Tardy, B. L., Mattos, B. D., Otoni, C. G., Beaumont, M., Majoinen, J., Kämäräinen, T., & Rojas, O. J. 2021. Deconstruction and Reassembly of Renewable Polymers and Biocolloids into Next Generation Structured Materials. *Chemical Reviews*. 121. 22. 14088–14188.
- Tavassoli-Kafrani, E., Shekarchizadeh, H., & Masoudpour-Behabadi, M. 2016. Development of edible films and coatings from alginates and carrageenans. *Carbohydrate Polymers*. 137. 360–374.
- Triastiningrum, C. D., & Purnomo, A. 2017. Perbandingan Kemampuan Kitosan dari Limbah Kulit Udang dengan Aluminium Sulfat untuk Menurunkan Kekeruhan Air dari Outlet Bak Prasedimentasi IPAM Ngagel II. *Jurnal Teknik ITS*. 2. 5. 272–278.

- Turner, A. H., & Holbrey, J. D. 2019. Investigation of glycerol hydrogen-bonding networks in choline chloride/glycerol eutectic-forming liquids using neutron diffraction. *Physical Chemistry Chemical Physics*. 21. 39. 21782–21789.
- Ulyarti, U., Nursela, S., & Rahmayani, I. 2024. Peningkatan Kualitas Edible Film Menggunakan Pati Uwi (*Dioscorea Alata L.*) Hasil Modifikasi. *Jurnal Teknologi Pangan*. 1. 7. 12–19.
- Ünlü, A., Arıkaya, A., & Takaç, S. 2019. Use of deep eutectic solvents as catalyst: A mini-review. *Special Matrices*. 8. 1. 355–372.
- Vieira, M. G. A., Da Silva, M. A., Dos Santos, L. O., & Beppu, M. M. 2011. Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. *European Polymer Journal*. 47. 3. 254–263.
- Wan, H., Zhu, Z., & Sun, D.-W. 2024. Deep eutectic solvents (DESS) films based on gelatin as active packaging for moisture regulation in fruit preservation. *Food Chemistry*. 439. 138114.
- Wardejn, S., Waclawek, S., & Dudek, G. 2024. Improving Antimicrobial Properties of Biopolymer-Based Films in Food Packaging: Key Factors and Their Impact. *International Journal of Molecular Sciences*. 25. 23. 12580.
- Warkoyo, W., Taufani, A. D. A., & Anggriani, R. 2021. Karakteristik Edible Film Berbasis Gel Buah Okra (*Abelmoschus esculentus L.*) dengan Penambahan CMC (Carboxy Methyl Cellulose) dan Gliserol. *Agrointek : Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 15. 3. 704–714.
- Wati, G. A. S. W. T., Suriati, L., & Semariyani, A. A. M. 2023. Karakteristik Fisiko Kimia Edible Film Pulp Kopi dengan Penambahan Kitosan. *Cannarium*. 2. 21. 63–73.
- Wekwejt, M., Małek, M., Ronowska, A., Michno, A., Pałubicka, A., Zasada, L., Klimek, A., & Kaczmarek-Szczepańska, B. 2024. Hyaluronic acid/tannic acid films for wound healing application. *International Journal of Biological Macromolecules*. 254. 128101.
- Wen, L., Liang, Y., Lin, Z., Xie, D., Zheng, Z., Xu, C., & Lin, B. 2021. Design of multifunctional food packaging films based on carboxymethyl chitosan/polyvinyl alcohol crosslinked network by using citric acid as crosslinker. *Polymer*. 230. 124048.
- Wernke, M. J. 2014. *Glycerol*. Wexler, P. *Encyclopedia of Toxicology*. Amsterdam: Elsevier. 754–756.

- Winarti, C., Miskiyah, & Widaningrum. 2012. Teknologi Produksi dan Aplikasi Pengemas Edible Antimikroba Berbasis Pati. *J. Litbang Pert.* 3. 31. 85-93.
- Xie, F., Gao, C., & Avérous, L. 2024. Alginate-based materials: Enhancing properties through multiphase formulation design and processing innovation. *Materials Science and Engineering: R: Reports.* 159. 100799.
- Xu, Y. X., Kim, K. M., Hanna, M. A., & Nag, D. 2005. Chitosan–starch composite film: Preparation and characterization. *Industrial Crops and Products.* 2. 21. 185–192.
- Yan, W., Shi, M., Dong, C., Liu, L., & Gao, C. 2020. Applications of tannic acid in membrane technologies: A review. *Advances in Colloid and Interface Science.* 284. 102267.
- Yang, J., Li, M., Wang, Y., Wu, H., Zhen, T., Xiong, L., & Sun, Q. 2019. Double Cross-Linked Chitosan Composite Films Developed with Oxidized Tannic Acid and Ferric Ions Exhibit High Strength and Excellent Water Resistance. *Biomacromolecules.* 20. 2. 801–812.
- Yeo, Y. H., Chathuranga, K., Lee, J. S., Koo, J., & Park, W. H. 2022. Multifunctional and thermoresponsive methylcellulose composite hydrogels with photothermal effect. *Carbohydrate Polymers.* 277. 118834.
- Yildirim, S., Röcker, B., Pettersen, M. K., Nilsen-Nygaard, J., Ayhan, Z., Rutkaite, R., Radusin, T., Suminska, P., Marcos, B., & Coma, V. 2018. Active Packaging Applications for Food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety.* 1. 17. 165–199.
- Yilmaz, M. T., Kul, E., Saricaoglu, F. T., Odabas, H. I., Taylan, O., & Dertli, E. 2024. Deep eutectic solvent as plasticizing agent for the zein based films. *Food Packaging and Shelf Life.* 42. 101252.
- Yu, J., Xu, S., Goksen, G., Yi, C., & Shao, P. 2023. Chitosan films plasticized with choline-based deep eutectic solvents: UV shielding, antioxidant, and antibacterial properties. *Food Hydrocolloids.* 135. 108196.
- Yuniarto, K., Lastriyanto, A., & Kurniawan, H. 2020. Permeabilitas Oksigen Kemasan Aktif Polylactic Acid - Butylated Hydroxytoluene. *Jurnal Teknologi Pertanian.* 2. 21. 136-143.
- Zahedi, L., Ghourchi Beigi, P., Shafiee, M., Zare, F., Mahdikia, H., Abdouss, M., Abdollahifar, M.-A., & Shokri, B. 2021. Development of plasma functionalized polypropylene wound dressing for betaine hydrochloride controlled drug delivery on diabetic wounds. *Scientific Reports.* 1. 11. 9641.

- Zhang, Q., De Oliveira Vigier, K., Royer, S., & Jérôme, F. 2012. Deep eutectic solvents: Syntheses, properties and applications. *Chemical Society Reviews*. 21. 41. 7108.
- Zhang, W., Shen, J., Gao, P., Jiang, Q., & Xia, W. 2022. Sustainable chitosan films containing a betaine-based deep eutectic solvent and lignin: Physicochemical, antioxidant, and antimicrobial properties. *Food Hydrocolloids*. 129. 107656.
- Zhang, Z., Zhou, X., Fang, C., & Wang, D. 2022. Characterization of the Antimicrobial Edible Film Based on Grasshopper Protein/Soy Protein Isolate/Cinnamaldehyde Blend Crosslinked With Xylose. *Frontiers in Nutrition*. 9. 796356.
- Zou, Y., Yan, F., Tong, R., Mo, M., & Li, Z. 2024. Progress in the design principle of biomedical tissue adhesive hydrogel with naturally derived substance. *Journal of Polymer Science*. 19. 62. 4341-4359.