

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI BIOFILM KOMPOSIT
BERBASIS KITOSAN-POLI VINIL ALKOHOL (PVA)**

TESIS

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik Kimia
pada Program Studi Magister Teknik Kimia**



**Oleh
Bintang Junita Siagian
NIM: 7780200013**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK KIMIA
PASCASARJANA
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
TAHUN 2022**

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya, yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Bintang Junita Siagian

NIM : 7780200013

Judul Tesis : **Sintesis dan Karakterisasi Biofilm Komposit Berbasis Kitosan-Poli Vinil Alkohol (PVA)**

menyatakan bahwa :

- (1) Tesis yang diajukan adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/doktor, baik di Universitas Sultan Ageng Tirtayasa maupun perguruan tinggi lainnya);
- (2) Tesis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian penulis sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan tim pembimbing; dan
- (3) Dalam Tesis ini tidak terdapat karya-karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang atau dicantumkan dalam daftar pusaka.

Apabila pernyataan ini tidak sesuai, saya bersedia diberi sanksi sesuai dengan ketentuan, peraturan, dan norma yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan penuh rasa tanggung jawab dan segala konsekuensinya.

Serang, 21 Mei 2021
Pembuat Pernyataan,



Bintang Junita Siagian
Bintang Junita Siagian
7780200013

LEMBAR PERSETUJUAN TESIS

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI BIOFILM KOMPOSIT BERBASIS
KITOSAN-POLI VINIL ALKOHOL (PVA)**

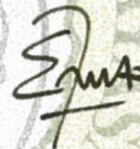
Tesis ini telah dipertahankan di hadapan penguji

Tanggal, 11 Juli 2022
Pembimbing I,

Tanggal, 10 Juli 2022
Pembimbing II,




Dr. Jayanudin, ST., M.Eng
NIP. 197808112005011003



Dr. Endarto Yudo Wardhono, S.T., M.T.
NIP. 197706092008121001

Tanggal, 18-07-2022
Direktur

Tanggal, 13 Juli 2022
Ketua Program Studi,



Dr. H. Aan Asphianto, S.Si., S.H., M.H
NIP 196301052002121002







Dr. Indar Kustiningsih S.T., M.T.
NIP 197607052002122002

LEMBAR PERBAIKAN TESIS

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI BIOFILM KOMPOSIT BERBASIS
KITOSAN-POLI VINIL ALKOHOL (PVA)**

Telah diperbaiki sesuai dengan saran dan masukan tim dosen penguji

Komisi Penguji :	Tanda Tangan	Tanggal
1. Dr.Jayanudin,ST.,M.Eng		11 Juli 2022
2. Dr.Endarto Yudo Wardhono,ST.,MT		10 Juli 2022
3. Prof .Dr.Yeyen Maryani, Dra.,MSi		8 Juli 2022
4. Prof. Dr. Ir. Tri Yuni Hendrawati,MSi.,IPM		8 Juli 2022
5. Teguh Kurniawan, ST.,MT.,PhD		8 Juli 2022

Diketahui :

Tanggal, 19-07-2022
Direktur

Tanggal, 13 Juli 2022
Ketua Program Studi,


Dr. H. Aan Asphianto, S.S., S.H., M.H
NIP 196301052002121002


Dr. Indar Kustiniingsih S.T., M.T.
NIP 197607052002122002



KATA PENGANTAR

Puji Syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas berkah dan kemurahanNya saja maka penulis dapat menyelesaikan Tesis ini sebagai salah satu syarat untuk dapat menyelesaikan pendidikan di Program Studi Magister Teknik Kimia Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Rasa syukur dan terimakasih yang sebesar-besarnya juga penulis berikan kepada setiap pihak yang telah banyak membantu penulis sehingga tesis ini bisa diselesaikan dengan baik, yaitu antara lain :

1. Bapak Dr. Jayanudin, ST., M.Eng selaku Dosen Pembimbing 1 dan Bapak Dr. Endarto Yudo Wardhono, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan Penulis dalam menyelesaikan penelitian dan tesis ini.
2. Bapak Dr. H. Aan Asphianto, S.Si., S.H., M.H. selaku Direktur Pasca Sarjana UNTIRTA.
3. Ibu Prof. Dr. Ir. Hj. Kartina A.M., M.P., Bapak Dr. Helmi Yazid, S.E., M.Si., Ak., C.A dan Bapak Prof. Alfirano, Ph.D selaku wakil Direktur I, II dan III Pasca Sarjana UNTIRTA
4. Ibu Dr. Indar Kustiningsih, S.T., M.T. dan Bapak Teguh Kurniawan ST, MT, PhD selaku Kaprodi dan Sekprodi Pasca Sarjana Teknik Kimia.
5. Ibu Dr.Rahmayetty ST.,MT dan seluruh staf Laboratorium Analis Kimia Fakultas Teknik UNTIRTA atas kesediaannya membrikan tempat kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian tesis ini.
7. Seluruh Bapak dan Ibu dosen Magister Teknik Kimia UNTIRTA atas segala ilmu yang telah diberikan.
8. Seluruh staf dan karyawan Pascasarjana UNTIRTA atas bantuannya.
9. Dr.Mekro Permana Pinem ST, MT sebagai mentor dan adik atas dorongan semangat dan dukungannya selalu.

10. Mamaku tersayang Rumia Doloksaribu , Suami tercinta dan yang selalu hadir menemani Firstsan Siom dan Anak-anakku tercinta Abdi Abram Siom dan Jasmine Chayil Siom atas segala pengertiannya kepada Mama selama menempuh studi
11. Teman-Teman Teknik Kimia Angkatan ke-1 dan 2 yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, atas kekompakan dan dukungannya selama 2 tahun berjuang bersama-sama
12. Semua Saudara-saudaraku yang setia mendukung dalam doa, dukungan moril dan dana yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, serta telah bersedia menjadi alat kasihNya kepada penulis.

Akhir kata, penulis menyadari penulisan Tesis ini masih penuh dengan kekurangan, sehingga Penulis terbuka atas segala masukan dan kritikan yang membangun demi menghasilkan penulisan yang lebih baik lagi.

Cilegon, 21 Mei 2022



Bintang Junita Siagian
7780200013

ABSTRACT

Bintang Junita S. 2022. Synthesis and Characterization of Chitosan-Polyvinyl Alcohol (PVA) Based Composite Biofilm.. Theses. Master's Program in Chemical Engineering Postgraduate School Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Dr. Jayanudin, ST., M.Eng. Dr. Endarto Yudo Wardhono, S.T., M.T

Environmental issues are the most critical and urgent factor for the increasing use of biopolymers in broader applications. Research on chitosan as a bioplastic material opens vast opportunities to improve its weak mechanical properties. These include blending with biopolymer/synthetic polymers as a matrice or incorporation with nanofillers. The use of organic solvents in dissolving chitosan also interested for further research. In this study, we synthesized a chitosan/PVA-based biobiofilm composite in five different ratios in acetic acid dan citric acid with the addition of 10% glycerol to get the optimum composition of mechanical properties. This optimum biofilm would be conducted with SiO₂ nanoparticles and CNC to evaluate the reinforcement effects. Various properties were characterized, including surface morphology, functional, mechanical properties, and thermal behavior. The experimental result showed that the tensile strength of the composite biofilm in acetic acid was higher than in citric acid. When incorporating with 2.5% w/w of SiO₂ NPs, the tensile strength of the composite biofilm reached the maximum value, 21.01 MPa, and the maximum 25.77 MPa with 10% w/w of CNCs, which was 115,7% higher than that of the pure chitosan/PVA biofilm in ratio of 80/20 which was the optimum. The effect of adding CNCs and SiO₂ NPs has the opposite effect. The addition of filler CNCs will improve mechanical properties, while SiO₂ NPs tend to decrease mechanical properties. All biofilm characterizations demonstrated that the interaction between CNCs and chitosan/PVA molecules improved their mechanical and thermal properties.

Key Words: Acetic Acid, Chitosan, Citric Acid, Composite, Polyvinyl alcohol

ABSTRAK

Bintang Junita S. 2022. Sintesis dan Karakterisasi Biofilm Komposit Berbasis Kitosan-Poli Vinil Alkohol (PVA). Tesis. Program Studi Magister Teknik Kimia, Pascasarjana, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Dr. Jayanudin, ST., M.Eng. Dr. Endarto Yudo Wardhono, S.T., M.T

Isu lingkungan adalah faktor yang paling kritis dan mendesak dalam peningkatan penggunaan biopolimer dalam aplikasi yang lebih luas. Penelitian kitosan sebagai bahan bioplastik membuka peluang besar untuk memperbaiki sifat mekaniknya yang lemah. Hal ini dilakukan dengan penggabungan biopolimer/polimer sintetis sebagai matriks atau dengan nanofiller. Penggunaan pelarut organik dalam melarutkan kitosan juga menarik untuk diteliti lebih lanjut. Dalam penelitian ini, kami mensintesis komposit biofilm berbasis kitosan/PVA dengan 5 rasio yang berbeda dalam asam asetat dan asam sitrat untuk mendapatkan komposisi sifat mekanik yang optimum. Biofilm optimum ini akan digabung dengan nanopartikel (NP) SiO₂ dan *cellulose nanocrystals* (CNC) untuk mengevaluasi efek penguatan. Berbagai sifat dikarakterisasi, termasuk morfologi permukaan, fungsional, sifat mekanik, dan perilaku termal. Hasil percobaan menunjukkan bahwa kekuatan tarik biofilm komposit pada asam asetat lebih tinggi dibandingkan dengan asam sitrat. Ketika menggabungkan 2,5% b/b NP SiO₂, kekuatan tarik biofilm komposit mencapai nilai maksimum, 21,01 MPa, dan maksimum 25,77 MPa dengan 10% b/b CNC, yang 115,7% lebih tinggi dari murni biofilm kitosan/PVA dengan rasio 80/20 yang merupakan optimum. Efek penambahan CNC dan NP SiO₂ memiliki efek sebaliknya. Penambahan *filler* CNC akan meningkatkan sifat mekanik, sedangkan NP SiO₂ cenderung menurunkan sifat mekanik. Semua karakterisasi biofilm menunjukkan bahwa interaksi antara CNC dan molekul kitosan/PVA meningkatkan sifat mekanik dan termalnya.

Kata kunci: Asam Asetat, Asam Sitrat, Kitosan, Komposit, Poli Vinil Alkohol

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN TESIS.....	ii
LEMBAR PERBAIKAN TESIS.....	iviii
KATA PENGANTAR.....	iv
<i>ABSTRACT</i>	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR DIAGRAM.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GRAFIK.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	9
1.3 Tujuan Penelitian.....	10
1.4 Ruang Lingkup.....	10
BAB II LANDASAN TEORI.....	12
2.1 Tinjauan Pustaka.....	12
2.1.1 <i>Green Technologies</i> dan <i>Green Products</i> untuk Plastik Kemasan Makanan.....	12
2.1.2 <i>Non edible</i> dan <i>Edible Biofilm</i> dan <i>Coating</i>	14
2.1.3 Kitin dan Kitosan.....	15
2.1.4 Polivinil Alkohol (PVA).....	17
2.1.5 SiO ₂ Nanopartikel.....	18
2.1.6 <i>Cellulose Nanocrystal (CNC)</i>	19
2.1.7 <i>Plasticizer</i>	20
2.1.8 Metode Pembuatan Biofilm Komposit Berbahan Dasar Kitosan.....	21
2.1.9 Biofilm Komposit.....	21

2.1.10 Metode <i>Solvent Casting</i>	23
2.1.11 Metode <i>Crosslinking</i>	24
2.1.12 Metode Karakterisasi Komposit Biofilm.....	25
2.1.13 Perbandingan Berbagai Komposit Biofilm Kitosan dengan plastik konvensional dengan Menggunakan ASTM dan JIS	29
2.2 Hipotesis Penelitian	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	34
3.1 Tahapan Penelitian.....	34
3.2 Prosedur Penelitian.....	37
3.2.1 Prosedur Sintesis Biofilm Komposit Kitosan/PVA Tanpa <i>Filler</i>	37
3.2.2 Prosedur Sintesis Biofilm Komposit Kitosan/PVA Dengan <i>Filler</i>	43
(1) Tahapan Pembuatan larutan asam sitrat 0,1 M.....	43
(2) Tahapan Pembuatan Larutan PVA untuk rasio Kitosan/PVA : 80/20.....	44
(3) Tahapan Sintesis larutan Kitosan untuk rasio Kitosan/PVA : 80/20.....	45
(4) Tahapan Pembuatan Suspensi Matriks Kitosan/PVA untuk rasio 80/20.....	46
(5) Tahapan Penambahan <i>Filler</i> dan <i>Plasticizer</i> pada Suspensi Matriks Biofilm Komposit Kitosan/PVA untuk rasio : 80/20.....	47
3.3 Alat dan Bahan.....	48
3.3.1 Alat.....	48
3.3.2 Bahan.....	49
3.4 Variabel Penelitian.....	50
3.5 Metode Pengumpulan dan Analisis Data.....	50
3.5.1 Analisis Gugus Fungsi dengan FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy)	51
3.5.2 Analisis Morfologi dengan SEM (<i>Scanning Electron Microscope</i>).....	52
3.5.3 Analisis Termal dengan Menggunakan DSC (Differential Scanning Calorimetry)	52
3.6 Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	52
BAB IV PEMBAHASAN.....	54
4.1 Sifat-sifat Mekanis/ <i>Mechanical Properties</i> Biofilm Komposit.....	54
4.1.1 Biofilm Komposit Kitosan/PVA Tanpa <i>Filler</i>	56

4.1.2 Biofilm Komposit Kitosan/PVA dengan <i>Filler di dalam Asam Sitrat</i>	64
4.2 Analisa Gugus Fungsi dengan Fourier Transform Infra Red (FTIR).....	79
4.2.1 Biofilm Kitosan dan PVA Murni.....	80
4.2.2 Biofilm Komposit Kitosan/PVA dengan rasio 80/20 tanpa <i>Filler</i> dalam pelarut Asam sitrat dan Asam asetat.....	84
1) Biofilm Komposit Kitosan/PVA : 80/20 tanpa Filler dalam Asam Asetat...84	
2) Biofilm Komposit Kitosan/PVA : 80/20 tanpa Filler dalam Asam Sitrat...87	
4.2.3. Biofilm Komposit Kitosan/PVA dengan rasio 80/20 dengan Filler CNC dalam pelarut Asam sitrat	88
4.3 Analisa Sifat Thermal dengan <i>Differential Scanning Calorimetry (DCS)</i>	90
4.3.1 Biofilm PVA Murni.....	91
4.3.2 Biofilm Kitosan Murni dalam Asam Asetat.....	92
4.3.3. Biofilm Komposit Kitosan/PVA dengan rasio 80/20 tanpa <i>Filler</i> dalam pelarut Asam asetat.....	94
4.3.4. Biofilm Komposit Kitosan/PVA dengan rasio 80/20 dengan <i>Filler</i> CNC dalam pelarut Asam sitrat	95
4.4 Analisa Morfologi Biofilm dengan <i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	96
4.4.1 Biofilm Komposit Kitosan/PVA dengan rasio 80/20 dengan Filler CNC dalam pelarut Asam sitrat	96
DAFTAR PUSTAKA	106

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Produksi Plastik Global dalam juta metrik ton	12
Gambar 2.2	Syarat biofilm komposit untuk kemasan makanan	13
Gambar 2.3	Sumber Biopolimer	14
Gambar 2.4	Struktur Kitin.....	15
Gambar 2.5	Struktur Kitosan	17
Gambar 2.6	Klasifikasi Biopolimer	18
Gambar 2.7	Produksi Plastik Global dalam juta metrik ton	19
Gambar 2.8	Teknik <i>Solvent Casting</i>	23
Gambar 2.9	Struktur kimia Asam Sitrat.....	24
Gambar 2.10	Kurva Tegangan Regangan untuk bahan Polimer.....	27
Gambar 2.11	Uji Kuat Tarik dengan Test ASTM D882	30
Gambar 2.12	Hasil Pengujian TS dan EB	31
Gambar 2.13	Nilai TS dan EB	31
Gambar 3.1	Pembuatan Larutan Asam Sitrat 0,1 M.....	37
Gambar 3.2	Pembuatan Larutan PVA.....	38
Gambar 3.3	Pelarutan kitosan dalam asam sitrat/asam asetat 0,1 M dilanjutkan proses penyaringan.....	39
Gambar 3.4	Tahapan Sintesis Suspensi Matriks, Penuangan dan Pengeringan Biofilm Komposit Kitosan/PVA tanpa <i>Filler</i>	42
Gambar 4.1	Biofilm Komposit Ki/PVA hasil sintesis	54
Gambar 4.2 (a)	Pada waktu awal sampel biofilm ditarik (b) Pada waktu sampel biofilm mulai putus.....	55
Gambar 4.3	Biofilm hasil pengujian dengan <i>Universal Testing Machine</i> (UTM) Shimadzu AGS-X series 5 kn dan standart ASTM 88291 (ASTM 1995 di Lab. Biomaterial LIPI Cibinong.....	55
Gambar 4.4	Biofilm komposit Ki/PVA tanpa <i>filler</i>	58
Gambar 4.5	Biofilm komposit tanpa <i>filler</i> dalam pelarut asam asetat.....	59

Gambar 4.6 ikatan intra dan intermolekular dalam kitosan	63
Gambar 4.7 Mekanisme Reaksi Kitosan dalam asam sitrat	63
Gambar 4.8 Mekanisme Reaksi Kitosan dalam asam asetat.....	63
Gambar 4.9 Biofilm komposit dengan <i>filler CNC dan SiO₂</i> dalam pelarut asam sitrat.	64
Gambar 4.10 Struktur Molekul Kitosan dengan SiO ₂	68
Gambar 4.11 Ikatan yang terjadi pada Pembentukan Biofilm Kitosan/PVA dan CNC	75
Gambar 4.12 Struktur kimia Kitosan	80
Gambar 4.13 Spektrum FTIR untuk biofilm kitosan murni hasil penelitian	81
Gambar 4.14 Spektrum FTIR untuk biofilm kitosan murni referensi.....	82
Gambar 4.15 Spektrum FTIR untuk Biofilm PVA murni hasil penelitian dibandingkan dengan PVA referensi.....	83
Gambar 4.16 Spektrum FTIR Biofilm PVA hasil penelitian dengan bilangan gelombangnya.....	83
Gambar 4.17 Ikatan hidrogen di dalam biofilm kitosan/PVA	84
Gambar 4.18 Spektrum FTIR Biofilm Komposit/PVA:80/20 dalam pelarut Asam asetat hasil Penelitian.....	85
Gambar 4.19 Spektrum FTIR Biofilm Komposit Kitosan/PVA	83
Gambar 4.20 Spektra FTIR Biofilm Komposit Kitosan/PVA tanpa <i>filler</i> dalam Asam Sitrat	84
Gambar 4.21 Spektrum FTIR Biofilm Kitosan, Asam sitrat dan Reaksi <i>Crosslinking</i> keduanya.....	88
Gambar 4.22 Spektrum FTIR Biofilm Komposit Kitosan/PVA : 80/20 dengan Filler CNC dalam Asam Sitrat	88
Gambar 4.23 Termogram Biofilm PVA Murni	91
Gambar 4.24 Termogram Biofilm Kitosan murni dalam pelarut Asam Asetat	93
Gambar 4.25 Termogram Biofilm Komposit Kitosan/PVA : 80/20 Tanpa Filler dalam Asam asetat.....	94
Gambar 4.26 Termogram DSC Biofilm Komposit Kitosan/PVA rasio 80/20 dengan CNC dalam Pelarut Asam sitrat	95

Gambar 4.27 Foto SEM dengan Perbesaran 10000x (a) dan 20000 (b)	97
Gambar 4.28 Foto Mikro Biofilm komposit	97
Gambar 4.29 Grafik Hasil Pengujian EDX Pure Sampel Biofilm Komposit	98

DAFTAR DIAGRAM

Diagram 3.1 Alur Penelitian Secara Garis Besar	35
Diagram 3.2 Alur Pembuatan Larutan Asam Sitrat	38
Diagram 3.3 Alur Pembuatan Larutan PVA	39
Diagram 3.4 Alur Pembuatan Larutan Kitosan.....	40
Diagram 3.5 Alur pembuatan suspensi matriks Biofilm komposit Kitosan/PVA : 60/40.....	40
Diagram 3.6 Tahapan Penuangan dan Pengeringan Biofilm Komposit Kitosan/PVA tanpa <i>Filler</i> ...41	
Diagram 3.7 Alur Pembuatan Larutan Asam Sitrat untuk rasio Kitosan/PVA : 80/20	43
Diagram 3.8 Alur Pembuatan Larutan PVA untuk rasio Kitosan/PVA : 80/20.....	45
Diagram 3.9 Alur Pembuatan Larutan Kitosan untuk rasio Kitosan/PVA : 80/20	45
Diagram 3.10 Alur pembuatan suspensi matriks Biofilm komposit Kitosan/PVA untuk rasio : 80/20.....	45
Diagram 3.11 Penambahan <i>Filler</i> dan <i>Plasticizer</i> hingga penuangan dan pengeringan pada Suspensi Matriks Biofilm Komposit Kitosan/PVA untuk rasio : 80/20	46

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Penelitian Komposit Biofilm Kitosan Yang Menjadi Acuan Penelitian.....	7
Tabel 2.1 Perbandingan TS dalam komposisi kitosan/PVA/SiO ₂ yang berbeda.....	25
Tabel 2.2 Parameter plastik biofilm kemasan makanan JIS Z-1707 edisi 2019.....	26
Tabel 2.3 <i>Mechanical properties</i> dari Beberapa Plastik Komersial berbahan dasar petroleum berdasarkan ASTM D882.....	26
Tabel 2.4 Komposisi Biofilm.....	28
Tabel 2.5 Perbandingan Sifat Mekanis pada beberapa jenis Plastik.....	29
Tabel 3.1 Matriks Penelitian Pembuatan Komposit Biofilm Kitosan/PVA Tanpa <i>Filler</i>	51
Tabel 3.2 Matriks Penelitian Pembuatan Komposit Biofilm Kitosan/PVA dengan <i>Filler</i>	51
Tabel 3.3 Tabel Rencana Penelitian dan Penulisan Tesis.....	56
Tabel 4.1 Data <i>Mechanical Properties</i> untuk Biofilm Komposit Ki/PVA tanpa <i>Filler</i>	60
Tabel 4.2 Data <i>Mechanical Properties</i> untuk Biofilm Komposit Ki/PVA dengan <i>Filler</i>	65
Tabel 4.3 Sampel Biofilm yang dikarakterisasi dengan FTIR.....	78
Tabel 4.4 Spektrum FTIR untuk biofilm kitosan murni hasil penelitian.....	79
Tabel 4.5 Bilangan Gelombang Spektrum FTIR Untuk Kitosan Murni.....	81
Tabel 4.6 Bilangan gelombang spektrum FTIR Biofilm PVA Dari beberapa Jurnal.....	82
Tabel 4.7 Biofilm yang dikarakterisasi dengan DSC.....	87
Tabel 4.8 Data Termogram DSC Biofilm PVA murni hasil Penelitian.....	89
Tabel 4.9 Data Termogram DSC Biofilm Kitosan murni dalam Pelarut Asam Asetat hasil Penelitian.....	90
Tabel 4.10 Data Tabel Termogram DSC Biofilm Komposit Kitosan/PVA rasio 80/20 Tanpa <i>Filler</i> dalam Pelarut Asam Asetat.....	91
Tabel 4.11 Data Termogram DSC Biofilm Komposit Kitosan/PVA rasio 80/20 dengan CNC dalam Pelarut Asam Sitrat.....	93
Tabel 4.12 Hasil EDX Pure dari Biofilm Komposit Hasil Penelitian.....	95

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Profil TS pada Biofilm Komposit Ki/PVA Tanpa <i>Filler</i>	60
Grafik 4.2 Profil EB pada Biofilm Komposit Ki/PVA Tanpa <i>Filler</i>	61
Grafik 4.3 Profil MY pada Biofilm Komposit Ki/PVA Tanpa <i>Filler</i>	61
Grafik 4.4 Profil TS pada Biofilm Komposit Ki/PVA dengan <i>Filler</i>	66
Grafik 4.5 Profil EB pada Biofilm Komposit Ki/PVA dengan <i>Filler</i>	64
Grafik 4.6 Profil MY pada Biofilm Komposit Ki/PVA dengan <i>Filler</i>	64

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di tahun 2021 diperkirakan populasi dunia mencapai 7,85 milyar jiwa. Pertambahan jumlah populasi dunia yang meningkat tajam akan sejalan dengan meningkatnya kebutuhan bahan pangan. Plastik kemasan makanan yang berasal dari petroleum lama kelamaan menjadi masalah yang sangat penting bagi isu lingkungan dan sangat genting untuk dicari solusinya. Limbah yang berasal dari sampah plastik berbahan dasar petroleum dapat terurai dalam tanah dan air selama 100-500 tahun, selain itu dapat bersifat racun (toksik) terhadap lingkungan (air, tanah dan udara) baik selama proses produksi di industri maupun ketika sudah menjadi limbah (Gnanasekaran, 2019).

Seperti sebuah kutub yang saling bertentangan, satu sisi plastik kemasan makanan akan menjadi limbah, namun di sini lain ada fungsi penting yang ingin diambil. Plastik kemasan makanan/*food packaging* berfungsi untuk melindungi makanan dari kontaminasi luar sehingga dapat mencegah perubahan alami, isi, dan fisik (disintegrasi) selama proses penyimpanan atau distribusi. Metode pengemasan tradisional tidak dapat secara efektif mengatur respon terhadap hal-hal ini. Perlindungan terhadap oksigen, kelembaban, dan cahaya memberikan jaminan pasti bahkan terhadap perubahan yang paling sulit (Youssef et al., 2020).

Oleh karena itu berbagai penelitian tentang plastik kemasan makanan dengan bahan dasar alami dalam dekade terakhir telah banyak berkembang. Penelitian dalam pembuatan biofilm dan *coating* bahan kemasan makanan yang berasal dari biopolimer seperti polisakarida, protein dan lemak atau biopolimer lain telah banyak dilakukan seiring semakin meningkatnya isu lingkungan dan bahaya plastik kemasan berbahan dasar petroleum. Hal ini dikerenakan polisakarida alami dan protein memiliki sifat

ramah lingkungan, ketersediaannya melimpah di alam, dapat diperbaharui, mudah diurai, cocok dengan material lain (bio kompatibel) dan tidak beracun (Xu et al., 2021)

Kitosan adalah polisakarida alami yang berasal dari proses deasetilasi senyawa kitin (komponen utama pada *crustacea*) yang terdiri dari *N*-acetyl glucosamine dan d-glucosamine. Kitosan memiliki sifat-sifat unggul yaitu sifat fisika kimia dan biologi yang menarik seperti kecocokannya dengan material lain (*biocompatibility*), mudah terurai (*biodegradability*), dan tidak beracun (*non-toxicity*), sifat pembentuk biofilm yang sangat baik, sifat pertahanan terhadap gas yang baik (CO₂ and O₂) (Xu et al. , 2021) sehingga kitosan dapat dimanfaatkan di bermacam aplikasi seperti bidang farmasi (obat-obatan), pengolahan air limbah, pupuk, kosmetik, dan dalam pengelolaan hasil panen (Jayanudin et al., 2021).

Dalam aplikasi bahan kemasan makanan, kitosan menjadi primadona karena sifatnya yang ramah lingkungan dan juga kompatibel dengan material lain, memiliki sifat anti mikroba dan anti bakteri serta aman (tidak toksik). Akan tetapi sebagai material tunggal dalam bahan kemasan makanan, kitosan memiliki banyak kelemahan, antara lain sifat mekanis (berkenaan dengan nilai kekuatan tensil, modulus elastis, ketahanan terhadap patahan/*elongation at break*), termal dan ketahanan terhadap air yang rendah, sehingga diperlukan material lain untuk meningkatkannya (Zhuang et al., 2018).

Teknologi nanopartikel menyediakan solusi dalam bidang kemasan makanan guna memperpanjang waktu simpan buah dan sayur. Nano partikel oksida logam seperti SiO₂, ZnO, TiO₂, atau MgO bersama dengan nano kitosan dapat meningkatkan kelemahan sifat dari kitosan tunggal yang disebabkan karena sifat hidrofiliknya. Sinergi ini juga menambahkan sifat anti mikroba, ketahanan terhadap sinar UV, dan air serta sifat magnetiknya (Souza et al., 2020:5). SiO₂ tidak dapat dicerna dalam tubuh namun memenuhi standar keamanan makanan dan termasuk dalam kategori bahan tambahan makanan (*food additive*) serta ketersediaannya melimpah di alam. SiO₂

nanopartikel dalam plastik konvensional dapat meningkatkan kualitas mekanisnya, ukuran nano membuat area permukaan semakin luas sehingga reaktivitas dari gugus hidroksil nya meningkat, selain itu partikel ini stabil dan elastis sehingga dapat digunakan secara luas dalam aplikasi plastik kemasan makanan (Youssef et al., 2020). Meskipun memiliki kelebihan, salah satu kendala dalam sintesis komposit kitosan dengan SiO₂ didapat dari sifat SiO₂ yang mudah mengalami agromerasi (Maharani & Hidayah, 2015). Dalam sintesis biofilm komposit dengan menggunakan SiO₂ dengan sifat ini, dapat diatasi dengan penambahan PVA (Ardiansyah, 2015).

Penelitian yang telah dilakukan oleh Wang, et al (2020:23) telah berhasil membuktikan kemasan berbahan nano komposit dari Ag, TiO₂ dan SiO₂ dapat memperlambat proses pembusukan dan mengurangi oksidasi lemak dan protein pada beras (F. Wang et al., 2020). Sementara penelitian dari Song, dkk (2016) menunjukkan efek *coating* kitosan/SiO₂ nano partikel terhadap waktu simpan buah loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) yang memiliki umur simpan yang pendek pada suhu kamar, menunjukkan bahwa proses oksidasi dan pembusukan dapat diperlambat (L. Wang et al., 2021).

Selulosa merupakan biopolimer yang jumlahnya paling melimpah di alam. Perlakuan senyawa ini secara kimia dan mekanik akan menghasilkan senyawa yang lebih berharga seperti *cellulose nanocrystal* (CNC) dan *cellulose nanofiber* (CNF). Sementara CNC sendiri memiliki sifat mekanik, termal yang baik selain ramah lingkungan dan murah. CNC memiliki struktur kristal menyerupai batang dengan ukuran panjang berkisar antara puluhan hingga ratusan nm dengan diameter 1-100 nm. Struktur CNC yang memiliki gugus -OH yang banyak di bagian permukaannya menciptakan nanomaterial yang bersifat hidrofilik sehingga memberikan kemampuan untuk berdifusi dalam polimer yang larut dalam air sebagai matriks nya. Sebelumnya, peneliti telah menemukan penggunaan turunan selulosa yang bersumber dari limbah pertanian sebagai penguat (*reinforcement*) dalam gabungan polimer seperti kitosan dan PVA sebagai matriks utamanya (Perumal et al., 2019).

Polivinil alkohol (PVA) adalah bahan termoplastik sintetik yang dapat terurai, dan biokompatibel sehingga banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang. PVA bersifat hidrofilik, kekuatan tarik (*Tensile Strength*) yang tinggi, elastisitas dan larut dalam air secara bertahap sejalan dengan naiknya suhu, selain juga transparansi dan sifat pembentuk biofilm yang baik.

Komposit kitosan dengan PVA beberapa kali dilaporkan dengan hasil dapat meningkatkan kestabilan, biokompatibilitas dan kekuatan mekanis jika dibandingkan dengan komponen tunggal (Wilson & Casey, 2015). Zhuang, dkk dalam jurnalnya melaporkan sifat-sifat PVA yang sangat mendukung sintesis biofilm komposit dengan kitosan dan alginat yaitu PVA memiliki fleksibilitas (*elongation at break*) yang lebih baik, sifat pelindung (*barrier*) terhadap oksigen dan bau jika dibandingkan dengan biofilm plastik jenis lain (Zhuang et al., 2018:192). Biofilm komposit Kitosan/PVA juga meningkatkan sifat pelindung terhadap air, dan aktivitas antibakteri yang tinggi jika dibandingkan dengan biofilm PVA tunggal, terutama jika rasio berat Kitosan:PVA sebesar 25:75. (Gnanasekaran, 2019). Sifat unggul ini disebabkan oleh pembentukan ikatan hidrogen dalam struktur PVA yang berasal dari banyaknya gugus aktif hidroksil dalam rantai molekul (Hu et al., 2013).

Crosslinking merupakan hasil proses formasi sebuah struktur kimia dari jalinan kovalen yang menggabungkan gugus fungsi satu dengan yang lain. *Crosslinking* menjadi teknik yang menjanjikan untuk meningkatkan kinerja dan aplikasi biofilm berbahan dasar polisakarida terutama sensitifitas air. Beberapa *crosslinker* yang biasa digunakan untuk polisakarida seperti glutaraldehid, *ferulic acid*, asam borat. Akan tetapi penggunaan agen *crosslinking* di atas pada aplikasi kemasan makanan atau biomedis masih sangat terbatas dikarenakan sifatnya yang toksik, harga tinggi dan kurang efisien (Wu et al., 2019). Oleh karena itu, beberapa agen *crosslinking* yang aman dan efektif untuk biofilm polisakarida diperlukan untuk digunakan dalam komposit biofilm dalam aplikasi kemasan makanan. Asam sitrat adalah salah satu *crosslinker* organik yang digunakan dalam sintesis komposit biofilm. Sifatnya yang tidak beracun

dan tidak berbahaya, dan memiliki sifat anti bakteri sangat menjanjikan untuk digunakan sebagai agen *crosslinking* juga pemplastis (*plasticizer*) yang dapat membuat biofilm lebih elastis.

Selain sebagai *crosslinker*, asam sitrat juga berfungsi sebagai pelarut kitosan. Kitosan adalah biopolimer yang mempunyai keunikan yaitu dalam larutan asam, kitosan memiliki karakteristik kation dan bermuatan positif, sedangkan dalam larutan alkali, kitosan mengendap. Keterlarutan kitosan yang paling baik adalah dalam larutan asam asetat 1-2%, asam format 10% dan asam sitrat 10%. Asam asetat banyak digunakan sebagai pelarut kitosan yang lebih baik dibandingkan dengan asam sitrat.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk dapat meningkatkan sifat mekanis biofilm kitosan, dimana *blending* merupakan sebuah metode yang paling efektif. Dengan cara ini, kita bisa mendapatkan komposit biofilm yang baru sesuai dengan sifat yang diinginkan. *Blending* 2 atau 3 polimer dengan sifat-sifat fungsional menghasilkan interaksi intermolekuler spesifik yang diinginkan. Kombinasi antara polimer alami dan polimer sintetik dapat menurunkan biaya (*cost*) dan polimer alami lebih murah serta lebih tersedia.

Material berukuran nano telah luas diaplikasikan di bermacam bidang seperti makanan, obat-obatan dan kosmetik. Selain karena harganya yang cukup murah, mudah dalam prosesnya dan memiliki sifat-sifat kimia yang *excellent*. Beberapa penelitian telah menunjukkan penambahan nano material dapat meningkatkan sifat-sifat polimer (Emamhadi et al., 2020). Beberapa nano material yang sering di *blend* dengan polimer antara lain nano-ZnO (Neacsu et al., 2019), nano TiO₂ (Chang et al., 2021) and Nano-SiO₂ (L. Wang et al., 2021). Di antara material nano tersebut, SiO₂ telah luas diamati dan digunakan dalam berbagai bidang industri, antara lain sebagai pembawa fluorophore, mengendalikan pelepasan molekul obat, agen antiseptik, bio sensor dan dapat meningkatkan waktu simpan dalam industri makanan (Ariyaratna et al., 2017).

Blending SiO₂ dan CNC ke dalam biofilm komposit kitosan/PVA dapat lebih meningkatkan sifat-sifat mekanis seperti *tensile strength* , *elongation break* dan *modulus young* (Tang et al., 2008; Wardhono et al., 2019; Yadav et al., 2020) dibandingkan biofilm kitosan tunggal dengan penambahan PVA (Kanatt et al., 2012), hal ini disebabkan banyaknya gugus silanol pada material nano silika yang menyebabkan antarmuka dengan polimer kitosan dan PVA semakin kuat dan meningkatkan ikatan hidrogen dalam sistem komposit (Kariminejad et al., 2021).

Pada umumnya studi tentang kitosan dengan aplikasi bio plastik kemasan makanan membuat variasi dalam konsentrasi larutan dan komposisi material penguat (*filler*) kitosan, atau melakukan *blending* kitosan dengan biopolimer atau polimer sintetik yang lain sebagai matriks utama. Beberapa penelitian yang dijadikan acuan penelitian saya disajikan dalam Tabel 1.1 di bawah ini.

Judul	Penulis	Data	Hasil
Antimicrobial packaging efficiency of ZnO-SiO ₂ nanocomposites infused into PVA/CS biofilm for enhancing the shelf life of food products	Ahmed M. Youssef, Nasser A. Al-Tayyar, Rashad R. Al-Hindi (Youssef et al, 2020)	Food Packaging and Shelf Life Elsevier (doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100523)	Sintesis bio nanokomposit Kitosan/PVA dengan rasio 40/60 dengan penambahan ZNO/SiO ₂ sebanyak 0,5%, 1%, 3% dan 5% w/v ke dalamnya memberikan pengaruh terhadap kenaikan <i>tensile strength</i> dan terjadi trend perubahan <i>elongation break</i> ketika konsentrasi ZnO/SiO ₂ meningkat. Perlu dilakukan penelitian dengan variasi kitosa/PVA dengan rentang yang lebih luas.
Effects of chitosan/nano-silica on postharvest quality and antioxidant	Huwei Song, Weiming Yuan, Peng Jin (Song et al, 2016)	Postharvest Biology and Technology Elsevier (doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100523)	Penambahan coating SiO ₂ nanopartikel pada komposit kitosan dapat memperlambat proses pembusukan pada buah

capacity of loquat fruit during cold storage		16/j.postharv bio.2016.04.015)	Loquat (Eriobotrya japonica Lindl.)
Design of multifunctional food packaging biofilms based on carboxymethyl chitosan/polyvinyl alcohol crosslinked network by using citric acid as crosslinker	Lishan Wen, Yuntong Liang, Zhenhao Lin (Wen, et al, 2021)	Polymer Elsevier (doi.org/10.1016/j.polymer.2021.124048)	penambahan asam sitrat 5 w/w% sebagai crosslinker efektif meningkatkan sifat mekanis dari komposit CMCS/PVA yaitu kuat tarik dari 21.03 MPa to 29.65 Mpa. Dalam komposit biofilm masih memakai asam asetat sebagai pelarut kitosan.
Effect of glycerol on mechanical and physical properties of silver-chitosan nanocomposite biofilms	E. Susilowati, I. Kartini, SJ, Santosa (Susilowati et al, 2016)	IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Vol.107 (DOI : 10.1088/1757-899X/107/1/012041)	Efek penambahan gliserol sebagai plasticizer pada penelitian yang dilakukan pada biofilm komposit kitosan/Ag menunjukkan trend kenaikan <i>tensile strength</i> dan <i>elongation break</i> , dan pada konsentrasi 1,5% kenaikan nampak signifikan.
Chitosan/Polyvinyl Alcohol/SiO ₂ Nanocomposite Biofilms: Physicochemical and Structural Characterization	Mohaddeseh Kariminejad, Rezvan Zibaei, Azin Kolahdouz Nasiri (Kariminejad et al, 2021)	Biointerface Research in Applied Chemistry. Volume 12, Issue 3, 2022, 3725 - 3734	Terjadi penguatan sifat mekanik (<i>tensile strength</i>) pada penambahan konsentrasi PVA dan SiO ₂ Nanopartikel yang disebabkan interaksi yg kuat antara gugus fungsi kitosan dan PVA dengan gugus hidroksil pada SiO ₂ Nanopartikel. Belum dilakukan penambahan gliserol di dalam komposit.

<p>Efect of glycerol plasticizer loading on the physical, mechanical, thermal, and barrier properties of arrowroot (Maranta arundinacea) starch biopolymers</p>	<p>J. Tarique, S.M. Sapuan, A. Khalina (Tarique et al, 2021)</p>	<p>Scientific Reports Nature Portfolio, Vol. 11. Article No. 13900</p>	<p>Kenaikan konsentrasi Glycerol akan menurunkan kuat tarik (<i>Tensile Strength</i>) dan meningkatkan <i>Elongation Break</i>.</p>
---	--	--	---

Tabel 1. 1 Penelitian Komposit Biofilm Kitosan Yang Menjadi Acuan Penelitian

Di dalam penelitian sebelumnya, asam sitrat digunakan sebagai agen pengikat silang (*crosslinker*) pada gabungan dua bio polimer membentuk komposit biofilm, Efek pengikat silang ini berfungsi membentuk ikatan yang lebih kuat, namun belum ada penelitian yang menggunakan asam sitrat sekaligus sebagai pelarut dari kitosan sendiri. Tentu saja hal ini menarik untuk diteliti sehingga didapat sebuah rute sintesis komposit biofilm yang baru yang lebih cepat dan hemat biaya. Penggunaan asam sitrat dalam aplikasi biobiofilm komposit kitosan perlu dibandingkan efeknya dengan pelarut asam asetat yang sering digunakan. Selain itu, pemakaian PVA sebagai matrik *blending* dengan kitosan mampu meningkatkan sifat mekanis biofilm, akan tetapi belum diketahui bagaimana efek penambahan gliserol sebagai *plasticizer* dalam gabungan polimer tersebut.

Beberapa penelitian sebelumnya dengan menggunakan gliserol mampu meningkatkan sifat mekanis, ini disebabkan oleh molekul gliserol ikut membentuk formasi kristalin selama proses dan menguatkan ikatan hidrogen intermolekuler diantara molekul kitosan. (Susilowati et al., 2016). Dalam penelitian ini ingin diketahui efek variasi gabungan asam sitrat sebagai pelarut kitosan dan *crosslinker* serta gliserol sebagai *plasticiser* pada beberapa variasi konsentrasi terhadap matriks *blending* bio

polimer kitosan dan polimer sintesis PVA dengan penambahan *filler* SiO₂ Nanopartikel dan CNC sebagai penguat (*reinforcement*) yang hasil akan dibandingkan dengan biofilm kitosan/PVA sebagai kontrol baik dalam pelarut asam asetat maupun asam sitrat. Diharapkan akan mendapatkan komposisi komposit biofilm yang optimum dengan kenaikan sifat mekanis dan struktur biofilm yang signifikan untuk dapat menjadi sebuah pilihan biofilm pengemas makanan yang bersifat ekologis dan ekonomis.

1.2 Rumusan Masalah

Sintesis dan karakterisasi komposit biofilm berbahan dasar kitosan/PVA/SiO₂ nanopartikel dan kitosan/PVA/CNC dalam pelarut asam asetat dan asam sitrat sebagai *crosslinker* serta gliserol sebagai *plasticizer* ini dapat digunakan sebagai alternatif biofilm kemasan makanan yang ramah lingkungan dan ekonomis dengan memberikan analisis gugus fungsi, morfologi dan sifat mekanisnya. Beberapa Rumusan Masalah yang akan dianalisis dalam penelitian ini antara lain :

1. Bagaimana pengaruh perbedaan pelarut asam asetat dan asam sitrat terhadap sifat mekanis biofilm komposit kitosan/PVA pada rasio 0/100, 40/60, 60/40, 80/20 dan 100/0?
2. Bagaimana efek *hybrid polymer blending* antara kitosan dan PVA dalam rasio 0/100, 40/60, 60/40, 80/20 dan 100/0 dari data sifat mekanis dan termal yang di dapat?
3. Berapa rasio terbaik kitosan/PVA dengan nilai kuat tarik optimum yang akan dipakai untuk mengetahui efek penambahan *filler* dan *plasticizer* ke dalam biofilm kitosan/PVA?
4. Bagaimana pengaruh penambahan 2,5%; 5% dan 10% w/w SiO₂ nanopartikel dan CNC (basis massa total kitosan dengan PVA) dengan 0,1 M asam sitrat sebagai pelarut sekaligus *crosslinker* pada matriks kitosan/PVA dengan rasio terbaik terhadap sifat mekanis biofilm.

5. Bagaimana analisa struktur kimia, *thermal properties* dan morfologi biofilm pada biobiofilm komposit kitosan/PVA tanpa penambahan *filler* dan dengan penambahan *filler* pada rasio kitosan/PVA : 0/100, 80/20, 100/0 ?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan tujuan:

- 1) Mendapatkan perbedaan pelarut asam asetat dan asam sitrat dalam sintesis biobiofilm komposit kitosan/PVA pada rasio 0/100, 40/60, 60/40, 80/20 dan 100/0 dengan membandingkan sifat mekanis yang didapat.
- 2) Mendapatkan efek *hybrid polymer blending* antara kitosan dan PVA dalam rasio 0/100, 40/60, 60/40, 80/20 dan 100/0 dari data sifat mekanis dan termal yang di dapat.
- 3) Mendapatkan rasio terbaik kitosan/PVA yang akan digunakan sebagai matriks dalam sintesis biofilm komposit kitosan/PVA/ dengan *filler* SiO₂ nanopartikel dan CNC dari nilai kuat tarik yang paling optimum lalu dibandingkan dengan plastik polimer berbasis petroleum yang ada di pasaran.
- 4) Mendapatkan profil pengaruh penambahan *filler* SiO₂ nanopartikel dan CNC sebesar 2,5%; 5% dan 10% w/w (basis massa total kitosan dengan PVA) dalam sintesis biofilm komposit kitosan/PVA pada rasio terbaik dalam asam sitrat 0,1M sebagai pelarut sekaligus *crosslinker* terhadap sifat mekanis biofilm
- 5) Mendapatkan karakterisasi biofilm komposit kitosan/PVA yang dihasilkan dengan SEM, FTIR dan DSC dengan rasio kitosan/PVA sebesar 0/100, 80/20, 100/0.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian adalah sebagai berikut :

- 1) Rasio Kitosan/PVA : 0/100, 40/60, 60/40, 80/20 dan 100/0, penambahan asam asetat dan asam sitrat : 0,1 M, penambahan gliserol 10% w/w, dan konsentrasi penambahan SiO₂ nano partikel dan CNC : 2,5; 5%, dan 10% w/w.
- 2) Pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan UTM untuk mengetahui

Kekuatan tarik (*Tensile Strength*) dan Fleksibilitas (*Elongation Break*) dan Modulus Young (MY)

- 3) Analisis struktur kimia, morfologi dan sifat termal biofilm dilakukan dengan alat FTIR , SEM serta DSC untuk nilai *sifat mekanis* yang terbaik
- 4) Kitosan yang digunakan dengan derajat deasetilasi (DD) 90,6 % berasal dari *shrimp shell* berukuran 100 mesh dari *supplier* lokal Monodon Lampung Selatan, PVA dengan 99,6 mol % derajat hidrolisis dari Sigma Aldrich, asam asetat 0,1 M dari Rofa Chemical, asam sitrat monohidrat dari Merck, gliserol kadar 85% dari Merck, dan SiO₂ nanopartikel dalam suspensi koloid kadar 10% dari Nitrakimia, CNC kadar 100% dari Merck.