

**ANALISIS SIFAT FISIKA MEMBRAN NANOFIBER
KITOSAN/PVA/EKSTRAK AKAR KUNING UNTUK APLIKASI
FOOD-PACKAGING SEBAGAI KONTRIBUSI MATA KULIAH
EKSPERIMEN FISIKA LANJUT**

SKRIPSI

Oleh:

Ahlun Haqqi

NIM : 06111282126037

Program Studi Pendidikan Fisika



FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2025

**ANALISIS SIFAT FISIKA MEMBRAN NANOFIBER
KITOSAN/PVA/EKSTRAK AKAR KUNING UNTUK
APLIKASI *FOOD-PACKAGING* SEBAGAI KONTRIBUSI
MATA KULIAH EKSPERIMEN FISIKA LANJUT**

SKRIPSI

Ablun Haqqi
NIM. 06111282126037
Program Studi Pendidikan Fisika

Mengesahkan

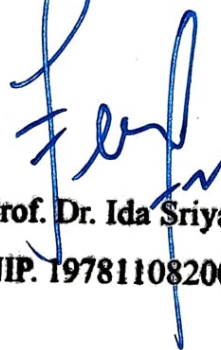
Koordinator Program Studi



Saparini, S.Pd., M.Pd.

NIP. 198610052015042002

Pembimbing



Prof. Dr. Ida Sriyanti, S.Pd., M.Si

NIP. 197811082001122002

Mengetahui,
Ketua Jurusan Pendidikan MIPA



Dr. Ketang Wiyono, S.Pd., M.Pd.

NIP. 197905222005011005

PERNYATAAN

Nama : Ahlun Haqqi

NIM : 06111282126037

Program Studi : Pendidikan Fisika

Menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa skripsi yang berjudul “Analisis Sifat Fisika Membran Nanofiber Kitosan/PVA/Ekstrak Akar Kuning Untuk Aplikasi *Food-Packaging* Sebagai Kontribusi Mata Kuliah Eksperimen Fisika Lanjut” ini adalah benar-benar karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara yang tidak sesuai etika keilmuan yang berlaku sesuai dengan peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia No. 17 tahun 2010 tentang pencegahan dan penanggulangan plagiat di perguruan tinggi. Apabila dikemudian hari, ada pelanggaran yang ditemukan pada skripsi ini dan/atau ada pengaduan dari pihak lain terhadap keaslisan karya ini, saya bersedia menanggung sanksi yang dijatuhkan kepada saya.

Demikianlah pernyataan ini dibuat dengan sungguh-sungguh tanpa paksaan dari pihak manapun.

Indralaya, 6 Maret 2025

Yang membuat pernyataan



Ahlun Haqqi

NIM. 06111282126037

PRAKATA

Skripsi dengan judul “Analisis Sifat Fisika Membran Nanofiber Kitosan/PVA/Ekstrak Akar Kuning Untuk Aplikasi *Food-Packaging* Sebagai Kontribusi Mata Kuliah Eksperimen Fisika Lanjut” disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Pendidikan (S.Pd) pada Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sriwijaya. Dalam mewujudkan skripsi ini, penulis mendapat bantuan dari berbagai pihak. Puji dan syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan kesehatan yang diberikan, sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini tepat waktu. Saya juga ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bimbingan, serta bantuan selama proses penyusunan skripsi ini.

Secara khusus, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ayah dan Ibu tercinta, Adnan dan Viktoriati. Terima kasih atas segala doa, semangat, motivasi, pengorbanan, serta kasih sayang yang tiada henti. Dukungan dan usaha terbaik yang telah diberikan menjadi kekuatan bagi saya dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. Kakak-kakak saya yang saya banggakan, Tiara Aulia, Atika Pratiwi, Kristina Andini, serta kakak ipar saya, Azhar Nugraha Putra.
3. Keluarga besar saya yang senantiasa memberikan semangat dalam setiap langkah perjuangan menyelesaikan skripsi ini.
4. Prof. Ida Sriyanti, S.Pd., M.Si., selaku pembimbing skripsi, yang dengan sabar telah memberikan bimbingan, masukan, dan arahan hingga skripsi ini dapat terselesaikan.

5. Dr. Leni Marlina, S.Pd., M.Si., selaku reviewer dan penguji, atas segala saran dan koreksi yang sangat berarti bagi perbaikan skripsi ini.
6. Dr. Hartono, M.A., selaku Dekan FKIP Unsri; Dr. Ketang Wiyono, S.Pd., M.Pd., selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA; serta Saparini, S.Pd., M.Pd., selaku Koordinator Program Studi Pendidikan Fisika yang telah memberikan kemudahan dalam berbagai urusan akademik selama proses penyusunan skripsi ini.
7. Seluruh dosen Program Studi Pendidikan Fisika, termasuk dosen pembimbing akademik saya, Drs. Abidin Pasaribu, M.M., serta admin prodi, Mbak Chika, atas segala ilmu dan bantuan yang diberikan.
8. Sahabat-sahabat terbaik saya, Wibisena Nugraha, Adinda Ramadhani, Angky Ternando, Ahmad Al Farozi, Muhammad Malik Kadafi, Rizky Kurniawan, dan Muhammad Ilham Pratama. Terima kasih telah menemani, mendukung, dan menjadi penyemangat dalam setiap kesulitan yang saya hadapi selama proses penyusunan skripsi ini.
9. Teman-teman seperbimbingan skripsi dan PA, Siti Aisyah, Zahra Nabilla, dan Rochmatus Syahdillah, terima kasih atas bantuan serta kebersamaan dalam perjalanan akademik ini.
10. Kakak-kakak alumni, Muhammad Rama Almafie, Silfiyana Fitria, Muhammad Aswa Azhari, Rahma Dani, dan Marsya Amalia Putri, atas segala bantuan serta masukan yang diberikan.
11. Seluruh mahasiswa Pendidikan Fisika yang telah menemani saya dalam perjuangan akademik dari awal hingga akhir.
12. Diri saya sendiri, Ahlun Haqqi. Terima kasih karena telah berusaha sekuat tenaga, bertahan dalam segala tantangan, dan tetap berjuang dalam menyelesaikan skripsi ini.

Semoga ilmu yang telah diberikan menjadi ladang pahala bagi kita semua. Saya juga berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang Pendidikan Fisika, serta menjadi kontribusi bagi kemajuan teknologi dan seni.

Palembang, 12 Maret 2025

Penulis,



Ahlun Haqqi

NIM. 06111282126037

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN.....	ii
PRAKATA	iii
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
ABSTRAK	xi
ABSTRACT.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Batasan Masalah	5
1.3. Rumusan Masalah Penelitian	6
1.4. Tujuan Penelitian	6
1.5. Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Polimer <i>Polyvinyl Alcohol</i> (PVA)	7
2.2. Kitosan	8
2.3. Akar Kuning (<i>Arcangelisia flava</i> L.)	9
2.4. Elektrospinning	9
2.5. Antioksidan dan Antibakterial	10
2.6. Pembungkus Makanan Berbasis Teknologi Nanofiber	11
2.7. Teknik Analisis Data	13
BAB III METODE PENELITIAN	15
3.1. Metode Penelitian	15
3.2. Waktu dan Tempat.....	16
3.3. Alat dan Bahan.....	16
3.4. Prosedur Eksperimen Penelitian	16

3.4.1.	Pembuatan Ekstrak Akar Kuning.....	16
3.4.2.	Pembuatan Membran Nanofiber KS/PVA/EAK.....	17
3.5.	Variabel Penelitian	18
3.6.	Desain Eksperimen	19
3.7.	Metode Karakterisasi	21
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		22
4.1.	Deskripsi Hasil Penelitian.....	22
4.1.1.	Analisis Hasil Morfologi Membran <i>Nanofiber</i> PVA/Kitosan/EAK menggunakan mikroskop.....	22
4.2.	<i>Response Surface Methodology</i>	24
4.2.1.	Analisis Variansi dan Persamaan Model.....	24
4.2.2.	Validitas Model	27
4.2.3.	Pengaruh parameter operasi pada respons	34
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		38
5.1.	Kesimpulan	38
5.2.	Saran	38
DAFTAR PUSTAKA		39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Material dan Struktur Polyvinyl alchohol (PVA) 7
Gambar 2. 2. Proses Pembuatan Kitosan..... 8
Gambar 2. 3. Kitosan..... 8
Gambar 2. 4. Arcangelisia flava (L.) Merr. 9
Gambar 2. 5. Proses Elektrosinning (Ahlun Haqqi)..... 10

Gambar 3. 1. Diagram Alur Penelitian 15
Gambar 3. 2. Diagram Pembuatan membran nanofiber 17
Gambar 3. 3. Skematik Pembuatan Membran Kitosan/PVA/EAK 18

Gambar 4.1. Foto Makro membran nanofiber Kitosan/PVA (Kiri) dan Kitosan/PVA/EAK (kanan)..... 22
Gambar 4. 2. Morfologi & distribusi diameter rata-rata nanofiber A dan B 23
Gambar 4.3. Plot ketergantungan yang dihitung dari probabilitas normal pada residu yang dipelajari secara internal untuk diameter 27
Gambar 4.4. Plot residual terhadap prediksi untuk diameter 28
Gambar 4.5. Plot dari residual eksternal vs run diameter..... 29
Gambar 4.6. Plot korelasi antara nilai diprediksi dan aktual untuk diameter..... 29
Gambar 4. 7. Plot Box-Cox 30
Gambar 4.8. Plot Cook’s Distance 31
Gambar 4.9. Plot Leverage vs. Run..... 32
Gambar 4.10. Plot DFFITS vs. run..... 33
Gambar 4.11. Plot Permukaan respons 3D dan kontur dari faktor 36
Gambar 4.12. Bagan optimasi numerik yang menunjukkan tingkat desirabilitas dari tiga variabel independen. 37

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Faktor dan tingkatan dalam desain percobaan.....	19
Tabel 3. 2. Variabel independen dan tingkatan proses.....	20
Tabel 3. 3. Metode Karakterisasi.....	21
Tabel 4. 1. Statistik ringkasan untuk diameter nanofiber.	25
Tabel 4. 2. ANOVA untuk model kuadrat untuk diameter	26

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A DOKUMENTASI PENELITIAN	47
LAMPIRAN B DATA PENELITIAN.....	51
LAMPIRAN C ADMINISTRASI PENELITIAN	55

ABSTRAK

Penelitian ini membahas pembuatan dan analisis sifat fisika membran nanofiber berbasis kitosan/polyvinyl alcohol (PVA) dengan penambahan ekstrak akar kuning (*Arcangelisia flava* L.) untuk aplikasi *food-packaging*. Membran nanofiber dibuat menggunakan metode elektrospinning dengan variasi kandungan ekstrak akar kuning, jarak pemintalan, dan tegangan suplai. Analisis morfologi menggunakan mikroskop menunjukkan bahwa membran yang dihasilkan memiliki struktur serat halus dengan distribusi diameter berkisar antara 419,98 - 891,99 nm. Optimasi proses dilakukan menggunakan *Response Surface Methodology* (RSM) dengan *Central Composite Design* (CCD), menghasilkan kondisi optimal pada kandungan ekstrak akar kuning 390,21 mg, jarak pemintalan 120,47 mm, dan tegangan suplai 15,61 kV, dengan diameter serat maksimum 837,28 nm. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa membran nanofiber KS/PVA/EAK memiliki potensi besar sebagai material pembungkus makanan yang *biodegradable* serta memiliki sifat antioksidan dan antibakteri dari ekstrak akar kuning.

Kata Kunci: *Nanofiber*, kitosan, polyvinyl alcohol, elektrospinning, akar kuning, *food-packaging*.

ABSTRACT

*This study investigates the fabrication and physical properties analysis of nanofiber membranes based on chitosan/polyvinyl alcohol (PVA) with the addition of yellow root extract (*Arcangelisia flava* L.) for food-packaging applications. The nanofiber membranes were fabricated using the electrospinning method, with variations in yellow root extract content, spinning distance, and applied voltage. Morphological analysis using microscope revealed that the produced membranes exhibit fine fiber structures with a diameter distribution ranging from 419.98 to 891.99 nm. Process optimization was conducted using Response Surface Methodology (RSM) with a Central Composite Design (CCD), resulting in optimal conditions at 390.21 mg of yellow root extract, 120.47 mm spinning distance, and 15.61 kV applied voltage, with a maximum fiber diameter of 837.28 nm. The findings indicate that KS/PVA/EAK nanofiber membranes have significant potential as biodegradable food-packaging materials with antioxidant and antibacterial properties derived from yellow root extract.*

Keywords: *Nanofiber, chitosan, polyvinyl alcohol, electrospinning, yellow root, food-packaging,*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembungkus makanan berperan penting untuk memperpanjang ketahanan makanan dengan melindunginya dari kontaminasi dan kerusakan fisik serta menjaga kesegarannya. Sejak zaman dahulu, manusia telah menggunakan berbagai metode seperti pengeringan makanan, fermentasi, dan pendinginan untuk membuat makanan lebih awet dan tahan lama (Desrosier dkk., 2024). Dengan membungkus makanan seperti sayuran, buah-buahan, atau daging, kita dapat memperpanjang masa simpan makanan dan mempermudah proses pemindahannya dari satu tempat ke tempat lainnya, baik dalam skala kecil maupun besar. Pembungkus makanan awalnya dibuat dengan tujuan utama melindungi makanan guna memastikan kualitas dan kuantitasnya melalui pembentukan penghalang pelindung (Khalid & Arif, 2022). Pembungkus ini tidak hanya mencegah masuknya bakteri dan mikroorganisme yang dapat merusak makanan, tetapi juga melindungi makanan dari paparan udara, cahaya, dan kelembaban yang dapat mempercepat proses pembusukan. Bahan pembungkus memiliki tiga fungsi utama yaitu memberikan perlindungan, utilitas, dan komunikasi dalam tiga lingkungan yang berbeda (Huang dkk., 2022). Lebih jauh lagi, Kenneth (2002) menjelaskan kemasan bertujuan untuk menyimpan produk, mengatur jumlah yang akan dibeli oleh konsumen, melindungi produk dari kontaminasi, kerusakan lingkungan, serta pencurian, mempermudah transportasi dan penyimpanan produk, serta menyampaikan informasi dalam gaya desain yang khas. Menurutnya, Salah satu cara untuk mengkategorikan kemasan adalah dengan menggambarannya sebagai fleksibel, semi-fleksibel, atau kaku. Dengan semakin bertambahnya jumlah penduduk di dunia dan kemajuan teknologi yang semakin berkembang pesat, kebutuhan akan pembungkus makanan juga menjadi lebih beraneka

ragam. Permintaan akan jenis-jenis kemasan yang lebih praktis, ekonomis, dan ramah lingkungan semakin meningkat. Selain fungsi dasarnya untuk melindungi makanan, pembungkus makanan kini juga diharapkan dapat memenuhi berbagai standar keamanan pangan dan ramah lingkungan, seperti dapat didaur ulang, terurai secara alami, atau terbuat dari bahan-bahan yang tidak berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Inovasi dalam bahan dan desain pembungkus makanan terus dilakukan untuk menjawab tantangan-tantangan ini. Dengan demikian, perkembangan pembungkus makanan tidak hanya berfokus pada aspek pelindungannya saja, tetapi juga pada keberlanjutan dan dampaknya terhadap lingkungan.

Di masa modern ini, plastik menjadi salah satu bahan yang paling banyak digunakan dalam industri dikarenakan ketahanan, fleksibilitas, dan biaya produksi yang murah (Ludwicka dkk., 2020). Salah satu pemanfaatan plastik yang paling banyak digunakan ialah untuk mengemas makanan yang dimana menyumbang sebanyak 50% plastik yang berasal dari bahan bakar fosil (Jacob dkk., 2020). Kemasan plastik digunakan secara luas karena kemampuannya dalam menjaga kesegaran dan kebersihan produk makanan, serta kepraktisannya yang tinggi. Namun, plastik memiliki kekurangan yang berdampak buruk pada lingkungan sekitar. Sampah plastik dan olahan lainnya setidaknya membutuhkan waktu sekitar sepuluh hingga seratus tahun untuk terurai dalam pemrosesan di tempat pembuangan sampah (Thiounn dkk., 2020). Hal ini menyebabkan akumulasi sampah plastik di lautan dan daratan, mencemari ekosistem dan mengancam kehidupan makhluk hidup. Penelitian yang dilakukan Pilapitiya dan Ratnayake di tahun 2024 menunjukkan bahwa penggunaan plastik meningkat secara dramatis dari 2 juta ton di tahun 1950 menuju 368 juta ton di tahun 2019. Pertumbuhan eksponensial ini mencerminkan ketergantungan dunia pada plastik dalam berbagai aspek kehidupan, mulai dari industri makanan hingga teknologi medis. Namun,

peningkatan penggunaan plastik ini juga memperparah masalah lingkungan yang ada. Plastik juga memiliki dampak buruk terhadap makhluk hidup dalam bentuk sisa-sisa berukuran sangat kecil yang dinamakan mikroplastik. Hasil dari eksperimen pada sel dan hewan telah menunjukkan bahwa mikroplastik dapat mempengaruhi berbagai sistem dalam tubuh manusia, termasuk sistem pencernaan, pernapasan, endokrin, reproduksi, dan kekebalan tubuh (Lee dkk., 2023). Mikroplastik ini bisa masuk ke dalam tubuh manusia melalui berbagai jalur, termasuk konsumsi makanan dan air yang terkontaminasi serta inhalasi partikel di udara. Selain itu, mikroplastik juga menimbulkan berbagai bahaya bagi hewan bawah laut yang jika dikonsumsi akan menimbulkan masalah pencernaan dan dampak fisiologis bagi hewan tersebut yang kemudian akan semakin berbahaya lagi apabila kemudian dikonsumsi oleh manusia (Yang dkk., 2021). Mikroplastik yang terkandung dalam rantai makanan laut ini dapat terakumulasi dalam tubuh manusia dan menimbulkan efek kesehatan jangka panjang yang serius. Permasalahan plastik yang kompleks ini memerlukan solusi yang komprehensif dan berkelanjutan.

Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengurangi sampah plastik dari pembungkus makanan adalah dengan menggunakan bahan yang mudah terurai. Polimer alami yang dapat terurai, termasuk protein, lipid, dan polisakarida, semakin banyak digunakan dalam kemasan makanan karena biaya yang murah, ramah lingkungan, dan mudah dibentuk (J.H. Han, 2014). Beberapa bahan yang menunjukkan potensi antara lain adalah gelatin, zein, dan kitosan. Dari sekian banyak polimer ini, kitosan sangat menarik karena sifatnya yang tidak beracun, dapat terurai, dan tidak berbahaya bagi makhluk hidup. Akan tetapi, kitosan memiliki sifat rapuh dan mudah larut dalam air, yang dimana hal ini sangat membatasi penggunaannya (K. Lewandowska, 2012). Untuk mengatasi keterbatasan ini, kitosan dapat dikombinasikan dengan biopolimer lain, salah satunya *polyvinyl alcohol* (PVA). Oleh karena itu,

polivinyl alcohol (PVA) muncul sebagai pilihan utama untuk dicampur dengan kitosan karena sifatnya yang dapat terurai, kompatibel, tidak beracun, dan kemampuan ikatan hidrogen yang kuat (C.I.K. Diop *dkk.* 2023). Selain itu, PVA dapat meningkatkan elastisitas dan sifat penghalang dari film campuran yang dihasilkan berkat sifat plastisitasnya (A. Rafique *dkk.* 2016). Sifat-sifat ini telah menarik perhatian besar pada modifikasi campuran kitosan dan PVA (W. Zhang *dkk.*, 2023).

Kekurangan lain dari kitosan adalah rendahnya antioksidan yang membatasi kegunaan dan pemakaiannya (Marodi *dkk.*, 2012). Penambahan zat antioksidan ke dalam kitosan dapat mengembangkan material bersifat antioksidan sekaligus menjaga kualitas makanan yang di dalamnya yang dalam hal ini adalah tanaman akar kuning. Akar kuning (*Arcangelisia flava* L.) adalah tanaman obat dari famili Menispermaceae yang banyak ditemukan di hutan tropis Asia Tenggara, termasuk Indonesia. Tanaman akar kuning atau juga dikenal dengan kayu kuning (*Arcangelisia flava* L.). Tanaman ini dikenal karena batangnya yang berwarna kuning dan sering dimanfaatkan dalam pengobatan tradisional. Terdapat banyak manfaat dari tanaman satu ini seperti antioksidan, antimikroba, antimalaria, anti-kanker, dan anti-inflamasi. Niwat et al. (2005) melaporkan bahwa ekstrak metanol dari *A. flava* menunjukkan aktivitas antioksidan moderat. Wahyudi et al. (2016) juga menemukan bahwa ekstrak fenolik daun *A. flava* memiliki kemampuan menangkal radikal bebas yang sebanding dengan vitamin C. Akar kuning juga terbukti memiliki aktivitas antimikroba yang efektif melawan *Salmonella typhi*, *Staphylococcus aureus*, dan *Trichophyton rubrum* dengan zona hambat yang cukup besar (Heryani, H., & Nugroho, A., 2015).

Arcangelisia flava juga memiliki aktivitas antimikroba yang luas terhadap bakteri Gram-positif dan Gram-negatif. Studi oleh Maryani et al. (2018) menunjukkan bahwa ekstrak daun tanaman ini dapat menghambat

pertumbuhan *Pseudomonas fluorescens*, sedangkan Pratama et al. (2018) menemukan bahwa mekanisme utama aktivitas ini adalah penghambatan sintesis protein dan dinding sel bakteri. Tanaman ini juga memiliki potensi terhadap anti-kanker seperti yang dilaporkan oleh Pratama (2016) menunjukkan bahwa beberapa metabolit sekunder dari *A. flava* memiliki aktivitas antiproliferasi terhadap sel kanker. Ueda et al. (2002) menemukan bahwa *berberine* dapat menghambat pertumbuhan sel kanker seperti *HeLa*, *A549*, dan *B16-BL6 melanoma*. Selain itu, Ho et al. (2009) melaporkan bahwa *berberine* dapat memicu apoptosis pada sel kanker lidah manusia dengan meningkatkan ekspresi *Caspase-8*, *Caspase-9*, dan *Caspase-3*. Jiang et al. (2015) menemukan bahwa senyawa *N-trans-feruloyltyramine* dalam *A. flava* dapat menekan ekspresi *Cyclooxygenase-2 (COX-2)* dan *Inducible Nitric Oxide Synthase (iNOS)*, yang berperan dalam respons inflamasi. Selain itu, Tan et al. (2019) melaporkan bahwa *dihydroberberine*, salah satu senyawa dalam tanaman ini, memiliki efek antiinflamasi melalui modulasi jalur sinyal *NF- κ B* dan *MAPK*.

Studi mengenai pembungkus makanan dengan membran nanofiber yang menggunakan antioksidan alami masih terbilang jarang ditemukan dan dilaporkan. Oleh karena itu, ada peluang besar untuk melakukan penelitian yang lebih lanjut terkait ketiga komponen tersebut. Berdasarkan penjelasan tersebut, penelitian ini dilakukan dengan judul "**Analisis Sifat Fisika Membran Nanofiber Kitosan/PVA/Ekstrak Akar Kuning Untuk Aplikasi Food-Packaging Sebagai Kontribusi Mata Kuliah Eksperimen Fisika Lanjut.**"

1.2. Batasan Masalah

Adapun untuk batasan penelitian ini hanya mencakup analisis sifat fisika membran nanofiber dari Kitosan/PVA/Ekstrak Akar Kuning untuk digunakan sebagai pembungkus makanan.

1.3. Rumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang penelitian yang telah dipaparkan sebelumnya, pertanyaan utama dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana analisis sifat fisika membran nanofiber Kitosan/PVA/ekstrak akar kuning untuk pembungkus makanan?
2. Bagaimana kontribusi penelitian ini dalam mata kuliah eksperimen fisika lanjut?

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sifat fisika membran nanofiber Kitosan/PVA/ekstrak akar kuning agar dapat diterapkan sebagai pembungkus makanan. Selain itu, penelitian ini juga berusaha mengevaluasi kontribusinya terhadap mata kuliah Eksperimen Fisika Lanjut.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan beragam manfaat bagi berbagai pihak, antara lain, yaitu:

1. Bagi Peneliti, diharapkan mampu menambah pengetahuan peneliti terkait teknologi nanofiber, terutama penerapan untuk membuat membran *nanofiber* Kitosan/PVA/Ekstrak Akar Kuning sebagai pembungkus makanan.
2. Bagi Institusi, penelitian ini dapat menjadi referensi bagi institusi lain, sehingga program studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Sriwijaya menjadi lebih dikenal. Selain itu, penelitian ini juga dapat bermanfaat bagi institusi dalam pembelajaran mata kuliah eksperimen fisika lanjut.
3. Bagi Sosial (Masyarakat), memberikan informasi terkait inovasi pembuatan membran *nanofiber* Kitosan/PVA/Ekstrak Akar Kuning

DAFTAR PUSTAKA

- Ahari H., Soufiani S.P. Smart and Active Food Packaging: Insights in Novel Food Packaging. *Front. Microbiol.* 2021;12:657233. doi: 10.3389/fmicb.2021.657233.
- Almafie, M. R., Dani, R., Riyanto, R., Marlina, L., Jauhari, J., & Sriyanti, I. (2024). Preparation of PAN/PVDF nanofiber mats loaded with coconut shell activated carbon and silicon dioxide for lithium-ion battery anodes. *Sci. Technol. Indonesia*, 9(2), 427-447.
- Almafie, M. R., Nawawi, Z., Jauhari, J., & Sriyanti, I. (2020). Electrospun of Poly (vinyl alcohol)/Potassium hydroxide (PVA/KOH) nanofiber composites using the electrospinning method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 850(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/850/1/012051>
- Alp-Erbay E., Yesilsu A.F., Ture M. Fish Gelatin Antimicrobial Electrospun Nanofibers for Active Food-Packaging Applications. *J. Nano Res.* 2019;56:80–97. doi: 10.4028/www.scientific.net/JNanoR.56.80.
- Beachley V., Katsanevakis E., Zhang N., Wen X. A Novel Method to Precisely Assemble Loose Nanofiber Structures for Regenerative Medicine Applications. *Adv. Healthc. Mater.* 2013;2:343–351. doi: 10.1002/adhm.201200125.
- Biswas R., Alam M., Sarkar A., Haque M.I., Hasan M.M., Hoque M. Application of Nanotechnology in Food: Processing, Preservation, Packaging and Safety Assessment. *Heliyon*. 2022;8:e11795. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e11795.
- Cherif Ibrahima Khalil Diop, Sagrario Beltran, Maria-Teresa Sanz, Javier Garcia-Tojal, Miriam Trigo-lopez, Designing bilayered composite films by direct agar/Kitosan and citric acid-crosslinked PVA/agar layer-by-layer casting for packaging applications. *Food Hydrocolloids*. 2023
- Chinnappan B.A., Krishnaswamy M., Xu H., Hoque M.E. Electrospinning of Biomedical Nanofibers/Nanomembranes: Effects of Process Parameters. *Polymers*. 2022;14:3719. doi: 10.3390/polym14183719.
- Desrosier, N. Wilfred and Singh, . R. Paul (2024, June 18). food preservation. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/topic/food-preservation>
- Ewulonu, C. M., Chukwunke, J. L., Nwuzor, I. C., & Achebe, C. H. (2020). Fabrication of cellulose nanofiber/polypyrrole/polyvinylpyrrolidone aerogels with box-Behnken design for optimal electrical conductivity. *Carbohydrate polymers*, 235, 116028.
- Fita Selonni. UJI AKTIVITAS ANTIOKSIDAN EKSTRAK ETANOL : AIR (1:1) AKAR KUNING (*Ocimum basilicum* L.) DENGAN METODA DPPH (1,1-

- diphenil-2-picrylhydrazil). *Jurnal Akademi Farmasi Prayoga*. 2021. <https://doi.org/10.56350/jafp.v6i2.69>
- Fuh Y.K., Wang B.S. Near Field Sequentially Electrospun Three-Dimensional Piezoelectric Fibers Arrays for Self-Powered Sensors of Human Gesture Recognition. *Nano Energy*. 2016;30:677–683. doi: 10.1016/j.nanoen.2016.10.061.
- Ghaderpour A., Hoseinkhani Z., Yarani R., Mohammadiani S., Amiri F., Mansouri K. Altering the Characterization of Nanofibers by Changing the Electrospinning Parameters and Their Application in Tissue Engineering, Drug Delivery, and Gene Delivery Systems. *Polym. Advan Technol.* 2021;32:1924–1950. doi: 10.1002/pat.5242.
- Gopi, S., Thomas, S., Pius, A., Eds.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2020; pp. 1–33.
- Guan, X., & Yao, H. (2008). Optimization of Viscozyme L-assisted extraction of oat bran protein using response surface methodology. *Food chemistry*, 106(1), 345–351.
- Han D., Steckl A.J. Superhydrophobic and Oleophobic Fibers by Coaxial Electrospinning. *Langmuir*. 2009;25:9454–9462. doi: 10.1021/la900660v.
- Hasanpour, M., Motahari, S., Jing, D., & Hatami, M. (2021). Statistical analysis and optimization of photodegradation efficiency of methyl orange from aqueous solution using cellulose/zinc oxide hybrid aerogel by response surface methodology (RSM). *Arabian Journal of Chemistry*, 14(11), 103401.
- Hasanudin, H., Asri, W. R., Said, M., Hidayati, P. T., Purwaningrum, W., Novia, N., & Wijaya, K. (2022). Hydrocracking optimization of palm oil to bio-gasoline and bio-aviation fuels using molybdenum nitride-bentonite catalyst. *RSC advances*, 12(26), 16431-16443.
- He, H., Wang, Y., Farkas, B., Nagy, Z. K., & Molnar, K. (2020). Analysis and prediction of the diameter and orientation of AC electrospun nanofibers by response surface methodology. *Materials & Design*, 194, 108902.
- He, H., Wang, Y., Farkas, B., Nagy, Z. K., & Molnar, K. (2020). Analysis and prediction of the diameter and orientation of AC electrospun nanofibers by response surface methodology. *Materials & Design*, 194, 108902.
- Helberg, Julian; Pratt, Derek A. (2021). "Autoxidation vs. Antioxidants – the fight for forever". *Chemical Society Reviews*. 50 (13): 7343–7358
- Heryani, H., & Nugroho, A. (2015). Study of yellow root (*Arcangelisia flava* Merr) as a natural food additive with antimicrobial and acidity-stabilizing effects in the

- production process of palm sugar. *Procedia Environmental Sciences*, 23, 346-350.
- Ho, Y. T., Yang, J. S., & Lin, M. T. (2009). Berberine-induced apoptosis in SCC-4 human tongue cancer cells via Caspase activation. *Oral Oncology*, 45(7), 564-570.
- Hui Huang, Yudong Song, Yaqiong Zhang, Yongxin Li, Jiali Li, Xiaofeng Lu, Ce Wang. Electrospun Nanofibers: Current Progress and Applications in Food Systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2022, 70 (5) , 1391-1409. <https://doi.org/10.1021/aKS.jafc.1c05352>
- Jacob J., Lawal U., Thomas S., Valapa R.B. Chapter 4-Biobased Polymer Composite from Poly (Lactic Acid): Processing, Fabrication, and Characterization for Food Packaging. In: Zhang Y., editor. *Processing and Development of Polysaccharide-Based Biopolymers for Packaging Applications*. Elsevier; Amsterdam, The Netherlands: 2020. pp. 97–115.
- Jiang, J., Li, H., Zhang, X., & Wang, C. (2015). Anti-inflammatory effects of *N-trans-feruloyltyramine* via COX-2 and iNOS suppression. *Journal of Ethnopharmacology*, 165, 25-32.
- Jones, M.; Kujundzic, M.; John, S.; Bismarck, A. Crab vs. Mushroom: A Review of Crustacean and Fungal Chitin in Wound Treatment. *Mar. Drugs* 2020, 18, 64.
- Jung H. Han, Chapter 1 - A Review of Food Packaging Technologies and Innovations, Editor(s): Jung H. Han, In *Food Science and Technology, Innovations in Food Packaging (Second Edition)*. Academic Press. 2014.
- K. Ludwicka, M. Kaczmarek, A. Biłkowska. Bacterial nanocellulose—a biobased polymer for active and intelligent food packaging applications: Recent advances and developments. *Polymers*, 12 (10) (2020), pp. 1-23, [10.3390/polym12102209](https://doi.org/10.3390/polym12102209)
- Kamali, H., Farzadnia, P., Movaffagh, J., & Abbaspour, M. (2022). Optimization of curcumin nanofibers as fast dissolving oral films prepared by emulsion electrospinning via central composite design. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 75, 103714.
- Katarzyna Lewandowska, Surface studies of microcrystalline KITOSAN/poly(vinyl alcohol) mixtures. *Applied Surface Science*. 2012.
- Kenneth R. Berger. (2002). *A Brief History of Packaging*. University of Florida Cooperative Extension Service. Institute of Food and Agricultural Sciences. EDIS.

- Klemchuk, Peter P. (2000). "Antioxidants". *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. doi:10.1002/14356007.a03_091. ISBN 3527306730.
- Kumar L., Ramakanth D., Akhila K., Gaikwad K.K. Edible Films and Coatings for Food Packaging Applications: A Review. *Environ. Chem. Lett.* 2022;20:875–900. doi: 10.1007/s10311-021-01339-z.
- Kumari, S.; Kishor, R. Chapter 1—Chitin and Kitosan: Origin, properties, and applications. In *Handbook of Chitin and Kitosan*;
- Lee Y, Cho J, Sohn J, Kim C. Health Effects of Microplastic Exposures: Current Issues and Perspectives in South Korea. *Yonsei Med J.* 2023 May;64(5):301-308. doi: 10.3349/ymj.2023.0048. PMID: 37114632; PMCID: PMC10151227..
- Łukasz Sęczyk, Fethi Ahmet Ozdemir, Barbara Kołodziej, In vitro bioaccessibility and activity of basil (*Ocimum basilicum* L.) phytochemicals as affected by cultivar and postharvest preservation method – Convection drying, freezing, and freeze-drying, *Food Chemistry*, Volume 382, 2022, 132363, ISSN 0308-8146, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132363>.
- Luo G., Teh K.S., Liu Y., Zang X., Wen Z., Lin L. Direct-Write, Self-Aligned Electrospinning on Paper for Controllable Fabrication of Three-Dimensional Structures. *AKS Appl. Mater. Inter.* 2015;7:27765–27770. doi: 10.1021/aKSami.5b08909.
- Majdi, C.; Pereira, C.; Dias, M.I.; Calhelha, R.C.; Alves, M.J.; Rhourri-Frih, B.; Charrouf, Z.; Barros, L.; Amaral, J.S.; Ferreira, I.C.F.R. Phytochemical Characterization and Bioactive Properties of Cinnamon Basil (*Ocimum basilicum* cv. 'Cinnamon') and Lemon Basil (*Ocimum × citriodorum*). *Antioxidants* 2020, 9, 369. <https://doi.org/10.3390/antiox9050369>
- Maryani, E., Hermanto, M. A., & Fauziyah, S. (2018). Antibacterial activity of *Arcangelisia flava* extract against *Pseudomonas fluorescens*. *Jurnal Biologi Indonesia*, 14(2), 120-128.
- Mehran Moradi, Hossein Tajik, Seyed Mehdi Razavi Rohani, Abdul Rasoul Oromiehie, Hassan Malekinejad, Javad Aliakbarlu, Mojtaba Hadian. Characterization of antioxidant chitosan film incorporated with *Zataria multiflora* Boiss essential oil and grape seed extract. *LWT - Food Science and Technology*. Volume 46, Issue 2. 2012. Pages 477-484. ISSN 0023-6438. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.11.020>.
- Mohammadi Z.B., Zhang F., Kharazmi M.S., Jafari S.M. Nano-Biocatalysts for Food Applications; Immobilized Enzymes within Different Nanostructures. *Crit. Rev. Food Sci.* 2022;19:1–19. doi: 10.1080/10408398.2022.2092719.

- Morin-Crini, N.; Lichtfouse, E.; Torri, G.; Crini, G. Applications of Kitosan in food, pharmaceuticals, medicine, cosmetiKS, agriculture, textiles, pulp and paper, biotechnology, and environmental chemistry. 2019.
- Niwat, C., Kato, M., & Sugiyama, K. (2005). Antioxidant potential of methanol extract from *Arcangelisia flava*. *Food Science and Biotechnology*, 14(2), 205-210.
- P.G.C. Nayanathara Thatthasarani Pilapitiya, Amila Sandaruwan Ratnayake, The world of plastic waste: A review, *Cleaner Materials*, Volume 11, 2024, 100220, ISSN 2772-3976, <https://doi.org/10.1016/j.clema.2024.100220>.
- Panda, P. K., Gangwar, A., & Thite, A. G. (2022). Optimization of Nylon 6 electrospun nanofiber diameter in needle-less wire electrode using central composite design and response surface methodology. *Journal of Industrial Textiles*, 51(5_suppl), 7279S-7292S.
- Panda, P. K., Gangwar, A., & Thite, A. G. (2022). Optimization of Nylon 6 electrospun nanofiber diameter in needle-less wire electrode using central composite design and response surface methodology. *Journal of Industrial Textiles*, 51(5_suppl), 7279S-7292S.
- Perna, S., Alawadhi, H., Riva, A., Allegrini, P., Petrangolini, G., Gasparri, C., Alalwan, T. A., & Rondanelli, M. (2022). In Vitro and In Vivo Anticancer Activity of Basil (*Ocimum* spp.): Current Insights and Future Prospects. *Cancers*, 14(10), 2375. <https://doi.org/10.3390/cancers14102375>
- Petersen K., Nielsen P.V., Bertelsen G., Lawther M., Olsen M.B., Nilsson N.H., Mortensen G. Potential of Biobased Materials for Food Packaging. *Trends Food Sci. Technol.* 1999;10:52–68. doi: 10.1016/S0924-2244(99)00019-9.
- Pillai, C.K.S.; Paul, W.; Sharma, C.P. Chitin and Kitosan polymers: Chemistry, solubility and fiber formation. *Prog. Polym. Sci.* 2009, 34, 641–678.
- Pratama, A. (2016). Secondary metabolites of *Arcangelisia flava* inhibit cancer cell proliferation. *Cancer Chemotherapy and Pharmacology*, 78(3), 457-468.
- Pratama, A. (2018). The inhibition mechanism of secondary metabolites from *Arcangelisia flava* on bacterial protein and cell wall synthesis. *International Journal of Microbiology Research*, 10(1), 50-60.
- Qureshi, W. A., Radjarejesri, S., Shanmugam, K., Elavarasan, P., Gowrishankar, M., & Gebeyehu, K. B. (2022). Central composite design of spraying process to laminate the paper substrates with cellulose nanofibers (CNF) as green packaging wrap. *Journal of Nanomaterials*, 2022(1), 9481983.

- Rezaei, A., & Zebarjad, S. M. (2024). Evaluation of the effective parameters on the electrospinning of polyvinyl alcohol–chitosan nanofibers using response surface methodology (RSM). *Macromolecular Research*, 32(10), 1005-1027.
- Romadhani, D. F., Fahmy, A. H., Alam, I. P., & Salim, H. M. (2020). Bactericidal Effects of Extract Basil Leaves in In-vitro Study of *Pseudomonas aeruginosa*. *Biomolecular and Health Science Journal*, 3(2), 102–105. <https://doi.org/10.20473/bhsj.v3i2.22090>
- Rúnarsson, Ö.V.; Holappa, J.; Nevalainen, T.; Hjálmsdóttir, M.; Järvinen, T.; Loftsson, T.; Einarsson, J.M.; Jónsdóttir, S.;
- Sahariah, P.; Masson, M. Antimicrobial Kitosan and Kitosan Derivatives: A Review of the Structure-Activity Relationship. *Biomacromolecules* .2017.
- Sameen D.E., Ahmed S., Lu R., Li R., Dai J., Qin W., Zhang Q., Li S., Liu Y. Electrospun Nanofibers Food Packaging: Trends and Applications in Food Systems. *Crit. Rev. Food Sci.* 2022;62:6238–6251. doi: 10.1080/10408398.2021.1899128.
- Sánchez-Machado, D. I., López-Cervantes, J., Vega-Cázarez, C. A., Hernández-Ruiz, K. L., Campas-Baypoli, O. N., Soto-Cota, A., & Madera-Santana, T. J. (2024). Functional and antibacterial characterization of electrospun nanofiber membranes made of chitosan and polyvinyl alcohol. *Results in Chemistry*, 7, 101314. <https://doi.org/10.1016/J.RECHEM.2024.101314>
- Sara Risch. (2009). Food Packaging History and Innovations. *Journal of agricultural and food chemistry*. 57. 8089-92. 10.1021/jf900040r.
- Sharafinia, S., Farrokhnia, A., & Lemraski, E. G. (2022). Optimized safranin adsorption onto poly (vinylidene fluoride)-based nanofiber via response surface methodology. *Materials Chemistry and Physics*, 276, 125407.
- Sharafinia, S., Farrokhnia, A., & Lemraski, E. G. (2022). Optimized safranin adsorption onto poly (vinylidene fluoride)-based nanofiber via response surface methodology. *Materials Chemistry and Physics*, 276, 125407.
- Sharma R., Jafari S.M., Sharma S. Antimicrobial Bio-Nanocomposites and Their Potential Applications in Food Packaging. *Food Control*. 2020;112:107086. doi: 10.1016/j.foodcont.2020.107086.
- Shlush E., Davidovich-Pinhas M. BioplastiKS for Food Packaging. *Trends Food Sci. Technol.* 2022;125:66–80. doi: 10.1016/j.tifs.2022.04.026.
- Sriyanti, I., Ramadhani, R. F., Almafie, M. R., Ap Idjan, M. K. N., Syafri, E., Solihah, I., ... & Fudholi, A. (2024). Physicochemical and mechanical properties of

- polyvinylidene fluoride nanofiber membranes. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9, 100588.
- Sun Z.C., Zussman E., Yarin A.L., Wendorff J.H., Greiner A. Compound Core-Shell Polymer Nanofibers by Co-Electrospinning. *Adv. Mater.* 2003;15:1929–1932. doi: 10.1002/adma.200305136.
- Szewczyk, P. K., & Stachewicz, U. (2020). The impact of relative humidity on electrospun polymer fibers: From structural changes to fiber morphology. *Advances in colloid and interface science*, 286, 102315.
- Tan, X., Sun, Y., Jin, H., & Wang, Y. (2019). Dihydroberberine inhibits inflammation through NF- κ B and MAPK pathways. *Phytomedicine*, 53, 267-275.
- Terada D., Kobayashi H., Zhang K., Tiwari A., Yoshikawa C., Hanagata N. Transient Charge-Masking Effect of Applied Voltage on Electrospinning of Pure Chitosan Nanofibers from Aqueous Solutions. *Sci. Technol. Adv. Mat.* 2012;13:9. doi: 10.1088/1468-6996/13/1/015003.
- Thiounn T, Smith RC. Advances and approaches for chemical recycling of plastic waste. *J Polym Sci.* 2020; 58: 1347–1364. <https://doi.org/10.1002/pol.20190261>
- Tropical Plants Database, Ken Fern. tropical.theferns.info. 2025-03-08. <tropical.theferns.info/viewtropical.php?id=Arcangelisia+flava>
- Ueda, J. Y., Tezuka, Y., Banskota, A. H., et al. (2002). Antiproliferative activity of berberine in cancer cell lines. *Cancer Science*, 93(7), 741-748.
- Urszula Złotek, Konrad A. Szychowski, Michał Świeca, Potential in vitro antioxidant, anti-inflammatory, antidiabetic, and anticancer effect of arachidonic acid-elicited basil leaves, *Journal of Functional Foods*, Volume 36, 2017, Pages 290-299, ISSN 1756-4646, <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.07.024>.
- Valdimarsdóttir, M.; Másson, M. Antibacterial activity of methylated Kitosan and chito oligomer derivatives: Synthesis and structure activity relationships. *Eur. Polym. J.* 2007
- Van, N. T. T., Gaspillo, P. A., Thanh, H. G. T., Nhi, N. H. T., Long, H. N., Tri, N., ... & Ha, H. K. P. (2022). Cellulose from the banana stem: optimization of extraction by response surface methodology (RSM) and characterization. *Heliyon*, 8(12).
- Van, N. T. T., Gaspillo, P. A., Thanh, H. G. T., Nhi, N. H. T., Long, H. N., Tri, N., ... & Ha, H. K. P. (2022). Cellulose from the banana stem: optimization of extraction by response surface methodology (RSM) and characterization. *Heliyon*, 8(12).

- Wahyudi, L. D., Ratnadewi, A. A. I., & Siswoyo, T. A. (2016). Potential antioxidant and antidiabetic activities of kayu kuning (*Arcangelisia flava*). *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 9, 396-402.
- Xie J., Li X., Lipner J., Manning C.N., Schwartz A.G., Thomopoulos S., Xia Y. "Aligned-to-Random" Nanofiber Scaffolds for Mimicking the Structure of the Tendon-to-Bone Insertion Site. *Nanoscale*. 2010;2:923-926. doi: 10.1039/c0nr00192a.
- Xu H., Fan P., Xu L. Cuo/Zno/Cqds@Pan Nanocomposites with Ternary Heterostructures for Enhancing Photocatalytic Performance. *Catalysts*. 2023;13:110. doi: 10.3390/catal13010110.
- Xue, J.; Wu, T.; Dai, Y.; Xia, Y. Electrospinning and Electrospun Nanofibers: Methods, Materials, and Applications. *Chem. Rev.* 2019, 119, 5298-5415.
- Yang H, Chen G, Wang J. MicroplastiKS in the Marine Environment: Sources, Fates, Impacts and Microbial Degradation. *ToxiKS*. 2021 Feb 22;9(2):41. doi: 10.3390/toxiKS9020041. PMID: 33671786; PMCID: PMC7927104.
- Zahid, Mohd & Cheow, C.S & Norizzah, A.R. & Halimahton, M & Md Sikin, Adi & Ab Wahab, Noorakmar & Ishak, Ruzaina. (2011). Optimization of process conditions for the application of edible coating emulsion on guava (*Psidium guajava*) using response surface methodology.
- Zhang C., Li Y., Wang P., Zhang H. Electrospinning of Nanofibers: Potentials and Perspectives for Active Food Packaging. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2020;19:479-502. doi: 10.1111/1541-4337.12536.
- Zhao L., Duan G., Zhang G., Yang H., He S., Jiang S. Electrospun Functional Materials Toward Food Packaging Applications: A Review. *Nanomaterials*. 2020;10:150. doi: 10.3390/nano10010150.
- Zhao L., Liu P., He J. Sudden Solvent Evaporation in Bubble Electrospinning for Fabrication of Unsmooth Nanofibers. *Therm. Sci.* 2017;21:1827-1832. doi: 10.2298/TSCI160725075Z.
- Zhao Y., Cao X., Jiang L. Bio-Mimic Multichannel Microtubes by a Facile Method. *J. Am. Chem. Soc.* 2007;129:764-765. doi: 10.1021/ja068165g.