

**PENGARUH FRAKSI KONSENTRASI TERHADAP SIFAT LISTRIK
NANOKOMPOSIT $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$ DENGAN METODE SOL-GEL *SPIN*
COATING UNTUK MATERIAL ELEKTRODA BATERAI LITHIUM**

SKRIPSI

*untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Sains*



Oleh

**VARADILA SAHANAYA
NIM 2013/1301673**

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2018**

PERSETUJUAN SKRIPSI

PENGARUH FRAKSI KONSENTRASI TERHADAP SIFAT
LISTRIK NANOKOMPOSIT $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANI}$ DENGAN METODE
SOL-GEL *SPIN COATING* UNTUK MATERIAL ELEKTRODA
BATERAI LITHIUM

Nama : Varadila Sahanaya
NIM : 1301673
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 15 Agustus 2018

Disetujui oleh:

Pembimbing I



Dr. Ramli, M.Si
NIP. 19730204 200112 1 002

Pembimbing II



Dra. Hj. Yenni Darvina, M.Si
NIP. 196309111989032003

Ketua Jurusan Fisika



Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si
NIP. 19690120 199303 2 602

HALAMAN PENGESAHAN

Nama : Varadila Sahanaya
NIM : 1301673
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

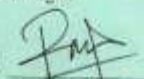
dengan judul

PENGARUH FRAKSI KONSENTRASI TERHADAP SIFAT LISTRIK NANOKOMPOSIT $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANI}$ DENGAN METODE SOL-GEL *SPIN COATING* UNTUK MATERIAL ELEKTRODA BATERAI LITHIUM

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Program Studi Fisika Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, 15 Agustus 2018

Tim Penguji

Nama	Tanda Tangan
1. Ketua : Dr. Ramli, M.Si	1. 
2. Sekretaris : Dra. Hj. Yenni Darvina, M.Si	2. 
3. Anggota : Drs. Gusnedi, M.Si	3. 
4. Anggota : Dr. Ratnawulan, M.Si	4. 

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan dan kutipan dengan mengikuti tata cara karya ilmiah lazim.

Padang, 15 Agustus 2018

Yang menyatakan



Varadila Sahanaya

ABSTRAK

**Varadila Sahanaya :Pengaruh Fraksi Konsentrasi terhadap Sifat Listrik
Nanokomposit Fe₃O₄/PANi dengan Metode Sol-Gel
Spin Coating untuk Material Elektroda Baterai
Lithium**

Di era modern ini, perkembangan teknologi di bidang perangkat elektronik mengalami kemajuan yang sangat pesat. Oleh karena itu, hal ini memicu permintaan penyimpanan energi listrik yaitu salah satunya baterai lithium. Performa dari baterai litium bergantung kepada material elektroda yang digunakan. Tujuan dari penelitian ini adalah menyelidiki pengaruh fraksi konsentrasi Fe₃O₄ terhadap sifat listrik nanokomposit Fe₃O₄/PANi dengan metoda *sol gel* untuk material elektroda baterai lithium.

Pada penelitian ini dilakukan penumbuhan lapisan nanokomposit Fe₃O₄/PANi menggunakan metode *spin coating* dengan variasi konsentrasi 30%; 40%; 50%; 60% dan 70%. Magnetit dipreparasi menggunakan teknik sol-gel dengan *precursor* (Fe(NO₃)₃.9H₂O). Kemudian prekursor dicampur dengan polimer PANi dengan konsentrasi yang divariasikan. Hasil Gel Fe₃O₄/PANi dilapiskan diatas substrat kaca diikuti proses pengeringan. Lapisan nanokomposit Fe₃O₄/PANi dikarakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* dan *Scanning Electron Microscopy* serta LCR meter.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi 30% sampai konsentrasi 40% terjadi penurunan ukuran kristal namun pada konsentrasi 50% terjadi kenaikan ukuran kristal dan pada konsentrasi 60% sampai 70% mengalami penurunan ukuran kristal kembali. Hasil FTIR menunjukkan ikatan molekul yang terbentuk antara Fe₃O₄ dengan PANi dan hasil pencitraan SEM menunjukkan ketebalan lapisan nanokomposit untuk variasi konsentrasi adalah 5,02 µm, 16,54 µm, 17,82 µm, 19,36 µm dan 24,4 µm. Serta resistansi dan kapasitansi listrik yang diperoleh melalui karakterisasi menggunakan LCR meter yaitu 3,53 mΩ dan 2,69 x10⁻¹⁰F.

Kata kunci: Baterai Lithium, Fraksi Konsentrasi Fe₃O₄/PANi, Lapisan Nanokomposit Fe₃O₄/PANi, Sifat Listrik, *Spin Coating*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis diberi kesempatan, kekuatan dan kemampuan untuk dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul **Pengaruh Fraksi Konsentrasi terhadap Sifat Listrik Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$ dengan Metode Sol-Gel *Spin Coating* untuk Material Elektroda Baterai Lithium.**

Skripsi merupakan salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang dan merupakan bagian dari penelitian Dra. Yenni Darvina, M.Si, dkk pada skema Penelitian Produk Terapan BOPTN UNP Tahun Anggaran 2018 dengan judul ‘Pengembangan Nanopartikel Oksida Besi Untuk Aplikasi Elektroda Baterai *Lithium-Ion*’. Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membimbing dan membantu dalam menyelesaikan skripsi ini. Terimakasih penulis ucapkan kepada:

1. Bapak Dr. Ramli, S.Pd, M.Si selaku Pembimbing I.
2. Ibu Dra. Yenni Darvina, M.Si, selaku Pembimbing II.
3. Bapak Drs. Gusnedi, M.Si selaku Penguji.
4. Ibu Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si selaku Penguji dan Ketua Jurusan Fisika.
5. Bapak Drs. Zulhendri Kamus, M.Si selaku Penasehat Akademik.
6. Ibu Syafriani, S.Si, M.Si, Ph.D selaku Ketua Program Studi Fisika.
7. Kedua orang tua dan kakak-kakak yang telah memberikan dukungan moril dan materil.

8. Seluruh staf pengajar Jurusan Fisika yang telah membekali penulis dengan berbagai ilmu dan pengetahuan selama masa perkuliahan
9. Seluruh staf administrasi dan Laboran Jurusan Fisika
10. Selanjutnya rekan-rekan dan semua pihak yang telah membantu hingga terselesaikan skripsi ini

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan di dalamnya, sehingga penulis membutuhkan saran dan kritik yang konstruktif guna perbaikan skripsi ini kedepannya

Padang, Agustus 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Batasan Masalah	5
C. Rumusan Masalah	5
D. Tujuan Penelitian	5
E. Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Pasir Besi	7
B. Magnetit (Fe_3O_4)	8
C. Polianilin	10
D. Nanokomposit	11
E. Baterai Lithium Ion	12
F. Elektroda.....	14
G. Pengaruh Konsentrasi terhadap Konduktivitas Listrik Lapisan Nanokomposit.....	16
H. Metode Sol Gel	18
I. Spin Coating	19
J. Sifat Listrik Material.....	22
K. LCR Meter TH2820	23
L. X-Ray Diffraction (XRD) X'PERT POWDER PW 30/40	25
M. Scanning Electron Microscopy (SEM).....	26
N. Spektrofotometri FTIR (Fourier Transform Infrared).....	28

BAB III METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian	30
B. Waktu dan Tempat Penelitian	30
C. Variabel Penelitian	30
D. Instrumen Penelitian	31
E. Pelaksanaan Penelitian	41
F. Diagram Alir Penelitian	45

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian	46
B. Pembahasan	68

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan	73
B. Saran	73

DAFTAR PUSTAKA	74
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN.....	81
----------------------	-----------

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Struktur Spinel Fe_3O_4	9
2. Skema Struktur Kristal Fe_3O_4 , (a) Posisi Ion Logam Kristal Tetrahedral, (b) Posisi Ion Logam Dalam Oktahedral, (c) Gabungan Tetrahedral dan Oktahedral, (d) Kubik Magnet.	9
3. PANi Ketika didop dengan Berbagai Dopan	11
4. Komponen Utama dari Baterai Litium Ion	13
5. Prinsip Kerja dari Baterai Litium Ion.....	14
6. Grafik hubungan komposisi % massa CNT dalam komposit CNT-PVDF terhadap nilai konduktivitas.....	16
7. Kurva Konduktansi Lapisan Tipis Nanokomposit Fe-C.....	17
8. Gambaran Proses <i>Spin Coating</i>	19
9. Sketsa Prinsip Dasar <i>Spin Coating</i>	19
10. Skema Tahapan <i>Spin Coating</i>	20
11. Spektrum Konduktivitas Listrik dan Resistivitas.....	22
12. LCR Meter	24
13. Alat <i>High Energy Milling</i> (HEM).....	32
14. Alat <i>XRD</i>	32
15. Alat <i>Scanning Electron Microscopy</i> (SEM)	33
16. Alat <i>LCR</i> meter	33
17. Alat <i>Spin Coating</i>	34
18. <i>Furnace</i>	34
19. <i>Magnetic Stirrer</i>	34
20. Alat Ultrasonikasi.....	35
21. Magnet Permanen	35
22. Jar	36
23. Bola-bola <i>Milling</i>	36
24. Lumpang dan Alu.....	37

25. Ayakan 100 mesh.....	37
26. Substrat Kaca	38
27. Pasir Besi	39
28. Aquabidest	39
29. Etilen Glikol	40
30. HCL.....	40
31. Amonium Persulfat	40
32. PANi.....	41
33. Diagram Alir Penelitian	45
34. Data Hasil Pengukuran XRD dengan 30% lapisan nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi.....	47
35. Data Hasil Pengukuran XRD dengan 40% lapisan nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi.....	48
36. Data Hasil Pengukuran XRD dengan 50% lapisan nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi.....	49
37. Data Hasil Pengukuran XRD dengan 60% lapisan nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi.....	50
38. Data Hasil Pengukuran XRD dengan 70% lapisan nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi.....	51
39. Hasil Pencitraan SEM Penampang Lapisan nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi dengan konsentrasi 30% Perbesaran 1000x	52
40. Hasil Pencitraan SEM Penampang Lapisan nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi dengan konsentrasi 40% Perbesaran 1000x	53
41. Hasil Pencitraan SEM Penampang Lapisan nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi dengan konsentrasi 50% Perbesaran 1000x	54
42. Hasil Pencitraan SEM Penampang Lapisan nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi dengan konsentrasi 60% Perbesaran 1000x	54
43. Hasil Pencitraan SEM Penampang Lapisan nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi dengan konsentrasi 70% Perbesaran 1000x	55
44. Grafik Karakterisasi Menggunakan FTIR Lapisan Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi.....	57
45. Pola Difraksi Lapisan Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi dengan	

Konsentrasi 30%	59
46. Pola Difraksi Lapisan Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$ dengan Konsentrasi 40%	59
47. Pola Difraksi Lapisan Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$ dengan Konsentrasi 50%	60
48. Pola Difraksi Lapisan Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$ dengan Konsentrasi 60%	61
49. Pola Difraksi Lapisan Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$ dengan Konsentrasi 70%	62
50. Pola Difraksi dari Lapisan Tipis Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$ untuk variasi konsentrasi 30%;40%;50%;60% dan 70%	63
51. Grafik Hubungan Antara Konsentrasi nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$ Terhadap Ukuran Kristal.....	64
52. Hasil Pencitraan <i>Cross-Section</i> Lapisan Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$ dengan Perbesaran 1000x, untuk Konsentrasi (a) 30%, (b) 40%, (c) 50%, (d) 60%, dan (e) 70%	65
53. Grafik Hubungan Konsentrasi terhadap Ketebalan Lapisan Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$	66
54. Grafik Hubungan Konsentrasi terhadap Nilai Resistansi Listrik $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$	67
55. Grafik Hubungan Konsentrasi terhadap Nilai Kapasitansi Listrik $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$	68

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Spesifikasi Alat LCR Meter TH2820	25
2. Spesifikasi Alat XRD X'Pert Powder PW 30/40	26
3. Spesifikasi Alat SEM Hitachi S-3400N	28
4. Daerah Gugus Fungsi	29
5. Data Hasil Karakterisasi Menggunakan FTIR Lapisan Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi	46
6. Data Hasil Karakterisasi XRD Konsentrasi 30% Lapisan Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi	47
7. Data Hasil Karakterisasi XRD Konsentrasi 40% Lapisan Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi	48
8. Data Hasil Karakterisasi XRD Konsentrasi 50% Lapisan Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi	50
9. Data Hasil Karakterisasi XRD Konsentrasi 60% Lapisan Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi	51
10. Data Hasil Karakterisasi XRD Konsentrasi 70% Lapisan Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi	52
11. Data Hasil Resistansi Listrik Menggunakan LCR Meter Lapisan Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi	56
12. Data Hasil Kapasitansi Listrik Menggunakan LCR Meter Lapisan Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Data Hasil Analisis XRD untuk Ukuran Kristal	81
2. Data Base Hasil XRD <u>Name and formula</u> Kode 01-078-3149	84
3. Data Ketebalan Lapisan Nanokomposit Menggunakan SEM.....	93

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Di era modern ini, perkembangan teknologi di bidang perangkat elektronik gadget seperti jam, handphone, tablet, laptop, dan juga aplikasi untuk kendaraan listrik mengalami kemajuan yang sangat pesat. Oleh karena itu, hal ini memicu permintaan penyimpanan energi listrik yang lebih maju pula. Baterai merupakan komponen penyimpan energi yang terus diteliti dan dikembangkan saat ini untuk menghasilkan performa baterai yang lebih baik (Qomariyah, dkk, 2018). Baterai yang banyak digunakan sebagai media penyimpan energi yaitu baterai lithium. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Liu dkk, 2010; Zhou dkk, 2014; Gedkk, 2015, Choi dkk, 2016), baterai lithium adalah baterai yang paling menjanjikan karena memiliki keunggulan yaitu tidak mengalami memory effect sehingga dapat diisi ulang kapan saja, memiliki kapasitas energi yang tinggi, siklus hidup yang panjang dan dampak lingkungan yang rendah karena tidak mengandung logam berat seperti Ni atau Cd. Namun, baterai lithium memiliki berbagai kelemahan seperti keselamatan (safety problem), ekonomi, dan masalah lingkungan. Kelemahan tersebut mendorong untuk mengembangkan perangkat dan material yang murah dan ramah lingkungan. Salah satunya pengembangan material di bidang aplikasi baterai lithium ditinjau dari elektroda yang digunakan. Dalam pembuatan elektroda baterai lithium dibutuhkan parameter dalam pemilihan elektroda yang baik antara lain memiliki kapasitas energi yang tinggi, memiliki kemampuan menyimpan dan melepas muatan/ion yang bagus, mudah untuk dibuat, aman dalam pemakaian (tidak beracun) dan harganya murah,

memiliki tingkat siklus pemakaian yang lama (Rohman, 2012). Bahan elektroda yang banyak digunakan pada baterai lithium adalah grafit, House dan Ross (2007) menjelaskan bahwa sifat elektrokimia grafit menghalangi perpindahan ion lithium dan jarak yang ditempuh untuk lepas dari grafit semakin jauh, karena ukuran partikel grafit yang besar sehingga energi yang dihasilkan berkurang. Menurut (Rohman, 2012), secara teoritik grafit memiliki kapasitas energi sebesar 372 mAhg^{-1} . Nilainya tergolong kecil untuk dapat memenuhi tuntutan kinerja baterai lithium yang semakin tinggi.

Salah satu kandidat pengganti grafit adalah nanopartikel magnetit Fe_3O_4 . Oleh karenanya secara teori Cabana dkk (2010) menjelaskan bahwa kapasitas energi tinggi yang dimiliki sebesar $\approx 1000 \text{ mAhg}^{-1}$, kelimpahan tinggi di alam dan biaya pemrosesan yang rendah. Material dengan struktur nano dapat ditingkatkan secara signifikan melalui proses elektrokimia dalam elektroda yaitu memberikan pengurangan jarak untuk pengangkutan ion dan elektron serta area kontak elektroda/elektrolit yang lebih besar sehingga diharapkan pengisian/pemakaian (*charge/discharge*) serta kapasitas energi tinggi dapat ditingkatkan dalam baterai litium berbasis elektroda dari material berstruktur nano.

Material elektroda dari berbagai kandidat telah dilaporkan diantaranya oleh Wigayati (2009) yang membuat lembaran grafit dengan nilai konduktivitas listrik sebesar $(6,2 \times 10^{-3} - 43,8 \times 10^3) \text{ S/cm}$. Susana dan Astuti (2016) yang membuat elektroda baterai lithium dari karbon aktif dengan konduktivitas dan kapasitansi maksimum yang diperoleh pada konsentrasi LiOH 1,5 g sebesar $(2,34 \times 10^{-6})$, kemudian Subhan dan Prihandoko (2011) membuat komposit anoda $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ dan *soda lime silica* dengan konduktivitas listrik $32,7 \times 10^{-3} \text{ S/cm}$. Namun, dalam

penelitian ini kami membuat lapisan tipis dengan pengaruh konsentrasi nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$ yang mana Fe_3O_4 berasal dari mineral pasir besi Kabupaten Solok Selatan Sumatera Barat. Hayati (2014), melaporkan bahwa di daerah Solok Selatan Kecamatan Sangir diperoleh data pengujian XRF berupa kadar kandungan besi sebelum dan setelah pemurnian berturut-turut adalah 69,596% dan 87,509% didominasi oleh magnetit Fe_3O_4 . Dalam ukuran nano, Fe_3O_4 memiliki peluang yang besar dalam bidang industri dan elektronik seperti pembuatan nanokomposit.

Menurut Herbirowo (2013), nanokomposit adalah proses penggabungan dua atau lebih material antara matriks dengan *reinforced* pada skala nanostruktur untuk membentuk material baru yang lebih bermanfaat dalam industri manufaktur maupun rekayasa bahan. Dalam penelitian ini nanokomposit dibuat sebagai material elektroda baterai lithium dengan menggunakan metode penumbuhan film tipis.

Banyak cara yang dilakukan dalam penumbuhan film tipis diantaranya yaitu *sputtering* yang dilaporkan dalam jurnal (Ramli, dkk, 2017), DC *magnetron sputtering* (Ramli, dkk, 2016) dan semprot *pirolisis* (Isac *et al*, 2007) . Namun (Shinde dkk, 2007), menjelaskan bahwa metode tersebut mempunyai kekurangan diantaranya luas daerah penumbuhan film yang kecil, membutuhkan instrumen yang canggih, biaya operasi yang tinggi, dan setiap setelah digunakan sistem harus dibersihkan dengan seksama. Oleh karena itu, cara melakukan penumbuhan film tipis yang sederhana yaitu menggunakan cara pelapisan putar (*spin coating*), dimana pelapisan dilakukan di atas substrat yang diputar dengan kecepatan tertentu sehingga adanya gaya sentripetal, larutan atau gel yang menempel

mengalir ke arah pinggir substrat dan pelarut menguap, serta diiringi dengan reaksi kondensasi, sehingga diperoleh hasil berupa lapisan film padat. Riaz, dkk, (2014) telah melakukan penumbuhan lapisan tipis magnetit dengan metode *spin coating* diatas substrat Cu kemudian Eken dan Ozenbas (2009) menumbuhkan lapisan tipis magnetit diatas substrat kaca. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Riaz, dkk, (2014) dan Eken dan Ozenbas (2009) pembuatan lapisan tipis juga menggunakan metode kimia yaitu metode sol gel.

Metode sol-gel merupakan pembuatan lapisan tipis dengan proses kimia berupa reaksi hidrolisis dan kondensasi. Metode sol-gel memiliki keunggulan yaitu dapat menghasilkan material yang komposisinya bisa dikontrol dan memiliki tingkat kehomogenan yang tinggi. Gel yang akan dilapisi di atas substrat dihasilkan dari teknik sol-gel. Bhushan (2007) menjelaskan bahwa sol-gel merupakan salah satu metode yang melibatkan proses kimia berupa reaksi hidrolisis dan kondensasi dalam penumbuhan lapisan tipis. Dengan demikian, dalam penelitian ini akan menyelidiki pengaruh konsentrasi nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$. Serta nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$ dikarakterisasi menggunakan XRD, untuk melihat ukuran kristal $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$, dan SEM untuk melihat ketebalan lapisan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$, FTIR untuk melihat ikatan molekul yang terbentuk serta LCR meter untuk menentukan konduktivitas dan kapasitansi listriknya. Oleh karena itu, peneliti tertarik dengan judul “ Pengaruh Konsentrasi Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$ dengan Metode Sol-Gel Menggunakan *Spin Coating* untuk Material Elektroda Baterai Lithium ”.

B. Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan untuk menghindari adanya pembahasan diluar materi dalam mengerjakan penelitian ini, maka batasan masalah yang dikaji dalam penelitian ini adalah pengaruh fraksi konsentrasi nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$ (30%;40% 50%;60% dan 70%) terhadap sifat listrik yaitu resistansi dan kapasitansi listriknya.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah di atas, maka dibuatlah rumusan masalah yaitu bagaimana pengaruh fraksi konsentrasi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$ terhadap sifat listrik nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$ dengan metoda *sol gel* untuk material elektroda baterai lithium.

D. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah menyelidiki pengaruh fraksi konsentrasi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$ terhadap sifat listrik nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$ dengan metoda *sol gel* untuk material elektroda baterai lithium.

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Bagi Peneliti, sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Studi Fisika S1 dan pengembangan diri dalam bidang kajian Fisika.
2. Kelompok kajian Fisika Material dan Biofisika dapat memberikan ilmu pengetahuan dalam pengembangan pembuatan material berbasis nanopartikel, khususnya dalam nanokomposit.
3. Jurusan Fisika, untuk menambah pengetahuan dan memperluas wawasan dalam bidang kajian material.

4. Peneliti lain, sebagai referensi dalam pengembangan penelitian tentang material terutama dalam lapisan tipis dan dapat menjadi sumber ide bagi peneliti lainnya.
5. Pembaca, untuk menambah pengetahuan dan memperluas wawasan dalam bidang kajian material serta dalam pengembangan aplikasinya dalam berbagai bidang.

BAB II

TINJAUAN KEPUSTAKAAN

A. Pasir besi

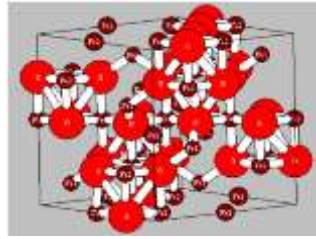
(Ratman, 1998) menjelaskan bahwa pasir besi merupakan mineral yang terdapat di Indonesia, dan tersebar luas di sepanjang tepian Samudera Hindia, dari wilayah paling barat Pulau Sumatera hingga Pulau Bali, Lombok dan sekitarnya. Pasir besi di Indonesia dapat dijumpai diberbagai tempat seperti gunung vulkanik, aliran sungai dan pantai. Pasir besi merupakan hasil sedimentasi laut yang terendap di pantai dan hasil sedimentasi gunung vulkanik. Pasir besi yang berasal dari gunung vulkanik dihasilkan melalui letusan yang mengeluarkan semburan lava panas, debu, kerikil batu dari dalam dapur magma. Keberadaan sungai besar yang berhulu pada batuan produk gunung api, memungkinkan keberadaan endapan residual pasir besi dibagian hilirnya (Ansori, dkk, 2011). Berdasarkan keadaan ini dapat diduga bahwa pasir besi yang tersebar diwilayah Indonesia memiliki variasi dan ciri yang khas. Sunaryo dan Widiawidura (2010) menjelaskan dalam jurnalnya, pasir besi memiliki ukuran butir yang bervariasi dengan ukuran kasar (antara 3 hingga 5mm) dan ukuran halus (kecil dari 1 mm). Kandungan mineral magnetik bergantung kepada ukuran butir. Menurut (Anshori, 2013) semakin tinggi kandungan mineral magnetiknya maka ukuran butir yang di dapatkan harus semakin halus. Ketika ukuran butir memiliki hubungan terhadap kandungan mineral magnetik, maka sifat magnetik juga memiliki hubungan terhadap ukuran butir. Hal ini dikarenakan sifat magnetik suatu bahan dipengaruhi oleh kandungan mineral magnetik.

Mineral magnetik yang dikandung pasir besi diantaranya magnetite Fe_3O_4 , hematite ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), dan maghemite ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) berpotensi untuk bahan industri, diantaranya sebagai pewarna serta campuran (filler) untuk cat, juga sebagai bahan dasar untuk magnet permanen. Magnetit digunakan sebagai bahan dasar tinta kering (toner) pada mesin photocopy dan printer laser. Maghemit adalah bahan utama untuk pita kaset. Setiap mineral magnetik mempunyai karakteristik atau sifat-sifat magnetik tertentu. Perbedaan sifat magnetik bergantung pada jenis mineral magnetik, bentuk dan ukuran bulirnya, serta dipengaruhi oleh keadaan domain bulir mineral magnetik tersebut (Mufit, dkk, 2006).

B. Magnetit (Fe_3O_4)

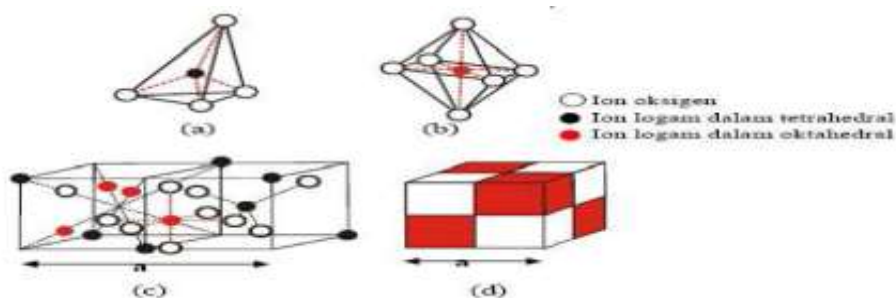
Magnetit (Fe_3O_4) merupakan salah satu bentuk oksida besi di alam yang paling kuat sifat magnetisnya. Magnetit juga sering disebut sebagai oksida besi hitam (*black iron oxide*), *magnetic iron ore*, *loadstone*, *ferrous ferrite*, atau *Hercules stone* (Teja dan Koh, 2009). Magnetit banyak terkandung dalam pasir besi dan merupakan senyawa kimia dalam bentuk oksida besi yang mudah disintesis dalam skala laboratorium menggunakan reagen kimia $[\text{Fe}^{3+}]$ dan $[\text{Fe}^{2+}]$ (Alorro et.al, 2010). Beberapa tahun terakhir magnetit (Fe_3O_4) menjadi bahan kajian yang menarik perhatian para ahli karena peluang aplikasi yang luas, terutama dalam bidang industri.

Struktur Fe_3O_4 membentuk spinel invers dalam bentuk kubik dapat ditulis $\text{Fe.Fe}_2\text{O}_4$. Fe_3O_4 memiliki *space group* Fd-m dengan No 227 dan dengan kisi yang sama yaitu $a = b = c$ sebesar 8,4045 Å dan sudut $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ sesuai dengan ICDD (*International Centre of Diffraction Data*) dengan kode 01-089-0688. Secara detail struktur Fe_3O_4 ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Spinel Fe_3O_4 (Sumber : Fuad, 2010)

Gambar 1 menunjukkan bahwa struktur kristal dari Fe_3O_4 adalah tetrahedral. Menurut Perdana (2010), magnetit mempunyai struktur kristal spinel dengan sel unit kubik yang terdiri dari 4 ion oksigen, dimana celah-celahnya ditempati oleh ion Fe^{2+} dan ion Fe^{3+} . Delapan ion Fe^{3+} dalam tiap sel berada pada bagian tetrahedral, karena berlokasi di tengah sebuah tetrahedron yang keempat sudutnya ditempati ion oksigen. Sisanya delapan ion Fe^{3+} dan delapan ion Fe^{2+} berada pada bagian oktahedral, karena ion-ion oksigen sekitarnya menempati sudut-sudut sebuah oktahedron yang sudut-sudutnya ditempati oleh enam atom oksigen. Bentuk dan letak bagian oktahedral dari kristal magnetit dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema Struktur Kristal Fe_3O_4 , (a) Posisi Ion Logam Kristal Tetrahedral, (b) Posisi Ion Logam dalam Oktahedral, (c) Gabungan Tetrahedral dan Oktahedral, (d) Kubik Magnet (Cullity, B.D. 1972)

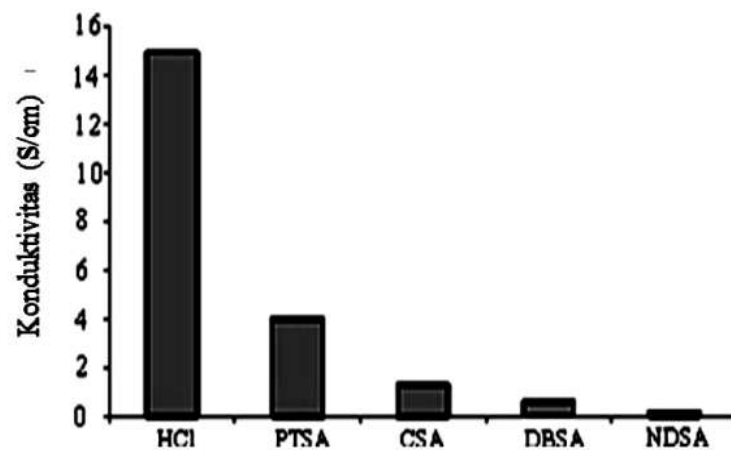
Gambar 2 merupakan skematik struktur kristal Fe_3O_4 yang menjelaskan kristal magnetit dari bagian tetrahedral dan oktahedral. (Perdana, 2010) menjelaskan bahwa tiap-tiap unit sel berisi sejumlah ion, satu unit sel terbagi menjadi delapan oktan (kubus spinel), masing-masing berukuran $a/2$, empat oktan

yang berarsir memiliki ukuran isi yang sama, begitu pula bagian yang tidak diarsir. Ion-ion oksigen disusun dengan cara yang sama, tetrahedral di oktan terarsir dan oktahedral di oktan tidak terarsir.

Bentuk dan susunan kristal dari Fe_3O_4 sangat berpengaruh terhadap sifat magnet yang dimiliki magnetit. Sifat yang dimiliki magnetit dapat ditarik oleh magnet dengan sangat kuat. Respon yang kuat terhadap medan magnet luar menjadikan magnetit sangat berguna untuk kepentingan riset. Oleh karena itu, luasnya aplikasi membuat para peneliti terus mengembangkan material magnetit dalam skala nano (Trisnawati, 2015).

C. PANi (Polianilin)

Bahan polimer konduktif yang paling banyak dikaji pada dua dekade terakhir ini yaitu polianilin (PANi) karena memiliki sifat fisika dan kimia yang khas, tidak seperti material terkonjugasi lainnya. Menurut (Huang, 2006), polianilin memiliki sifat kimia doping melalui reaksi asam dan basa yang sederhana dan dapat balik, sehingga memungkinkan untuk mengontrol solubilitas, konduktivitas listrik dan optiknya. Konduktivitas bahan polimer konduktif dapat ditingkatkan dengan cara mendopingnya dengan agen-agen oksidatif, reduktif atau radikal-radikal donor dan akseptor (Ansari, dkk, 2006). Doping adalah proses dimana polimer yang berupa isolator atau semikonduktor diekspos dengan agen transfer muatan (*dopant*) dalam fasa gas atau larutan melalui oksidasi atau reduksi elektrokimia yang sesuai. Karena proses pendopingan, terjadi peningkatan konsentrasi pembawa muatan di dalam polimer yang mengakibatkan kemampuan polimer dalam menghantarkan listrik menjadi meningkat (Ansari, dkk, 2006).



Gambar 3. Konduktivitas PANi Ketika didop dengan Berbagai Dopan
(Sumber : Hubber, dkk, 2003)

Polianilin murni merupakan semikonduktor lemah (*poor semiconductor*) dengan konduktivitas sekitar 10^{-8} S/m dalam keadaan tidak terdoping, namun konduktivitasnya dapat meningkat jika diberikan doping tertentu. Jika doping dengan asam tertentu dapat meningkatkan konduktivitas, karena doping membentuk struktur polaron/bipolaron yang akan meningkatkan muatan polianilin akibat relokalisasi yang meningkat. Hubber dkk (2003) dalam jurnalnya telah membandingkan konduktivitas PANi untuk beberapa jenis dopan seperti yang terlihat pada Gambar 3. Dopan HCl dan *para-toluene sulfonic acid* (PTSA) memberikan konduktivitas tertinggi dibandingkan dengan yang lainnya.

D. Nanokomposit

Menurut (Abdullah, 2008), komposit adalah kombinasi dari dua bahan atau lebih yang tersusun dari fasa matrik dan penguat yang dipilih berdasarkan kombinasi sifat mekanik dan fisik masing-masing material penyusun untuk menghasilkan material baru dengan sifat yang unik dibandingkan sifat material dasar sebelum dicampur dan terjadi ikatan permukaan antara masing-masing material penyusun. Komposit terdiri dari 2 bagian utama yaitu matriks dan

penguat. Matriks berfungsi untuk perekat atau pengikat dan pelindung. Matriks yang biasanya digunakan adalah polimer, metal, keramik, dan lain-lain. Penguat (*reinforcing*) dapat berupa serat atau partikel, yang berfungsi sebagai penguat dari matriks. Sedangkan nanokomposit dapat didefinisikan sebagai suatu komposit yang nanopartikel. Nanokomposit tersusun dari partikel yang berukuran nano yang terdispersi dalam matriks. Matriks akan mengalami peningkatan signifikan pada sifat-sifatnya atau memiliki sifat baru bergantung dari jenis nanopartikel yang ditambahkan. Nanokomposit logam-polimer merupakan salah satu contoh dari nanokomposit, yang menggunakan nanopartikel (nanostruktur logam) sebagai aditif dalam matriks polimer. Matriks polimer berfungsi sebagai pelindung nanopartikel terhadap kemungkinan perubahan kimiawi dan bersama-sama nanopartikel berperan meningkatkan kekuatan mekanik.

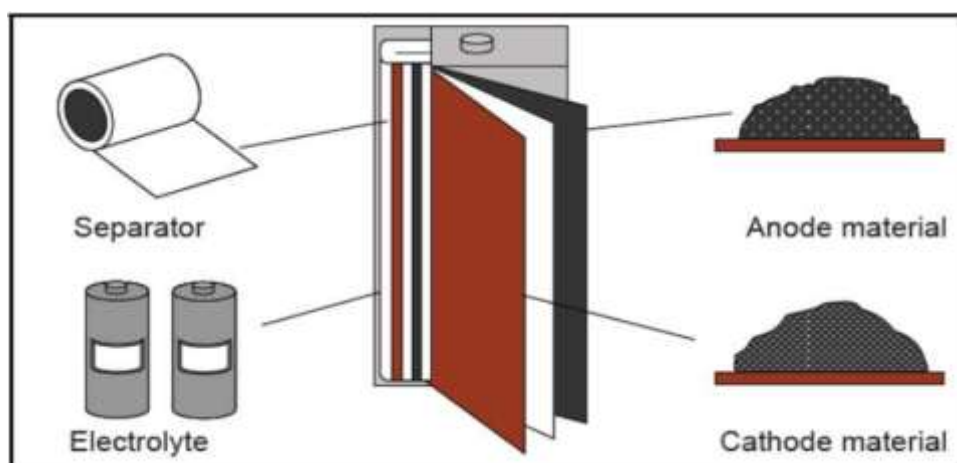
Gabungan matriks polimer dan bahan pengisi yang berukuran nanometer disebut juga dengan polimer nanokomposit. Apabila bahan pengisi (filler) berukuran nanometer ditambahkan kepada matriks polimer maka bahan tersebut akan tersebar sebagai partikel halus, berstruktur seperti jarum atau sebagai lapisan dalam matriksnya. Sehingga secara tidak langsung kehadiran bahan pengisi ini mempengaruhi kekuatan dari suatu komposit. Jumlah bahan pengisi yang berukuran nanometer hanya perlu digunakan dalam jumlah yang sedikit saja karena nanometer menyediakan luas permukaan yang tinggi dan kebanyakan atom pada partikel tersebut berada pada permukaannya.

E. Baterai Lithium Ion

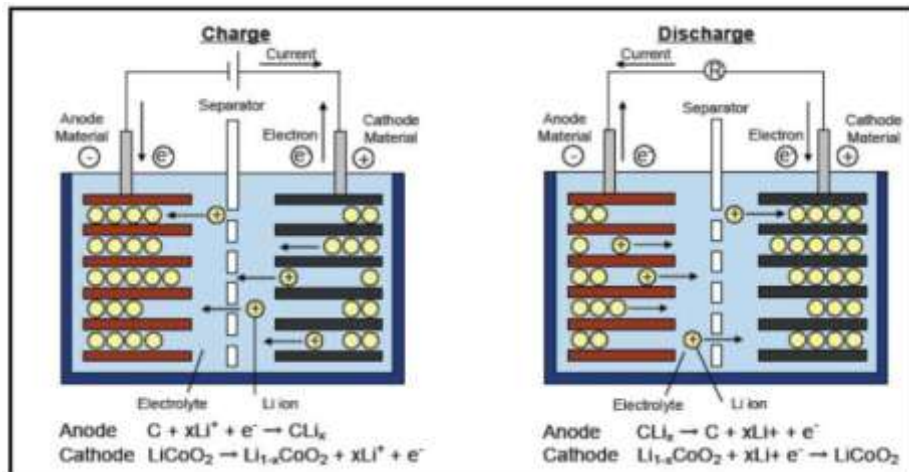
Baterai lithium ion merupakan jenis baterai sekunder karena dapat diisi ulang. Untuk sistem baterai sekunder, bahan katoda dan anoda harus bersifat

recyclable, yaitu dapat terbentuk kembali bila diberi tegangan listrik dari luar, melalui reaksi kimia yang bersifat reversibel. Reaksi kimia dalam sel baterai sekunder dapat dikembalikan oleh pemberian tegangan luar, yaitu dengan membalik polaritas tegangan sehingga reaksi berlangsung ke arah yang berlawanan dengan arah reaksi redoks semula (Hidyat, dkk, 2016).

Baterai litium dapat mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik melalui proses elektrokimia. Elektroda baterai litium terdiri dari katoda dan anoda. Anoda pada baterai litium terbuat dari litium hidroksida (LiOH) dan karbon aktif (Negara dan Astuti, 2015). Baterai Lithium ion mempunyai 4 komponen utama yaitu: katoda (elektroda positif), anoda (elektroda negatif) larutan elektrolit dan pemisah. Baterai lithium ion memerlukan bahan anoda karena logam Li membentuk dendrit yang menyebabkan arus pendek, memulai reaksi cepat pada katoda, dan menyebabkan baterai mudah terbakar serta mengalami siklus hidup yang buruk. Sehingga digunakan grafit yang sudah umum dan komersil. Baterai lithium dengan material anoda grafit dapat ditunjukkan pada Gambar 4 dan prinsip kerja pemakaian dan pengisian dari baterai litium ion diperlihatkan pada Gambar 5.

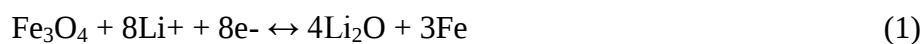


Gambar 4. Komponen Utama dari Baterai Litium Ion
(Sumber : Scrosati dan Garche, 2010)



Gambar 5. Prinsip Kerja dari Baterai Litum Ion
(Sumber : Scrosati dan Garche, 2010)

Penyimpanan lithium dari oksida besi di anoda merupakan mekanisme berdasarkan reaksi konversi redox (reduksi-oksidasi) dimana oksida besi di reduksi menjadi nanokluster logam yang terdispersi dalam matrik Li₂O pada litigasi kemudian dipulihkan kembali ke keadaan oksidasi awal selama de-litiasi (pembuangan litium dari anoda). Cheng dkk (2011) menjelaskan bahwa mekanisme reaksi penggunaan oksida besi, Fe₃O₄ sebagai anoda, dapat digambarkan sebagai berikut:



F. Elektroda

Konduktor yang seringkali digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non-logam dari sebuah sirkuit (seperti semikonduktor, elektrolit atau vakum) merupakan elektroda. Elektroda berasal dari bahasa Yunani seperti yang diungkapkan oleh ilmuwan Michael Faraday yaitu elektron yang berarti amber, dan hodos berarti sebuah cara (Dogra, 1990). Dalam sel elektrokimia elektroda disebut sebagai anoda atau katoda. Menurut Dogra (1990), konduktor listrik yang baik, potensial yang terbentuk disekitar elektroda harus rendah, tidak mudah bereaksi

dengan metal yang lain, tidak membentuk campuran yang dapat mengganggu proses elektrolisa, mudah diperoleh atau disiapkan dengan murah, tahan korosi dalam zat pelarut, stabil, kuat dan tidak mudah terkikis serta harganya murah merupakan syarat-syarat dari elektroda yang baik. Elektroda terdiri dari anoda dan katoda.

a. Anoda

Dogra (1990) menjelaskan bahwa pada sel galvanik, anoda adalah tempat terjadinya oksidasi yang bermuatan negatif disebabkan oleh reaksi kimia yang spontan, elektron akan dilepas oleh elektroda ini. Pada sel elektrolisis, sumber eksternal tegangan didapat dari luar, sehingga anoda bermuatan positif apabila dihubungkan dengan katoda. Ion-ion bermuatan negatif akan mengalir pada anoda untuk dioksidasi.

b. Katoda

Bird (1993) menjelaskan bahwa elektroda tempat terjadinya reduksi sebagai zat kimia merupakan katoda. Dalam sel galvanik bila katoda dihubungkan dengan anoda maka katoda akan bermuatan positif. Ion bermuatan positif mengalir ke elektroda ini untuk direduksi oleh elektron-elektron yang datang dari anoda. Pada sel elektrolisis, katoda adalah elektroda yang bermuatan negatif. Ion-ion bermuatan positif (kation) mengalir ke elektroda ini untuk direduksi. Dengan demikian, pada sel galvanik, elektron bergerak dari anoda ke katoda dalam sirkuit eksternal.

c. Potensial Elektroda Standar (E^0)

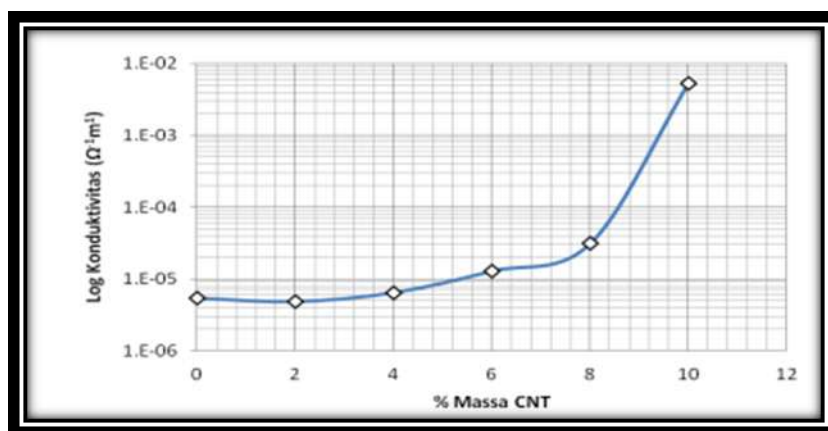
Hiskia (1992) dalam buku Elektrokimia dan Kinetika Ilmiah menyebutkan bahwa potensial elektroda standar adalah potensial yang terkait dengan

setengah reaksi yang ada (wadah elektroda). Potensial elektroda standar suatu elektroda adalah daya gerak listrik yang timbul karena pelepasan elektron dari reaksi reduksi. Oleh karena itu, potensial elektroda standar sering juga disebut potensial reduksi standar. Potensial ini relatif karena dibandingkan dengan elektroda hidrogen sebagai standar. Nilai potensial elektroda standar dinyatakan dalam satuan Volt (V). Untuk elektroda hidrogen, E^0 -nya adalah 0,00 V.

- 1) Bila $E^0 > 0 \rightarrow$ cenderung mengalami reduksi (bersifat oksidaor)
- 2) Bila $E^0 < 0 \rightarrow$ cenderung mengalami oksidasi (bersifat reduktor).

G. Pengaruh Konsentrasi terhadap Konduktivitas Listrik Lapisan Nanokomposit

Konduktivitas listrik lapisan nanokomposit sangat dipengaruhi oleh konsentrasi. Rohman dan Subagio (2013), menyatakan bahwa semakin tingginya konsentrasi yang ditambahkan maka akan menghasilkan konduktivitas listrik lapisan komposit yang semakin tinggi. Pernyataan ini didukung oleh hasil konduktivitas listrik lapisan komposit CNT-PVDF pada penelitian Rohman dan Subagio (2013) yang dapat dilihat pada Gambar 6.

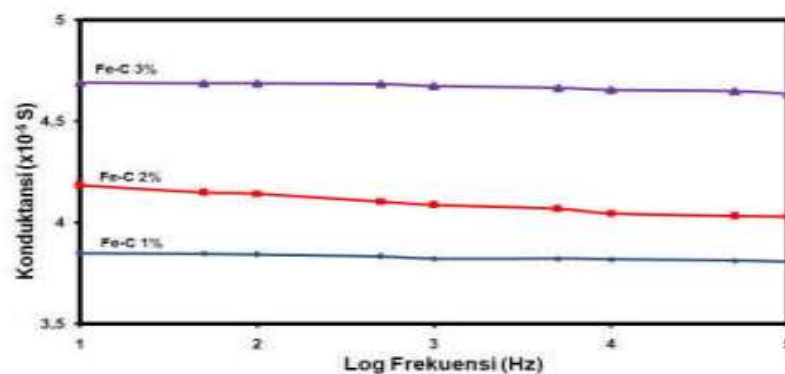


Gambar 6. Grafik hubungan komposisi % massa CNT dalam komposit CNT-PVDF terhadap nilai konduktivitas (Sumber : Rohman dan Subagio, 2013)

Gambar 6 merupakan grafik hubungan komposisi % massa CNT-PVDF terhadap nilai konduktivitas. Grafik tersebut menunjukkan peningkatan nilai konduktivitas pada prosentase CNT di atas 2% yaitu pada 4% sampai dengan 10%. Semakin tinggi prosentase CNT dalam komposit akan mengurangi nilai CMC sehingga bagian ekor Triton X-100 lebih banyak berikatan dengan CNT.

Sejauh ini belum terdapat penelitian yang mengkaji pengaruh konsentrasi terhadap konduktivitas listrik lapisan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$. Namun, terdapat penelitian yang mengkaji hubungan antara konsentrasi lapisan tipis nanokomposit Fe-C/Si(100) terhadap konduktansi. Berdasarkan penelitian Yunasfi, dkk (2012) mendapatkan bahwa adanya peningkatan konduktansi pada grafik (lihat Gambar 7) seiring dengan meningkatnya konsentrasi.

Gambar 7 memperlihatkan bahwa nilai konduktansi lapisan tipis nanokomposit Fe-C/Si meningkat seiring dengan penambahan kandungan Fe dalam lapisan tipis nanokomposit Fe-C/Si. Nilai konduktansi yang paling tinggi ditunjukkan oleh lapisan tipis nanokomposit Fe-C dengan kandungan Fe 3%, yaitu sekitar 4,63 S, sedangkan untuk nilai konduktansi yang paling rendah ditunjukkan pada saat kandungan Fe sebesar 1%, yaitu berkisar 3,81 S pada frekuensi 100 kHz.



Gambar 7. Kurva Konduktansi Lapisan Tipis Nanokomposit Fe-C (Sumber : Yunasfi, dkk, 2013)

H. Metode Sol-Gel

Purnomo (2013) menjelaskan bahwa metode sol-gel merupakan salah satu metode sintesis nanopartikel yang cukup sederhana dan mudah. Metode ini merupakan salah satu “wet method” atau metode basah karena pada metoda ini prosesnya menggunakan larutan sebagai medianya. Pada metode sol-gel, terjadi perubahan fase menjadi sol (koloid yang mempunyai padatan tersuspensi dalam larutannya) dan kemudian menjadi gel (koloid tetapi mempunyai fraksi solid yang lebih besar dari pada sol).

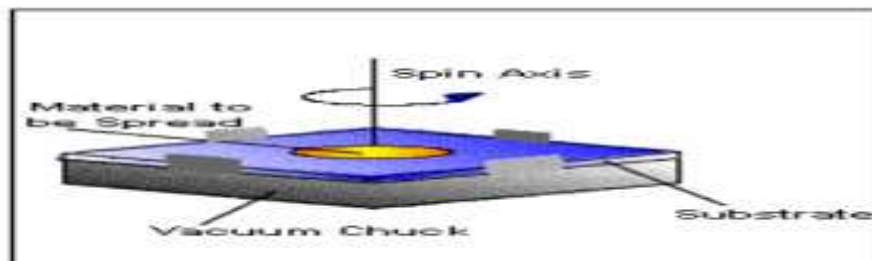
Sol adalah suspensi koloid yang fasa pendispersinya berbentuk cairan dan fasa terdispersinya berbentuk padat. Sol dapat disintesis dengan reaksi hidrolisis, dimana suspensi dari partikel padat atau molekul-molekul koloid dalam larutan dibuat dengan metal alkoksi dan dihidrolisis dengan air sehingga menghasilkan partikel padatan metal hidroksida dalam larutan. Sedangkan gel (*gelation*) adalah jaringan partikel atau molekul, baik padatan dan cairan, dimana polimer yang terjadi di dalam larutan digunakan sebagai tempat pertumbuhan zat anorganik. Paveena (2010) dalam jurnalnya menjelaskan bahwa pertumbuhan anorganik terjadi di gel point, dimana energi ikat lebih rendah. Reaksi yang terjadi adalah reaksi kondensasi, baik alkohol atau air, yang menghasilkan *oxygen bridge* (jembatan oksigen) untuk mendapatkan metal oksida.

Paveena (2010) mendefinisikan alkoksi logam dan klorida logam merupakan prekursor atau bahan awal dalam pembuatannya, yang kemudian mengalami reaksi polikondensasi dan reaksi hidrolisis untuk membentuk koloid, yaitu suatu sistem yang terdiri dari partikel-partikel padat (ukuran partikel antara 1 nm sampai 1 μm) yang terdispersi dalam suatu pelarut. Oleh sebab itu, dihasilkan

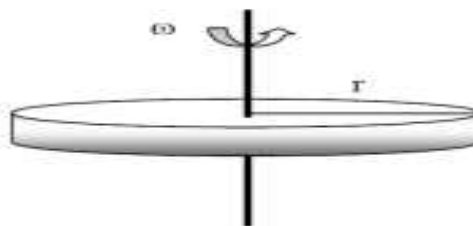
struktur dan ukuran gel tergantung pada rumusan komposisi kimia dan prosedur preparasi pembuatan sol hingga titik gel serta jalannya proses *aging*, pengeringan, dan pemanasan gel. Pataya, S.A (2016) telah melakukan proses *aging* dengan cara mendiamkan gel untuk mengubah sifatnya agar lebih kaku, kuat dan menyusut.

I. *Spin Coating*

Suhandi (2005) menjelaskan bahwa metode *spin coating* pertama kali dipublikasikan oleh Ernslye, Bonner, dan Peck. Metode *spin coating* merupakan sebuah metode pembuatan lapisan tipis dengan cara memutar larutan. Menurut (Hidayat, 2014), bahan yang akan dibentuk dalam pembuatan lapisan tipis yaitu berupa larutan atau gel, yang kemudian ditetaskan diatas suatu substrat dan disimpan diatas piringan, yang dapat berputar dengan kecepatan yang cukup tinggi. Gambaran proses *spin coating* dapat ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Gambaran Proses *Spin Coating* (Sumber : Suhandi, 2005)



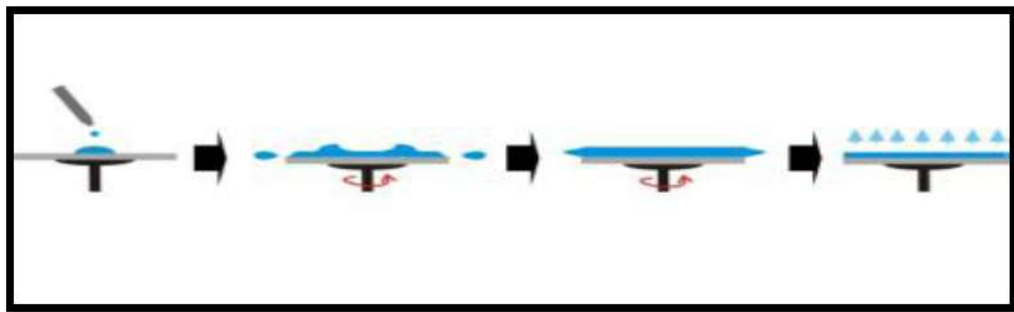
Gambar 9. Sketsa Prinsip Dasar *Spin Coating* (Sumber : Suhandi, 2005)

Prinsip dasar yang terjadi dalam proses *spin coating* ditunjukkan pada Gambar 9. Suhandi (2005) menjelaskan bahwa bahan berupa larutan/gel yang

akan dibentuk kemudian ditetaskan diatas suatu substrat yang dapat berputar, karena adanya gaya sentripetal ketika piringan berputar, maka bahan tersebut dapat tertarik ke pinggir substrat dan tersebar merata. Besarnya gaya tersebut ditentukan oleh laju rotasi dari putaran piringan, menurut Persamaan 2 (Halliday, 1986):

$$F_{sp} = m\omega^2 r \quad (2)$$

dengan F_{sp} adalah gaya sentripetal, m adalah massa partikel, ω adalah laju anguler piringan dan r adalah jarak diukur dari pusat piringan secara radial ke arah luar. Proses spin coating terdiri dari 4 tahapan yaitu deposisi, spin up, spin off dan tahap evaporasi yang berfungsi menentukan ketebalan akhir dari lapisan tipis (Luurtsema, G.A, 1997). Sketsa proses spin coating ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Skema Tahapan *Spin Coating*(Sumber : Hidayat, 2014)

Skema proses *spin coating* yang terdiri dari 4 tahapan ditunjukkan pada Gambar 10. Rustami (2008) tahap pertama merupakan tahap deposisi yaitu meneteskan atau mengalirkan cairan pelapis berupa gel diatas substrat yang belum diputar. Kemudian substrat mulai diputar pada tahap berikutnya. Karena adanya gaya sentrifugal cairan menjadi tersebar secara radial keluar dari pusat putaran menuju tepi piringan dan pada tahap ini substrat mengalami percepatan. Sedangkan pada dua tahap berikutnya laju putaran mulai konstan, artinya tidak ada percepatan sudut pada substrat. Pada tahap *spin-off* sebagian cairan yang

berlebih akan menuju ke tepi substrat dan akhirnya terlepas dari substrat membentuk tetesan-tetesan. Semakin menipis lapisan yang terbentuk semakin berkurang tetesan-tetesan yang terbuang. Hal ini dipengaruhi oleh adanya penambahan hambatan alir dan viskositas pada saat lapisan semakin tipis. Tahap terakhir, evaporasi, merupakan mekanisme utama dari proses penipisan lapisan.

Proses deposisi dan spin-up sedikit mempengaruhi ketebalan lapisan yang dihasilkan film. Scriven (2011) mengatakan bahwa *spin-off* sangat mempengaruhi dalam proses *spin coating*. Menurut (Sahu, 2009), model spin coating yang paling sederhana dengan mengabaikan efek tegangan geser yaitu pada kondisi slip tidak ada, ketebalan film akhir $h(t)$ setelah waktu t , berhubungan dengan ketebalan film awal h_0 dengan Persamaan 3.

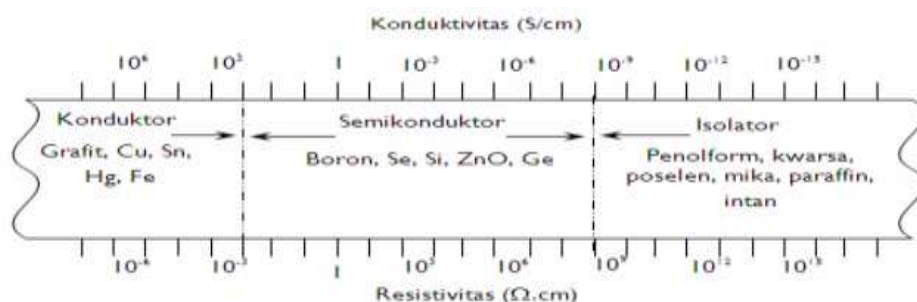
$$h(t) = \frac{h_0}{\sqrt{1 + 4\rho\omega^2 h_0^2 / 3\mu}} \quad (3)$$

dengan ω adalah kecepatan putar spin coating (rad/s), μ adalah visikositas dari material (N.s/m²), dan ρ adalah densitas dari material (kg/m³).

Metode *spin coating* merupakan sebuah metode yang paling mudah dan cepat dalam penumbuhan lapisan tipis. Karena lapisan tipis yang dihasilkan dengan metode ini memiliki tingkat kehomogenan yang cukup tinggi. *coater* Luurtsema, G.A (1997) menjelaskan bahwa ketebalan lapisan yang diinginkan bisa dikontrol berdasarkan waktu dan kecepatan putaran dari alat *spin coater*. Menurut (Muhlis, 2013), lapisan tipis yang dihasilkan dari metode *spin coating* akan memiliki kualitas yang cukup tinggi dan biaya pembuatan yang relatif murah.

J. Sifat Listrik Material

Klasifikasi material alami maupun buatan yang terdapat di alam dapat dibagi menjadi tiga yaitu konduktor, isolator dan semikonduktor. Hal ini diperkuat oleh penjelasan (Irzaman, dkk, 2010), bahwa ketiga material tersebut memiliki nilai konduktivitas listrik yang berbeda. Nilai dari konduktivitas listrik ketiga material tersebut berbeda seperti pada Gambar 11 yang menunjukkan spektrum konduktivitas listrik.



Gambar 11. Spektrum Konduktivitas Listrik dan Resistivitas
(Sumber : irzaman, dkk, 2010)

Nilai konduktivitas material semikonduktor yaitu selang antara $(10^{-8} - 10^3)$ S/cm. Resistansi suatu material bergantung pada panjang, luas penampang lintang, tipe material dan temperatur. Nilai resistansi pada material ohmik tidak bergantung pada arus dan hubungan empiris ini disebut dengan hukum Ohm yang dinyatakan dengan persamaan (4):

$$V = IR ; R = \text{konstan} \quad (4)$$

Wibowo (2007) menjelaskan bahwa, sifat listrik film tipis dapat diketahui dari nilai konduktivitas maupun resistivitas. Film tipis PANi dapat diatur konduktivitasnya dari 10^{-10} S/cm hingga 100 S/cm melalui proses doping. Untuk mendapatkan kinerja PANi yang optimal, maka polimer konduktif yang digunakan sebagai material aktif harus memenuhi beberapa persyaratan yaitu

mobilitas hole yang cukup tinggi, memiliki celah pita kurang dari 2,0 eV dan memiliki konduktivitas lebih dari 10 Scm⁻¹. Menurut (Abia, 2006), konduktivitas dari polianilin ditentukan oleh dua parameter yaitu berdasarkan tingkat oksidasi dan berdasarkan konsentrasi doping. Pengukuran konduktivitas dilakukan dengan mengukur tegangan (V) dan arus (I) yang mana akan diperoleh nilai hambatan jenisnya (ρ). Nilai Hambatan jenis dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5):

$$R = \frac{V}{I} \quad (5)$$

Dimana R nilai hambatan (Ohm), V merupakan tegangan (volt) dan I adalah arus (Ampere).

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (6)$$

ρ merupakan nilai hambatan jenisnya (Ωm), L adalah panjang lapisan film tipis (m) dan A merupakan luas penampang film tipis (m²).

Reitz (1979) menjelaskan bahwa kapasitansi merupakan kemampuan kapasitor menyimpan muatan listrik. Adapun besarnya muatan total yang tersimpan dalam kapasitor memenuhi persamaan ;

$$C = QV \quad (7)$$

Dimana : C = Kapasitansi V = beda potensial elektroda.

K. LCR Meter TH2820 (*Inductance, Capacitance, and Resistance*)

LCR meter TH2820 merupakan alat yang digunakan untuk karakterisasi sifat listrik (konduktivitas listrik) yang diperoleh dari pengukuran resistansi.

Konduktivitas listrik merupakan kemampuan suatu bahan untuk mengalirkan arus listrik. Smallman dan Bishop (2010) menjelaskan bahwa, unsur-unsur pepadu, pengotor atau ketidaksempurnaan dalam kristal, sangat mempengaruhi konduktivitas suatu penghantar. Dengan melakukan pengujian konduktivitas listrik, maka dapat ditentukan apakah nilai konduktivitas listrik suatu bahan dapat memenuhi kebutuhan aplikasi elektrode superkapasitor (Susmita dan Muttaqin, 2013). Nilai konduktivitas listrik dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\sigma = G(L/A) \quad (11)$$

Dimana :

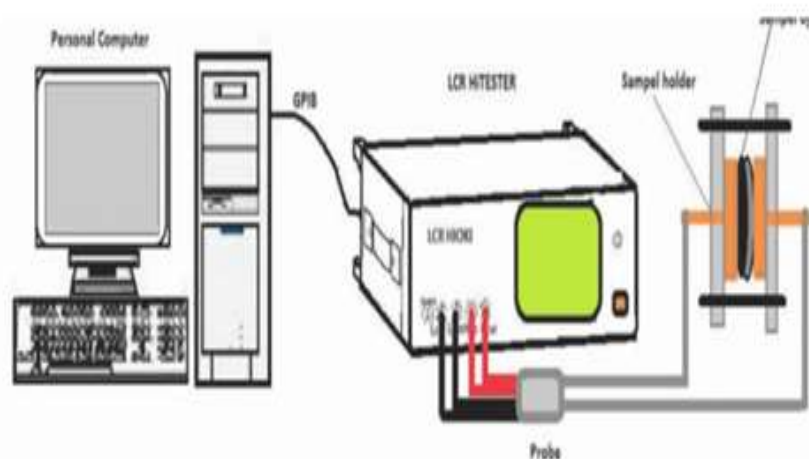
σ = Konduktivitas (Siemens/cm)

G = Konduktansi (Siemens)

L = Tebal (cm)

A = Luas Permukaan Bahan (cm²)

(Lee , dkk, 1991).



Gambar 12. LCR Meter TH2820 (Sumber : Lee , dkk, 1991)

Dalam pengujian konduktivitas listrik, perlakuan termal yang tinggi mengakibatkan turunnya resistansi, sehingga nilai konduktivitas listrik juga

meningkat. Hal ini disebabkan dengan naiknya temperatur, susunan kristal akan menjadi semakin teratur dan elektron mudah mengalir.

Tabel. 1 Spesifikasi LCR Meter TH2820

Spesifikasi LCR Meter TH2820	
Mengukur Jangkauan Kapasitansi	0.01 pF ~9999uF
DIY Supplies	Listrik
Suhu Operasional	0 - 50 °C
Mengukur Kisaran Tegangan	NONE
Mengukur Kisaran Resistansi	0.1mohm~9.999 Mohm
Tipe Display	Digital Display
Operating Mode	Manually
Mengukur Kisaran Arus	NONE
Mengukur Kisaran Induktansi	0.01 uH ~ 9.999kH
Dimensi	Refer to SPEC

L. X-Ray Diffraction (XRD) X'Pert Powder PW 30/40

Smallman (2000) menjelaskan bahwa X-Ray Diffraction (XRD) merupakan metode karakterisasi yang digunakan untuk menguji proses analisis padatan kristalin seperti mengetahui ciri utama kristal, seperti parameter kisi dan tipe struktur. Metode karakterisasi menggunakan XRD sering juga dimanfaatkan untuk mengetahui rincian susunan berbagai jenis atom dalam kristal, kehadiran cacat, orientasi, dan cacat kristal.

Pratapa (2004) menjelaskan bahwa difraksi sinar-X oleh sebuah material terjadi karena peristiwa hamburan oleh tiap atom dan Interferensi gelombang–gelombang oleh tiap atom–atom tersebut. Interferensi ini terjadi karena gelombang-gelombang yang dihamburkan oleh atom memiliki koherensi dengan gelombang datang dan demikian pula dengan mereka sendiri. Apabila suatu bahan dikenai sinar-X maka intensitas sinar-X yang ditransmisikan lebih kecil dari

intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh bahan dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar yang dihantarkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasenya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasenya sama.

Tabel 2. Spesifikasi Instrumen Alat XRD X'Pert Powder PW 30/40

Goniometer	Open Eulerian Cradle	C-to-C wafer loaders
Minimum step size 0.0001°	Chi rotation: +/- 92°	2" to 150 mm
Radius: X'Pert ³ MRD 320 mm (horizontal)	Phi rotation: 2 x 360°	100 to 300 mm
Radius: X'Pert ³ MRD XL 420 mm (horizontal)	x,y translation: 100 x 100 mm (X'Pert ³ MRD)	
	x,y translation: 200 x 200 mm (X'Pert ³ MRD XL)	
	z translation: minimum step size 1 µm	

M. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Konsep awal teori SEM pertama kali diperkenalkan oleh M. Knoll di Jerman (1935). Konsep standar SEM modern dibangun oleh Van Ardenne pada tahun 1938 yang ditambahkan scan kumparan ke mikroskop elektron (Handayani, 2007). SEM (Scanning Electron Microscope) merupakan mikroskop electron yang menggunakan berkas electron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang dianalisis (Ayu, 2013). Instrument ini sangat handal dalam melihat struktur permukaan material ataupun bahan dalam ukuran mikro. Dalam membentuk bayangan SEM menggunakan hamburan elektron sehingga SEM memiliki resolusi yang lebih tinggi daripada mikroskop optik. Hal ini disebabkan

oleh panjang gelombang de Broglie yang dimiliki elektron lebih pendek daripada gelombang optik. Makin kecil panjang gelombang yang digunakan maka makin tinggi resolusi mikroskop, yang maksudnya adalah pada jarak yang sangat dekat tetap dapat menghasilkan perbesaran yang maksimal tanpa memecahkan gambar.

SEM merupakan instrument yang digunakan untuk mengkarakterisasi bahan yang dapat berinteraksi dengan electron. Suatu bahan dapat berinteraksi dengan electron apabila bahan tersebut bersifat konduktor. Untuk bahan yang tidak bersifat konduktor, maka karakterisasi dengan teknik SEM dapat dilakukan bila bahan tersebut dilapisi terlebih dahulu dengan bahan konduktor (Abdullah, 2010).

Cara kerja SEM adalah sebagai berikut :

1. *Electron gun* menghasilkan elektron *beam* dari filamen. Pada *Electron gun* digunakan *tungsten hairpin gun* dengan filamen berupa lilitan *tungsten* yang berfungsi sebagai katoda. Tegangan yang diberikan kepada lilitan mengakibatkan terjadinya pemanasan. Katoda kemudian membentuk gaya yang dapat menarik elektron ke anoda.
2. *Lensa magnetik (electron lens)* memfokuskan elektron menuju suatu titik pada permukaan sampel.
3. Sinar *elektron* yang terfokus memindai (*scan*) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai (Abdullah, 2010).

Ketika elektron mengenai sampel, maka akan terjadi hamburan elektron menjadi elektron sekunder atau *backscattered electron* dari permukaan sampel dan dideteksi oleh *detector*, sehingga sinyal dari *detector* dikuatkan oleh *amplifier* dan dimunculkan dalam bentuk gambar pada monitor CRT.

Tabel. 3 Spesifikasi SEM Tipe Hitachi S-3400N

Spesifikasi SEM Tipe Hitachi S-3400N	
Resolusi	3,0 nm dijamin dalam mode vakum tinggi atau 4,0 nm dalam VP-mode.
Ruang	Mengakomodasi spesimen 10 inci Tiga port EDS, WEDS, EBSP, XRF, dll.
Tahap	Sepenuhnya eucentric, 5 sumbu komputer yang dikendalikan panggung bermotor

Electron Gun	Variable Quad Bian Circuitry dengan SE Accelerator Plate
Otomatisasi	Otomatisasi penuh termasuk "tanpa sentuhan" pelurusan apertur obyektif
Kekosongan	Turbo Molecular Pump (TMP)
Detektor	SE, BSE, CL, EDS

N. Spektrofotometri FTIR (*Fourier Transform Infrared*)

Spektrofotometri FTIR merupakan singkatan dari (*Fourier Transform Infrared*). Pada spektrofotometri FTIR terdapat daerah spektrum elektromagnetik inframerah terletak pada panjang yang lebih panjang dibandingkan dengan daerah sinar tampak, yang terletak pada rentang panjang gelombang 400 nm hingga 800 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$), tetapi Sastrohamidjojo (1992) menjelaskan bahwa, panjang gelombang tersebut lebih pendek daripada panjang gelombang mikro yang mempunyai panjang gelombang lebih besar dari 1 nm. Karakterisasi menggunakan alat FTIR bertujuan untuk mengetahui adanya gugus-gugus fungsi yang terdapat dalam suatu senyawa. Menurut (Faust, 1998), analisis yang dilakukan pada sampel menggunakan FTIR memiliki keuntungan, yakni spektrum yang terdapat pada sampel bisa dideteksi dalam waktu singkat, sensitifitasnya lebih baik, spektrum dari pelarut atau pengotor dapat dihilangkan dari spektrum sampel yang dianalisis dan sejumlah kecil sampel dapat menghasilkan spektrum dengan menambahkan informasi dari beberapa hasil *scan* untuk menghasilkan spektrum tunggal. Daerah gugus fungsi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Daerah Gugus Fungsi

Ikatan	Tipe Senyawa	Daerah Frekuensi Cm^{-1} .	Intensitas
C-H	Alkana	2850-22970 1340-1470	Kuat Kuat
C-H	Alkane	3010-3095 675-995	Sedang Kuat
C-H	Alkuna	3300	Kuat

C-H	Cincin Aromatik	3010-3100 690-900	Sedang Kuat
O-H	Fenol Monomer Alkohol, Alkohol Ikatan Idrogen, Fenol Monomer Asam Karboksilat, Ikatan Hidrogen Asam Karboksilat.	3590-3650 3200-3600 3500-3650 2500-2700	Berubah-Ubah Berubah-Ubah Terkadang Melebar
N-H	Amina, Amida	3300-3500	Sedang
C=C	Alkena	1610-1680	Berubah-Ubah
C=C	Cincin Aromatik	1500-1600	Berubah-Ubah
$C \equiv C$	Alkuna	2100-2260	Berubah-Ubah
C-N	Amina, Amida	1180-1360	Kuat
$C \equiv N$	Nitril	2210-2280	Kuat
C-O	Alkohol, Eter, Asam Karboksilat,	1050-1300	Kuat
C=O	Aldehida, Keton, Asam Karboksilat	1690-1760	Kuat
NO ₂	Senyawa Nitro	1500-1570	Kuat

(Sumber : Skoog, dkk, 1998)

BAB V

PENUTUP

A. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan nilai dari resistansi dan kapasitansi litrik dari lapisan nanokomposit Fe₃O₄/PANi. Besarnya nilai konduktivitas dan kapasitansi pada fraksi konsentrasi 30%;40%;50%;60% dan 70%, berturut-turut yaitu 7,36 mΩ, 8,388 mΩ, 8,101 mΩ, 8,53 mΩ, 3,53 mΩ, 2,8 x10⁻¹¹F, 4,2 x10⁻¹¹F, 2,69 x10⁻¹⁰F, 1,6 x10⁻¹¹F. Dari hasil penelitian, semakin besar fraksi konsentrasi maka nilai resistansi dan kapasitansi juga semakin besar.

B. SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan ini maka peneliti menyarankan untuk melakukan proses sol gel lebih baik lagi agar larutan yang dibuat makin kental sehingga pada saat melakukan penumbuhan dengan spin coating lapisan yang dihasilkan lebih homogen dan lebih lengket.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M, Virgus Y, Nirmin, Khairurrijal. 2008. Sintesis Nanomaterial. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*.
- Abdullah, M. dan Khairurrijal. 2010. *Karakterisasi Nanomaterial Teori Penerapan dan Pengolahan Data*. CV. Rezki Putra : Bandung.
- Abia, A.J. 2006. Polyaniline and its Derivatites for Environmentak Analysis. *Journal East Tennessee*.
- Alorro, R. D, Naoki, H, Hiroyoshi, Hajime, K., Mayumi, I, and Masami, T. 2010. On The Use of Magnetite for Gold Recovery from Chloride Solution. *Geo-Enviromental Engineering*. DOI: 10.1080/08827508.2010.483359.
- Ansari R. and Keivani M.B. 2006. Polyaniline Conducting Electroactive Polymers: Thermal and Environmental Stability Studies. *Journal of Chemistry*. 202- 217.
- Ansori, C, Sudarsono, Saefudin. 2011. Distribusi Mineralogi Pasir Besi Pada Jalur Pantai Selatan Kabumen – Kutoarjo. *Peneliti Madya*, Pusat Geoteknologi – LIPI.
- Anshori, C. 2013. Mengoptimalkan Perolehan Mineral MagnetikPada Proses Separasi Magnetik Pasir Besi Pantai Selatan Kabupaten Kebumen, Jawa Tengah. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara* Volume 9. Nomor 3. September 2013 : 145 – 156.
- Ayu, A.M, Wardhani. S, Darjito, D. 2013. Studi Pengaruh Konsentrasi NaOH Dan pH Terhadap Sintesis Silika Xerogel Berbahan Dasar Pasir Kuarsa. *Jurnal Ilmu Kimia Universitas Brawijaya*.Vol.2 No.2.
- Bhushan, B. 2007. *Handbook of Nanotechnology* . Ohio State University. Columbus USA. hal. 316.
- Bird, T. 1993. *Kimia Fisik untuk Universitas*. PT. Gramedia Pustaka Utama: Jakarta.
- Cabana, J, Monconduit, L, Larcher, D, dan Palachin, R. 2010. Beyond Intercalation- Based Li-Ion Batteries: The State of the Art and Challenges of Electrode Materials Reacting Through Conversion Reactions,. *Advanced Materials*. Vol. 22. Hal. E170– E192.
- Can. M, M, Ozcan, S, Ceylan A, Firat, T. 2010. Effect of Milling Time on The Synthesis of Magnetite Nanoparticles by Wet Milling. *Materials Science and Engineering B*. Vol. 172 (2010). hal. 72–75.
- Cheng, F, Liang, J, Tao, Z, dan Chen, J, 2011. Functional Materials for Rechargeable Batteries, *Advanced Materials*. Vol. 23. hal. 1695-1715.

- Choi, J.W dan Aurbach, D . 2016. Promise and reality of post-lithium-ion batteries with high energy densities, *Nature Reviews Materials*. Vol. 1. hal. 1-16.
- Cullity. 1972. *Element of X-Ray Diffraction*. Addison-Wesley Pub. Co. Inc.Massachusetts.
- Darvina, Y, Rianto, D, Murti, F, Yulfriska, N, Ramli. 2017. Struktur Nano Partikel Oksida Besi dari Pasir Besi Pantai Tiram Sumatera Barat. *Prosiding Semirata Bidang Mipa*.13-14 Mei 2017.
- Dogra, S, 1990. *Kimia Fisik dan Soal-Soal*, Universitas Indonesia: Jakarta.
- Eken, A. E, Ozenbas, M. 2009. Characterization of nanostructured magnetite thin films produced by sol–gel processing. *Journal Sol-Gel Sci Technol*. 50:321–327.
- Erika, L.Y.N, dan Astuti. 2012. Sintesis Nanokomposit Fe₃O₄/PANi Sebagai Penyerap Magnetik pada Gelombang Mikro. *Jurnal Fisika Unand*. Vol.1. No.1. Oktober 2012.
- Faust B. 1998. *Modern Chemicals Techniques*. London: Royal Society of Chemistry.
- Fuad. A, Wulansari, R, dan Taufik, A. 2010. Sintesa dan Karakterisasi Sifat Struktur Nano Partikel Fe_{3-x}Mn_xO₄ dengan Metode Korespirasi. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIV HFI Jateng & DIY* .Semarang 10 April 2010.
- Ge, Y, Jiang, H, Zhu, J, Lu, Y, Chen, C, Hu, Y, Qiu, Y, dan Zhang, X. 2015. High Cyclability Of Carbon-Coated Tio₂ Nanoparticles As Anode For Sodium-Ion Batteries. *Electrochimica Acta*. Vol. 157. hal. 142–148.
- Giancoli, D.C. 2001. *Fisika*. Edisi Kelima. Jakarta : Erlangga.
- Halliday, D dan R. Resnick, 1986. *Fisika Jilid 1 Edisi Ketiga*, Erlangga : Jakarta.
- Handayani, A, Sumaryo dan Sitompul. 2007. Pengamatan Struktur mikro dengan Mikroskop Optik dan Scanning Electron Microscope (SEM-EDAX). *Pusdiklat*. Jakarta. 21 – 31 Mei 2007
- Hartomo, J.A., 1986. *Penyidikan Spektrometrik Senyawa organik*. Edisi Keempat. Jakarta: Erlangga.
- Hayati, Sukma. 2014. Pengaruh Variasi Temperatur Kalsinasi Terhadap Karakteristik Besi Oksida dari Bijih Besi yang Terdapat di Sungai Kunyit Kecamatan Sangir Balai Janggo, Kabupaten Solok Selatan. *e-jurnal Jurusan Fisika*. Vol.153 E143-E144.

- Hidayat, A.S, Rokhmat, M, Qurthobi, A. 2014. *Pengaruh Suhu dan Kecepatan Putar Spin Coating Terhadap Kinerja Sel Surya Organik Berbahan Dasar TiO₂*. *Jurnal e- Procceding of Engineering*. Vol.1. No.1 Desember 2014 hal.147. ISSN : 2355-9365.
- Hiskia, A. 1992. *Elektrokimia dan Kinetika Ilmiah*. Bandung : PT Citra Aditya Bakti.
- Hidyat, S, Leonardo, C, Widjaja, M.K., Alamsyah, W, Rahayu, I. 2016. Sintesis Polianilin Dan Karakteristik Kinerjanya Sebagai Anoda Pada Sistem Baterai Asam Sulfat. *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*. Vol. 06, No. 01 (2016) 20 – 26.
- Herbirowo, S. 2013. Sintesis dan Karakterisasi Epoksi Nanokomposit Berpenguat Fe-Ni Nanopartikel dengan Variasi Fraksi Berat Serta Waktu Sonikasi Untuk Aplikasi Hybrid Capsulated Circuit. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, Vol. 14 No. 2 Des 201.
- House, V. E and Ross, F. 2007. “Anode” way” – Why the anode yields better result. *Altair nanotechnologies. (Altairnano) Inc.*
- Huang ,J . 2006. Syntheses and Applications of Conducting Polymer Polyaniline Nanofibers. *Pure Appl Chem*.15–27.
- Hubber, T, Saville, P, and Edwards, D. 2003. Investigations into the Polyaniline and Polypyrrole Families of Conducting Polymers for Application as Radar Absorbing Materials. *DRDC Atlantic TM 2003-005*. Defence R&D Canada.
- Husain, J, Pradeep, P, Raghu, N, Yadwad, A.M, Kamblee, P, Reddy, N, Sagar, J., Anjum,B and Prasad, M.N.V. 2016. Synthesis Conductivity and Sensitivity Studies Of Polyaniline- iron oxide nanocomposites. *Ferroelectrics* 505. pp. 229–235.
- Himmaty, I. dan Endarko. 2013. Pembuatan Elektroda dan Perancangan Sistem Capacitive Deionization untuk Mengurangi Kadar Garam pada Larutan Sodium Clorida. *Jurnal Berkala Fisika*. Vol. 16, No. 3. Hal. 67-74.
- Irzaman, A Maddu, H Syafutra, dan A Ismangil. 2010. Uji Konduktivitas Listrik Dan Dielektrik Film Tipis Lithium Tantalate (LitaO₃) Yang Didadah Niobium Pentaoksida (Nb₂O₅) Menggunakan Metode Chemical Solution Deposition. *Prosiding Seminar Nasional Fisika 2010* ISBN : 978-979-98010-6-7.
- Isac, L. Duta, A, Kriza, A, Manolache, S, Nanu, M. 2007. Copper Sulfides obtained by spray pyrolysis possible absorbers in solid-state solar cells. *Journal Thin Solid Films, Elsevier*.5755-5758.
- Lee, W.K, J.F Liu, and A.S Nowick. 1991. *Physc. Rev.Lett*. Vol. 67, No.12. Pp 1559-1561.

- Liu, C, Li, F, Ma, L-P, dan Cheng, H-M. 2010. Advanced Materials for Energy Storage. *Advanced Materials*. Vol. 22. hal. E28–E62.
- Luurtsma, G.A. 1997. Spin Coating for Rectangular Substrates. *Department of Electrical Engineering and Computer Sciences*. University of California. Barkeley. hal. 4-7.
- Mufit, F., F, Amir, dan S, Bijaksana. 2006. Kajian tentang Sifat Magnetik Pasir Besi dari Pantai Sunur Pariaman Sumatera Barat. *Jurnal Geofisika*. Vol 1, pp 2-5.
- Muhlis, Fathoni.S, Iswarin, S.J,Triandi. R, Masruroh. 2013. Studi Penumbuhan Lapisan Tipis PZT dengan Metode Spin Coating. *Jurnal Physics Brawijaya*.
- Negara, V.I.S dan Astuti. 2015. Pengaruh Temperatur Sintering Karbon Aktif BerbasisTempurung Kemiri terhadap Sifat Listrik Anoda Baterai Litium. *Jurnal Fisika Unand*. Vol. 4. No. 2. 178-184.
- Novitasari, A, Masruroh dan Tjahjano, R.T. 2015. Pengaruh Ketebalan Lapisan Terhadap Nilai Resistansi Lapisan Tipis Seng Sulfoftalosianin (ZnPcSn) sebagai Prototipe Deteksi Ozon. *Jurnal Natural B*. Vol. 3 No.2.
- Pataya, S. A. Paulus L.G, Juarlian, E. 2016. Karakterisasi Lapisan Tipis Titanium Dioksida (TiO₂) yang Ditumbuhkan dengan Metode Spin Coating Diatas Substrat Kaca. *Jurnal Fisika Unhas*.
- Paveena, A.Z. Tachan, M. Boutbara. 2010. The Effect of Substrate Temperature on Structural and Physical Properties of Ultrasonically Sprayed Cds Film. *Materials Chemistry and Physics*.94.
- Perdana, Febie Angelia. 2010. Sintesis dan Karakterisasi Partikel Nano Fe₃O₄ dengan Template PEG-1000. *Jurnal Fisika ITS*.
- Pine, S.H. 1980. *Organic Chemistry*. New York: McGraw-Hill.
- Pratapa, Suminar. 2004. *Prinsip-Prinsip Difraksi Sinar-X*. Makalah seminar XRD.
- Prisma, A.J.P, Djoko, D.J. H.S dan Masruroh. 2014. Pengaruh Konsentrasi dan Viskositas Larutan Polistirene terhadap Morfologi Permukaan dan Ketebalan Lapisan ZnPc pada Permukaan QCM. *Jurnal fisika Universitas Brawijaya*.
- Purnomo, P. 2013. Sintesis α -Fe₂O₃ Menggunakan Metode Sol-Gel. *Jurnal Fisika IPB*.
- Purwaningsih , S.Y, Karyono dan Sudjatmoko. 2005. Efek Doping Al pada Sifat Optik dan Listrik Lapisan Tipis Zno Hasil Deposisi dengan DC Sputtering. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. Volume 1. Nomer 1 Januari 2005.

- Qomariyah, S, Widanarto, W, dan Cahyanto, W.T. 2018. Struktur Dan Konduktivitas Ionic Kaca Limnpo₄ sebagai Katoda pada Baterai Sekunder. *Jurnal Teras Fisika* Vol 1. No. 1.
- Ramli, Hartono, A., Sanjaya, E, Aminuddin, A, Khairurrijal, Haryanto, F, Imawaan, C, Djamal M. 2016. A Novel Ternary CoFe₂O₄/CuO/CoFe₂O₄ as a Giant Magnetoresistance Sensor. *Journal Mathematical and Fundamental Sciences*. Vol. 48. No. 3. 230- 240
- Ramli, Jonuarti, R, Hartono, A. 2017 Analisis Struktur Nano dari Lapisan Tipis cobalt Ferrite Yang Dipreparasi dengan Metode Sputtering. *Eksakta*. Vol. 18 No. 1.
- Ratman, N, Suwarti, T, dan Samodra, H. 1988. Peta Geologi Indonesia Lembar Surabaya (Edisi ke 2). *Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi*, Bandung.
- Reitz, R.J. 1979. *Foudationof Elecromagnnetic Of Electric Theory*. Third Edition. Addison –Wesley Publishing.
- Riaz, S., Ashraf, Robina, Akbar, A., Nassem, S. 2014. “ Free Growth of Iron Oxide Nanostructures by Sol-Gel Spin Coating Tchnique-Structural and Magnetic Properties.” *Jurnal IEE Transactions On Magnetics*. Vol 50. No.8 Agustus 2014.
- Rohman, Fadli. 2012. Aplikasi Graphene untuk Baterai Litium ion. *Jurnal ITB Bandung*.
- Rohman, M., Subagio, A. Studi Karakteristik Kelistrikan Komposit Karbon Nanotube-Polyvinilidene-Flouride (CNT-PVDF). *Youngster Phycis Journal*. Vol.1 No.3. April 2013 Hal 35-40.
- Rustami, S. 2008. Sistem Kontrol Kecepatan Putar *Spin Coating* Berbasis Mikrokontroler ATmega8535. *Jurnal Fisika IPB*.
- Sahu, N, Parija, B., Panigrahi, S. 2009. Fundamental understanding and modeling of spin coating process : A review. *Indian J. Phys.* 83 (4) 493-502.
- Sastrohamidjojo H. 1992. *Spektroskopi Inframerah*. Yogyakarta: Liberty.
- Scriven, L. E. 2011. *Physics And Applications Of Dip Coating And Spin Coating*. University of Minnesota, 421 Washington Ave. S.E., Minneapolis, MN 5545.
- Scrosati, B., and Garche, J. 2010. Lithium batteries: Status, Prospects and Future. *Journal of Power Sources*. 195(9). pp. 2419-2430.
- Shinde.V.R et. al. 2007. “Studies on growth of ZnO thin films by a novel chemical method”. *Solar energy Material & Solar Cell*. 91, 1055-1061.

- Skogg, A.D.J. Holler, and Nieman, T. *Principles of Instrumental Analysis*. Five Edition. Harcourt Brace College Publisher. Philadelphia.
- Smallman, RE dan RJ Bishop. 2000. *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*. Jakarta : Erlangga.
- Subhan, A., dan Prihandoko, B. 2011. Pembuatan Komposit Anoda $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ dan Soda Lime Silica. *Jurnal Ilmu Teknologi TELAAH*, Vol. 29, 27-36 Mei 2011.
- Suhandi, Andi, dan Yuyu, R.T. 2005. Rancang Bangun Alat *Spin-Coating* untuk Deposisi Lapisan Tipis Semikonduktor. *Jurnal UPI*.
- Sunaryo dan Widiawidura, W. 2010. "Metode Pembelajaran Bahan Magnet dan Identifikasi Kandungan Senyawa Pasir Alam Menggunakan Prinsip Dasar Fisika". *Buletin Cakrawala Pendidikan FMIPA Universitas Negeri Jakarta*, No.1 Th XXIX. 2010) hal.67-79.
- Sriyanti, I. 2014. Nanocomposites prepared by simple mixing method. Proceeding of The Third International Seminar on Science Education. *Challenging Science Education in the Digital Era*. ISBN: 978-602-817-14-1.
- Susana, H., dan Astuti. 2016. Pengaruh Konsentrasi LiOH terhadap Sifat Listrik Anoda Baterai Litium Berbasis Karbon Aktif Tempurung Kemiri. *Jurnal Fisika Unand*. Vol. 5. No. 2. April 2016 ISSN 2302-8491.
- Susmita, R., dan Muttaqin, A. 2013. Analisis Sifat Listrik Komposit Polianilin (PANi) terhadap Penambahan Bottom Ash sebagai Elektroda Superkapasitor. *Jurnal Fisika Unand*. Vol 2. No. 2. Hal 2302-8491.
- Syamsuluri, S, Gareso, L.P, Juarlin, E. 2015. Pengaruh Konsentrasi Seng Asetat Dehidrat ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) Terhadap Sifat Optik dan Struktur Kristal ZnO. *Jurnal Fisika Unhas*. 12 Januari 2015.
- Teja, A. S. & Koh, P. 2009. Synthesis, properties , and application of magnetic iron oxide nanoparticles. *Progress in crystal growth and characterization of materials*. 55: 22.
- Tjetjep, W.S dan wirakusumah, D.A. 2003. Activities Related with IAVCEI in Indonesia: a Country Report from Indonesia. *International Union of Geophysics and Geodesy (Indonesian Committee)*. Sapporo, Japan June 30-July 11. 52-70.
- Trisnawati, F. 2015. Penentuan Suseptibilitas Nanopartikel Magnetiti (Fe_3O_4) dengan Menggunakan Pendekatan Hasil Kurva Histeresis. *Jurnal Fisika UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta*.
- Wibowo, A. 2007. Sintesis dan Karakterisasi Polianilin Sebagai Material Aktif Dalam Plastik Solar Cell. *Jurnal Penelitian ITB*.

- Wigayati, E.M. 2009. Pembuatan dan Karakterisasi Lembaran Grafit untuk Bahan Anoda pada Baterai Padat Lithium.. *Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia*. Vol.9 No.1. 70-78 Juni 2009.
- Yulianto, A. 2007. Fasa Oksida Besi untuk Sintesis Serbuk Magnet Ferit, *Jurnal sains Materi Indonesia*. Vol.8 (3): 39-41.
- Yunasfi, Mashadi dan Yusuf, S. 2012. Properti Listrik Dan Magnetik Lapisan Tipis Nanokomposit Fe-C/Si(100). *Prosiding Pertemuan Ilmiah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bahan*. 2012 Serpong, 3 Oktober 2012 ISSN 1411-2213.
- Zhou, X, Dai, Z, Liu, S, Bao, J, dan Guo, Y-G. 2014. Ultra-Uniform SnO_x/Carbon Nanohybrids toward Advanced Lithium-Ion Battery Anodes. *Advanced Materials*. Vol. 26, hal. 3943–3949.