

**PEMBUATAN KAPASITOR DARI GRAFIT DAN
POLI(AKRILONITRIL) BERBASIS *NANOFIBER*
SEBAGAI PENYIMPANAN ENERGI**

SKRIPSI

Oleh

Suharli AJ

NIM: 06111181621001

Program Studi Pendidikan Fisika



FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2020

**PEMBUATAN KAPASITOR DARI GRAFIT DAN
POLI(AKRILONITRIL) BERBASIS *NANOFIBER* SEBAGAI
PENYIMPANAN ENERGI**

SKRIPSI

Oleh


Suharli AJ

NIM : 06111181621001

PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA

Mengesahkan :

Pembimbing 1,



Dr. Ida Sriyanti, S.Pd., M.Si
NIP. 197811082001122002

Pembimbing 2,



Dr. Leni Marlina, S.Pd., M.Si
NIP. 197708052001122001

Mengetahui :



Kepala Jurusan,

Dr. Ismet, S.Pd., M.Si
NIP. 1968074061994021001

Koordinator Program Studi,



Dr. Ketang Wiyono, S.Pd., M.Pd
NIP 197905222005011005

**PEMBUATAN KAPASITOR DARI GRAFIT DAN
POLI(AKRILONITRIL) BERBASIS *NANOFIBER* SEBAGAI
PENYIMPANAN ENERGI**

SKRIPSI

Oleh

Suharli AJ

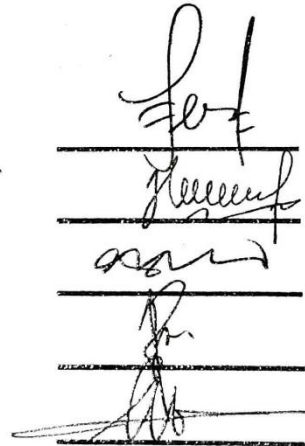
NIM : 06111181621001

Telah diujikan dan lulus pada:


Hari : Selasa
Tanggal : 21 Januari 2020

TIM PENGUJI

1. Ketua Dr. Ida Sriyanti, S.Pd., M.Si.
2. Sekretaris Dr. Leni Marlina, S.Pd., M.Si.
3. Anggota Dr. Ismet, S.Pd., M.Si.
4. Anggota Drs. Hamdi Akhsan, M.Si.
5. Anggota Melly Ariska, S.Pd., M.Sc.



Indralaya, Januari 2020
Mengetahui
Koordinator Program Studi



Dr. Ketang Wiyono, S.Pd., M.Pd.
NIP 197905222005011005

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Suharli AJ

NIM : 06111181621001

Jurusan : Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan

Program Studi : Pendidikan Fisika

Menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa skripsi yang berjudul “Pembuatan Kapasitor Dari Grafit Dan Poli(akrilonitril) Berbasis *Nanofiber* Sebagai Penyimpanan Energi” ini adalah benar-benar karya saya sendiri dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara yang tidak bersesuaian dengan etika keilmuan yang berlaku sesuai Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Republik Indonesia Nomor 17 tahun 2010 tentang Pencegahan dan Penanggulangan Plagiat 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. Demikian pernyataan ini dibuat dengan sungguh-sungguh tanpa pemaksaan pihak manapun.

Indralaya, Januari 2019

Mahasiswa ybs,



Suharli AJ

NIM. 06111181621001

PRAKATA

Skripsi dengan judul “Pembuatan Kapasitor dari Grafit dan Poli(akrlonitril) Berbasis Nanofiber Sebagai Penyimpanan Energi” 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 telah mendapatkan bantuan dari berbagai pihak.

Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Ida Sriyanti, S.Pd., M.Si. dan Dr. Leni Marlina, S.Pd., M.Pd. sebagai pembimbing atas segala bimbingan yang telah diberikan dalam penulisan skripsi ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Prof. Sofendi, M.A., Ph.D., Dekan FKIP Unsri, Dr. Ismet, S.Pd, M.Si., Ketua Jurusan Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Dr. Ketang Wiyono, S.Pd., M.Pd., Koordinator Program Studi Pendidikan Fisika yang telah memberikan kemudahan dalam pengurusan administrasi selama penulisan skripsi ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Dr. Ismet, S.Pd., M.Si., Drs. Hamdi Akhsan, M.Si., dan Melly Ariska, S.Pd., M.Sc., anggota penguji yang telah memberikan sejumlah saran untuk perbaikan skripsi ini.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Beasiswa BRI yang telah memberikan bantuan biaya kuliah selama satu tahun, Pendanaan Unggulan Perguruan Tinggi (PUPT) dan Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit (BDPKS) yang telah memberikan bantuan pendanaan selama penelitian, kedua orang tuaku tercinta Bapak Arif Jauhari dan Ibu Sunaria Jaya Ningsih yang selalu ada memberikan doa, semangat dan nasihat, Adikku tercinta Seli Pebrianti dan Sesi Meyleni, Dosen-Dosen Pendidikan Fisika FKIP Unsri, Rekan Lab (Rama, Prima, Zahara, Sherin, Adek Meta dan Adek Anggi), Sahabat Kosan Rezza Aryansyah dan Edo Aryanto, Kakak, Adik dan Teman Seperjuangan Pendidikan Fisika Unsri, yang selalu memberikan doa, bantuan dan saran sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.

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

Palembang, Januari 2020

Penulis,

Suharli AJ

DAFTAR ISI

HALAMAN MUKA	i
PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PENGESAHAN SKRIPSI OLEH PENGUJI	iii
PERNYATAAN.....	iv
PRAKATA.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG.....	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
ABSTRAK	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Masalah	6
1.4 Batasan Penelitian	7
1.5 Manfaat Penelitian.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Kapasitor	8
2.2 Komponen Penyusun Kapasitor	11
2.2.1 Elektrolit.....	11
2.2.2 Elektroda	12
2.2.3 Separator	17
2.3 Material Penyusun Kapasitor	18
2.3.1 Material Elektroda.....	18
2.3.2 Material Elektrolit	21
2.3.3 Material Separator.....	24
2.4 <i>Electrospinning</i>	27
2.5 <i>Nanofiber</i>	29

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1 Gambaran Umum Penelitian	33
3.2 Metode Penelitian	33
3.3 Subjek Penelitian	33
3.4 Alat dan Bahan	33
3.4.1 Alat	33
3.4.2 Bahan	34
3.5 Waktu dan Tempat Penelitian	34
3.6 Tahapan-tahapan Penelitian	35
3.6.1 Tahap Persiapan	35
3.6.2 Tahap Eksperimen Utama	36
3.6.3 Tahap Eksperimen Tambahan	37
3.6.4 Tahap Penggabungan Komponen Kapasitor	39
3.7 Teknik Pengumpulan dan Analisis Data	40
3.7.1 <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	40
3.7.2 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	40
3.7.3 <i>Cyclic Voltammetry (CV)</i>	41
3.7.4 <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1 Deskripsi Hasil Penelitian	42
4.1 Pembuatan Kapasitor Berbasis <i>Nanofiber</i>	43
4.2 Hasil Pemintalan Poli(akrilonitril) dan Grafena	46
4.3 Analisis Morfologi dan Distribusi <i>Nanofiber</i> PAN dan Grafena	48
4.4 Analisis XRD (X-Ray Diffraction)	51
4.5 Analisis CV (Cyclic Voltammetry)	54
4.6 Analisis Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	63
LAMPIRAN-LAMPIRAN	72

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

SINGKATAN	Nama
PAN	Poli(akrilonitril)
DMF	Dymethylformamide
PVA	<i>Polyvinilalcohol</i>
KOH	Kalium Hidroksida
CA	<i>Cellulose Asetat</i>
SA	Sodium Alginat
SEM	<i>Scanning Electron Microscopy</i>
XRD	<i>X-Ray Diffraction</i>
CV	<i>Cyclic Voltametry</i>
EIS	<i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i>
LAMBANG	
\vec{E}	Medan Listrik
C_{sp}	Nilai Kapasitansi
I	Kuat Arus
ΔV	Selisih Tegangan
v	<i>Scan Ratte</i>
R_p	Resistansi Paralel
R_s	Resistansi Seri
Z'	Hasil Impedansi
Z''	Impedansi Imajiner

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Lain Fisika dari Poli(akrilonitril)	19
Tabel 2.2 Karakteristik Lain Fisika dari Dimethylformamide.....	20
Tabel 2.3 Karakteristik Lain Fisika dari <i>Polyvinilalcohol</i> (PVA)	22
Tabel 2.4 Karakteristik Lain Fisika dari Kalium Hidroksida (KOH)	24
Tabel 2.5 Karakteristik Lain Fisika dari Sodium Alginat (SA)	25
Tabel 2.6 Karakteristik Lain Fisika dari <i>Cellulose Acetat</i> (CA).....	26
Tabel 2.7 Kelebihan dan Kelemahan Teknik Produksi Serat	31
Tabel 3.1 Jenis Kegiatan, Alat dan Tempat	35
Tabel 3.2 Perbandingan Larutan PAN/DMF dengan Konsentrasi Grafena dari Grafrit yang Berbeda-beda.....	36
Tabel 4.1 Hasil Karakterisasi EIS pada Rangkaian Ekuivalen	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Susunan Kapasitor Jenis EDLC	10
Gambar 2.2 Ilustrasi Pembentukan Grafena dari Grafit.....	15
Gambar 2.3 Padatan dan Struktur Material Grafena.....	16
Gambar 2.4 Serbuk dan Struktur Poli(akrilonitril)	18
Gambar 2.5 Cairan dan Struktur Dimethylformamide (DMF)	20
Gambar 2.6 Serbuk dan Struktur <i>Polyvinilalcohol</i> (PVA)	21
Gambar 2.7 Padatan dan Struktur Kalium Hidroksida (KOH)	23
Gambar 2.8 Padatan dan Struktur Sodium Alginat (SA).....	24
Gambar 2.9 Padatan dan Struktur <i>Cellulose Acetat</i> (CA).....	25
Gambar 2.10 <i>Electrospinning</i> NLI Instrument	27
Gambar 2.11 Empat Bentuk Cone Jet.....	28
Gambar 2.12 Bentuk <i>Nanofiber</i> PAN dengan Berbagai Konsentrasi	29
Gambar 3.1 Gambaran Umum Penelitian	32
Gambar 3.2 Proses Pemintalan Material Elektroda Pada <i>Electrospinning</i>	37
Gambar 3.3 Proses Pemintalan Material Elektrolit Pada <i>Electrospinning</i>	38
Gambar 3.4 Proses Pemintalan Material Separator Pada <i>Electrospinning</i>	39
Gambar 3.5 Ukuran Pelat Aluminium sebagai Kolektor Arus	39
Gambar 3.6 Susunan Kapasitor.....	40
Gambar 4.1 Kolektor Arus dan Susunan Kapasitor	45
Gambar 4.2 Hasil Pemintalan PAN. FPG1, FPG2 dan FPG3.....	46
Gambar 4.3 Morfologi dan Distribusi Diameter Serat PAN/Grafena.....	48
Gambar 4.4 Hasil XRD <i>Nanofiber</i> PAN, Grafena dan PAN/Grafena	51
Gambar 4.5 Hasil Karakterisasi CV serat PAN/grafena	54
Gambar 4.6 (a) Hasil Karakterisasi CV pada Scan Rate 100 mV/s.....	56
Gambar 4.6 (b) Hubungan Kapasitansi Spesifik dengan Berbagai Scan Rate.....	56
Gambar 4.7 Hasil Karakterisasi EIS (Nyquist) dan Rangkaian Ekuivalen	58

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Penelitian.....	72
Lampiran 1.1 Proses Pembuatan <i>Nanofiber</i> Poli(akrilonitril) dan Grafena..	72
Lampiran 1.2 Hasil Pemintalan <i>Nanofiber</i> Poli(akrilonitril) dan Grafena....	72
Lampiran 1.3 Hasil Uji Scanning Electron Microscope (SEM)	73
Lampiran 1.4 Hasil Uji <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	74
Lampiran 1.5 Hasil Uji <i>Cyclic Voltametry</i> (CV)	74
Lampiran 1.6 Hasil Uji <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i> (EIS)....	75
Lampiran 2 Data Hasil Penelitian	76
Lampiran 2.1 Data Distribusi dan Diameter Serat PAN/Grafena	77
Lampiran 2.2 Data Hasil Uji XRD.....	92
Lampiran 2.3 Data Hasil Uji CV	215
Lampiran 2.4 Data Hasil Uji EIS	220
Lampiran 3 Data Administrasi Penelitian	221
Lampiran 3.1 Usul Judul Penelitian	222
Lampiran 3.2 Persetujuan Seminar Usul Penelitian.....	223
Lampiran 3.3 Pernyataan Telah Seminar Usul Penelitian	224
Lampiran 3.4 Notulensi Seminar Usul Penelitian.....	225
Lampiran 3.5 SK Pembimbing Skripsi	226
Lampiran 3.6 Surat Izin Penelitian.....	227
Lampiran 3.7 Persetujuan Seminar Hasil Penelitian.....	228
Lampiran 3.8 Persetujuan Ujian Sidang Skripsi	229
Lampiran 2.1 Kartu Bimbingan Skripsi Pembimbing 1 dan Pembimbing 2	230
Lampiran 2.1 Notulensi Sidang Skripsi	231
Lampiran 2.1 Bukti Perbaikan Skripsi	232

**PEMBUATAN KAPASITOR DARI GRAFIT DAN
POLI(AKRILONITRIL) BERBASIS *NANOFIBER* SEBAGAI
PENYIMPANAN ENERGI**

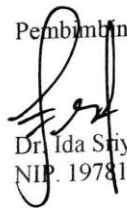
Suharli AJ
NIM: 06111181621001
Program Studi Pendidikan Fisika

ABSTRAK

Kapasitor berbasis *nanofiber* telah berhasil dibuat dengan menggunakan poli(akrilonitril) dan grafit. Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian murni. Material yang digunakan adalah poli(akrilonitril), grafena dari grafit dan DMF. Poli(akrilonitril) dengan konsentrasi 10% (b/b), DMF dengan konsentrasi 90% (b/b) dan grafena dari grafit dengan konsentrasi 0,05 gr (FPG1), 0,15 gr (FPG2) dan 0,25 gr (FPG3). Metode produksi serat menggunakan *electrospinning* (NLI Instrument HVPS). Hasil morfologi yang ditunjukkan oleh SEM berbentuk seperti untaian pita secara kontinu, panjang dan tanpa manik-manik (bead). Diameter serat berukuran 220 nm – 538 nm yaitu 220 nm (FPG1), 348 nm (FPG2) dan 538 nm (FPG3). Hasil XRD menunjukkan struktur kristal PAN/grafena berupa semikristal. Hasil CV menunjukkan nilai kapasitansi 8,34 F/g (FPG1), 11,66 F/g (FPG2) dan 13,83 F/g (FPG3). Hasil EIS menunjukkan nilai R_s sebesar 0,7 Ω (FPG1), 0,32 Ω (FPG2) dan 0,3 Ω (FPG3) dan Nilai R_p sebesar 27,32 Ω (FPG1), 15,55 Ω (FPG2) dan 13,15 Ω (FPG3).

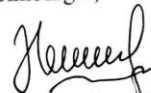
Kata Kunci: *Nanofiber, Morfologi, Struktur Kristal, Kapasitansi, Impedansi.*

Pembimbing 1,



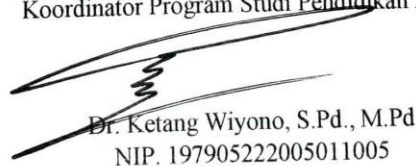
Dr. Ida Sriyanti, S.Pd., M.Si.
NIP. 197811082001122001

Pembimbing 2,



Dr. Leni Marlina, S.Pd., M.Si.
NIP. 197708052001122001

Mengetahui,
Koordinator Program Studi Pendidikan Fisika



Dr. Ketang Wiyono, S.Pd., M.Pd
NIP. 197905222005011005

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Ilmu pengetahuan dan teknologi saat ini berkembang semakin pesat terutama dibidang energi. Energi dapat ditemukan dalam berbagai bentuk baik panas, kinetik, mekanik, listrik dan bentuk lainnya. Sumber energi awalnya berasal dari matahari, angin, kayu dan air kemudian baru menggunakan bahan bakar fosil sebagai sumber energi (Ekundayo dkk, 2015). Energi terbarukan menjadi salah satu penelitian yang sangat penting untuk mengurangi pemanfaatan energi fosil seperti minyak, gas dan batubara sehingga dapat mengurangi berbagai macam polusi (Zou dkk, 2016). Langkah yang paling penting dan sederhana selain menemukan energi terbarukan adalah melakukan penyimpanan energi.

Kapasitor merupakan salah satu penyimpanan energi dengan rangkaian listrik dasar yang menyimpan energi listrik dalam mikrofarad (Jayalakshmi dkk, 2008). Fungsi utama kapasitor adalah untuk mengisi atau mengeluarkan muatan listrik (Sandhya dkk, 2012) dan untuk memblokir aliran listrik dari DC (Jayalakshmi dkk, 2008). Kapasitor dibagi dalam dua kelompok dasar yaitu kapasitor elektrostatik dan kapasitor elektrolitik. Kapasitor elektrostatik memiliki material dielektrik yang dapat digunakan sebagai elektrolit. Sedangkan kapasitor elektrolitik memiliki material konduktif yang dapat digunakan sebagai elektroda (Obreja, 2014). Penyimpanan energi listrik pada material dielektrik harus dibuat setipis mungkin dan material konduktif harus dibuat seluas mungkin supaya terjadi peningkatan energi dan kapasitansi kapasitor (Levitt dkk, 2019).

Berdasarkan mekanisme penyimpanan energi, kapasitor diklasifikasi menjadi tiga jenis (Andres, 2014) yaitu *Electrochemical double-layer capacitor* (EDLC), pseudokapasitor dan kapasitor hibrida. Pada penelitian ini penulis akan membuat kapasitor jenis *Electrochemical double-layer capacitor* (EDLC). Kapasitor EDLC terdiri dari elektroda, elektrolit dan separator (Alresheedi, 2012). Penyimpanan muatan listrik pada kapasitor ini berupa ion-ion yang terkumpul pada *interface* atau antarmuka elektroda dan elektrolit. Pada kapasitor EDLC ini memiliki mekanisme elektrostatik yang dapat menyimpan energi dan melepaskannya dengan cepat (Li,

2009). Dalam pembuatan kapasitor ini, penulis menggunakan material PAN dan grafena dari grafit berbasis *nanofiber*. Pada penelitian sebelumnya kapasitor yang paling umum digunakan adalah kapasitor elektrolit (Elco). Kapasitor ini merupakan kapasitor konvensional yang menggunakan bahan dielektrik. Bahan dielektrik digunakan sebagai elektrolit yang merupakan material perantara yang memanfaatkan gerakan ion antara katoda dan anoda (Obreja, 2014). Nilai kapasitansi pada kapasitor konvensional ini sebesar 0,47 mF/g - 4,7 mF/g. Nilai kapasitansi dari kapasitor ini masih sangat kecil. Hal inilah yang menyebabkan penulis ingin membuat kapasitor dengan kapasitansi yang lebih besar. Selain itu kapasitor berbasis *nanofiber* ini belum ada dilakukan oleh peneliti sebelumnya.

Nanofiber merupakan serat yang memiliki diameter dengan rentang nanometer sampai mikrometer. Diameter *nanofiber* bergantung pada jenis polimer dan metode produksinya (Khajavi dkk, 2016). *Nanofiber* dihasilkan dari berbagai polimer dan disebabkan oleh sifat fisik serta potensial aplikasi yang berbeda (Khajavi dkk, 2016). Pada kapasitor EDLC berbasis *nanofiber* ini akan menghasilkan densitas daya yang tinggi dan densitas energi yang tinggi. Inilah yang menyebabkan kapasitor ini memiliki daya tahan yang lebih lama dari baterai dan kapasitansi energi yang besar dari kapasitor lainnya (Jayalakshmi dkk, 2008). Dalam membuat kapasitor berbasis *nanofiber*, penulis menggunakan metode *electrospinning* daripada menggunakan metode penghasil serat lainnya dalam pembuatan kapasitor.

Electrospinning merupakan metode produksi serat yang menggunakan tenaga listrik untuk menarik benang bermuatan larutan polimer sehingga mendapatkan serat dalam ukuran nanometer baik dari bahan organik maupun an-organik. *Electrospinning* memanfaatkan gaya listrik dan gaya *Coulomb* akibat dari muatan bebas atau ion di permukaan suatu larutan polimer, sehingga bila dikenai benda potensial atau tegangan listrik yang sangat tinggi, larutan dapat tertarik menuju kolektor dan membentuk *nanofiber*. Hasil dari metode *electrospinning* ini berupa *nanofiber* yang berukuran nanometer dan bersifat kontinyu (Ramakrishna dkk, 2005a). Alasan penulis memilih metode *electrospinning* dikarenakan biaya efektif, serat yang terbentuk panjang, serat terus menerus dapat diproduksi dan tingkat modulus elastisitas yang tinggi (Ramakrishna dkk, 2005a; Yao, dkk 2014). Selain

itu, kapasitor ini memiliki kelebihan dalam kerapatan daya lebih tinggi, pengisian lebih pendek, dan waktu penyimpanan yang lebih lama dari baterai dan kapasitor lainnya. Hal ini disebabkan oleh permukaan elektroda dibuat luas serta larutan elektrolit dibuat tipis sehingga mencapai penyimpanan energi atau kapasitansi lebih besar dibandingkan kapasitor biasa (Kotz & Carlen, 2000).

Berdasarkan susunan komponen kapasitor, material kapasitor terdiri dari elektrolit dan elektroda sebagai komponen utama kapasitor. Sedangkan komponen pemisahannya adalah separator (pemisah). Elektrolit merupakan material perantara yang memanfaatkan gerakan ion antara katoda dan anoda selama proses pengisian atau pengosongan dalam kapasitor. Faktor penting yang mempengaruhi kinerja elektrolit adalah difusi elektrolit ke dalam struktur elektroda atau disebut kerapatan daya sel. Untuk mendapatkan elektrolit yang bagus diperlukan sifat-sifat seperti, resistivitas rendah, viskositas rendah, tidak mudah terbakar dan stabilitas elektrokimia yang tinggi (Mirzaeian dkk, 2017).

Ada empat jenis material elektrolit yang sudah ditemukan antara lain elektrolit cair, elektrolit ionik, elektrolit organik dan elektrolit gel (Mirzaeian dkk, 2017). Berdasarkan keempat jenis material elektrolit tersebut penulis menggunakan material elektrolit berbasis cairan yaitu larutan KOH. Pada elektrolit ini tegangannya sekitar 1,23 V dan output daya yang tinggi sehingga akan memiliki sifat konduktivitas tinggi, viskositas rendah, dan kompatibilitas yang baik. Selain itu KOH memiliki sifat titik leleh yang rendah dan kestabilan termal yang tinggi (Mirzaeian dkk, 2017; Zhong dkk, 2015). Larutan KOH ini akan dicampurkan pada polimer *Polyvinilalcohol* (PVA) yang memiliki sifat dielektrik tinggi, harga murah, material semikristal namun pada temperatur yang tinggi akan terjadi ketidakstabilan ikatan kimia (Ibrahim dkk, 2010). Hasil dari penggabungan ini akan menstabilkan konduktivitas termal sehingga dapat meningkatkan kerapatan energi serta menghasilkan kapasitansi yang baik (Ibrahim dkk, 2010).

Komponen kapasitor berikutnya adalah elektroda. Elektroda merupakan unsur dasar dari elektrokimia yang disebabkan oleh perbedaan sifat dari bahan elektroaktif sehingga menghasilkan dampak yang luar biasa terhadap kepadatan energi, daya dan kinerja kapasitif (Mirzaeian dkk, 2017). Elektroda pada kapasitor

mengabsorpsi atau memasukkan ion pada salah satu sisi bahan dan terhubung pada kolektor arus yang berlawanan untuk mengumpulkan atau memasukkan elektron pada saat aktivitas redoks (Zhou dkk, 2016). Material elektroda yang telah diketahui hingga saat ini diantaranya karbon aktif, karbon aerogel, carbon nanotube (CNT) dan grafena (Al-rubaye, 2018). Untuk mendapatkan material elektroda dengan kapasitas tinggi diperlukan beberapa faktor utama diantaranya kapasitansi yang spesifik, kemampuan laju dan stabilitas aliran listrik (Yu dkk, 2015). Pada penelitian ini penulis menggunakan material elektroda dari grafit. Grafit ini kemudian dibuat menjadi grafena kemudian disintesis menggunakan poli(akrilonitril) (PAN) dan dilarutkan dengan pelarut *dimetilformamida* (DMF).

Poli(akrilonitril) (PAN) merupakan polimer kuat yang dapat dipadukan dengan grafena berdasarkan karakterisasi grafena. Polimer PAN memiliki beberapa sifat diantaranya densitas rendah, kekuatan polimer yang tinggi, elastisitas, ketahanan pelarut yang baik, dan dapat mempertahankan morfologi pada proses pirolisis. Inilah yang menyebabkan PAN menghasilkan karbon fiber yang bermutu tinggi. (Kalashnik dkk, 2010; Ramasubramanian, 2013). Sedangkan grafena berbasis grafit ini dipilih dikarenakan tidak bergantung pada distribusi pori-pori pada keadaan padat dibandingkan dengan bahan lain. Selain itu grafena ini memiliki sifat yang luar biasa seperti luas permukaan yang besar, termal yang baik, stabilitas kimia yang baik, konduktivitas listrik yang tinggi serta kapasitansi yang besar (Sandhya dkk, 2012). Sedangkan pelarut yang cocok untuk melarutkan poli(akrilonitril) (PAN) biasanya menggunakan *Dimethylformamide* (DMF) sebagai pelarut organik dalam reaksi kimia. Senyawa organik DMF ini merupakan pelarut polar yang memiliki titik didih yang tinggi serta dapat digunakan sebagai bahan elektrofilik dan nukleofilik. Selain itu, DMF juga berperan dalam sintesis organik, kimia organologam dan katalis. (Muzart, 2009).

Komponen yang menghubungkan antara elektrolit dan elektroda adalah separator. Separator merupakan membran berpori yang diapit oleh elektroda untuk menghambat perpindahan ion elektrolit (Sun dkk, 2014). Peran separator tidak begitu aktif tapi sangat penting dalam menentukan kinerja perangkat penyimpanan energi. Fungsi utamanya adalah memisahkan dua elektroda yang berlawanan dan

menyediakan cara untuk membawa muatan ionik dalam elektrolit cair di seluruh pemisah berpori yang saling berhubungan (Mandake, 2016). Material yang biasa dibuat menggunakan karet, plastik, aquagel dan poliolefin film. Dalam komponen separator kapasitor biasanya menggunakan membran Nafion yang dibuat dari Teflon hidrofobik dan asam sulfonik (SO_3H) hidrofilik (Yu, 2015). Akan tetapi, pada penelitian ini penulis menggunakan material lain dalam pembuatan separator kapasitor. Material yang digunakan adalah *Celullose Acetate* (CA) dengan mensintesis menggunakan Sodium Alginat (SA) kemudian dilarutkan dengan menggunakan asam asetat.

Sodium alginat merupakan biomaterial fungsional yang digunakan untuk peningkatan viskositas, stabilisator dan bahan pembuat matriks pada pembuatan separator kapasitor. Sodium alginat memiliki beberapa sifat diantaranya larut dalam air, membentuk koloid yang kental, bersifat stabilitas dan degradasi kimia. Akan tetapi, larutan ini tidak larut dalam alkohol dan hidroalkohol (konsentrasinya lebih dari 30%) dan tidak larut dalam pelarut organik. Sedangkan *Celullose Acetate* (CA) merupakan turunan asetat ester dari selulosa yang memiliki gugus hidroksil reaktif tinggi dan termasuk biopolimer yang sangat penting sehingga digunakan pada pembuatan serat, filter rokok, separator dan aplikasi medis. Larutan ini juga mudah larut pada berbagai pelarut seperti aseton, asam asetat, dimethylformamide dan metil asetat (Egot dkk, 2018; Faried, 2015). Selulosa asetat memiliki beberapa sifat diantaranya memiliki ketahanan kimia yang baik, stabilitas dan kelarutan yang baik dalam pelarut organik. Selain itu juga memiliki kemampuan selektif dalam menyerap senyawa organik rendah dan toksisitas sebagai penyaring. Serat CA memiliki sifat penyaring yang bagus karena diameter serat halus, jarak antar distribusi serat rapat dan luas permukaan tinggi (Omollo dkk, 2016). Sedangkan asam asetat merupakan salah satu asam karboksilat yang paling banyak digunakan dalam berbagai reaksi. Seperti sintesis ester asetat yang dapat digunakan sebagai pelarut dan digunakan dalam pembuatan selulosa asetat (Haque dkk, 2013).

Untuk mengetahui karakterisasi fisika penulis menggunakan beberapa metode diantaranya *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk dapat mengetahui morfologi dan distribusi diameter serat, *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui struktur Kristal dan tingkat kekristalan. Dan untuk mengetahui nilai kapasitansi pada kapasitor digunakan *Cyclic Voltammetry* (CV) dan resistivitas material menggunakan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS). Berdasarkan penjelasan yang telah penulis sampaikan maka judul dari seminar hasil penelitian ini adalah **Pembuatan Kapasitor dari Grafit dan Poli(akrilonitril) Berbasis *Nanofiber* Sebagai Penyimpan Energi.**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan latar belakang dapat dirumuskan beberapa masalah yang akan diselesaikan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana pembuatan kapasitor berbasis *nanofiber* dari grafit dan poli(akrilonitril) sebagai penyimpanan energi?
2. Bagaimana karakterisasi fisika dari komposisi poli(akrilonitril) dan grafit dalam pembuatan kapasitor sebagai penyimpanan energi?
3. Bagaimana nilai kapasitansi kapasitor dan resistivitas bahan berbasis *nanofiber* dari grafit dan poli(akrilonitril) sebagai penyimpanan energi?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijelaskan maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pembuatan kapasitor berbasis *nanofiber* dari grafit dan poli(akrilonitril) sebagai penyimpanan energi
2. Untuk mengetahui karakterisasi fisika dari komposisi poli(akrilonitril) dan grafit dalam pembuatan kapasitor sebagai penyimpanan energi
3. Untuk mengetahui nilai kapasitansi kapasitor dan resistivitas bahan berbasis *nanofiber* dari grafit dan poli(akrilonitril) sebagai penyimpanan energi

1.4 Batasan Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian yang telah dijelaskan maka batasan penelitian ini sebagai berikut:

1. Pembuatan elektroda dari poli(akrilonitril) dan grafit berbasis *nanofiber* yang digunakan dalam pembuatan kapasitor sebagai penyimpanan energi.
2. Menganalisis hasil SEM untuk mengetahui morfologi dan distribusi diameter serat dan hasil XRD untuk mengetahui struktur kristal.
3. Menganalisis hasil CV untuk mengetahui nilai kapasitansi kapasitor dan hasil EIS untuk mengetahui resistivitas material.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Bagi Peneliti

Menambah pengetahuan mengenai pembuatan kapasitor berbasis *nanofiber* dari grafit dan poli(akrilonitril) sebagai penyimpanan energi

2. Bagi Pembelajaran Fisika

Menambah pemahaman mahasiswa mengenai pembelajaran fisika dasar tentang viskositas dan kapasitansi kapasitor serta sub bahasan struktur kristal dalam pembelajaran pendahuluan fisika zat padat

3. Bagi Institusi

Membuat panduan praktikum mata kuliah pendahuluan fisika zat padat sub bahasan struktur kristal

DAFTAR PUSTAKA

- A, C., Olivas-Armendariz, I., S, J., & E, P. (2012). *Scaffolds for Tissue Engineering Via Thermally Induced Phase Separation. Advances in Regenerative Medicine*. Mexico.
- Ahirwar, D., & Vishwakarma, K. (2016). Morphologi Characterization and Synthesis of Polthiophene Doped PVA Film. *International Journal of Recent Trends in Engineering and Research*, 2(5), 480–487.
- Al-rubaye, S. H. K. (2018). *Nanostructured electrodes based on spinel oxide composites for next generation energy storage devices*. University of Wollongong.
- Alresheedi. (2012). *Supercapacitors based on carbon nanotube fuzzy fabric structural composites*. University of Dayton.
- Amirul, M., Mohd, A., Nur, A., Hawa, N., Azman, N., & Sulaiman, Y. (2017). Fabrication of PEDOT coated PVA-GO nanofiber for supercapacitor. *Materials Chemistry and Physics*, 192, 161–169.
- Andrady, A. L. (2008). *Science and Technology of Polimer Nanofiber*. New jersey: Wiley.
- Andres, B. (2014). *Paper-based Supercapacitors*. Mid Sweden University.
- Aslam, M., Kalyar, M. A., & Raza, Z. A. (2018). Polyvinyl alcohol: A review of research status and use of polyvinyl alcohol based nanocomposites. *Polymer Engineering and Science*, 58(12), 2119–2132.
- Bhardwaj, N., & Kundu, S. C. (2010). Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique. *Biotechnology Advances*, 28(3), 325–347.
- Cao, J., Wang, Y., Zhou, Y., Ouyang, J. H., Jia, D., & Guo, L. (2013). High voltage asymmetric supercapacitor based on MnO₂ and graphene electrodes. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 689, 201–206.
- Castor, S. B., & Hedrick, J. B. (2006). “Rare earth elements.” *Industrial minerals volume, 7th edition: Society for mining, metallurgy, and exploration*, Littleton, Colorado, 769–792.
- Castro Neto, A. H., Guinea, F., Peres, N. M. R., Novoselov, K. S., & Geim, A. K. (2009). The electronic properties of graphene. *Reviews of Modern Physics*, 81(1), 109–162.
- Chee, W. K., Lim, H. N., Zainal, Z., Harrison, I., Andou, Y., Huang, N. M., ... Jiang, Z. T. (2017). Electrospun graphene nanoplatelets-reinforced carbon nanofibers as potential supercapacitor electrode. *Materials Letters*, 199, 200–203.

- Chen, T., & Dai, L. (2014). Flexible supercapacitors based on carbon nanomaterials. *Journal of Materials Chemistry A*, 2(28), 10756–10775.
- Chen, Z., Zheng, L., Zhu, T., Ma, Z., Yang, Y., Wei, C., ... Gong, X. (2019). All-Solid-State Flexible Asymmetric Supercapacitors Fabricated by the Binder-Free Hydrophilic Carbon Cloth@MnO₂ and Hydrophilic Carbon Cloth@Polypyrrole Electrodes. *Advanced Electronic Materials*, 5(3).
- Cui, X., Yu, M., Wang, C., Li, F., & Mao, Q. (2016). The morphology and crystalline region distribution of polyacrylonitrile nanofibers prepared by electrospinning. *Polymer Science - Series A*, 58(3), 357–367.
- Davies, A., & Yu, A. (2011). Material advancements in supercapacitors: From activated carbon to carbon nanotube and graphene. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 89(6), 1342–1357.
- Du, W., Wang, Z., Zhu, Z., Hu, S., Zhu, X., Shi, Y., ... Qian, X. (2014). Facile synthesis and superior electrochemical performances of CoNi₂S₄/graphene nanocomposite suitable for supercapacitor electrodes. *Journal of Materials Chemistry A*, 2(25), 9613–9619.
- Ebrahim, S. A., Harb, M. E., Soliman, M. M., & Tayel, M. B. (2016). Preparation and characterization of a pseudocapacitor electrode by spraying a conducting polymer onto a flexible substrate. *Journal of Taibah University for Science*, 10(2), 281–285.
- Egot, M. P., & Alguno, A. C. (2018). Preparation and Characterization of Cellulose Acetate from Pineapple (*Ananas comosus*) Leaves Preparation and Characterization of Cellulose Acetate from Pineapple (*Ananas comosus*) Leaves. *Trans Tech Publication*, 772(1), 8–12.
- Ekundayo, E., Frhd, G., & Samuel, A. (2015). Review of Sustainable Energy and Electricity Generation from Non - Renewable Energy Sources, 5(1), 53–58.
- Faried, M. A. S. (2015). *Fabrication of Cellulose Acetate / Citric Acid Composite Electrospun Nanofibers and their Antibacterial Activities*. The American University In Cairo.
- Fischer, S., Thümmeler, K., Volkert, B., Hettrich, K., Schmidt, I., & Fischer, K. (2008). Properties and applications of cellulose acetate. *Macromolecular Symposia*, 262(1), 89–96.
- Garg, K., & Bowlin, G. L. (2011). Electrospinning jets and nanofibrous structures. *Biomicrofluidics*, 5(1), 1–20.
- 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.

- Haque, S., Khan, M. Z. H., Roy, B. C., & Uddin, H. (2013). Separation of Acetic Acid from Aqueous Solution using Various Organic Solvents. *Journal of Science and Technology*, 5(2), 1–10.
- Huang, Z. M., Zhang, Y. Z., Kotaki, M., & Ramakrishna, S. (2003). A review on polymer nanofibers by electrospinning and their applications in nanocomposites. *Composites Science and Technology*, 63(15), 2223–2253.
- Ibrahim, M. M., El-zawawy, W. K., & Nassar, M. A. (2010). Synthesis and characterization of polyvinyl alcohol / nanospherical cellulose particle films. *Carbohydrate Polymers*, 79(3), 694–699.
- Iro, Z. S., Subramani, C., & Dash, S. S. (2016). A brief review on electrode materials for supercapacitor. *International Journal of Electrochemical Science*, 11(12), 10628–10643.
- Jauhari, J. et al. (2019). Polyvinylpyrrolidone/cellulose acetate nanofibers synthesized using electrospinning method and their characteristics. *Materials Research Express*, 6(6), 064002.
- Jayalakshmi, M., & Balasubramanian, K. (2008). Simple capacitors to supercapacitors - An overview. *International Journal of Electrochemical Science*, 3(11), 1196–1217.
- Jelinska, N., & Kalnins, M. (2010). Poly (Vinyl Alcohol)/ Poly (Vinyl Acetate) Blend Films. *Scientific Journal of Riga Technical University*, 21(1), 55–61.
- Joh, Y. (1979). Amorphous Polyacrylonitrile: Synthesis and Characterization. *Journal of Polymer Science. Part A-1, Polymer Chemistry*, 17(12), 4051–4067.
- Ju, J., Kang, W., Deng, N., Li, L., Zhao, Y., Ma, X., ... Cheng, B. (2017). Preparation and characterization of PVA-based carbon nanofibers with honeycomb-like porous structure via electro-blown spinning method. *Microporous and Mesoporous Materials*, 239, 416–425.
- Kalashnik, A. T., Smirnova, T. N., Chernova, O. P., & Kozlov, V. V. (2010). Properties and structure of polyacrylonitrile fibers. *Polymer Science Series A*, 52(11), 1233–1238.
- Karmakar, S., Bhattacharjee, S., & De, S. (2017). Aluminium fumarate metal organic framework incorporated polyacrylonitrile hollow fiber membranes : Spinning , characterization and application in fluoride removal from groundwater Aluminium fumarate metal organic framework incorporated polyacrylonitrile h. *Chemical Engineering Journal*, 334(1), 41–53.
- Ke, Q., & Wang, J. (2016). Graphene-based materials for supercapacitor electrodes – A review. *Journal of Materiomics*, 2(1), 37–54.

- Khajavi, R., Abbasipour, M., & Bahador, A. (2016). Electrospun biodegradable nanofibers scaffolds for bone tissue engineering. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(3), 1–19.
- Kim, H., Lee, Y. J., Lee, S. J., Chung, Y. S., & Yoo, Y. (2014). Fabrication of carbon papers using polyacrylonitrile fibers as a binder. *Journal of Materials Science*, 49(10), 3831–3838.
- Kotz, R., & Carlen, M. (2000). Principles and applications of electrochemical capacitors. *Electrochimica Acta*, 45(1), 2483–2498.
- Lee, D. G., Kim, J. H., & Kim, B. H. (2016). Hierarchical porous MnO₂/carbon nanofiber composites with hollow cores for high-performance supercapacitor electrodes: Effect of poly(methyl methacrylate) concentration. *Electrochimica Acta*, 200, 174–181.
- Lee, E., Kim, M., Ju, J., Jang, S., Baeck, S. H., & Shim, S. E. (2017). The electrochemical enhancement due to the aligned structural effect of carbon nanofibers in a supercapacitor electrode. *Synthetic Metals*, 226, 195–206.
- Lee, M., Balasingam, S. K., Ko, Y., Jeong, H. Y., Min, B. K., Yun, Y. J., & Jun, Y. (2016). Graphene modified vanadium pentoxide nanobelts as an efficient counter electrode for dye-sensitized solar cells. *Synthetic Metals*, 215(May), 110–115.
- Levitt, A. S., Alhabeab, M., Hatter, C. B., Sarycheva, A., Dion, G., & Gogotsi, Y. (2019). Electrospun MXene/carbon nanofibers as supercapacitor electrodes. *Journal of Materials Chemistry A*, 7(1), 269–277.
- Li, J. (2009). *Advanced materials and methods for the fabrication of electrochemical supercapacitors*. McMaster University.
- Liang, M., & Zhi, L. (2009). Graphene-based electrode materials for rechargeable lithium batteries. *Journal of Materials Chemistry*, 19(33), 5871–5878.
- Lide, D. R. (2003). *CRC Handbook of Chemistry and Physics*.
- Liivand, K., Thomberg, T., Jänes, A., & Lust, E. (2015). Separator Materials Influence on Supercapacitors Performance in Viscous Electrolytes. *ECS Transactions*, 64(20), 41–49.
- Liu, H. Y., Xu, L., & Sun, Q. L. (2015). Highly aligned electrospun nanofibers by hot-drawing. *Thermal Science*, 19(4), 1357–1360.
- Lu, W., Qu, L., Henry, K., & Dai, L. (2009). High performance electrochemical capacitors from aligned carbon nanotube electrodes and ionic liquid electrolytes. *Journal of Power Sources*, 189(2), 1270–1277.
- Majewski, L. A. (2015). *Alternative Gate Insulators for Organic Field-Effect Transistors*. University of Sheffield.

- Mandake, P. (2016). Significance of Separator Thickness for Supercapacitor. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 4(2), 214–218.
- Miller, J. R. (2018). Perspective on electrochemical capacitor energy storage. *Applied Surface Science*, 460, 3–7.
- Mirzaeian, M., Abbas, Q., Ogwu, A., Hall, P., Goldin, M., Mirzaeian, M., & Jirandehi, H. F. (2017). Electrode and electrolyte materials for electrochemical capacitors. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(40), 25565–25587.
- Munir, M. M., Iskandar, F., Djamal, M., & Okuyama, K. (2011). Morphology controlled electrospun nanofibers for humidity sensor application. *AIP Conference Proceedings*, 1415, 223–226.
- Munir, M. M., Prama Ekaputra, M., Rajak, A., Rahma, A., Nuryantini, A. Y., & Khairurrijal. (2015). Fabrication of Poly(acrylonitrile)/PAN Nanofiber Using a Drum Collector Electrospinning System for Water Purification Application. *Advanced Materials Research*, 1123(1), 281–284.
- Muzart, J. (2009). N, N -Dimethylformamide : much more than a solvent. *Elsevier*, 65(885), 8313–8323.
- Nurhayati, N., & Kusumawati, R. (2014). Sintesis Selulosa Asetat dari Limbah Pengolahan Agar. *Jurnal Pascapanen Dan Bioteknologi Kelautan Dan Perikanan*, 9(2), 97.
- Obreja, V. V. N. (2014). Supercapacitors specialities - Materials review. *AIP Conference Proceedings*, 1597(1), 98–120.
- Omollo, E., Zhang, C., Mwasiagi, J. I., & Ncube, S. (2016). Electrospinning cellulose acetate nanofibers and a study of their possible use in high-efficiency filtration. *Journal of Industrial Textiles*, 45(5), 716–729.
- Oschatz, M., Borchardt, L., Hippauf, F., Nickel, W., Kaskel, S., & Brunner, E. (2015). *Interactions Between Electrolytes and Carbon-Based Materials — NMR Studies on Electrical Double-Layer Capacitors, Lithium-Ion Batteries, and Fuel Cells. Annual Reports on NMR Spectroscopy* (1st ed.). Elsevier Ltd.
- Pang, S., Hernandez, Y., Feng, X., & Müllen, K. (2011). Graphene as transparent electrode material for organic electronics. *Advanced Materials*, 23(25), 2779–2795.
- Park, J. E., Song, S., & Shin, I. S. (2016). Voltammetric investigation for electron-transfer characteristics of organic semiconductors. *International Journal of Electrochemical Science*, 11(7), 5891–5899.
- Pubchem. (2019). *Database Sodium Alginat Compound*. US: National Center of Biotechnology.

- Pont, D. (2010). *Material Safety Data Sheet*. Houston, Texas: ScienceLab.
- Qi, Y. Y., Tai, Z. X., Sun, D. F., Chen, J. T., Ma, H. B., Yan, X. B., ... Xue, Q. J. (2013). Fabrication and characterization of poly(vinyl alcohol)/graphene oxide nanofibrous biocomposite scaffolds. *Journal of Applied Polymer Science*, *127*(3), 1885–1894.
- Rahmawati, F. (2016). Pengganti Soda Api (NaOH) dengan Kalium Hidroksida (KOH) Pada Desistem Binner Air-Etanol. *Jurnal Penelitian Kimia*, *12*(2), 179–189.
- Ramakrishna, S., Fujihara, K., Teo, W.-E., Lim, T.-C., & Ma, Z.. (2005a). *An introduction to electrospinning and nanofibers*. Singapore: world Scientific.
- Ramakrishna, S., Fujihara, K., Teo, W.-E., Lim, T.-C., & Ma, Z. (2005b). *An Introduction to Electrospinning and Nanofibers*. World Scientific Publishing.
- Ramalingam, K. J., Dhineshabu, N. R., Srither, S. R., Saravanakumar, B., Yuvakkumar, R., & Rajendran, V. (2014). Electrical measurement of PVA / graphene nanofibers for transparent electrode applications. *Synthetic Metals*, *191*, 113–119.
- Ramasubramanian, G. (2013). *Influence of Lignin modification on PAN-Lignin copolymers as potential carbon fiber precursors*. Iowa State University Ames.
- Ribeiro, D. V., & Abrantes, J. C. C. (2016). Application of electrochemical impedance spectroscopy (EIS) to monitor the corrosion of reinforced concrete: A new approach. *Construction and Building Materials*, *111*, 98–104.
- Rosi, M. (2014): *Superkapasitor menggunakan polimer hidrogel elektrolit dan elektroda nanopori karbon*, Institut Teknologi Bandung
- Sachan, N. K., Pushkar, S., Jha, A., & Bhattacharya, A. (2009). Sodium alginate : the wonder polymer for controlled drug delivery. *J. Pharm. Res.*, *2*(7), 1191–1199.
- Sadasivuni, K. K., Ponnamma, D., Kim, J., Cabibihan, J. J., & Almaadeed, M. A. (2017). *Composites in Super Capacitor*. *Biopolymer Composites in Electronics*. Elsevier Inc.
- Saiful Badri, M. A., Salleh, M. M., Md Noor, N. F. ain, Rahman, M. Y. A., & Umar, A. A. (2017). Green synthesis of few-layered graphene from aqueous processed graphite exfoliation for graphene thin film preparation. *Materials Chemistry and Physics*, *193*(October), 212–219.
- Salas, C. (2016). *Solution electrospinning of nanofibers*. *Electrospun Nanofibers*. Elsevier Ltd
- Sandhya, K., K, C. S., Nagapadma, R., & Krishnamurthy, L. (2012). Recent Advancement on Different Electrode Materials for Next Generation Energy

- Storage Devices. *Renewable Energy Engineering*, 50(1), 10576–10580.
- Sarbatly, R., Krishnaiah, D., & Kamin, Z. (2016). A review of polymer nanofibres by electrospinning and their application in oil-water separation for cleaning up marine oil spills. *Marine Pollution Bulletin*, 106(1–2), 8–16.
- Saufi, S. M., & Ismail, A. F. (2002). Development and characterization of polyacrylonitrile (PAN) based carbon hollow fiber membrane. *Songklanakarinn Journal Of Science And Technology*, 24(1), 843–854.
- sener, A. G., Altay, A. S., & Altay, F. (2011). Effect of voltage on morphology of electrospun nanofibers. *ELECO 2011 - 7th International Conference on Electrical and Electronics Engineering*.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics* (10th ed.). New York: Cengage Learning.
- Sezgin, S., Ates, M., Parlak, E. A., & Sarac, A. S. (2012). Scan Rate Effect of 1-(4-methoxyphenyl)-1H-Pyrrole Electro-coated on Carbon Fiber: Characterization via Cyclic Voltammetry, FTIR-ATR and Electrochemical Impedance Spectroscopy. *International Journal of Electrochemical Science*, 7(2), 1093–1106.
- Shen, L., Shen, L., Wang, Z., & Chen, L. (2014). In situ thermally cross-linked polyacrylonitrile as binder for high-performance silicon as lithium ion battery anode. *ChemSusChem*, 7(7), 1951–1956.
- Sriyanti, I., Edikresnha, D., Rahma, A., Munir, M. M., Rachmawati, H., & Khairurrijal, K. (2017). Correlation between Structures and Antioxidant Activities of Polyvinylpyrrolidone/ Garcinia mangostana L. Extract Composite Nanofiber Mats Prepared Using Electrospinning. *Journal of Nanomaterials*, 2017.
- Sriyanti, I., Edikresnha, D., Rahma, A., Munir, M. M., Rachmawati, H., & Khairurrijal, K. (2018). Mangosteen pericarp extract embedded in electrospun PVP nanofiber mats: Physicochemical properties and release mechanism of α -mangostin. *International Journal of Nanomedicine*, 13, 4927–4941.
- Sun, X. Z., Zhang, X., Huang, B., & Ma, Y. W. (2014). Effects of separator on the electrochemical performance of electrical double-layer capacitor and hybrid battery-supercapacitor. *Wuli Huaxue Xuebao/ Acta Physico - Chimica Sinica*, 30(3), 485–491.
- Supatmi, S. (2010). Kapasitor. In *Elektronika Dasar* (pp. 1–9). Bandung: Universitas Komputer.
- Taer, E., Sugianto, Sumantre, M. A., Taslim, R., Iwantono, Dahlan, D., & Deraman, M. (2014). Eggs Shell Membrane as Natural Separator for Supercapacitor Applications. *Advanced Materials Research*, 896(1), 66–69.

- Wang, J. & Ye, L. (2015). Structure and properties of polyvinyl alcohol/polyurethane blends. *Composites Part B: Engineering*, 69(1), 389–396.
- Wei, Q., Tao, D., & Xu, Y. (2012). *Nanofibers: principles and manufacture. Functional Nanofibers and their Applications*. Jiangnan University, China.
- Widiyandari, H., Munir, M. M., Iskandar, F., & Okuyama, K. (2009). Morphology controlled synthesis of chromia-titania nanofibers via electrospinning followed by annealing. *Materials Chemistry and Physics*, 116(1), 169–174.
- Wolyneć, S., Costa, I., & Carlos, G. A. (2004). Electrochemical impedance spectroscopy characterization of passive film formed on implant Ti-6Al-7Nb alloy in Hank's solution. *Journal of Materials Science: Materials In Medicine*, 51(1), 55–59.
- Wu, S., Qin, X., & Li, M. (2014). The structure and properties of cellulose acetate materials: A comparative study on electrospun membranes and casted films. *Journall of Industrial Textiles*, 44(1), 85–98.
- Yandri, R. V. (2017). *Sintesis dan karakteristik superkapasitor berbasis grafit, polivinil alkohol, dan sodium alginat sebagai penyimpanan energi*. Institut Teknologi Bandung.
- Yao, J., Bastiaansen, C., & Peijs, T. (2014). High Strength and High Modulus Electrospun Nanofibers. *Fibers*, 2(2), 158–186.
- Yu, Z., Tetard, L., Zhai, L., & Thomas, J. (2015). Supercapacitor electrode materials: Nanostructures from 0 to 3 dimensions. *Energy and Environmental Science*, 8(3), 702–730.
- Zheng, J., Zhang, K., Jiang, J., Wang, X., Li, W., Liu, Y., ... Zheng, G. (2018). Jet behaviors and ejection mode recognition of electrohydrodynamic direct-write. *AIP Advances*, 8(1), 1–9.
- Zhong, C., Deng, Y., Hu, W., Qiao, J., Zhang, L., & Zhang, J. (2015). A review of electrolyte materials and compositions for electrochemical supercapacitors. *Chemical Society Reviews*, 44(21), 7484–7539.
- Zhou, M. (2016). *Electrode Materials For Supercapacitors Operating With Electrolytes Containing Potassium Ions*. Deakin University.
- Zhu, J., Ge, Y., Jasper, S., & Zhang, X. (2017). *Physical characterization of electrospun nanofibers. Electrospun Nanofibers*.
- Zou, C., Zhao, Q., Zhang, G., & Xiong, B. (2016). Energy revolution: From a fossil energy era to a new energy era. *Natural Gas Industry*, 36(1), 1–10.
- Zulkifli, N. A. B., Johar, M. A., Marwah, O. M. F., & Ibrahim, M. H. I. (2017). Review on Advances of Functional Material for Additive Manufacturing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 226(1), 1–11.