

**ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN FISIKA MEMBRAN
NANOFIBER PVDF/PAN/GRAPHENE MENGGUNAKAN
RESPONSE SURFACE METHODOLOGY UNTUK APLIKASI
IMPLAN JANTUNG SEBAGAI KONTRIBUSI PADA MATA
KULIAH FISIKA DASAR**

SKRIPSI

Oleh

Rahma Dani

NIM: 06111282025043

Program Studi Pendidikan Fisika



**FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
TAHUN 2024**

**ANALISIS SIFAT MEKANIK DAN FISIKA MEMBRAN
NANOFIBER PVDF/PAN/GRAPHENE MENGGUNAKAN
RESPONSE SURFACE METHODOLOGY UNTUK APLIKASI
IMPLAN JANTUNG SEBAGAI KONTRIBUSI PADA MATA
KULIAH FISIKA DASAR**

SKRIPSI

Rabma Dani

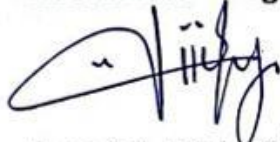
NIM: 06111282925043

Program Studi Pendidikan Fisika

Mengesahkan :

Mengetahui

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

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Rahma Dani

NIM : 06111282025043

Program Studi : Pendidikan Fisika

Menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa skripsi yang berjudul "Analisis Sifat Mekanik dan Fisika Membran *Nanofiber* PVDF/PAN/*Graphene* menggunakan *Response Surface Methodology* untuk Aplikasi Implan Jantung sebagai Kontribusi pada Mata Kuliah Fisika Dasar" ini adalah benar-benar karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku sesuai dengan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor 17 tahun 2010 tentang Pencegahan dan Penanggulangan Plagiat di Perguruan Tinggi. Apabila di kemudian hari, ada pelanggaran yang ditemukan dalam skripsi ini dan/atau ada pengaduan dari pihak lain terhadap keaslian karya ini, saya bersedia menanggung sanksi yang dijatuhkan kepada saya. Demikianlah pernyataan ini dibuat dengan sungguh-sungguh tanpa pemaksaan dari pihak manapun.

Indralaya, 26 Maret 2024

Yang membuat pernyataan,



Rahma Dani

PRAKATA

Skripsi dengan judul “Analisis Sifat Mekanik dan Fisika Membran *Nanofiber PVDF/PAN/Graphene* menggunakan *Response Surface Methodology* untuk Aplikasi Implan Jantung sebagai Kontribusi pada Mata Kuliah Fisika Dasar” 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.

Oleh sebab itu, penulis mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT atas segala nikmat yang telah diberikan kepada hamba-Nya ini hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan sebaik-baiknya. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Prof. Dr. Ida Sriyanti, S.Pd., M.Si. sebagai pembimbing atas segala bimbingan yang telah diberikan dalam penulisan skripsi ini. Kepada Saparini, S.Pd., M.Pd. selaku Koordinator Program Studi Pendidikan Fisika yang telah memberikan kemudahan dalam pengurusan administrasi selama penulisan skripsi ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Dr. Leni Marlina, S.Pd., M.Si. selaku reviewer seminar proposal, hasil hingga menjadi penguji dalam ujian skripsi penulis.

Lebih lanjut penulis juga mengucapkan terima kasih kepada superhero dan panutanku Ayahanda Alm. Subianto, S.KM. yang selalu berjuang untuk kehidupan penulis, beliau memang tidak dapat menemani sampai ke sarjana, tetapi beliau-lah yang mengantar dan menunggu saya saat ujian masuk universitas, beliau mencarikan tempat tinggal di Indralaya, mengantar jemput saat ada keperluan mendesak, rutin menjenguk anaknya setiap minggu. Pintu surgaku, Mamaku Deby, S.KM. Beliau sangat berperan penting dalam menyelesaikan program studi penulis, terima kasih Ma atas segala bentuk bantuan, semangat dan doa yang diberikan selama ini. Terima kasih atas nasihat yang selalu diberikan meski terkadang pikiran kita tidak sejalan, terima kasih atas kesabaran dan kebesaran hati menghadapi penulis yang keras kepala. Ibundaku menjadi penguat dan pengingat paling hebat. Terima kasih, sudah menjadi tempatku untuk pulang Ma. Untuk orang tuaku juga yaitu Bapak Dedi Ayani dan Ibu Lasmiati, S.Pd. memberikan dukungan dan

bantuannya selama penelitian skripsi ini. Untuk teman-teman peneliti di Laboratorium Instrumentasi dan Aplikasi Nanoteknologi yaitu kak M. Rama Almafie, S.Pd., M.Pd., Kak Silfiyana, S.Pd., Kak Rafli Fandu Ramadhani, S.Pd., Kak Ning Intan Lestari, S.Pd., Yulianti, Marsya Amalia Putri, Sela Juliyanti, terima kasih telah kebersamaan dan banyak membantu dalam skripsi ini. Untuk sahabatku diperkuliahan yaitu Dian Indra Pratama, Zaid Fadillah, Nita Arrum Sari, Adhila Mahardika, Yulianti, Tsabita Husna, Karenina Amanda, Regita Elsa Putri terima kasih telah menjadi tempat curhat penulis sekaligus support system sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Dan untuk sahabat SMA ku M. Aldo Trio Saputra, M. Ghozali Hr, Anggun Kharisma Suci, Wulan Anggraini, dan Naila Maharani terima kasih sudah menjadi tempat penulis berkeluh kesah selama penulisan skripsi.

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk pembelajaran bidang studi Pendidikan Fisika dan pengembangan ilmu pengetahuan, teknologi, dan seni.

Palembang, 26 Maret 2024

Penulis,



Rahma Dani

NIM. 06111282025043

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
ABSTRAK	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Batasan Masalah.....	4
1.3 Rumusan Masalah Penelitian	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Polimer <i>Polyvinylidene Fluoride</i> (PVDF).....	6
2.2 Polimer <i>Polyacrylonitrile</i> (PAN)	7
2.3 <i>Graphene</i>	8
2.4 <i>Electrospinning</i>	9
2.5 <i>Nanofiber</i>	10
2.6 Implan Jantung Berbasis Teknologi <i>Nanofiber</i>	10
2.7 <i>Response Surface Methodology</i>	11
2.8 Teknik Analisis.....	12
BAB III METODE PENELITIAN	14
3.1 Metode Penelitian.....	14
3.2. Waktu dan Tempat	15
3.3. Alat dan Bahan	15
3.4. Prosedur Eksperimen Penelitian.....	16
3.4.1. Pembuatan <i>Graphene</i> Tempurung Kelapa (rGOTK).....	16
3.4.2. Pembuatan Membran <i>Nanofiber</i> PVDF/PAN/ <i>graphene</i>	17
3.5 Variabel Penelitian	18

3.6 Desain Eksperimen.....	18
3.7 Metode Karakterisasi.....	20
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Deskripsi Hasil Penelitian	21
4.1.1 Analisis Hasil Morfologi Membran <i>Nanofiber</i> PVDF/PAN/ <i>Graphene</i> dengan Scanning Elektron Mikroskop (SEM).....	21
4.1.2 Analisis FTIR.....	24
4.1.3 Analisis XRD.....	26
4.1.4. Analisis Sifat Mekanik.....	28
4.1.5. Analisis Sudut Kontak	30
4.2. <i>Response Surface Methodology</i> (RSM)	31
4.2.1 Analisis Varians dan Persamaan Model	31
4.2.2 Validitas Model.....	36
4.2.3 Pengaruh parameter operasi pada respons	41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	48
5.1 Kesimpulan.....	48
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 (a) Material Polyvinylidene fluoride (PVDF) dan (b) Struktur Polyvinylidene fluoride (PVDF). Gambar milik pribadi Rahma Dani.	6
Gambar 2.2 (a) Material Polyacrylonitrile (PAN) dan (b) Struktur Polyacrylonitrile (PAN). Gambar milik pribadi Rahma Dani.	7
Gambar 2.3 (a) material graphene. Gambar milik pribadi Rahma Dani (b) Struktur graphene. (Zhu et al., 2014)	8
Gambar 2.4 Elektrosinning Unit (ES-106) (Jauhari et al., 2019).....	9
Gambar 3.1 Diagram alur penelitian	14
Gambar 3.2 Diagram pembuatan graphene	16
Gambar 3.3 Diagram pembuatan membran nanofiber	17
Gambar 3.4 Skematik pembuatan membran nanofiber PVDF/PAN/Graphene ..	18
Gambar 4.1 Foto optik membran nanofiber PVDF/PAN/Graphene	22
Gambar 4.2 Morfologi dan distribusi diameter rata-rata membran nanofiber F2, F8, A1 dan A5	23
Gambar 4.3 Spektrum FTIR dari membran nanofiber PVDF/PAN/Graphene dari (a) F2, (b) F8, (c) A1, dan (d) A5.....	25
Gambar 4.4 Spektrum XRD dari membran nanofiber PVDF/PAN/Graphene dari (a) F2, (b) F8, (c) A1, dan (d) A5.....	27
Gambar 4.5 Sifat mekanik dari nanofiber PVDF/PAN/Graphene	29
Gambar 4.6 Tetesan air yang diendapkan pada permukaan membran nanofiber PVDF/PAN/Graphene.....	30
Gambar 4.7 Plot ketergantungan yang dihitung dari probabilitas normal pada residu yang dipelajari secara internal untuk (a) diameter dan (b) Young Modulus	37
Gambar 4.8 Plot korelasi antara nilai resolusi yang diprediksi dan aktual untuk (a) Diameter, (b) Young's Modulus	38
Gambar 4.9 Plot residual yang dipelajari eksternal terhadap prediksi untuk (a) diameter dan (b) Young Modulus	40

Gambar 4.10 Grafik dari residual yang dipelajari eksternal vs run jumlah percobaan untuk (a) diameter dan (b) Young Modulus	41
Gambar 4.11 Plot permukaan respons 3D dan kontur dari interaksi antara konsentrasi (a) PAN vs. PVDF, (b) PAN vs. GO dan (c) PVDF vs. GO pada diameter nanofiber	42
Gambar 4.12 Plot permukaan respons 3D dan kontur dari interaksi antara (a) PAN vs. PVDF, (b) PAN vs. GO dan (c) PVDF vs. GO pada Modulus Young	43
Gambar 4.13 Peningkatan pengoptimalan numerik	46
Gambar 4.14 Plot kubus menunjukkan interaksi variable input pada variable respons dan keinginannya (a) Diameter and (b) Modulus Young	47

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Faktor dan level dalam desain percobaan.....	19
Tabel 3.2 Variabel independen dan tingkatan proses	19
Tabel 3.3 Metode karakterisasi.....	20
Tabel 4.1 Statistik ringkasan untuk diameter nanofiber (Y_{DR}).....	31
Tabel 4.2 Statistik ringkasan untuk modulus Young (Y_{MD}).....	32
Tabel 4.3 ANOVA untuk model kuadrat untuk diameters (Y_{DR}).....	33
Tabel 4.4 ANOVA untuk model kuadrat untuk Modulus Young (Y_{MY})	35

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A DOKUMENTASI PENELITIAN	58
LAMPIRAN B DATA PENELITIAN.....	65
LAMPIRAN C ADMINISTRASI PENELITIAN	80

ABSTRAK

Penyakit jantung merupakan penyebab utama kematian di dunia. Hal ini dikarenakan otot jantung yang rusak sehingga fungsi jantung terganggu. Salah-satu metode yang digunakan untuk mengatasi gagal jantung adalah dengan pemasangan implan mekanik berbasis Teknologi *Nanofiber*. Material komposit dari PVDF/PAN yang digabungkan dengan *graphene* yang konduktif menggunakan metode electrospinning agar regenerasi jaringan jantung berhasil. Agar komposit maksimal, RSM dipakai untuk memprediksi diameter dan modulus young optimal pada membran *nanofiber* PVDF/PAN/*Graphene*. RSM yang dihasilkan berkisar diameter 541-864 nm dan modulus young 48,45-85 nm. Adapun hasil karakterisasi menunjukkan diameter membran berkisar 676 nm, 657 nm, 705 nm, dan 559 nm. Kemudian FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi yang menunjukkan PVDF/PAN/*Graphene*. Hasil XRD dilaporkan serangkaian puncak difraksi 2θ : 17,28°, 17,64°, 20,42°, 22,84°, 26,32°, dan 29,04°. Modulus young berkisar antara 0,16-3,5 MPa. Sementara untuk sudut kontak bersifat hidropobik yaitu 133,6°, 138,1°, 135,6° dan 136,7°. Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data membran nanofiber PVDF/PAN/*Graphene* memiliki potensi besar untuk aplikasi regenerasi jaringan jantung.

Kata kunci: *Graphene*, diameter, modulus young, *nanofiber*, RSM

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penyakit jantung atau kardiovaskular merupakan penyebab utama kematian di dunia (M. G. A. et al., 2019; Roshandel & Dorkoosh, 2021). Rata-rata kematian akibat penyakit ini sekitar 17,9 juta setiap tahunnya (R. G. A. et al., 2017). Di Indonesia, sebanyak 251,09 per 100.000 orang meninggal akibat penyakit jantung (IHME, 2019). Data tersebut senada dengan organisasi kesehatan dunia (WHO) meliputi gangguan jantung dan pembuluh darah, termasuk penyakit jantung koroner, serebravaskular, penyakit jantung rematik dan lainnya (WHO, 2023). Hal ini dikarenakan otot jantung yang rusak sehingga fungsi jantung terganggu. Penyebabnya adalah infeksi pada lapisan otot jantung (miokardium) yang memiliki fungsi memompa darah (Cesur et al., 2020). Selain itu terjadi karena sumbatan (infark) yang disebabkan oleh kekurangan oksigen dan nutrisi pada miokardium (MI), mengakibatkan kematian kardiomyosit (Lodrini & Goumans, 2021). Agar tubuh dapat menjalankan fungsinya dengan baik, pembuluh harus memasok nutrisi dan oksigen yang cukup ke setiap bagian tubuh (P. H. Kim & Cho, 2016). Sebabnya, suplai nutrisi dan oksigen harus konstan di alirkan melalui arteri koroner agar jantung dapat bertindak sebagai pompa untuk menyuplai darah ke tubuh. Jaringan jantung yang tersumbat tidak memiliki kemampuan untuk regenerasi jaringan lagi. Jaringan otot jantung yang telah mati beberapa minggu ke depan akan digantikan dengan jaringan parut (Arumugam et al., 2019; Jugdutt, 2003). Jaringan parut yang menggantikan jaringan otot jantung yang rusak tidak dapat menghantarkan dan mentransfer sinyal listrik yang membentuk mekanisme memompa jantung. Sangat sulit bagi jantung yang rusak untuk pulih sehingga menyebabkan rasa sakit dan kecacatan signifikan. Meskipun banyak pendekatan pengobatan yang dapat dilakukan, termasuk pembedahan, obat-obatan dan transplantasi, tetapi beberapa keterbatasan tetap ada, misalnya penolakan tubuh penderita terhadap organ baru, keterbatasan pendonoran, risiko reaksi kekebalan dan sebagainya. Sehingga, pemasangan implan mekanik sering menjadi pilihan

karena daya tahan yang lebih lama (± 30 tahun) dari pada transplantasi organ (± 10 tahun), serta mempertahankan fungsi jantung yang optimal dan meningkatkan kualitas hidup penderita (X.-P. Li et al., 2020).

Beberapa dekade terakhir, banyak ilmuwan biomedis telah mengembangkan replikasi karakteristik struktural dan komposisi jaringan asli. Selain itu, kemajuan nanoteknologi sangat menjanjikan dan berpeluang dalam rekayasa jaringan. Para ilmuwan berbagai multidisipliner ilmu seperti nanoteknologi, fisika material, kedokteran, teknologi, dan fisiologi membuat pendekatan untuk meniru jaringan sebenarnya (Chakrapani et al., 2023). Upaya untuk memperbaiki cedera jaringan, rekayasa jaringan yang meniru lingkungan mikro inang merupakan teknologi yang sangat diandalkan. Selain itu, kemajuan nanoteknologi merambat di berbagai bidang salah-satunya rekayasa jaringan menjadi kandidat untuk lebih meningkatkan kerangka kerja direkayasa jaringan (Rahmati et al., 2021). Pada saat yang sama, upaya dalam teknologi yang berfokus pada perancah jantung berbasis polimer atau *nanofiber* terus berkembang. Perancah buatan berbasis teknologi *nanofiber* dapat diadopsi untuk pengembangan implan jantung yang berpotensi besar untuk mengatasi permasalahan penyakit jantung. Agar regenerasi jaringan jantung berhasil, perancah harus memiliki porositas yang tinggi (50%-90%) agar oksigen, nutrisi dan cairan dapat menyebar, memiliki sifat mekanik tinggi yang kuat dan elastis sesuai dengan jaringan target, dan biokompatibel (Babaniamansour et al., 2017; Bryant et al., 2004; Murphy et al., 2010; Murugan & Ramakrishna, 2005; Williams, 2008). Selain itu, material implan harus bersifat konduktif yang dapat menghantarkan sinyal listrik dengan baik sehingga fungsi jantung yang rusak konduktif kembali (Mousavi et al., 2021). Beberapa material konduktif yang biasa digunakan misalnya PLGA, PLGA/kitosan dan PLG untuk aplikasi implan, namun material ini sangat mahal (Ahmadi et al., 2021; Lou et al., 2022). Oleh karena itu, dipilih biomaterial konduktif dari *graphene* tempurung kelapa (TK) yang akan dikompositkan dengan *Polyvinylidene fluoride* (PVDF)/*Polyacrylonitrile* (PAN) menggunakan teknologi *nanofiber*. TK dan PVDF/PAN telah terbukti memiliki sifat mekanik yang tinggi, kuat dan elastis, fleksibel, biokompatibel dan murah (Jauhari, Almafie, et al., 2021; Jauhari, Suharli, et al., 2021).

Dalam meningkatkan potensi *nanofiber* terutama pada komposit, salah satunya dengan *Response Surface Methodology* (RSM). Tujuan utama RSM adalah untuk mengidentifikasi parameter operasi ideal sistem, dan salah satu manfaatnya adalah bahwa lebih sedikit percobaan yang diperlukan untuk mengumpulkan data yang cukup untuk temuan statistik yang andal (Nasouri et al., 2012). Selain itu, RSM memungkinkan seseorang untuk memodelkan parameter respons yang dipilih dan menilai interaksi simultan dari variabel-variabel ini. Demikian pula, data yang diprediksi biasanya kongruen dengan data aktual (Borkowski, 2005). Beberapa tahun terakhir, metode ini menjadi metode yang populer untuk optimasi dikarenakan manfaatnya (Pereao et al., 2021; Rakhmanova et al., 2021; Roudi et al., 2021). RSM dapat dianggap sebagai teknik sekuensial yang menentukan proses perintis untuk meningkatkan desain dan formulasi baru serta kinerja yang optimal (Ghelich et al., 2019). RSM sangat cocok untuk mengintegrasikan variabel operasi individu ke dalam berbagai penilaian dengan menggunakan sejumlah titik desain yang dirasionalisasi dan estimasi kelengkungan yang dapat dipercaya untuk mengumpulkan data yang memadai untuk memeriksa ketidakesesuaian. Desain Komposit Pusat (CCD) merupakan standar, efektif dan desain RSM yang paling umum untuk digunakan. CCD diaplikasikan untuk menetapkan dan optimasi proses kimia, ekstraksi protein dari air limbah, degradasi pewarna dan penghilang warna tekstil, minyak aglomerasi bedak dan elektrospinning (Nasouri et al., 2012). CCD tampaknya sangat berguna untuk mengoptimalkan, merancang, memodel, menganalisis formula larutan dan proses elektrospinning untuk pembuatan membran *nanofiber*.

Penelitian tentang implan jantung berbasis teknologi *nanofiber* adalah salah-satu bidang penelitian yang terus berkembang. *Nanofiber* yang konduktif dapat dijadikan zat penyusun implan untuk regenerasi jaringan jantung (Y. Li et al., 2022). Kemampuan ini dapat menyebarkan impuls listrik sehingga fungsi jantung untuk memompa darah ke organ tetap terjaga (Mousavi et al., 2021). Beberapa penelitian sebelumnya telah dilaporkan penggunaan teknologi *nanofiber* untuk aplikasi implan jantung adalah sebagai berikut. Studi Prakash, dkk. (2021) dan Fakhrali, dkk (2021) melaporkan bahwa *graphene* menunjukkan biokompatibilitas,

hemokompatibilitas yang luar biasa, meningkatkan konduktivitas, dan regenerasi sel jantung yang dikultur secara *in vitro*. Selanjutnya, studi Wee, dkk. (2022) melaporkan *nanofiber* PLGA menunjukkan secara signifikan memulihkan fungsi jantung dan melemahkan remodeling jantung, sebagai konsekuensi dari kemampuan *engraftment* sel punca jantung panjang yang kuat. Sementara, studi Selvaras, dkk. (2023) menunjukkan bahwa *nanofiber* kitosan/PLG dapat meningkatkan pembentukan pembuluh darah baru dari jantung setelah serangan jantung. Saat ini penelitian tentang implan jantung berbasis teknologi *nanofiber* terus berkembang dan memiliki potensi untuk regenerasi jaringan jantung yang rusak. Namun, penelitian dengan memanfaatkan material yang lebih murah seperti *graphene* tempurung kelapa dan PVDF/PAN dengan *response surface methodology* untuk mendapatkan *nanofiber* optimal yang diharapkan memiliki kemampuan regenerasi jaringan lebih tinggi dan risiko komplikasi yang lebih rendah belum pernah dilakukan dan dilaporkan. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan dengan judul **Analisis Sifat Mekanik dan Fisika Membran *Nanofiber* PVDF/PAN/*Graphene* Menggunakan *Response Surface Methodology* untuk Aplikasi Implan Jantung dan Kontribusinya pada Mata Kuliah Fisika Dasar.**

1.2 Batasan Masalah

Batasan dalam penelitian ini adalah analisis sifat fisika mulai dari SEM, FTIR, XRD, sudut kontak, dan kuat tarik untuk aplikasi implan jantung yang terstandar. Menghasilkan materi pembelajaran pada topik elastisitas sifat mekanik pada mata kuliah fisika dasar.

1.3 Rumusan Masalah Penelitian

Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu: Bagaimana analisis sifat mekanik dan fisika membran *nanofiber* PVDF/PAN/*Graphene* menggunakan *response surface methodology* untuk aplikasi implan jantung dan bagaimana kontribusinya pada mata kuliah fisika dasar?

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah untuk menganalisis sifat membran *nanofiber* PVDF/PAN/*Graphene* menggunakan RMS untuk aplikasi implan jantung dan mengetahui kontribusinya pada mata kuliah fisika dasar.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat untuk berbagai pihak diantaranya sebagai berikut

1. Bagi Peneliti. Bagi peneliti diharapkan dapat menambah pengetahuan peneliti terkait nanoteknologi khususnya penerapannya untuk membuat membran *nanofiber* PVDF/PAN/*Graphene* menggunakan RSM untuk aplikasi implan jantung.
2. Bagi Institusi. Bagi Institusi dapat dijadikan acuan oleh institusi lain. Sehingga, program studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Sriwijaya lebih dikenal. Selain itu, dapat bermanfaat bagi institusi dalam pembelajaran mata kuliah fisika dasar.
3. Bagi Sosial. Memberikan informasi terkait inovasi pembuatan membran *nanofiber* PVDF/PAN/*Graphene* untuk aplikasi implan jantung.

DAFTAR PUSTAKA

- A., M. G., A., R. G., & Valentin, F. (2019). The Global Burden of Cardiovascular Diseases and Risk Factors. *Journal of the American College of Cardiology*, 74(20), 2529–2532. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2019.10.009>
- A., R. G., Catherine, J., Amanuel, A., Foad, A.-A., Ferede, A. S., Gebre, A., Muktar, A., Baran, A., Tahiya, A., Khurshid, A., François, A., Nelson, A.-G., Stephen, A., Hossein, A., Johan, A., Hamid, A., Mehari, A. T., Leticia, A.-B., Ashish, A., ... Christopher, M. (2017). Global, Regional, and National Burden of Cardiovascular Diseases for 10 Causes, 1990 to 2015. *Journal of the American College of Cardiology*, 70(1), 1–25. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.04.052>
- Abdullah, I., Hj. Jumali, M., Yahaya, M., & Shanshool, H. (2015). Facile Formation of β Poly (vinylidene fluoride) Films using the Short Time Annealing Process. *Advances in Environmental Biology*, 9(20), 20–27.
- Ahmadi, P., Nazeri, N., Derakhshan, M. A., & Ghanbari, H. (2021). Preparation and characterization of polyurethane/chitosan/CNT nanofibrous scaffold for cardiac tissue engineering. *International Journal of Biological Macromolecules*, 180, 590–598. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.03.001>
- Al-Abduljabbar, A., & Farooq, I. (2023). Electrospun Polymer Nanofibers: Processing, Properties, and Applications. *Polymers*, 15(1). <https://doi.org/10.3390/polym15010065>
- Almafie, M. R., Marlina, L., Riyanto, R., Jauhari, J., Nawawi, Z., & Sriyanti, I. (2022). Dielectric Properties and Flexibility of Polyacrylonitrile/Graphene Oxide Composite Nanofibers. *ACS Omega*, 7(37), 33087–33096. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c03144>
- Aruan, N. M., Sriyanti, I., Edikresnha, D., Suciati, T., Munir, M. M., & Khairurrijal. (2017). Polyvinyl Alcohol/Soursop Leaves Extract Composite Nanofibers Synthesized Using Electrospinning Technique and their Potential as Antibacterial Wound Dressing. *Procedia Engineering*, 170, 31–35. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.006>
- Arumugam, R., Srinadhu, E. S., Subramanian, B., & Nallani, S. (2019). β -PVDF based electrospun nanofibers – A promising material for developing cardiac patches. *Medical Hypotheses*, 122, 31–34. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mehy.2018.10.005>
- Azimi, S., Golabchi, A., Nekookar, A., Rabbani, S., Amiri, M. H., Asadi, K., & Abolhasani, M. M. (2021). Self-powered cardiac pacemaker by piezoelectric polymer nanogenerator implant. *Nano Energy*, 83, 105781. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2021.105781>
- Babaniamansour, P., Ebrahimian-Hosseiniabadi, M., & Zargar-Kharazi, A. (2017). Designing an Optimized Novel Femoral Stem. *Journal of Medical Signals and Sensors*, 7(3), 170–177.
- Barbosa, R., Villarreal, A., Rodriguez, C., De Leon, H., Gilkerson, R., & Lozano, K. (2021). Aloe Vera extract-based composite nanofibers for wound dressing applications. *Materials Science and Engineering: C*, 124, 112061. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.msec.2021.112061>

- Bianchi, S., Bartoli, F., Bruni, C., Fernandez-Avila, C., Rodriguez-Turienzo, L., Mellado-Carretero, J., Spinelli, D., & Coltelli, M.-B. (2023). Opportunities and Limitations in Recycling Fossil Polymers from Textiles. In *Macromol* (Vol. 3, Issue 2, pp. 120–148). <https://doi.org/10.3390/macromol3020009>
- Borkowski, J. J. (2005). *Chapter 14: "Graphical Methods for Assessing the Prediction Capability of Response Surface Designs" In Khuri, AI, "Response Surface Methodology and Related Topics.*
- Broadwin, M., Imarhia, F., Oh, A., Stone, C. R., Sellke, F. W., Bhowmick, S., & Abid, M. R. (2024). Exploring Electrospun Scaffold Innovations in Cardiovascular Therapy: A Review of Electrospinning in Cardiovascular Disease. In *Bioengineering* (Vol. 11, Issue 3). <https://doi.org/10.3390/bioengineering11030218>
- Bryant, S. J., Anseth, K. S., Lee, D. A., & Bader, D. L. (2004). Crosslinking density influences the morphology of chondrocytes photoencapsulated in PEG hydrogels during the application of compressive strain. *Journal of Orthopaedic Research*, 22(5), 1143–1149. <https://doi.org/10.1016/j.orthres.2004.02.001>
- Cesur, S., Ulag, S., Ozak, L., Gumussoy, A., Arslan, S., Yilmaz, B. K., Ekren, N., Agirbasli, M., kalaskar, D. M., & Gunduz, O. (2020). Production and characterization of elastomeric cardiac tissue-like patches for Myocardial Tissue Engineering. *Polymer Testing*, 90, 106613. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2020.106613>
- Chakrapani, G., Ramakrishna, S., & Zare, M. (2023). Functionalization of electrospun nanofiber for biomedical application. *Journal of Applied Polymer Science*, 140(23), e53906. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/app.53906>
- Chand, N., & Fahim, M. (2021). 2 - Introduction to tribology of polymer composites. In N. Chand & M. B. T.-T. of N. F. P. C. (Second E. Fahim (Eds.), *Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering* (pp. 61–85). Woodhead Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818983-2.00002-5>
- Chen, S., Wu, Q., Mishra, C., Kang, J., Zhang, H., Cho, K., Cai, W., Balandin, A. A., & Ruoff, R. S. (2012). Thermal conductivity of isotopically modified graphene. *Nature Materials*, 11(3), 203–207. <https://doi.org/10.1038/nmat3207>
- Choi, S., Ferrari, G., & Tedesco, F. S. (2020). Cellular dynamics of myogenic cell migration: molecular mechanisms and implications for skeletal muscle cell therapies. *EMBO Molecular Medicine*, 12(12), 1–18. <https://doi.org/10.15252/emmm.202012357>
- Chuan, D., Fan, R., Wang, Y., Ren, Y., Wang, C., Du, Y., Zhou, L., Yu, J., Gu, Y., Chen, H., & Guo, G. (2020). Stereocomplex poly(lactic acid)-based composite nanofiber membranes with highly dispersed hydroxyapatite for potential bone tissue engineering. *Composites Science and Technology*, 192, 108107. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2020.108107>
- Çiplak, Z., Yildiz, N., & Çalimli, A. (2015). Investigation of graphene/Ag nanocomposites synthesis parameters for two different synthesis methods. *Fullerenes Nanotubes and Carbon Nanostructures*, 23(4), 361–370.

- <https://doi.org/10.1080/1536383X.2014.894025>
- Clarke, A., Blake, T. D., Carruthers, K., & Woodward, A. (2002). Spreading and imbibition of liquid droplets on porous surfaces. *Langmuir*, *18*(8), 2980–2984. <https://doi.org/10.1021/la0117810>
- Deshmukh, S., Misal, V., & Ushasri, D. (2020). Trend Analysis of Temperature over Marathwada Region, Maharashtra Using RCLIMDEX' Model. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci*, *Special Is*, 3342–3347. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13315.07204>
- Dong, H., Xiao, K., Tang, X., Zhang, Z., Dai, J., Long, R., & Liao, W. (2016). Preparation and characterization of polyurethane (PU)/polyvinylidene fluoride (PVDF) blending membrane. *Desalination and Water Treatment*, *57*(8), 3405–3413. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.988659>
- Ehrmann, A. (2021). Non-Toxic Crosslinking of Electrospun Gelatin Nanofibers for Tissue Engineering and Biomedicine—A Review. *Polymers*, *13*(12), 1973. <https://doi.org/10.3390/polym13121973>
- Emam, M. H., Elezaby, R. S., Swidan, S. A., Loutfy, S. A., & Hathout, R. M. (2023). Cerium Oxide Nanoparticles/Polyacrylonitrile Nanofibers as Impervious Barrier against Viral Infections. In *Pharmaceutics* (Vol. 15, Issue 5). <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15051494>
- Espín, L., & Kumar, S. (2015). Droplet spreading and absorption on rough, permeable substrates. *Journal of Fluid Mechanics*, *784*, 465–486. <https://doi.org/10.1017/jfm.2015.603>
- Fakhrali, A., Nasari, M., Poursharifi, N., Semnani, D., Salehi, H., Ghane, M., & Mohammadi, S. (2021). Biocompatible graphene-embedded PCL/PGS-based nanofibrous scaffolds: A potential application for cardiac tissue regeneration. *Journal of Applied Polymer Science*, *138*(40), 51177. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/app.51177>
- Gascho, J. L. S., Costa, S. F., Recco, A. A. C., & Pezzin, S. H. (2019). Graphene oxide films obtained by vacuum filtration: X-ray diffraction evidence of crystalline reorganization. *Journal of Nanomaterials*, *2019*, 12–16. <https://doi.org/10.1155/2019/5963148>
- Ghelich, R., Jahannama, M. R., Abdizadeh, H., Torknik, F. S., & Vaezi, M. R. (2019). Central composite design (CCD)-Response surface methodology (RSM) of effective electrospinning parameters on PVP-B-Hf hybrid nanofibrous composites for synthesis of HfB₂-based composite nanofibers. *Composites Part B: Engineering*, *166*, 527–541. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.01.094>
- Guo, W., Tan, C., Shi, K., Li, J., Wang, X.-X., Sun, B., Huang, X., Long, Y.-Z., & Jiang, P. (2018). Wireless piezoelectric devices based on electrospun PVDF/BaTiO₃ NW nanocomposite fibers for human motion monitoring. *Nanoscale*, *10*(37), 17751–17760. <https://doi.org/10.1039/C8NR05292A>
- Haider, A., Haider, S., & Kang, I.-K. (2018). A comprehensive review summarizing the effect of electrospinning parameters and potential applications of nanofibers in biomedical and biotechnology. *Arabian Journal of Chemistry*, *11*(8), 1165–1188. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.11.015>

- He, Z., Rault, F., Lewandowski, M., Mohsenzadeh, E., & Salaün, F. (2021). Electrospun PVDF Nanofibers for Piezoelectric Applications: A Review of the Influence of Electrospinning Parameters on the β Phase and Crystallinity Enhancement. In *Polymers* (Vol. 13, Issue 2). <https://doi.org/10.3390/polym13020174>
- Hulupi, M., & Haryadi. (2018). Sintesis dan Karakterisasi Serat Nano Polivinil Alkohol yang Diikat Silang dengan Glutaraldehyd untuk Aplikasi Pembalut Luka. *Chimica et Natura Acta*, 6(3), 101–105.
- IHME. (2019). *Institute for Health and Evaluation*. <http://ihmeuw.org/6c9d>
- Ismail, S. O., Akpan, E., & Dhakal, H. N. (2022). Review on natural plant fibres and their hybrid composites for structural applications: Recent trends and future perspectives. *Composites Part C: Open Access*, 9, 100322. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2022.100322>
- Jauhari, J., Almafie, M. R., Marlina, L., Nawawi, Z., & Sriyanti, I. (2021). Physicochemical properties and performance of graphene oxide/polyacrylonitrile composite fibers as supercapacitor electrode materials. *RSC Advances*, 11(19), 11233–11243. <https://doi.org/10.1039/D0RA10257A>
- Jauhari, J., Suharli, A. J., Nawawi, Z., & Sriyanti, I. (2021). Synthesis and Characteristics of Polyacrylonitrile (Pan) Nanofiber Membrane Using Electrospinning Method. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 56(4), 698–703.
- Jauhari, J., Wiranata, S., Rahma, A., Nawawi, Z., & Sriyanti, I. (2019). Polyvinylpyrrolidone/cellulose acetate nanofibers synthesized using electrospinning method and their characteristics. *Materials Research Express*, 6(6), 64002. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab0b11>
- Jugdutt, B. I. (2003). Ventricular remodeling after infarction and the extracellular collagen matrix: When is enough enough? *Circulation*, 108(11), 1395–1403. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000085658.98621.49>
- Kausar, A., Ahmad, I., Zhao, T., Aldaghri, O., Ibnaouf, K. H., & Eisa, M. H. (2023). Nanocomposite Nanofibers of Graphene—Fundamentals and Systematic Developments. In *Journal of Composites Science* (Vol. 7, Issue 8). <https://doi.org/10.3390/jcs7080323>
- Ke, G., Jin, X., & Hu, H. (2020). Electrospun polyvinylidene fluoride/polyacrylonitrile composite fibers: fabrication and characterization. *Iranian Polymer Journal (English Edition)*, 29(1), 37–46. <https://doi.org/10.1007/s13726-019-00773-9>
- Kim, G. H. (2008). Electrospun PCL nanofibers with anisotropic mechanical properties as a biomedical scaffold. *Biomedical Materials*, 3(2), 25010. <https://doi.org/10.1088/1748-6041/3/2/025010>
- Kim, H.-S., & Park, I.-K. (2018). Enhanced output power from triboelectric nanogenerators based on electrospun Eu-doped polyvinylidene fluoride nanofibers. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 117, 188–193. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jpics.2018.02.045>
- Kim, P. H., & Cho, J. Y. (2016). Myocardial tissue engineering using electrospun nanofiber composites. *BMB Reports*, 49(1), 26–36. <https://doi.org/10.5483/BMBRep.2016.49.1.165>

- Kishore Chand, A. A., Bajer, B., Schneider, E. S., Mantel, T., Ernst, M., Filiz, V., & Glass, S. (2022). Modification of Polyacrylonitrile Ultrafiltration Membranes to Enhance the Adsorption of Cations and Anions. In *Membranes* (Vol. 12, Issue 6). <https://doi.org/10.3390/membranes12060580>
- Kitsara, M., Blanquer, A., Murillo, G., Humblot, V., De Bragança Vieira, S., Nogués, C., Ibáñez, E., Esteve, J., & Barrios, L. (2019). Permanently hydrophilic, piezoelectric PVDF nanofibrous scaffolds promoting unaided electromechanical stimulation on osteoblasts. *Nanoscale*, *11*(18), 8906–8917. <https://doi.org/10.1039/C8NR10384D>
- Lee, K., Kwon, G., Jeon, Y., Jeon, S., Hong, C., Choung, J. W., & You, J. (2022). Toward millimeter thick cellulose nanofiber/epoxy laminates with good transparency and high flexural strength. *Carbohydrate Polymers*, *291*, 119514. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2022.119514>
- Li, S., Liu, L., Zhu, J., Zou, L., Li, M., Cong, Y., Rao, X., Hu, X., Zhou, Y., Chen, Z., & Hu, F. (2010). Characterization and Genome Sequencing of a Novel Coliphage Isolated from Engineered Escherichia coli. *Intervirology*, *53*(4), 211–220. <https://doi.org/10.1159/000299063>
- Li, X.-P., Qu, K.-Y., Zhang, F., Jiang, H.-N., Zhang, N., Nihad, C., Liu, C.-M., Wu, K.-H., Wang, X.-W., & Huang, N.-P. (2020). High-aspect-ratio water-dispersed gold nanowires incorporated within gelatin methacrylate hydrogels for constructing cardiac tissues in vitro. *Journal of Materials Chemistry B*, *8*(32), 7213–7224. <https://doi.org/10.1039/D0TB00768D>
- Li, Y., Wei, L., Lan, L., Gao, Y., Zhang, Q., Dawit, H., Mao, J., Guo, L., Shen, L., & Wang, L. (2022). Conductive biomaterials for cardiac repair: A review. *Acta Biomaterialia*, *139*, 157–178. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.actbio.2021.04.018>
- Lim, S. J., & Shin, I. H. (2020). Graft copolymerization of GMA and EDMA on PVDF to hydrophilic surface modification by electron beam irradiation. *Nuclear Engineering and Technology*, *52*(2), 373–380. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.net.2019.07.018>
- Liu, Y., Cui, L., Guan, F., Gao, Y., Hedin, N. E., Zhu, L., & Fong, H. (2007). Crystalline Morphology and Polymorphic Phase Transitions in Electrospun Nylon-6 Nanofibers. *Macromolecules*, *40*(17), 6283–6290. <https://doi.org/10.1021/ma070039p>
- Lodrini, A. M., & Goumans, M.-J. (2021). Cardiomyocytes Cellular Phenotypes After Myocardial Infarction. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, *8*(November), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2021.750510>
- Lou, L., Paul, T., Aguiar, B. A., Dolmetsch, T., Zhang, C., & Agarwal, A. (2022). Direct Observation of Adhesion and Mechanical Behavior of a Single Poly(lactic-co-glycolic acid) (PLGA) Fiber Using an In Situ Technique for Tissue Engineering. *ACS Applied Materials & Interfaces*, *14*(38), 42876–42886. <https://doi.org/10.1021/acsami.2c09665>
- Mahmood, H. S., & Jawad, M. K. (2019). Antibacterial activity of chitosan/PAN blend prepared at different ratios. *AIP Conference Proceedings*, *2190*(December 2019). <https://doi.org/10.1063/1.5138564>
- Mousavi, A., Vahdat, S., Baheiraei, N., Razavi, M., Norahan, M. H., & Baharvand,

- H. (2021). Multifunctional Conductive Biomaterials as Promising Platforms for Cardiac Tissue Engineering. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 7(1), 55–82. <https://doi.org/10.1021/acsbiomaterials.0c01422>
- Murphy, C. M., Haugh, M. G., & O'Brien, F. J. (2010). The effect of mean pore size on cell attachment, proliferation and migration in collagen-glycosaminoglycan scaffolds for bone tissue engineering. *Biomaterials*, 31(3), 461–466. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2009.09.063>
- Murugan, R., & Ramakrishna, S. (2005). Development of nanocomposites for bone grafting. *Composites Science and Technology*, 65(15), 2385–2406. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2005.07.022>
- Nadirah, B. N., Ong, C. C., Saheed, M. S. M., Yusof, Y. M., & Shukur, M. F. (2020). Structural and conductivity studies of polyacrylonitrile/methylcellulose blend based electrolytes embedded with lithium iodide. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(38), 19590–19600. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.05.016>
- Nasouri, K., Bahrambeygi, H., Rabbi, A., Shoushtari, A. M., & Kafrou, A. (2012). Modeling and optimization of electrospun PAN nanofiber diameter using response surface methodology and artificial neural networks. *Journal of Applied Polymer Science*, 126(1), 127–135. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/app.36726>
- Nasouri, K., Shoushtari, A. M., & Mojtahedi, M. R. M. (2015). Evaluation of effective electrospinning parameters controlling polyvinylpyrrolidone nanofibers surface morphology via response surface methodology. *Fibers and Polymers*, 16(9), 1941–1954. <https://doi.org/10.1007/s12221-015-5263-4>
- Okutan, N., Terzi, P., & Altay, F. (2014). Affecting parameters on electrospinning process and characterization of electrospun gelatin nanofibers. *Food Hydrocolloids*, 39, 19–26. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.12.022>
- Papageorgiou, D. G., Kinloch, I. A., & Young, R. J. (2017). Mechanical properties of graphene and graphene-based nanocomposites. *Progress in Materials Science*, 90, 75–127. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2017.07.004>
- Perán, M., García, M. A., Lopez-Ruiz, E., Jiménez, G., & Marchal, J. A. (2013). How can nanotechnology help to repair the body? Advances in cardiac, skin, bone, cartilage and nerve tissue regeneration. *Materials*, 6(4), 1333–1359. <https://doi.org/10.3390/ma6041333>
- Pereao, O., Laatikainen, K., Bode-Aluko, C., Fatoba, O., Omoniyi, E., Kochnev, Y., Nechaev, A. N., Apel, P., & Petrik, L. (2021). Synthesis and characterisation of diglycolic acid functionalised polyethylene terephthalate nanofibers for rare earth elements recovery. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), 105902. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105902>
- Pham Le, Q., Uspenskaya, M. V., Olekhovich, R. O., & Baranov, M. A. (2021). The Mechanical Properties of PVC Nanofiber Mats Obtained by Electrospinning. In *Fibers* (Vol. 9, Issue 1). <https://doi.org/10.3390/fib9010002>

- Piotr, K., Jeszka, J. K., Artur, M., & Leszek, S. (2022). *Regenerated Cellulose/Graphene Composite Fibers with Electroconductive Properties*. 22(2), 177–183. <https://doi.org/doi:10.2478/aut-2020-0027>
- Prakash, J., Venkataprasanna, K. S., Bharath, G., Banat, F., Niranjan, R., & Venkatasubbu, G. D. (2021). In-vitro evaluation of electrospun cellulose acetate nanofiber containing Graphene oxide/TiO₂/Curcumin for wound healing application. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 627, 127166. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2021.127166>
- Rahmati, M., Mills, D. K., Urbanska, A. M., Saeb, M. R., Venugopal, J. R., Ramakrishna, S., & Mozafari, M. (2021). Electrospinning for tissue engineering applications. *Progress in Materials Science*, 117, 100721. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2020.100721>
- Rajak, D. K., Wagh, P. H., & Linul, E. (2022). A Review on Synthetic Fibers for Polymer Matrix Composites: Performance, Failure Modes and Applications. In *Materials* (Vol. 15, Issue 14). <https://doi.org/10.3390/ma15144790>
- Rakhmanova, A., Wang, T., Xing, G., Ma, L., Hong, Y., Lu, Y., Xin, L., Xin, W., Zhu, Q., & Lü, X. (2021). Isolation and identification of microorganisms in Kazakhstan koumiss and their application in preparing cow-milk koumiss. *Journal of Dairy Science*, 104(1), 151–166. <https://doi.org/https://doi.org/10.3168/jds.2020-18527>
- Roshandel, M., & Dorkoosh, F. (2021). Cardiac tissue engineering, biomaterial scaffolds, and their fabrication techniques. *Polymers for Advanced Technologies*, 32(6), 2290–2305. <https://doi.org/10.1002/pat.5273>
- Roudi, A. M., Salem, S., Abedini, M., Maslahati, A., & Imran, M. (2021). Response Surface Methodology (RSM)-Based Prediction and Optimization of the Fenton Process in Landfill Leachate Decolorization. In *Processes* (Vol. 9, Issue 12). <https://doi.org/10.3390/pr9122284>
- Ruan, L., Yao, X., Chang, Y., Zhou, L., Qin, G., & Zhang, X. (2018). Properties and applications of the β phase poly(vinylidene fluoride). *Polymers*, 10(3), 1–27. <https://doi.org/10.3390/polym10030228>
- Selvaras, T., Alshamrani, S. A., Gopal, R., Jaganathan, S. K., Sivalingam, S., Kadiman, S., & Saidin, S. (2023). Biodegradable and antithrombogenic chitosan/elastin blended polyurethane electrospun membrane for vascular tissue integration. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 111(6), 1171–1181. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jbm.b.35223>
- Sengupta, D., Kottapalli, A. G. P., Chen, S. H., Miao, J. M., Kwok, C. Y., Triantafyllou, M. S., Warkiani, M. E., & Asadnia, M. (2017). Characterization of single polyvinylidene fluoride (PVDF) nanofiber for flow sensing applications. *AIP Advances*, 7(10), 105205. <https://doi.org/10.1063/1.4994968>
- Shen, J., Shi, M., Li, N., Yan, B., Ma, H., Hu, Y., & Ye, M. (2010). Facile synthesis and application of Ag-chemically converted graphene nanocomposite. *Nano Research*, 3(5), 339–349. <https://doi.org/10.1007/s12274-010-1037-x>
- Singh, R., Janakiraman, S., Khalifa, M., Anandhan, S., Ghosh, S., Venimadhav, A., & Biswas, K. (2020). A high thermally stable polyacrylonitrile (PAN)-based

- gel polymer electrolyte for rechargeable Mg-ion battery. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31(24), 22912–22925. <https://doi.org/10.1007/s10854-020-04818-1>
- Sriyanti, I., Almafie, M. R., Dani, R., Kamilatun, M., Ap, N., Partan, R. U., Sanjaya, M. R., Jauhari, J., & Sriyanti, I. (2023). *The Influence of Electrospinning Process Parameters of Polyvinylidene Fluoride and Polyacrylonitrile (PVDF / PAN) Nanofiber Composites*. 9(9), 7159–7169. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i9.4840>
- Sriyanti, I., Almafie, M. R., Nugraha, Y. P., Idjan, M. K. N. A., & Jauhari, J. (2021). The morphology of polyvinylpyrrolidone nanofibers containing Anredera cordifolia leaves. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 10(2), 179–189. <https://doi.org/10.24042/jipfalbiruni.v10i2.8820>
- Sriyanti, I., Marlina, L., Fudholi, A., Marsela, S., & Jauhari, J. (2021). Physicochemical properties and In vitro evaluation studies of polyvinylpyrrolidone/cellulose acetate composite nanofibres loaded with Chromolaena odorata (L) King extract. *Journal of Materials Research and Technology*, 12, 333–342. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.02.083>
- Sriyanti, I., Ramadhani, R. F., Almafie, M. R., Ap Idjan, M. K. N., Syafri, E., Solihah, I., Sanjaya, M. R., Jauhari, J., & Fudholi, A. (2024). Physicochemical and mechanical properties of polyvinylidene fluoride nanofiber membranes. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9, 100588. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100588>
- Version of Record*: (n.d.). 1–20.
- Walimbe, P., & Chaudhari, M. (2019). State-of-the-art advancements in studies and applications of graphene: a comprehensive review. *Materials Today Sustainability*, 6, 100026. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2019.100026>
- Wang, P., Han, X., Zheng, X., Wang, Z., Li, C., & Zhao, Z. (2023). Removal of Tetracycline Hydrochloride by Photocatalysis Using Electrospun PAN Nanofibrous Membranes Coated with g-C₃N₄/Ti₃C₂/Ag₃PO₄. In *Molecules* (Vol. 28, Issue 6). <https://doi.org/10.3390/molecules28062647>
- Wee, J. H., Yoo, K.-D., Sim, S. B., Kim, H. J., Kim, H. J., Park, K. N., Kim, G.-H., Moon, M. H., You, S. J., Ha, M. Y., Yang, D. H., Chun, H. J., Ko, J. H., & Kim, C. H. (2022). Stem cell laden nano and micro collagen/PLGA bimodal fibrous patches for myocardial regeneration. *Biomaterials Research*, 26(1), 79. <https://doi.org/10.1186/s40824-022-00319-w>
- Wei, J., Saharudin, M. S., Vo, T., & Inam, F. (2017). N,N-Dimethylformamide (DMF) Usage in Epoxy/Graphene Nanocomposites: Problems Associated with Reaggregation. In *Polymers* (Vol. 9, Issue 6). <https://doi.org/10.3390/polym9060193>
- Weret, M. A., Jeffrey Kuo, C.-F., Zeleke, T. S., Beyene, T. T., Tsai, M.-C., Huang, C.-J., Berhe, G. B., Su, W.-N., & Hwang, B.-J. (2020). Mechanistic understanding of the Sulfurized-Poly(acrylonitrile) cathode for lithium-sulfur batteries. *Energy Storage Materials*, 26, 483–493. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ensm.2019.11.022>

- WHO. (2023). *Cardiovascular Diseases*. <https://www.who.int/health-topics/cardiovascular-d>
- Williams, D. F. (2008). On the mechanisms of biocompatibility. *Biomaterials*, 29(20), 2941–2953. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2008.04.023>
- Xue, J., Wu, T., Dai, Y., & Xia, Y. (2019). Electrospinning and electrospun nanofibers: Methods, materials, and applications [Review-article]. *Chemical Reviews*, 119(8), 5298–5415. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00593>
- Yang, X., Chen, Y., Zhang, C., Duan, G., & Jiang, S. (2023). Electrospun carbon nanofibers and their reinforced composites: Preparation, modification, applications, and perspectives. *Composites Part B: Engineering*, 249, 110386. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2022.110386>
- Yu, Y., Bu, Y., Zhong, Q., & Cai, W. (2016). Catalytic oxidation of NO by g-C₃N₄-assisted electrospun porous carbon nanofibers at room temperature: Structure-activity relationship and mechanism study. *Catalysis Communications*, 87, 62–65. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.catcom.2016.08.037>
- Zhang, C., Li, R., Liu, J., Guo, S., Xu, L., Xiao, S., & Shen, Z. (2019). Hydrogen peroxide modified polyacrylonitrile-based fibers and oxidative stabilization under microwave and conventional heating – The 1st comparative study. *Ceramics International*, 45(10), 13385–13392. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.04.035>
- Zhang, W., Shi, Z., Zhang, F., Liu, X., Jin, J., & Jiang, L. (2013). Superhydrophobic and Superoleophilic PVDF Membranes for Effective Separation of Water-in-Oil Emulsions with High Flux. *Advanced Materials*, 25(14), 2071–2076. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/adma.201204520>
- Zhang, X., & Yang, F. (2004). RClmDex requires the base package of R and graphic user interface TclTk. In *Climate Research Branch Environment Canada*.
- Zhao, Y., Zhan, L., Tian, J., Nie, S., & Ning, Z. (2011). Enhanced electrocatalytic oxidation of methanol on Pd/polypyrrole–graphene in alkaline medium. *Electrochimica Acta*, 56(5), 1967–1972. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.electacta.2010.12.005>
- Zheng, Y., Zhou, R., Zhao, H., Ye, F., Zhang, X., & Ge, Y. (2022). Oriented PAN/PVDF/PAN laminated nanofiber separator for lithium-ion batteries. *Textile Research Journal*, 92(15–16), 2635–2642. <https://doi.org/10.1177/00405175211005027>
- Zhu, J., Duan, R., Zhang, S., Jiang, N., Zhang, Y., & Zhu, J. (2014). The Application of Graphene in Lithium Ion BAattery Electrode Materials. In *Springer Plus* (Vol. 585, Issue 3, pp. 1–8).
- Zulfi, A., Munir, M. M., Hapidin, D. A., Rajak, A., Edikresnha, D., Iskandar, F., & Khairurrijal, K. (2018). Air filtration media from electrospun waste high-impact polystyrene fiber membrane. *Materials Research Express*, 5(3). <https://doi.org/10.1088/2053-1591/aab6ef>