

**PENGARUH KOMPOSISI KARBON AKTIF-PVDF TERHADAP SIFAT
LISTRIK DAN FISIK ELEKTRODA PERANGKAT PENYIMPAN ENERGI**

SKRIPSI

Oleh:
ILMI IRFANA
NIM. 15640069



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020**

**PENGARUH KOMPOSISI KARBON AKTIF-PVDF TERHADAP SIFAT
LISTRIK DAN FISIK ELEKTRODA PERANGKAT PENYIMPAN ENERGI**

SKRIPSI

Diajukan Kepada:

**Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar sarjana Sains (S,Si)**

Oleh:

**ILMI IRFANA
NIM. 15640069**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2020**

HALAMAN PERSETUJUAN

PENGARUH KOMPOSISI KARBON AKTIF-PVDF TERHADAP SIFAT LISTRIK DAN FISIK ELEKTRODA PERANGKAT PENYIMPAN ENERGI

SKRIPSI

Oleh:
Ilmi Irfana
NIM. 15640069

Telah disetujui untuk diujikan
Pada tanggal, 3 Maret 2020

Pembimbing I

Menyetujui,

Pembimbing II

Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

Ahmad Abtokhi, M.Pd
NIP. 19761003 200312 1 004

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Drs. Abdul Basid, M.Si

NIP. 19650504 199003 1 003

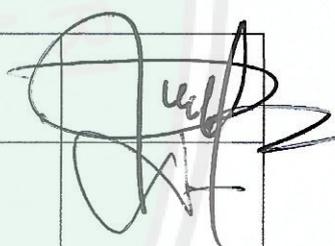
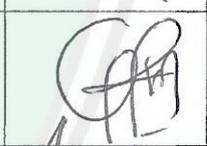
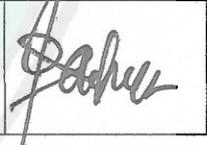
HALAMAN PENGESAHAN

PENGARUH KOMPOSISI KARBON AKTIF-PVDF TERHADAP SIFAT LISTRIK DAN FISIK ELEKTRODA PERANGKAT PENYIMPAN ENERGI

SKRIPSI

Oleh:
Ilmi Irfana
NIM. 15640069

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 8 April 2020

Penguji Utama :	<u>Dr. H. M. Tirono, M. Si</u> NIP. 19641211 199111 1 001	
Ketua Penguji :	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Sekretaris Penguji :	<u>Erna Hastuti, M. Si</u> NIP. 19811119 200801 2 009	
Anggota Penguji :	<u>Ahmad Abtokhi, M. Pd</u> NIP. 19761003 200312 1 004	

Mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika


Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ilmi Irfana
NIM : 15640069
Jurusan : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Pengaruh Komposisi Karbon Aktif-Pvdf terhadap Sifat Listrik dan Fisik Elektroda Perangkat Penyimpan Energi

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar- benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber kutipan pada daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 4 Maret 2020

Membuat Pernyataan,



Ilmi Irfana
NIM. 15640069

MOTTO

“Bermimpilah setinggi-tingginya, tetapi jangan lupa berdoa dan berusaha untuk mewujudkannya”

“Selalu tanamkan pikiran yang positif kepada orang lain dan hiduplah dengan sederhana”



HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Alhamdulillahirabbil'alamin. Terimakasih atas segala nikmat-Mu Ya Allah yang telah membawaku pada fase ini. Semoga apa yang telah aku pelajari di kampus ini bisa bermanfaat bagi ku dan bagi semua orang di dunia maupun di akhirat.

Saya ucapkan Termia Kasih yang sebanyak banyaknya kepada...

Ayah dan Ibu (Bapak Abdul Halim dan Ibu Mutmainnah)

Terima kasih telah menyayangiku dan memberikan segalanya bagiku. Semoga kebaikan yang aku lakukan sepanjang hidupku bisa menjadi amal jariah bagimu.

Saudaraku (Rifqi Arifatul Ilmiah)

Terimakasih telah membantuku dalam berbagai hal.

Semua Guru-Guruku

Terimakasih telah memberikan ilmu kepadaku. Terimakasih telah menjadikanku insan yang lebih baik. Semoga apa yang engkau ajarkan bisa menjadi amal jariah bagimu.

Seluruh teman-temanku

Terimakasih telah membantuku dan memberikan inspirasi bagiku.

Untuk semua pihak yang belum disebutkan

Terimakasih atas semua bantuan dan motivasi yang diberikan.

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat serta nikmatnya berupa kesehatan, kekuatan, akal, pikiran, serta ilmu, sehingga kami dapat menyelesaikan Seminar Proposal dan penyusunan Proposal ini dengan baik. Laporan yang saya susun mungkin masih banyak kekurangan bahkan kesalahan yang terdapat pada skripsi ini, mulai dari segi kandungan, isi, maupun penulisannya. Kami juga menerima kritik dan saran yang sifatnya membangun serta mendidik dalam penyusunan laporan ini sehingga dapat menjadi sebuah proposal yang baik dan dapat digunakan sebagai mana mestinya serta dapat digunakan pada masa yang akan datang. Selanjutnya kami ucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. H. Abdul Haris, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Drs. Abdul Basid, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang dan penguji 1.
4. Erna Hastuti, M.Si selaku pembimbing 1 Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Ahmad Abtokhi, M.Pd selaku pembimbing 2 Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
6. Dr. H. M. Tirono, M.Si selaku penguji 2 Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
7. Teman-teman fisika 2015 yang saya banggakan dan telah membantu dalam pembuatan skripsi ini yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Malang, 4 Maret 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGANTAR	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAK	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan	5
1.4 Manfaat	5
1.5 Batasan Masalah	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Elektroda	7
2.2 Komposit	9
2.2.1 Matriks	10
2.2.2 Penguat (<i>Reinforcement</i>)	12
2.3 Karbon Aktif	14
2.4 Keratin	18
2.5 <i>Polyvinylidene Fluoride</i> (PVDF)	22
2.6 <i>Fourier Transform Infra-Red Spectroscopy</i> (FTIR)	24
2.7 Teori Dielektrisitas	25
2.8 Mikroskop Optik	28
2.9 Kajian Pustaka	29
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	32
3.2 Jenis Penelitian	32
3.3 Peralatan dan Bahan Penelitian	32
3.3.1 Peralatan Penelitian	32
3.3.2 Bahan Penelitian	33
3.4 Prosedur Penelitian	34
3.4.1 Karbonisasi dan Aktivasi Karbon Bulu Ayam	34
3.4.2 Pembuatan Komposit dan Pengujian Komposit Karbon Aktif-PVDF	35
3.4.3 Pengujian Sifat Listrik	36
3.5 Diagram Alir Penelitian	37
3.5.1 Diagram Alir Proses Karbonisasi Bulu Ayam	37
3.5.2 Diagram Alir Pembuatan Karbon Aktif	38
3.5.3 Diagram Alir Pembuatan dan Pengujian Komposit KA -PVDF	39

3.6 Pengambilan Data	40
3.6.1 Karakterisasi FTIR (Fourier Transform Infra-Red Spectroscopy)	40
3.6.2 Karakterisasi Mikroskop Digital.....	40
3.6.3 Karakterisasi LCR Meter.....	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Data Hasil Penelitian.....	43
4.1.1 Pembuatan dan Pengujian Komposit KA -PVDF (Elektroda)	43
4.1.2 Hasil Uji Gugus Fungsi	44
4.1.3 Hasil Uji Sifat Fisik (Morfologi)	51
4.1.4 Hasil Uji Sifat Listrik (Konduktivitas, Resistivitas dan Kapasitansi).....	53
4.2 Pembahasan.....	60
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	66
5.2 Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gambar Elektroda pada Superkapasitor	7
Gambar 2.2	Parameter Fiber pada Komposit: (a) Konsentrasi, (b) Ukuran, (c) Bentuk, (d) Distribusi dan (e) Orientasi	13
Gambar 2.3	Mekanisme Proses Karbonisasi dan Aktivasi.....	15
Gambar 2.4	FTIR Karbon Bulu Unggas.....	20
Gambar 2.5	<i>Struktur α-Heliks Keratin</i>	21
Gambar 2.6	Struktur Molekul PVDF Murni	22
Gambar 2.7	Spektrum FTIR dari PVDF Murni.....	23
Gambar 2.8	Hubungan Frekuensi dengan Permittivitas Riil dan Imaginer.....	26
Gambar 2.9	Mikroskop Digital.....	29
Gambar 3.1	Diagram Alir Karbonisasi Bulu Ayam	37
Gambar 3.2	Diagram Alir Pembuatan Karbon Aktif.....	38
Gambar 3.3	Diagram Alir Pembuatan dan Pengujian Komposit KA -PVDF.....	39
Gambar 4.1	Hasil Pengujian Gugus Fungsi KA ₁₀₀ P ₀	45
Gambar 4.2	Hasil Pengujian Gugus Fungsi KA ₉₅ P ₅	45
Gambar 4.3	Hasil Pengujian Gugus Fungsi KA ₉₀ P ₁₀	46
Gambar 4.4	Hasil Pengujian Gugus Fungsi KA ₈₅ P ₁₅	47
Gambar 4.5	Hasil Pengujian Gugus Fungsi KA ₈₀ P ₂₀	47
Gambar 4.6	Gugus Fungsi Keratin	50
Gambar 4.7	Gambar Hasil Pengujian Menggunakan <i>Optical Microscope</i> (a) KA ₉₅ P ₅ , (b) KA ₉₀ P ₁₀ , (c) KA ₈₅ P ₁₅ dan (d) KA ₈₀ P ₂₀	52
Gambar 4.8	Pengaruh Variasi Komposisi Karbon Aktif-PVDF terhadap Nilai Konduktivitas.....	54
Gambar 4.9	Pengaruh Variasi Komposisi Karbon Aktif-PVDF terhadap Nilai Resistivitas.....	56
Gambar 4.10	Grafik Hubungan Variasi Sampel dengan Nilai Kapasitansi Area.....	57
Gambar 4.11	Grafik Hubungan Frekuensi dengan Permittivitas Riil (a) dan Grafik Hubungan Frekuensi dengan Permittivitas Imaginer (b) .	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Umum PVDF	22
Tabel 2.2 Gugus Fungsi pada PVDF	23
Tabel 3.1 Hasil Pengujian Menggunakan FTIR.....	40
Tabel 3.2 Hasil Pengukuran Menggunakan LCR meter	41
Tabel 4.1 Komposisi Karbon Aktif-PVDF	44
Tabel 4.2 Gugus Fungsi Variasi Komposisi Karbon Aktif-PVDF.....	48
Tabel 4.3 Nilai Konduktivitas Variasi Komposisi Karbon Aktif-PVDF	54
Tabel 4.4 Nilai Resistivitas Variasi Komposisi Karbon Aktif-PVDF.....	55
Tabel 4.5 Nilai Kapasitansi Variasi Komposisi Karbon Aktif-PVDF	57



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Dokumentasi Penelitian
- Lampiran 2 Hasil Pengujian Gugus Fungsi
- Lampiran 3 Hasil Perhitungan LCR meter
- Lampiran 4 Hasil Pengujian LCR meter



ABSTRAK

Irfana, Ilmi. **Pengaruh Komposisi Karbon Aktif-PVDF terhadap Sifat Listrik dan Fisik Elektroda Perangkat Penyimpan Energi.** Skripsi, Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang, Pembimbing: (I) Erna Hastuti, M.Si. (II) Ahmad Abtokhi, M.Pd.

Kata Kunci: Karbon Aktif, PVDF, FTIR, Optical Microscope dan LCR Meter.

Karbon aktif memiliki potensi untuk diaplikasikan sebagai elektroda perangkat penyimpanan energi seperti superkapasitor. Karbon aktif terbuat dari bulu ayam yang dipirolisis 2 tahap pada suhu 215 °C selama 15 jam dan 450 °C selama 1 jam. Karbon diaktivasi kimia menggunakan KOH dengan konsentrasi 5 M dan diaktivasi fisika dengan suhu 950 °C selama 3 jam. Komposisi karbon aktif-PVDF yaitu: 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 dan 80:20 (wt%). Sampel dikarakterisasi menggunakan FTIR, Optical Microscope dan RCL meter. Hasil pengujian gugus fungsi menunjukkan ikatan CH-R, C-H, C=O, N-H dan C-S yang mengindikasikan bahwa komposit mengandung keratin. Keempat sampel menunjukkan ikatan CH₂ dan CF₂, kedua gugus fungsi tersebut merupakan gugus pada polimer PVDF. Hasil pengujian sifat fisik (morfologi) menjelaskan semakin besar komposisi PVDF pada sampel maka daerah berwarna hijau semakin luas dan peluang terjadinya keretakan dalam suatu daerah pada sampel semakin besar. Komposisi PVDF yang tepat mampu mencegah terjadinya keretakan. Sampel dengan komposisi PVDF 5 wt% - 15 wt% terjadi persebaran yang homogen. Pada komposisi PVDF 20 wt% sampel mengalami penurunan keefektifan kontak antar komponen sampel sehingga terjadi keretakan. Hasil pengujian sifat listrik (konduktivitas, resistivitas, kapasitansi area, permitivitas riil dan imajiner) menunjukkan bahwa nilai terbaik yaitu: konduktivitas $7,889 \times 10^{-3}$ S/m, nilai resistivitas $1,26 \times 10^2$ Ωm dan nilai kapasitansi area $1,92 \times 10^{-6}$ F/m².

ABSTRACT

Irfana, Ilmi. **Effect of Activated Carbon-PVDF Composition on the Electrical and Physical Properties of Electrodes of Energy Storage Devices**. Skripsi, Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim, Malang, Pembimbing: (I) Erna Hastuti, M.Si. (II) Ahmad Abtokhi, M.Pd.

Keywords: Activated Carbon, PVDF, FTIR, Optical Microscope dan LCR Meter.

Activated carbon has potential to be applied as an electrode for energy storage devices such as supercapacitors. Activated carbon is made from chicken feathers which are hydrolyzed 2 stages at 215 °C for 15 hours and 450 °C for 1 hour. The chemical is activated chemically using KOH with a concentration of 5 M and activated by physics at a temperature of 950 °C for 3 hours. The composition of activated carbon-PVDF are: 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 and 80:20 (wt%). Samples were characterized using FTIR, Optical Microscope and RCL meters. The functional group test results show the CH-R, C-H, C=O, N-H and C-S bonds which indicate that the composite contains keratin. All four samples showed CH₂ and CF₂ bonds, both of which are functional groups in the PVDF polymer. The results of physical properties testing (morphology) explained that the greater the PVDF composition in the sample, the wider the green area and the chance of a crack in an area in the sample is greater. The right PVDF composition is able to prevent cracking. Samples with PVDF composition of 5 wt% - 15 wt% occur homogeneous distribution. In the 20 wt% PVDF composition the sample decreased in the effectiveness of contact between the sample components resulting in a crack. The results of electrical properties testing (conductivity, resistivity, area capacitance, real and imaginary permittivity) show that the best values are: conductivity $7.889 \times 10^{-3} \text{ S / m}$, resistivity value 1.26×10^2 area and area capacitance value $1.92 \times 10^{-6} \text{ F / m}^2$.

مجرده

التكوين على الخصائص الكهربائية والفيزيائية من أقطاب تخزين الطاقة الأجهزة PVDF تأثير منشط الكربون (إيلمي) ، (آيرفانا) (1) : سكريسي، جوروسانفيسيك، فاكولتاساينزدا تكنولوجي، جامعة إسلامي جيري مولانا مالكي إبراهيم، مالانغ، ييمبيمينغ. أحمد أبتوخي، م (ثانيا) M.Si. إرناهاستوتي،

متر LCR دان الضوئي المجهز، FTIR، PVDF المنشط، الكربون، الرئيسية الكلمات

من مصنوع المنشط الكربون. الفائقة المكثفات مثل الطاقة تخزين لأجهزة كهربائية كأقطاب تطبيقه على القدرة لديه المنشط والكربون الكيميائية المادة تنشيط يتم. ساعة 1 لمدة س 450 و ساعة 15 لمدة س 215 في مراحل 2 تحلله يتم الذي الدجاج ريش المنشط الكربون تكوين. ساعات 3 لمدة مئوية درجة 950 حرارة درجة في الفيزياء بواسطة وتنشيطها م 5 تركيز مع كوه باستخدام FTIR عدادات باستخدام النماذج تمت وقد. (wt%) 80:20 و 85:15، 90:10، 95: 5، 100: 0 هي PVDF C-S و N-H و C = O و C-H و CH-R و السندات الوظيفية المجموعة اختبار نتائج تظهر. RCL والبصري والمجهز وظيفية مجموعات وكلاهما، CF₂ و CH₂ سندات الأربع العينات جميع وأظهرت. الكبريتين على يحتوي المركب أن إلى تشير والتي العينة، في أكبر PVDF تكوين كان كلما أنه (مورفولوجيا) الفيزيائية الخصائص اختبار نتائج وأوضحت. PVDF بوليمر في تكسير منع على قادر الصحيح PVDF تركيب. أكبر العينة في منطقة في صدع حدوث وفرصة الخضراء المساحة اتسعت كلما انخفضت العينة تكوين PVDF 20 wt% في. متجانس توزيع تحدث 15 wt% - 5 wt% من PVDF تكوين مع عينات السعة المقاومة، الموصلية، الكهربائية الخصائص اختبار نتائج. صدع حدوث إلى أدى مما العينة مكونات بين الاتصال فعالية في 1.26 × 10⁻³ S / m، الموصلية: هي القيم أفضل أن تبين (والوهي الحقيقي والسماح المنطقة، 1.92 × 10⁻⁶ F / m² منطقة السعة وقيمة منطقة 102

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan manusia terhadap energi listrik dalam kehidupan sehari-hari semakin bertambah seiring perkembangan teknologi. Teknologi berbasis *device portable* merupakan hasil teknologi yang banyak digunakan saat ini. Penggunaan *device portable* mengharuskan tersedianya penyimpanan energi yang memadai. Penemuan perangkat penyimpan energi dapat memudahkan manusia dalam melakukan kegiatannya, karena dengan adanya penyimpan energi ini, perangkat elektronik tidak harus terhubung langsung ke sumber listrik utama.

Salah satu bagian dari penyusun perangkat penyimpan energi adalah elektroda, baik katoda maupun anoda. Saat ini, transisi logam oksida (RuO , Fe_3O_4 dan NiO), material karbon (*activated carbon, carbon nanotube, and graphene*) dan polimer konduktif sering digunakan sebagai elektroda. Karbon aktif merupakan salah satu material elektroda yang sering digunakan karena memiliki banyak kelebihan seperti mudah untuk membuatnya, murah dan memiliki area permukaan yang luas. Karbon aktif dapat diperoleh secara komersial atau dari pengolahan biomassa (J.M. Chem dkk, 2012).

Biomassa adalah material biologis yang berasal dari makhluk hidup atau organisme yang berstruktur karbon dan mengandung unsur kimia organik, seperti hidrogen, nitrogen, oksigen, dan sejumlah kecil dari atom - atom lainnya. Biomassa diperoleh dari limbah tumbuhan, hewan, dan manusia. Biomassa merupakan bahan alternatif pengganti energi yang ramah lingkungan. Biomassa dapat dimanfaatkan sebagai biofuel, biogas, bioetanol, dan biodiesel (Yokoyama,

2008). Selain beberapa manfaat tersebut, biomassa juga dapat digunakan sebagai bahan penyimpan energi.

Biomassa dari bambu dapat digunakan sebagai elektroda perangkat penyimpan energi dengan nilai kapasitansi sebesar 59,5 F (Farly dkk, 2017). Culture, serbuk gergaji dan rambut manusia memiliki nilai kapasitansi sebesar 421 F/g, 340 F/g dan 340 F/g (Gao,2017). Biomassa dari bulu ayam juga dapat digunakan sebagai bahan pembuatan elektroda perangkat penyimpan energi (Zhao,2015). Bulu ayam merupakan biomassa yang mengandung zat keratin dan berpotensi sebagai bahan pembuatan elektroda.

Keratin adalah protein fibrous yang banyak mengandung zat sulfur, glisin, sistein, prolin dan serin (Bansal,2017). Keratin dapat diperoleh dari pengerasan jaringan epidermal dari tubuh seperti kulit, kuku, bulu, tanduk, sisik dan lain-lain. Bagian tubuh makhluk hidup yang dapat diambil zat keratinnya, salah satunya adalah bulu ayam (Gupta,2016).Qs. As Shaad 38:27 menjelaskan bahwa Allah menciptakan segala sesuatu di bumi tanpa ada yang sia-sia :

وَمَا خَلَقْنَا السَّمَاءَ وَالْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا بَطْلًا ذَٰلِكَ ظَنُّ الَّذِينَ كَفَرُوا فَوَيْلٌ لِلَّذِينَ
كَفَرُوا مِنَ النَّارِ

“Dan kami tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada diantara keduanya dengan sia-sia. Itu anggapan orang-orang kafir, maka celakalah orang-orang kafir itu karena mereka akan masuk neraka”(Qs. As Shaad (38):27).

Bulu ayam mengandung 91% protein (keratin), 1% lipid, dan 8% air. Keratin sebagian besar terdiri dari glisin, sistein, prolin, dan serin, dan hampir tidak mengandung histidin, lisin, atau metionin(Bansal, 2017). Menurut Farida (2013), bulu ayam dapat menghasilkan zat keratin melalui proses pirolisis.

Pirolisis dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama, bulu unggas dipanaskan pada suhu 215 °C selama 15 jam, kemudian dilanjutkan pemanasan pada suhu 450 °C selama 1 jam. Gugus fungsi yang dihasilkan yaitu, N-H, C-H, -CH₂-S, C ≡ N, C-O, dan CH₂. Hasil ini sesuai dengan struktur keratin, yaitu terdiri dari gugus N-H, CH-R, C-O, CH₂-S, dan CH₂.

Proses pirolisis dilanjutkan dengan proses aktivasi yang bertujuan untuk memperbesar luas permukaan karbon dengan membuka pori-pori yang tertutup sehingga memperbesar daya serapnya dan menghilangkan pengotor pada pori-pori karbon. Proses aktivasi karbon dilakukan dengan dua metode yaitu aktivasi fisika dan aktivasi kimia (Rahayu dan Adhitiyawarman, 2014). Aktivasi fisika merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan panas pada suhu tinggi (Hartanto dan Ratnawati, 2010). Aktivasi kimia merupakan aktivasi dengan pemakaian bahan kimia yang dinamakan aktivator. Aktivasi kimia pada karbon bertujuan untuk mempengaruhi struktur dan kinerja elektroda pada perangkat penyimpanan energi.

Karbon aktif dan polimer konduktif sering dimanfaatkan dalam pembuatan elektroda. Beberapa polimer konduktif yang digunakan dalam pembuatan elektroda adalah Phenolicresin, Polytetrafluoroethylene (PFTE), Polyvinylidene fluoride (PVDF), Polyvinylalcohol (PVA) dan Sulfosuccinic-acid (SSA). Masing-masing polimer memberikan pengaruh yang berbeda-beda pada sifat listrik (kapasitansi dan resistivitas) komposit. Pembuatan komposit dengan bahan karbon aktif yang ditambahkan dengan polimer Phenolicresin, PFTE, PVDF, PVA dan SSA menghasilkan nilai kapasitansi berturut-turut yaitu: 63,5-80,7 F/g, 68,00-72,3 F/g, 74,40-80,30 F/g, 89,6-99,8 F/g dan 96,7-116,1 F/g. Sedangkan nilai

resistansi dari komposit yang ditambahkan Phenolicresin, PFTE, PVDF, PVA dan SSA berturut-turut adalah 1,32-1,49 ohm/cm², 1,58-3,26 ohm/cm², 1,50-3,01 ohm/cm², 1,60-4,19 ohm/cm² dan 1,80-3,60 ohm/cm² (Zhang , Yingjie dkk, 2012).

Variasi komposisi karbon aktif dan PVDF pada pembuatan elektroda menghasilkan nilai kapasitansi yang berbeda-beda. Krzysztof dkk (2018) melakukan penelitian dengan menunjukkan rasio berat dari karbon (CMOF-5):PVdF yaitu 85:15, 80:20 dan 75:25, dari rasio tersebut dihasilkan nilai kapasitansi sebesar 218 F/g, 210 F/g dan 180 F/g. Farly (2015) melakukan penelitian menggunakan campuran karbon aktif dengan PVdF sebanyak 0,5 gram, dengan perbandingan karbon aktif:PVdF (9:1). Berdasarkan hasil perhitungan, nilai kapasitansi diperoleh nilai sebesar 59,5 F. Rohmawati dkk (2015), menyebutkan bahwa perbandingan 90% wt karbon aktif dengan 10% wt PVDF menghasilkan nilai kapasitansi sebesar 325 F/g.

Pada penelitian ini dibuat komposit dengan variasi komposisi karbon aktif-PVDF sebagai bahan elektroda perangkat penyimpanan energi. PVDF (polimer konduktif) digunakan karena memiliki beberapa kelebihan yaitu, ringan, fleksibel, resistansi rendah pada tekanan yang rendah dan titik leleh yang rendah (Rohmawati dkk, 2017). Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi karbon aktif-PVDF terhadap sifat listrik (konduktivitas, resistivitas, kapasitansi), sifat fisis (morfologi) dan gugus fungsi elektroda perangkat penyimpanan energi.

1.1 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh komposisi Karbon Aktif -PVDF terhadap gugus fungsi elektroda perangkat penyimpanan energi?
2. Bagaimana pengaruh komposisi Karbon Aktif -PVDF terhadap sifat fisis (morfologi) elektroda perangkat penyimpanan energi?
3. Bagaimana pengaruh komposisi Karbon Aktif -PVDF terhadap sifat listrik (konduktivitas, resistivitas, kapasitansi) elektroda perangkat penyimpanan energi?

1.2 Tujuan

1. Untuk mengetahui pengaruh komposisi Karbon Aktif -PVDF terhadap gugus fungsi elektroda perangkat penyimpanan energi.
2. Untuk mengetahui pengaruh komposisi Karbon Aktif -PVDF terhadap sifat fisis (morfologi) elektroda perangkat penyimpanan energi.
3. Untuk mengetahui pengaruh komposisi Karbon Aktif -PVDF terhadap sifat listrik (konduktivitas, resistivitas, kapasitansi) elektroda perangkat penyimpanan energi.

1.3 Manfaat

1. Memberikan pengetahuan tentang karbon bulu ayam sebagai elektroda perangkat penyimpanan energi.
2. Memanfaatkan limbah bulu ayam menjadi bahan yang bernilai ekonomi tinggi.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang ada dalam penelitian ini adalah:

Penelitian ini menggunakan bulu ayam asli yang dipirolisis 2 kali yakni pada suhu 215 °C selama 15 jam dan pada suhu 450 °C selama 1 jam, kemudian dilakukan aktivasi kimia menggunakan KOH dengan konsentrasi 5 M dan dilakukan aktivasi fisika dengan suhu 950°C selama 3 jam. Komposisi karbon aktif-PVDF yaitu: 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 dan 80:20 (wt%). PVDF digunakan sebagai perekat. Sampel dikarakterisasi menggunakan Digital Microscope, FTIR dan RCL meter.

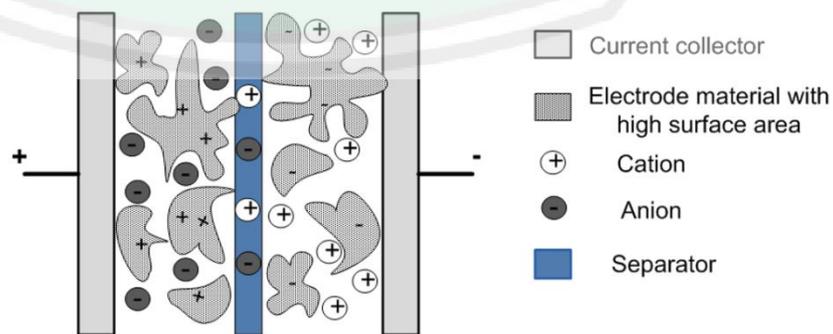


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

1.1 Elektroda

Kebutuhan manusia terhadap energi listrik dalam kehidupan sehari-hari semakin bertambah seiring perkembangan teknologi. Teknologi berbasis *device portable* merupakan hasil teknologi yang banyak digunakan saat ini. Penggunaan *device portable* mengharuskan tersedianya penyimpanan energi yang memadai. Penemuan perangkat penyimpanan energi dapat memudahkan manusia dalam melakukan kegiatannya, karena dengan adanya penyimpan energi ini, perangkat elektronik tidak harus terhubung langsung ke sumber listrik utama.

Salah satu bagian dari perangkat penyimpanan energi adalah elektroda, baik katoda maupun anoda. Elektroda adalah kutub-kutub listrik pada rangkaian sel elektrokimia, elektroda terbagi menjadi dua bagian yaitu katoda dan juga anoda. Katoda adalah elektroda tempat terjadinya reaksi reduksi, dimana didalamnya terjadi penangkapan elektron oleh suatu spesi. Sedangkan untuk anoda merupakan elektroda tempat terjadinya reaksi oksidasi sehingga akan terjadi pelepasan elektron selama reaksi berlangsung (Fitriani, 2012). Gambar 2.1 menunjukkan elektroda pada salah satu perangkat penyimpanan energi yaitu superkapasitor.



Gambar 2.1 Konstruksi superkapasitor (Zhou, 2012).

Superkapasitor mengikuti prinsip-prinsip dasar yang sama seperti konvensional kapasitor yaitu terdiri dari dua elektroda yang dipisahkan oleh bahan dielektrik. Saat tegangan listrik diberikan pada kapasitor, muatan berlawanan (berbeda) akan terakumulasi pada setiap permukaan elektroda. Muatan-muatan tersebut akan tetap terpisah oleh bahan dielektrik yang mengisi ruang antarpelat kapasitor, sehingga menghasilkan medan listrik yang menyebabkan kapasitor dapat menyimpan energi. Namun, pada superkapasitor luas area permukaan elektroda dibuat lebih besar dan ketebalan bahan dielektrik dibuat jauh lebih tipis sehingga menurunkan jarak antara elektroda. Dengan demikian, menurut persamaan dibawah ini dapat menyebabkan peningkatan kapasitansi pada kapasitor (Conway, 1999).

$$C = \frac{A}{d} \epsilon_r \epsilon_0$$

Material yang digunakan untuk pembuatan elektroda memiliki sifat-sifat yaitu, memiliki nilai konduktivitas tinggi, memiliki luas permukaan tinggi, tahan terhadap korosi, stabil pada temperatur tinggi, struktur pori yang dapat dikontrol dan murah (Zhou, 2012).

Berdasarkan fungsinya, elektroda digolongkan menjadi tiga jenis, yaitu (Fitriani, 2012) :

1. Elektroda kerja

Elektroda kerja merupakan tempat terjadinya reaksi elektrokimia yang diamati. Elektroda kerja harus menghasilkan transfer elektron yang cepat dengan spesi elektroaktif. Elektroda ini umumnya terbuat dari logam, bahan semi konduktor atau karbon.

2. Elektroda pembanding

Elektroda pembanding adalah elektroda yang potensialnya cukup konstan dan dipakai sebagai elektroda standar terhadap potensial elektroda lainnya didalam sel elektrokimia. Fungsi elektroda ini adalah untuk menstabilkan beda potensial pada elektroda dalam sel elektrokimia. Elektroda pembanding harus memiliki syarat stabil terhadap waktu dan temperatur, dapat digunakan berulang kali, tidak terpolarisasi dan pembuatannya mudah.

3. Elektroda pendukung

Elektroda pendukung merupakan elektroda yang berperan sebagai tempat masuknya elektron sehingga arus dapat dilewatkan melalui sel tetapi tidak mempengaruhi reaksi pada elektroda kerja. Elektroda pendukung harus bersifat inert.

2.2. Komposit

Material Komposit dapat didefinisikan sebagai perpaduan antara dua material atau lebih untuk mendapatkan sifat yang lebih baik dari material penyusunnya. Lain halnya dengan paduan logam, material penyusun pada komposit ini tetap mempertahankan masing-masing sifat kimiawi, fisik, maupun mekaniknya satu sama lain (Campbell, 2010).

Material komposit merupakan bahan gabungan secara makro yang didefinisikan sebagai suatu sistem material yang tersusun dari campuran atau kombinasi dua atau lebih unsur-unsur utama yang secara makro berbeda dalam bentuk dan atau komposisi material yang tidak dapat dipisahkan (Schwartz, 1984).

Penggabungan dua atau lebih material yang berbeda, maka dapat diperbaiki dan dikembangkan sifat-sifat mekanik dan fisik dari material-material tersebut diantaranya adalah (Sulistijono, 2013):

- a. Konduktivitas termal
- b. Ketahanan fatik
- c. Kekuatan
- d. Tampilan
- e. Kekakuan
- f. Ketahanan korosi
- g. Ketahanan gesek
- h. Insulasi listrik
- i. Berat
- j. Insulasi panas

Umumnya dalam proses pembuatan komposit melalui pencampuran yang homogen, sehingga kita leluasa merencanakan kekuatan material komposit yang kita inginkan dengan mengatur komposisi dari material pembentuknya. Komposit merupakan gabungan antara bahan matriks atau pengikat dengan penguat (Mehta, 1986).

2.2.1 Matriks

Matriks dalam struktur komposit berasal dari bahan polimer atau logam. Syarat pokok matriks yang digunakan dalam komposit adalah harus bisa meneruskan beban, sehingga serat bisa melekat pada matriks dan kompatibel antara serat dan matriks. Matriks dalam susunan komposit bertugas melindungi dan mengikat serat agar bekerja dengan baik. Matriks juga berfungsi sebagai

pelapis serat. Umumnya matriks terbuat dari bahan-bahan lunak dan liat. Pemilihan bahan matriks dan serat memainkan peranan penting dalam menentukan sifat mekanik dan sifat komposit. Gabungan matriks dan serat menghasilkan komposit yang mempunyai kekuatan dan kekakuan yang lebih tinggi (Gibson, 1994).

Berdasarkan jenis matriksnya, komposit dibedakan menjadi (Callister, 2007):

a. *Polymer Matrix Composite* (PMC)

PMC menggunakan polimer sebagai matriksnya dengan fiber sebagai penguatnya. *Glass, carbon* dan *aramids* merupakan penguat yang umum digunakan dengan matriks polimer. Penguat lainnya yang sedikit digunakan adalah *boron, silicon carbide* dan *aluminum oxide* (Callister, 2007). Beberapa polimer yang sering digunakan dalam pembuatan elektroda adalah *Phenolicresin, Polytetrafluoroethylene (PFTE), Polyvinylidene fluoride (PVDF), Polyvinylalcohol (PVA)* dan *Sulfosuccinic-acid (SSA)* (Zhang, Yingjie dkk, 2012).

b. *Metal Matrix Composite* (MMC)

MMC menggunakan logam yang ulet sebagai matriksnya. Material ini dimanfaatkan pada temperatur yang lebih tinggi. Beberapa keuntungannya dibanding PMC yaitu temperatur operasinya yang lebih tinggi, *nonflammable*, dan juga lebih tahan akan degradasi oleh fluida organik.

c. *Ceramic Matrix Composite (CMC)*

CMC menggunakan keramik sebagai matriksnya. Secara inheren tahan terhadap oksidasi dan juga kerusakan pada temperatur tinggi. Jenis komposit ini sangat cocok untuk digunakan pada temperatur tinggi dan juga untuk aplikasi yang mengalami severe-stress, seperti komponen mobil dan juga turbin gas.

2.2.2 Penguat (*Reinforcement*)

Reinforcement (penguat) adalah salah satu bagian utama dari komposit yang berperan untuk menahan beban yang diterima oleh material komposit sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari penguat yang digunakan. Bahan penguat biasanya kaku dan tangguh. Bahan penguat yang umum digunakan adalah jenis partikel, serat alam, karbon, gelas dan keramik.

Berdasarkan jenis penguatnya, komposit dibedakan menjadi (Callister, 2007) :

a. *Particle-reinforced*

Particle-reinforced merupakan jenis komposit yang menggunakan penguat berbentuk partikel. Peran partikel dalam komposit partikel adalah membagi beban agar terdistribusi merata dalam material dan menghambat deformasi plastik matriks yang ada di sela-sela partikel.

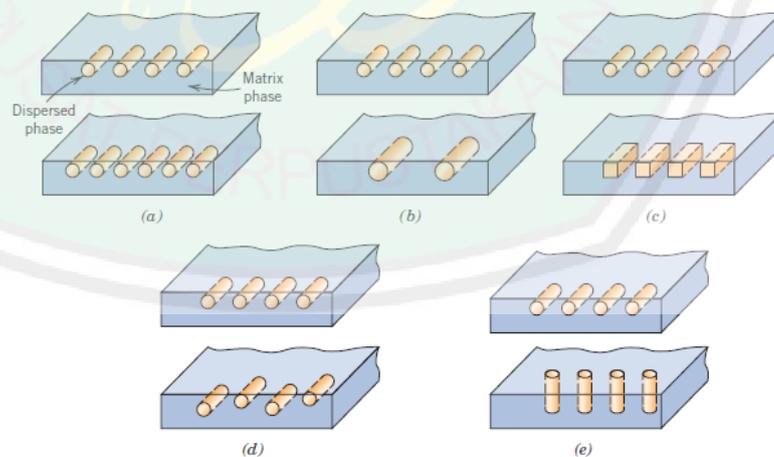
Beberapa jenis partikel dapat dibagi menjadi seperti di bawah ini (Sulistijono, 2013):

1. Partikulat : aspek rasio panjang terhadap diameter kurang dari 5 mikrometer.

2. Dispersi : sama seperti partikulat, bahkan diameter kurang dari 1 mikrometer.
3. Fiber pendek (Mat) : berbentuk silinder dengan rasio panjang terhadap diameter lebih besar dari 5 mikrometer.
4. *Whiskers* : berupa kristal tunggal yang memanjang, dengan rasio panjang terhadap diameter lebih besar dari 10 mikrometer.

b. *Fiber-reinforced*

Fungsi utama dari serat adalah sebagai penopang kekuatan dari komposit, sehingga tinggi rendahnya kekuatan komposit sangat tergantung dari serat yang digunakan, karena tegangan yang dikenakan pada komposit mulanya diterima oleh matrik akan diteruskan kepada serat, sehingga serat akan menahan beban sampai beban maksimum. Oleh karena itu serat harus mempunyai tegangan tarik dan modulus elastisitas yang lebih tinggi daripada matrik penyusun komposit. Adapun gambar 2.2 merupakan parameter serat pada komposit (Callister, 2007):



Gambar 2.2 Parameter Fiber pada Komposit: (a) Konsentrasi, (b) Ukuran, (c) Bentuk, (d) Distribusi dan (e) Orientasi (Callister, 2007).

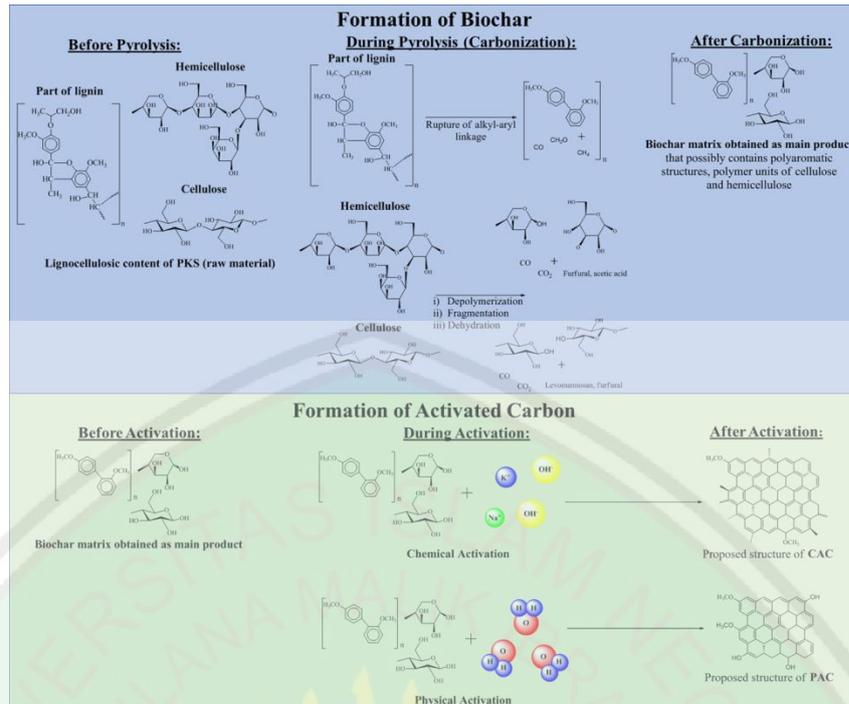
c. *Structural Composite*

Komposit jenis ini biasanya terdiri dari material homogen, dimana sifatnya tak hanya bergantung pada konstituen materialnya saja, namun juga bergantung pada desain geometrinya dari struktur elemen. Jenis ini dapat dibagi lagi menjadi komposit laminar dan *sandwich* panel.

2.3 Karbon Aktif

Karbon merupakan suatu bahan padat berpori yang dihasilkan melalui proses pirolisis (Lempang, 2014). Karbon dapat dibuat dari bahan-bahan organik maupun anorganik yang berasal dari tumbuhan, hewan atau bahan tambang dengan pemanasan pada suhu tinggi. Sebagian dari pori-porinya masih tertutup hidrokarbon, tar, dan senyawa organik lain. Komponennya terdiri dari karbon terikat, abu, air, nitrogen, dan sulfur (Khuluk, 2016).

Arang aktif berbeda dengan arang biasa. Perbedaan tersebut bisa dilihat dari permukaan arang. Permukaan arang masih ditutupi oleh deposit hidrokarbon yang menghambat keaktifannya, sedangkan permukaan arang aktif relatif telah bebas dari deposit, permukaannya luas dan pori-porinya telah terbuka, sehingga memiliki daya serap tinggi (Lempang, 2014).



Gambar 2.3 Mekanisme proses karbonisasi dan aktivasi (Liew, Rock Keey, dkk. 2018).

Pembuatan karbon aktif terdiri dari tiga tahap yaitu (Manocha, 2003):

1. Pemilihan bahan

Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai macam bahan yang mengandung karbon. Pemilihan bahan dasar untuk dijadikan karbon aktif harus memenuhi beberapa kriteria, yaitu unsur anorganik yang rendah, ketersediaan bahan (tidak mahal dan mudah didapat), memiliki daya tahan yang baik, dan mudah untuk diaktivasi.

2. Karbonisasi (pirolisis)

Karbonisasi adalah proses penghilangan bahan yang mudah menguap dari karbon yang dilakukan dengan memanaskannya sampai suhu tertentu dengan jumlah oksigen yang terbatas. Material yang tertinggal adalah material arang dengan pori-pori yang halus. Karbonisasi terjadi beberapa tahap yaitu, tahap penghilangan air, tahap penguapan selulosa, penguapan

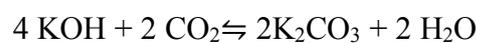
lignin dan yang terakhir pemurnian karbon. Air, selulosa dan lignin menguap pada suhu 400 °C, sedangkan pemurnian karbon rata-rata terjadi pada suhu 500-800 °C (Marsh, 2006).

3. Aktivasi

Aktivasi adalah proses membuka, mengembangkan, dan memperbesar ukuran pori-pori melalui proses kimia dan fisika. Aktivasi bertujuan untuk memperbesar nilai absorpsi dari karbon aktif. Berikut proses aktivasi dibedakan menjadi dua yaitu (Manocah, 2003):

a. Aktivasi kimia

Pada aktivasi kimia bahan dicampur dengan larutan kimia yang berfungsi sebagai agen aktivasi. Larutan kimia yang dipakai biasanya berupa garam dari logam alkali dan alkali tanah serta zat asam seperti KOH, NaOH, ZnCl₂, K₂CO₃, H₃PO₄. Agen aktivasi akan mengoksidasi karbon dan merusak bagian dalam karbon sehingga akan terbentuk pori-pori dan meningkatkan daya adsorpsi. Selain itu, agen aktivasi akan menghambat pembentukan tar dan mengurangi pembentukan asam asetat, metanol, dan lain-lain. Terbentuk pori-pori baru pada karbon karena proses pengikisan oleh agen aktivasi. Reaksi kimia yang terjadi sebagai berikut, (Sudibandriyo, 2003):

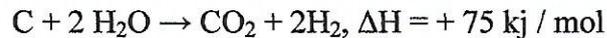
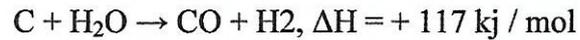


Senyawa potassium carbonate (K_2CO_3) merupakan hasil dari adanya reaksi kimia antara aktifier dengan sampel karbon. Terbentuknya senyawa ini juga disebabkan oleh reaksi antara aktifier dengan gas CO_2 yang didapat selama aktivasi kimia. Senyawa potassium carbonate merupakan senyawa yang tidak diharapkan untuk terbentuk dan seharusnya senyawa ini hilang saat dilakukan pencucian pada proses aktivasi kimia.

Aktivasi kimia dengan perbandingan tingkat kemolaran KOH dapat mempengaruhi struktur dari karbon keratin. Karbon keratin yang direndam pada KOH selama 24 jam dengan variasi 1M, 3M, dan 5M dapat mempengaruhi ukuran *surface area*. Nilainya secara berurutan yaitu, 20,785 m^2/gr , 18,631 m^2/gr , dan 74,535 m^2/gr . Aktivasi kimia dengan variasi 1M, 3M, dan 5M dapat memperkecil ukuran kristal keratin yakni, 0,966 nm, 0,971 nm, dan 0,864 nm. Hasil XRD menunjukkan bahwa nilai karbon maksimum terdapat pada aktivasi 5M KOH (Agustin, 2017).

b. Aktivasi fisika

Karbonisasi menghasilkan karbon atau yang biasa dikenal dengan arang. Pori-pori karbon yang dihasilkan tertutupi oleh tar yang terbentuk dalam proses pemanasan. Oleh karena itu, aktivasi fisika atau pemanasan setelah proses karbonisasi diperlukan untuk menghilangkan penyumbatan yang diebabkan oleh tar. Aktivasi ini bertujuan untuk memperbesar pori-pori karbon (Hayashi et al. 2000). Aktivasi fisika dilakukan dengan zat pengoksidasi seperti CO_2 , uap, O_2 pada suhu tinggi. Reaksi yang mungkin terjadi antara partikel karbon dan zat aktivasi diungkapkan oleh hubungan berikut (Hayashi et al. 2000):



Semua reaksi ini bersifat endotermik, oleh karena itu diperlukan energi eksternal melalui suplai suhu aktivasi tinggi atau hampir di atas 800 °C (Hayashi et al. 2000). Selama proses aktivasi, uap atau CO₂ bereaksi dengan karbon untuk menghasilkan CO, CO₂, H₂ atau CH₄. Proses ini disebut sebagai "pembakaran" (Reed dan Williams, 2004). Pembakaran didefinisikan sebagai perbedaan berat antara arang aktif dan karbon dibagi dengan berat arang asli yang keduanya ditentukan berdasarkan berat kering.

2.4 Keratin

Keratin merupakan senyawa kompleks yang dapat kita temukan pada jaringan epitel. Keratin banyak terkandung pada tanduk kambing, buluayam, wol domba, sisik ikan dan lain – lain. Kambing, ayam, dan domba merupakan binatang ternak. Binatang ternak merupakan binatang yang sengaja dipelihara untuk diambil manfaatnya, yaitu diambil dagingnya untuk dikonsumsi atau diambil sebagai bahan industri. Allah telah berfirman dalam Al Qur'an surat Yassin (36):71-73,

أَوَلَمْ يَرَوْا أَنَّا خَلَقْنَا لَهُمْ مِمَّا عَمِلَتْ أَيْدِينَا أَنْعَامًا فَهُمْ لَهَا مَالِكُونَ ﴿٧١﴾ وَذَلَّلْنَاهَا
لَهُمْ فَمِنْهَا رَكُوبُهُمْ وَمِنْهَا يَأْكُلُونَ ﴿٧٢﴾ وَهُمْ فِيهَا مَنَّاعٌ وَمَشَارِبٌ أَفَلَا يَشْكُرُونَ

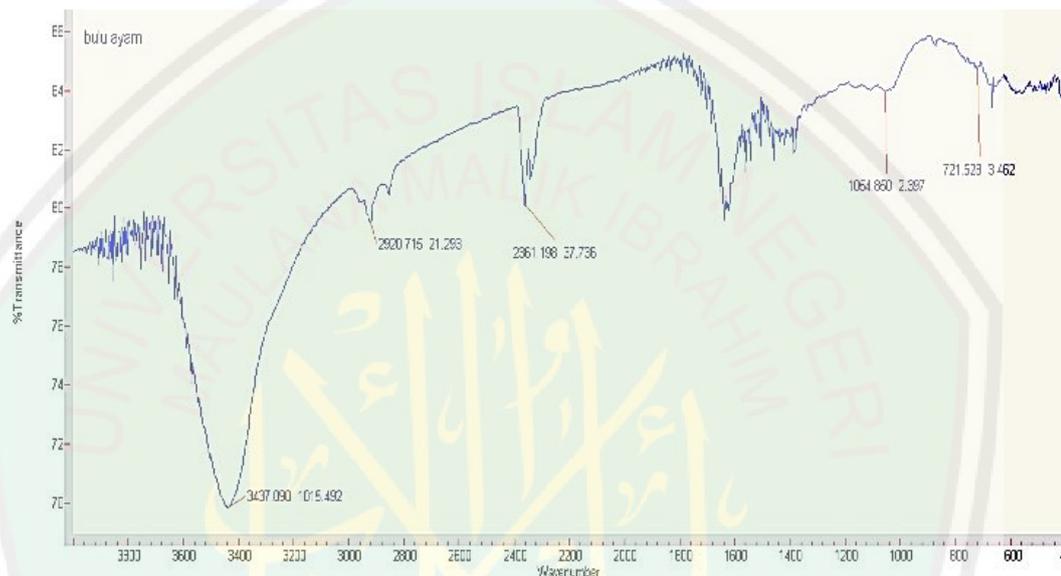
“Dan tidakkah mereka melihat bahwasannya kami telah menciptakan untuk mereka (diantara apa – apa yang telah kami ciptakan) binatang – binatang ternak, lalu mereka menjadi pemiliknya?, Dan kami telah menundukkan binatang – binatang itu untuk mereka. Maka diantaranya ada yang menjadi tanggungan mereka dan ada yang mereka makan. Dan pada (binatang – binatang) itu mereka memperoleh banyak manfaat dan minuman. Tidakkah mereka bersyukur?” (Qs Yassin (36): 71-73).

Surat yasin tersebut memiliki makna bahwa Allah menciptakan (أَنْعَمًا) binatang ternak dan pada diri binatang – binatang itu mereka memperoleh banyak manfaat (وَلَهُمْ فِيهَا مَنَافِعُ). Hal tersebut menjelaskan bahwa Allah menciptakan binatang ternak bagi manusia dengan berbagai manfaat. Salah satu binatang ternak yang dapat memiliki banyak manfaat yaitu ayam. Daging ayam dan telurnya dapat digunakan untuk bahan makanan. Bulunya dapat kita manfaatkan untuk membuat bantal, kerajinan tangan dan dapat kita ambil zat keratinnya sebagai bahan anoda (Al-Mahalli, 2008).

Keratin adalah produk pengerasan jaringan epidermal dari tubuh. Keratin merupakan protein fibrous yang kaya akan sulfur dan banyak terdapat pada rambut, tanduk, kuku, bulu, dan semua produk-produk epidermal. Kandungan keratin dalam tepung bulu ayam berkisar antara 85-90% dari kandungan proteinnya. Kandungan sistin pada protein berkisar antara 11-12% (Farida, 2013). Keratin kaya akan residu sistin yang dapat memberikan jembatan disulfida diantara rantai polipeptida yang berdekatan (Lehninger, 1995). Hal ini dapat mengikat ion-ion bebas dan membuat perangkat penyimpan energi memiliki nilai kapasitansi yang lebih baik.

Menurut Farida (2013), bulu ayam dapat menghasilkan zat keratin melalui proses pirolisis. Pirolisis dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama, bulu unggas dipanaskan pada suhu 215 °C selama 15 jam, kemudian dilanjutkan pemanasan

pada suhu 450 °C selama 1 jam. Gugus fungsi yang dihasilkan yaitu, N-H, C-H, -CH₂-S, C≡N, C-O, dan CH₂. Hasil ini sesuai dengan struktur keratin, yaitu terdiri dari gugus N-H, CH-R, C-O, CH₂-S, dan CH₂. Struktur kartin memiliki atom karbon (C) yang mengikat empat atom lainnya, salah satunya yaitu atom -R=, dimana atom R ini akan digantikan oleh atom hidrogen.

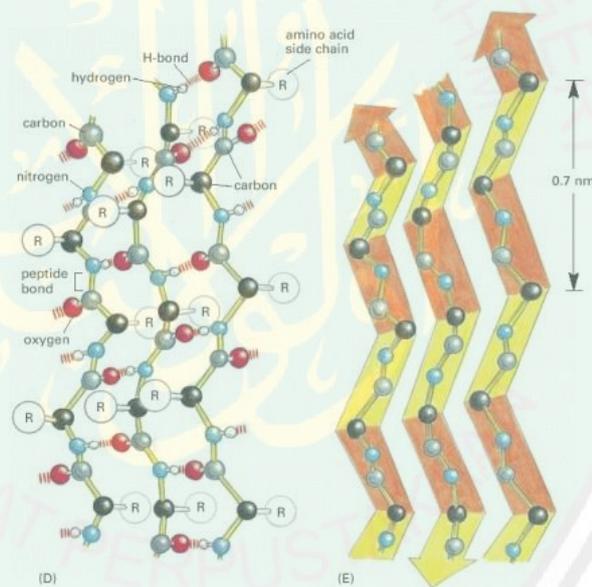


Gambar 2.4 FTIR Karbon Bulu Unggas (Farida, 2013).

Sifat fisik dan karakteristik keratin adalah tidak larut dan tidak dapat diubah kembali, tidak larut dalam air, eter atau alkohol tetapi perlahan-lahan larut dalam air yang dipanaskan pada suhu 150° C – 200° C. Keratin tidak larut dengan pemanasan alkali dan tidak larut oleh kelenjar saluran pencernaan atau kelenjar pankreas. Kecernaan yang rendah ini karena karbo bulu mengandung ikatan sistin disulfida, ikatan hidrogen dan interaksi hidrofobik melekul keratin. Keratin membuat bulu murni tidak dapat dicerna, untuk itu ikatan sulfur dari sistin pada bulu harus dipecahkan agar memudahkan bulu dapat dicerna. Keratin dapat

dipecah menjadi butiran-butiran melalui reaksi kimia dan enzim kemudian butiran ini dapat dicerna oleh tripsin dan pepsin (Farida, 2013).

Tiap molekul protein dalam keratin mempunyai bentuk spiral, yang disebut spiral- α -kanan. Kanan menunjukkan arah putaran dalam spiral itu. Tiap putaran spiral mengandung 3,6 residu asam amino. Jarak dari satu kumparan ke kumparan berikutnya adalah 5,4 Å. Bentuk spiral ini tidak berubah terutama berkat ikatan hidrogen antara satu gugus amida-karbonil dan suatu NH yang jaraknya 3,6 satuan asam amino. Bentuk spiral ini menghasilkan produk yang kuat, lunak, dan bersifat serat (Farida, 2013).



Gambar 2.5 Struktur α -Heliks Keratin (Alberts et al., 1994)

Keratin memiliki dua struktur sekunder yang berbeda. Rantai polipeptida dapat membentuk struktur α -Heliks atau β -sheet (McKittrick et al., 2012). Rasio struktur keratin tergantung pada lokasi rantai polipeptida. Secara umum, keratin terdiri sedikit lebih banyak α -Heliks daripada β -sheet (Schmidt & Jayasundera, 2003).

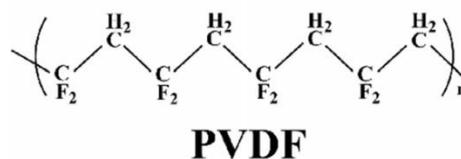
2.5 Polyvinylidene Fluoride (PVDF)

Polyvinylidene Fluoride (PVDF) merupakan suatu polimer rekayasa yang penting dan telah banyak diteliti karena sifat mekaniknya yang baik, resistansi terhadap bahan kimia, memiliki konstanta dielektrik yang tinggi dan sifat piroelektrik dan pizelektrik yang unik (Wang, 2013). PVDF merupakan polimer yang banyak digunakan sejak tahun 1964 karena sifat kimianya yang inert (sangat stabil), sehingga sulit terjadi reaksi kimia (Lovinger, 1981). Sifat umum PVDF ditunjukkan pada Tabel 2.1:

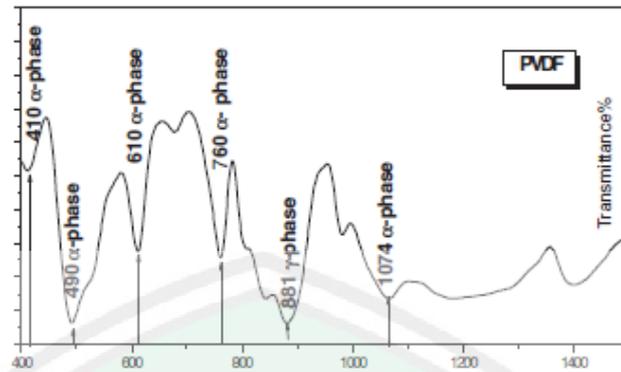
Tabel 2.1. Sifat Umum PVDF (Lovinger, 1981)

Sifat	Nilai
Wujud	Padatan putih
Kelarutan	Tidak larut dalam air
Elongation	12-600%
Kekuatan tarik	21,0 – 57,0 Mpa
Modulus elastisitas	1380 – 55.200 MPa
Temperatur transisi gel (Tg)	-60 – -20 °C
Temperatur leleh (TM)	141 – 178 °C

Struktur molekul dan hasil spektrum FTIR dari PVDF murni ditunjukkan pada gambar 2.6 dan 2.7



Gambar 2.6 Struktur Molekul PVDFmurni (Wang, 2013).



Gambar 2.7 Spektrum FTIR dari PVDF murni (Abd El-Salam et al, 2012).

Abd El-Salam (2012) melakukan pengujian terhadap PVDF murni menggunakan FTIR, hasilnya menunjukkan beberapa gugus fungsi yang terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2.2 Gugus Fungsi pada PVDF (Abd El-Salam et al, 2012)

Bilangan Gelombang (1/cm)	Gugus Fungsi	Tipe Vibrasi	Fase
1074	CH ₂	Wagging deformation	A
881	CF ₂	Symmetric stretching	γ
760	CF ₂	In-plane bending or rocking	α
610	CF ₂ , CCC	CF ₂ bending and CCC skeletal	α
490	CF ₂	Bending and Wagging	α
410	CF ₂		α

2.6 Fourier Transform Infra-Red Spectroscopy (FTIR)

FTIR merupakan singkatan dari *Forier Transform Infra Red*. Dimana FTIR ini adalah teknik yang digunakan untuk mendapatkan spektrum inframerah dari absorbansi, emisi, fotokonduktivitas atau Raman Scattering dari sampel padat, cair, dan gas. Karakterisasi dengan menggunakan FTIR bertujuan untuk mengetahui jenis-jenis vibrasi antar atom. FTIR juga digunakan untuk menganalisa senyawa organik dan anorganik serta analisa kualitatif dan analisa kuantitatif dengan melihat kekuatan absorpsi senyawa pada panjang gelombang tertentu (Hindrayawati, 2010).

Serapan radiasi inframerah oleh suatu molekul terjadi karena interaksi vibrasi ikatan kimia yang menyebabkan perubahan polarisabilitas dengan medan listrik gelombang elektromagnetik. Terdapat dua macam getaran molekul, yaitu getaran ulur dan getaran tekuk. Getaran ulur adalah suatu gerakan berirama di sepanjang sumbu ikatan sehingga jarak antar atom bertambah atau berkurang. Getaran tekuk dapat terjadi karena perubahan sudut-sudut ikatan antara ikatan - ikatan pada sebuah atom, atau karena gerakan sebuah gugusan atom terhadap sisa molekul tanpa gerakan nisbi atom-atom di dalam gugusan. Contohnya liukan (twisting), goyangan (rocking) dan getaran puntir yang menyangkut perubahan sudut-sudut ikatan dengan acuan seperangkat koordinat yang disusun arbitrer dalam molekul. Hanya getaran yang menghasilkan perubahan momen dwikutub secara berirama saja yang teramati di dalam inframerah (Hartomo, 1986).

Identifikasi pita absorpsi khas yang disebabkan oleh berbagai gugus fungsi merupakan dasar penafsiran spektrum inframerah. Hadirnya sebuah puncak serapan dalam daerah gugus fungsi dalam sebuah spektrum inframerah hampir

selalu merupakan petunjuk pasti bahwa beberapa gugus fungsi tertentu terdapat dalam senyawa cuplikan. Demikian pula, tidak adanya puncak dalam bagian tertentu dari daerah gugus fungsi sebuah spektrum inframerah biasanya berarti bahwa gugus tersebut yang menyerap pada daerah itu tidak ada (Pine, 1980).

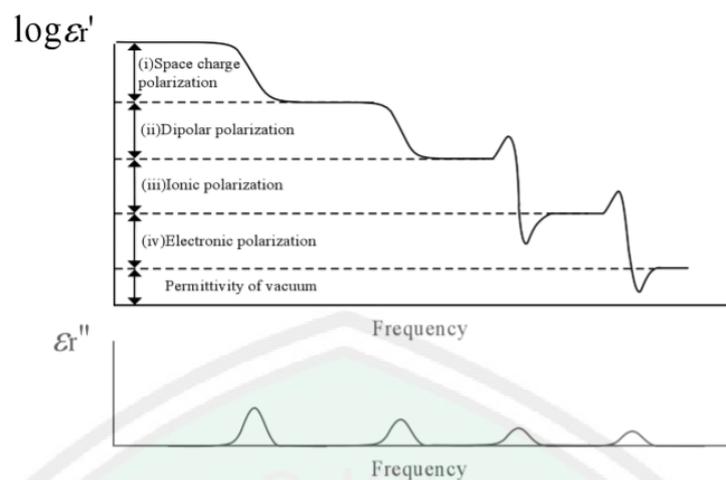
2.7. Teori Dielektrisitas

Bahan dielektrik adalah bahan yang tidak memiliki muatan bebas (isolator) atau semua partikel bermuatannya terikat kuat pada molekul penyusunnya (Van Vlack, 1964). Sedangkan Dielektrisitas adalah tingkatan suatu bahan dielektrik apabila terpolarisasi oleh medan listrik. Dielektrisitas suatu bahan akan meningkat jika jarak antar atom semakin kecil dan volume kristal menjadi lebih kecil sehingga ikatannya akan semakin kuat dan elektron semakin tidak mudah terlepas dari inti. Sifat dielektris terdapat pada bahan non sentrosimetri yaitu bahan yang memiliki momen simetrinya > 0 .

Permittivitas relatif suatu dielektrik atau disebut juga konstanta dielektrik k didefinisikan sebagai ukuran dari kemampuan material untuk menyimpan muatan.

$$k = \frac{C}{C_0} = \frac{\epsilon A/d}{\epsilon_0 A/d} = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$$

dengan A adalah luas permukaan (m^2) dan d adalah jarak antar pelat (m). Jika suatu bahan disisipkan diantara plat sejajar, kapasitansi menjadi bertambah.



2.8 Gambar hubungan frekuensi dengan permitivitas riil dan imajiner (Hotta *et al*, 2011)

Sumber Polarisasi dapat berasal dari polarisasi elektronik, polarisasi ionik, orientasi dan muatan ruang (space charge) (Newham, 2005).

1. Polarisasi Elektronik

Polarisasi elektronik terjadi pada semua jenis dielektrik. Polarisasi ini terjadi karena pergeseran awan elektron pada atom atau molekul karena adanya medan listrik. Pusat muatan listrik positif dan negatif yang semula berhimpit menjaditerpisah sehingga terbentuk dipol. Pemisahan titik pusat muatan ini berlangsung sampai terjadi keseimbangan dengan medan listrik yang menyebabkannya. Dipol yang terbentuk merupakan dipol tidak permanen artinya dipol terbentuk selama ada pengaruh medan listrik saja. Jika medan listrik dihilangkan maka titik pusat muatan kembali berimpit lagi. Polarisasi ini terjadi pada frekuensi yang sangat tinggi yakni 10^{15} Hz.

2. Polarisasi Ionik

Polarisasi Ionik hanya teramati pada material dengan ikatan ion. Polarisasi terjadi karena pergeseran ion-ion yang berlawanan tanda karena pengaruh medan listrik. Dipol yang terbentuk dalam polarisasi ionik merupakan dipol tidak permanen. Polarisasi ionik terjadi lebih lambat dari polarisasi elektronik. Apabila diberikan medan searah, diperlukan waktu lebih lama untuk mencapai keadaan seimbang. Demikian pula jika medan dihilangkan posisi ion akan kembali pada posisi semula dalam waktu lebih lama dari polarisasi elektronik. Polarisasi ini terjadi pada range frekuensi yakni $10^{12} - 10^{13}$ Hz.

3. Polarisasi Dipolar

Polarisasi ini terjadi pada material yang memiliki molekul asimetris yang membentuk momen dipol permanen. Dipol-dipol permanen ini akan cenderung mengarahkan diri sejajar dengan medan listrik, namun tidak semua dipole akan sejajar dengan arah medan. Polarisasi ini terjadi pada range frekuensi yakni $10^3 - 10^6$ Hz.

4. Polarisasi Muatan Ruang

Polarisasi muatan ruang terjadi karena pemisahan muatan-muatan ruang, yang merupakan muatan-muatan bebas dalam ruang dielektrik. Dengan proses ini terjadi pengumpulan muatan sejenis di dua sisi dielektrik. Polarisasi ini berlangsung lebih lambat lagi dan pada waktu medan listrik dihilangkan, muatan ruang dapat menempati posisi yang baru, tidak

seluruhnya kembali pada posisi awal. Polarisasi ini terjadi pada frekuensi rendah.

2.8. Mikroskop Optik

Fungsi mikroskop adalah memperoleh citra atau pencitraan yang besar dari obyek yang sangat kecil (orde mikro). Secara umum, komponen utama mikroskop optik terdiri dari lensa obyektif dan lensa okuler. Lensa obyektif berfungsi membentuk bayangan riil obyek yang diamati. Bayangan riil tersebut kemudian jatuh di depan lensa okuler yang jaraknya lebih kecil dari fokus lensa okuler, sehingga terbentuk bayangan maya (Malacara, 1988).

Sistem pencitraan mikroskop optik terdiri dari tiga bagian utama, yaitu sistem mekanik, sistem elektronik dan kamera sebagai pengambil data citra. Sistem mekanik mikroskop berfungsi menggerakkan tombolkasar dan halus pada mikroskop untuk mendapatkan titik fokus yang dikendalikan oleh sistem elektronik. Kamera digital berfungsi menggantikan mata untuk akuisisi citra sampel yang dapat disimpan dalam bentuk data digital (Malacara, 1988).

Kebanyakan mikroskop cahaya memiliki satu lensa mata yang pada umumnya disebut *monokuler*. Terdapat juga model mikroskop stereo, yang memiliki dua lensa pandang (*eyepieces*) yang dikenal dengan *binokuler*. Teknologi mikroskop saat ini memiliki 3 lensa pandang, dua lensa untuk pengamatan mata dan satu lensa untuk pengamatan kamera yang dikenal dengan mikroskop *trinokuler* (Adi, dkk. 2012).

Mikroskop digital yang digunakan dalam penelitian ini merupakan sistem yang menghubungkan mikroskop ke Laptop melalui port USB. Mikroskop

tersebut mempunyai sistem pencahayaan elektrik, bukan menggunakan cermin sebagai sumber cahaya. Kelebihan sistem ini adalah fasilitas penyimpanan data (data dapat disimpan dalam Laptop atau PC dalam bentuk gambar maupun video)(Adi, dkk. 2012).



Gambar 2.9 Mikroskop Optik

2.9 Kajian Pustaka

Biomassa adalah material biologis yang berasal dari makhluk hidup atau organisme yang berstruktur karbon dan mengandung unsur kimia organik, seperti hidrogen, nitrogen, oksigen, dan sejumlah kecil dari atom - atom lainnya. Biomassa diperoleh dari limbah tumbuhan, hewan, dan manusia. Biomassa merupakan bahan alternatif pengganti energi yang ramah lingkungan. Biomassa dapat dimanfaatkan sebagai biofuel, biogas, bioetanol, dan biodiesel (Yokoyama, 2008). Selain beberapa manfaat tersebut, biomassa juga dapat digunakan sebagai bahan penyimpan energi. Salah satu bagian dari penyusun perangkat penyimpan energi adalah elektroda, baik katoda maupun anoda.

Elektroda perangkat penyimpan energi dapat dibuat dari cangkang biji kopi. Karbon aktif dibuat dengan aktivasi kimia dan aktivasi fisika. Aktivasi kimia dilakukan dengan KOH dan $ZnCl_2$ dengan perbandingan 1:5. Aktivasi fisika dilakukan pada suhu 800 dan 900 °C. *Specific* luas permukaan dan ukuran pori pada karbon aktivasi KOH memiliki nilai yang lebih tinggi dari pada karbon aktivasi $ZnCl_2$ pada perlakuan suhu yang sama. Perlakuan suhu menurunkan nilai luas permukaan dan ukuran pori – pori pada karbon. Kapasitas meningkat setelah diaktivasi KOH pada suhu 900 °C (Hwang, 2008).

Bahan baku karbon memiliki respon yang berbeda terhadap perlakuan aktivasi. Metode aktivasi pembuatan karbon cangkang biji kopi dilakukan pada karbon batok kelapa. Hasil yang diperoleh yaitu ukuran luas permukaan dan pori – pori meningkat saat suhu aktivasi diperbesar pada semua perlakuan kimia. Aktivasi karbon dengan KOH meningkatkan ukuran luas permukaan dan pori – pori. Kapasitas terbesar 1714 mAh/g pada aktivasi KOH 900 °C (Hwang, 2008).

Karbon aktif selain terbuat dari tanaman juga dapat dibuat dari rambut manusia. Karbon diaktivasi dengan KOH 1:2 dan diaktivasi fisika pada suhu 800 °C ditahan selama 2 jam. Hasil raman menunjukkan derajat grafitisasinya cukup besar yaitu 0,9. Luas permukaanyang dihasilkan yaitu 1617 m^2/g . Hasil TEM menunjukkan bahwa banyak ditemukan pori pada daerah mesopori. Kapasitas yang dihasilkan yaitu 820 mAh/g (Saravanan, 2015). Hal tersebut menandakan bahwa aktivasi memperbaiki struktur kristal karbon, sehingga didapatkan anoda dengan kinerja yang baik (Mullaivananathan, 2017).

Variasi komposisi karbon aktif dan PVDF pada pembuatan elektroda menghasilkan nilai kapasitansi yang berbeda-beda. Krzysztof dkk (2018)

melakukan penelitian dengan menunjukkan rasio berat dari karbon (CMOF-5):PVdF yaitu 85:15, 80:20 dan 75:25, dari rasio tersebut dihasilkan nilai kapasitansi sebesar 218 F/g, 210 F/g dan 180 F/g. Farly (2017) melakukan penelitian menggunakan campuran karbon aktif dengan PVdF sebanyak 0,5 gram, dengan perbandingan karbon aktif:PVdF (9:1). Berdasarkan hasil perhitungan, nilai kapasitansi diperoleh nilai sebesar 59,5 F. Rohmawati dkk (2017), menyebutkan bahwa perbandingan 90% wt karbon aktif dengan 10% wt PVDF menghasilkan nilai kapasitansi sebesar 325 F/g.



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan mulai April 2019 sampai Agustus 2019 di *Laboratorium Riset Material*, Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.2 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimen. Pembuatan karbon aktif menggunakan metode pirolisis. Aktivasi karbon ada dua yaitu aktivasi kimia dan aktivasi fisika. Aktivasi kimia menggunakan KOH konsentrasi 5M, sedangkan aktivasi fisika menggunakan suhu 950°C. Komposisi karbon aktif-PVDF yaitu: 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 dan 80:20 (wt%). Sampel dikarakterisasi menggunakan FTIR, Mikroskop Optik dan RCL meter. Analisis data dilakukan dengan membandingkan gugus fungsi, sifat fisis (morfologi) dan listrik (konduktivitas, resistivitas, kapasitansi) yang dihasilkan dari variasi komposisi karbon aktif-PVDF.

3.3 Peralatan dan Bahan Penelitian

3.3.1 Peralatan Penelitian

- a. Alumunium foil
- b. Beaker glass
- c. Cawan petri
- d. Corong gelas
- e. Kertas saring
- f. Pipet tetes

- g. Saringan ukuran 150 mesh
- h. Saringan ukuran 250 mesh
- i. Mortar dan Alu
- j. Unit pirolisis
- k. Spatula
- l. Timbangan digital
- m. Oven
- n. Gelas ukur
- o. Lemari asap
- p. pH universal
- q. *Hot plate*
- r. *Magnetic stirrer*
- s. FTIR
- t. Mikroskop optik
- u. RCL meter

3.3.2 Bahan Penelitian

- a. KOH 5M
- b. Aquades
- c. HCl
- d. DMSO
- e. Bulu ayam
- f. PVDF

3.4 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap kegiatan yaitu karbonisasi bulu ayam, aktivasi kimiadengan menggunakan KOH 5M, aktivasi fisika dengan suhu 950°C, pembuatan komposit karbon aktif-PVDF dan pengujian elektroda.

3.4.1 Karbonisasi dan Aktivasi Karbon Bulu Ayam

- a) Limbah bulu ayam dibersihkan menggunakan air hingga bersih, kemudian dibersihkan dengan aquades.
- b) Bulu ayam yang telah bersih dikeringkan dibawah sinar matahari hingga kering (\pm 48 jam).
- c) Limbah bulu ayam yang sudah kering dikarbonisasi menggunakan unit pirolisis. Karbonisasi dilakukan dalam dua tahap, yaitu pada suhu 215 °C selama 15 jam. Tahap kedua pada suhu 450 °C selama 1 jam. Karbonisasi dilakukan dalam keadaan hampa udara dengan tekanan (4-5 Pascal) dan kenaikan suhu 3 °C/menit.
- d) Karbon bulu ayam kemudian dihaluskan dan diayak dengan ukuran ayakan 150 mesh.
- e) Sampel direndam dalam larutan toluena dengan perbandingan 50 g sampel : 15 ml toluena : 45 ml aquades. Kemudian sampel disaring dan dikeringkan diudara terbuka hingga kering (\pm 48 jam).
- f) Sampel dilarutkan dalam larutan KOH 5M dengan perbandingan 50 g sampel : 100 ml larutan KOH 5M. Larutan didiamkan dalam *beaker glass* yang ditutup aluminuim foil selama 24 jam.

- g) Sampel disaring, kemudian dicuci menggunakan 1M HCl dan aquades hingga pH sampel netral (6-7). Tujuan pencucian ini untuk membuang senyawa garam alkali.
- h) Sampel yang sudah dicuci HCl kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 100 °C selama 2 jam.
- i) Sampel yang sudah kering kemudian diaktivasi fisika dengan menggunakan unit pirolisis dengan temperatur 950 °C dan ditahan selama 3 jam. Kecepatan kenaikan suhu 5 °C/menit.

3.4.2 Pembuatan Komposit dan Pengujian Komposit Karbon Aktif-PVDF

- a) Karbon aktif-PVDF dengan variasi komposisi yaitu: 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 dan 80:20 (wt%) ditimbang.
- b) *Hot plate* dipanaskan dengan temperatur 90 °C dengan putaran 250 rpm kemudian diletakkan *beaker glass* diatasnya yang berisi DMSO (2 ml) dan *magnetic stirrer*.
- c) PVDF dilarutkan dengan DMSO di dalam *beaker glass*.
- d) Material karbon aktif dimasukkan secara perlahan-lahan ke dalam larutan, tunggu selama ± 1 jam di atas *hot plate* sampai terbentuk gel.
- e) Gel yang telah terbentuk kemudian dioleskan pada plat tembaga dan dikeringkan.
- f) Sebagian sampel kering dengan variasi komposisi yaitu: 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 dan 80:20 (wt%) dikarakterisasi menggunakan FTIR.
- g) Sebagian sampel kering dengan variasi komposisi yaitu: 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 dan 80:20 (wt%) dikarakterisasi menggunakan mikroskop optik.

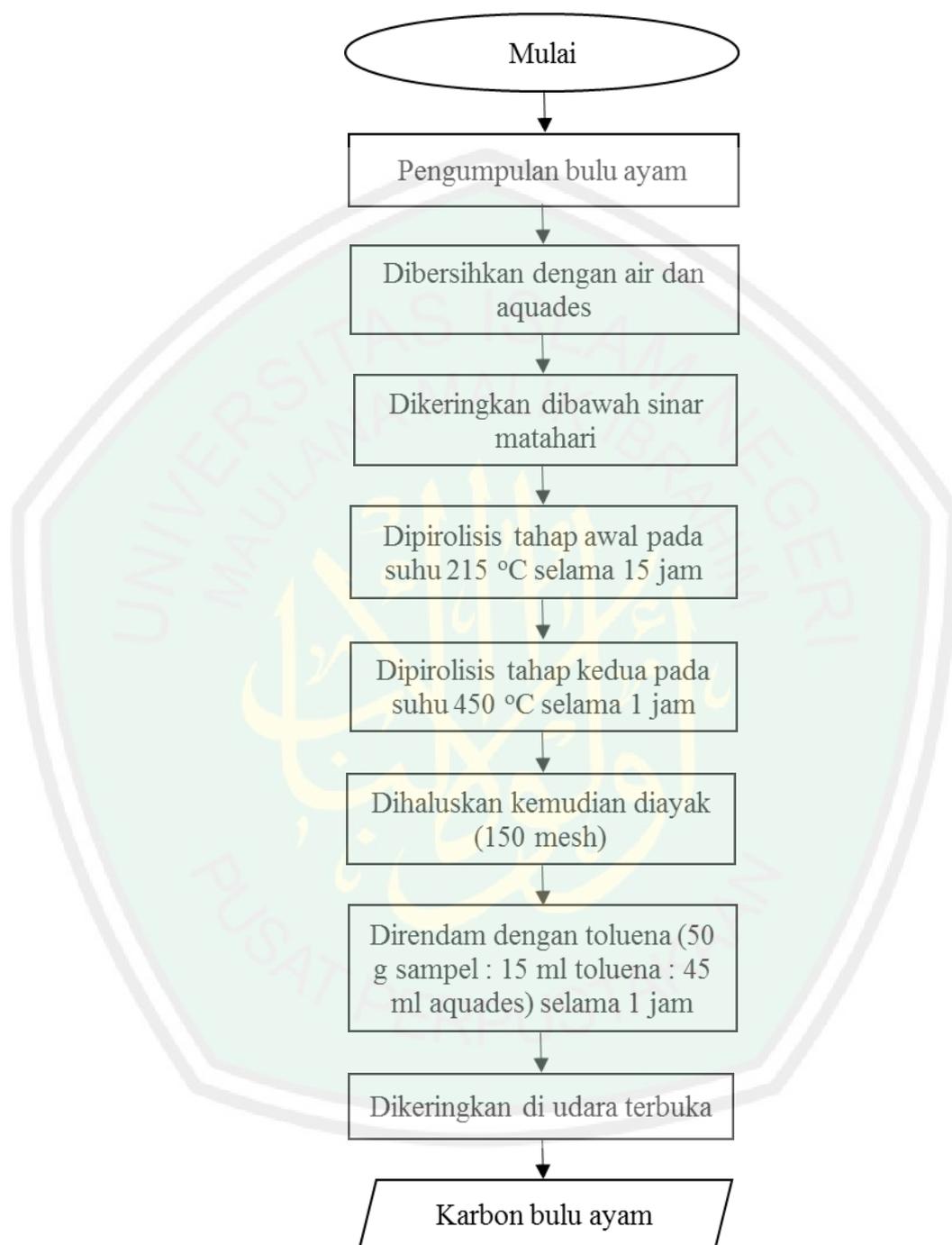
3.4.3 Pengujian Sifat Listrik

- a) Lembaran sampel kering diolesi dengan perak cair kemudian dipotong bagian tepinya.
- b) Pengujian menggunakan RCL meter dilakukan untuk mengetahui sifat listrik dari elektroda dengan parameter resistansi, kapasitansi dan konduktivitas.



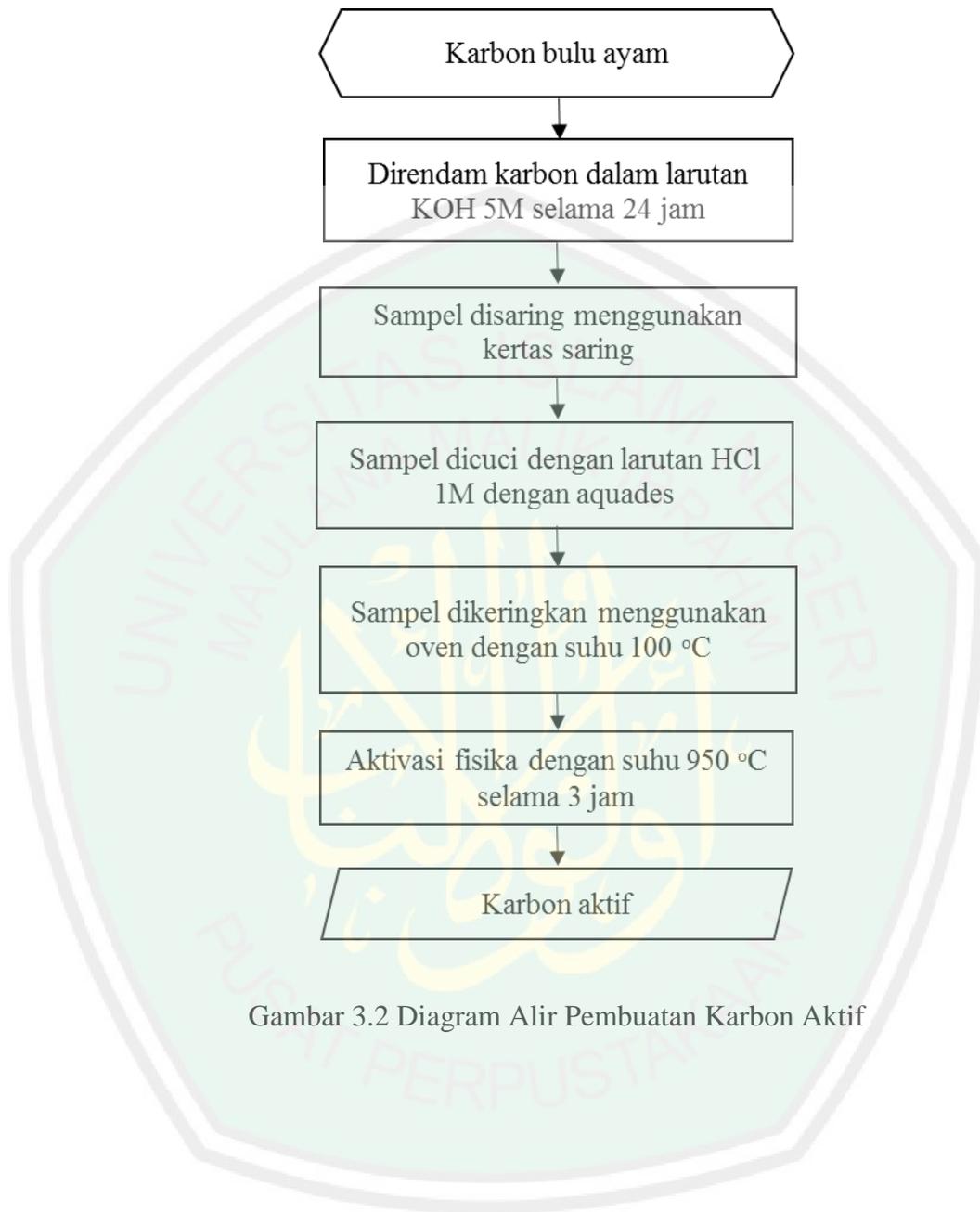
3.5 Diagram Alir Penelitian

3.5.1 Diagram Alir Proses Karbonisasi Bulu Ayam



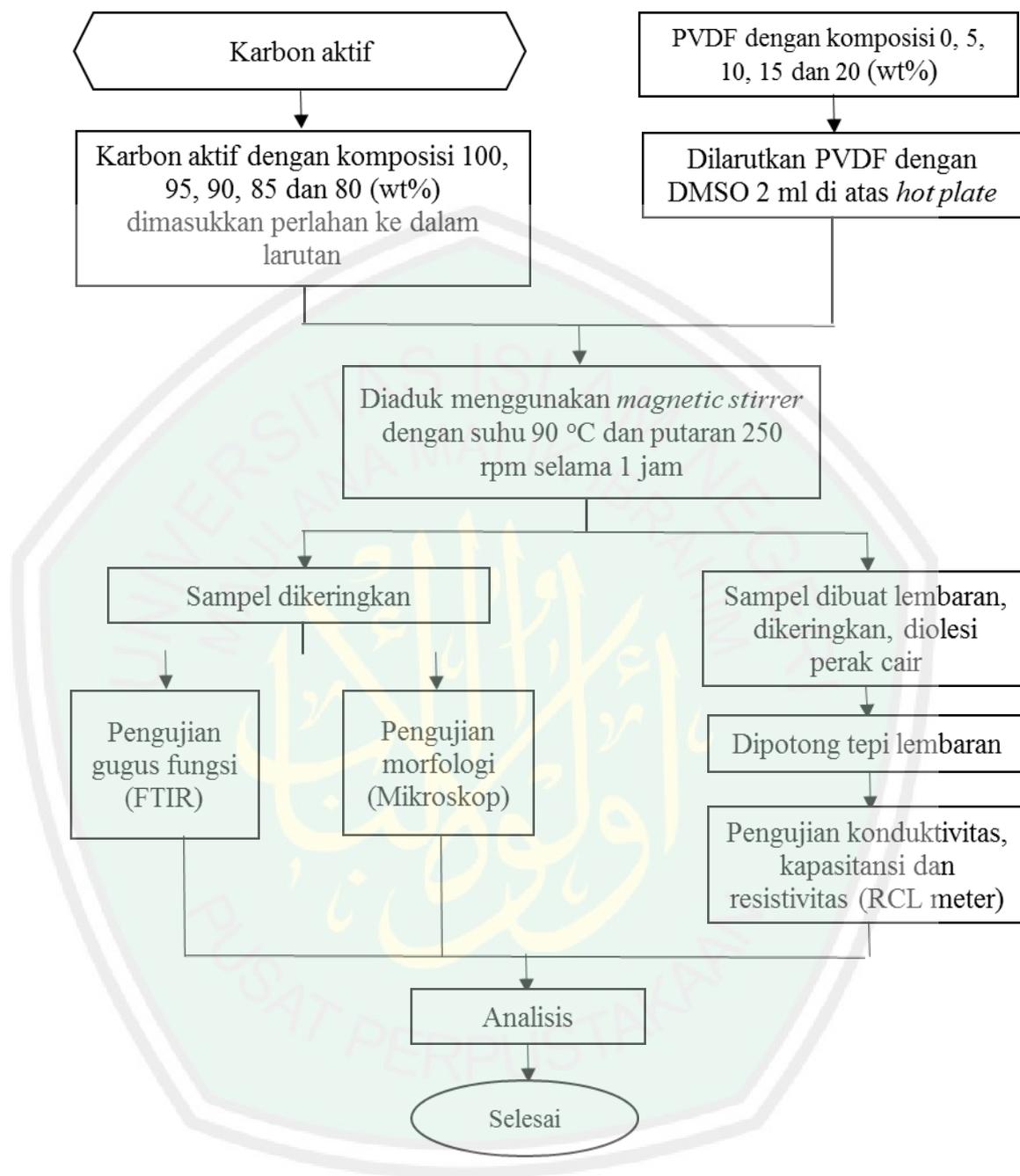
Gambar 3.1 Diagram Alir Karbonisasi Bulu Ayam

3.5.2 Diagram Alir Pembuatan Karbon Aktif



Gambar 3.2 Diagram Alir Pembuatan Karbon Aktif

3.5.3 Diagram Alir Pembuatan dan Pengujian Komposit KA-PVDF



Gambar 3.3 Diagram Alir Pembuatan dan Pengujian Komposit KA-PVDF

3.6 Pengambilan Data

3.6.1 Karakterisasi FTIR(Fourier Transform Infra-Red Spectroscopy)

Karakterisasi dengan menggunakan FTIR bertujuan untuk mendeteksi gugus fungsi, mengidentifikasi senyawa dan menganalisis campuran dari sampel. Data yang diperoleh berupa grafik yang menginformasikan data gugus fungsi. Data tersebut kemudian dianalisis secara deskriptif untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi karbon aktif-PVDF.

Tabel 3.1 Hasil Pengujian Menggunakan FTIR

No.	Sampel (Karbon:PVDF)	Bilangan Gelombang (1/cm)	Gugus Fungsi
1	100 wt%:0wt%		
2	95 wt%:5 wt%		
3	90 wt%:10 wt%		
4	85 wt%:15 wt%		
5	80 wt%:20 wt%		

3.6.2 Karakterisasi Mikroskop Digital

Informasi yang akan diberikan dari hasil Mikroskop Digital yaitu morfologi permukaan dan sebaran sampel.

3.6.3 Karakterisasi LCR meter

Uji sifat listrik digunakan LCR meter frekuensi 500 Hz sampai 5 MHz dengan kenaikan frekuensi sebesar 100 Hz. Didapatkan data keluaran LCR meter sebagai berikut:

Tabel 3.2 Hasil Pengukuran Menggunakan LCR meter

No.	Sampel (Karbon:PVDF)	f (Hz)	Cp (F)	D	Rp (Ω)	Θ
1	95 wt%:5 wt%					
2	90 wt%:10 wt%					
3	85 wt%:15 wt%					
4	80 wt%:20 wt%					

Data hasil pengukuran menggunakan LCR meter kemudian dihitung nilai, Konduktivitas, Resistivitas, Kapasitansi, Permeativitas riil dan Permeativitas imajiner, menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Permeativitas riil } (\epsilon r') = \frac{\epsilon r^2}{A \epsilon_0}$$

$$\text{Permeativitas imajiner } (\epsilon r'') = \epsilon r' D$$

$$\text{Kapasitansi area (C)} = \frac{C_p}{A}$$

$$\text{Konduktivitas } (\sigma) = \frac{1}{\rho}$$

Dari persamaan tersebut kemudian dilakukan pengeplotan menggunakan aplikasi origin antara variasi sampel dengan nilai konduktivitas, resistivitas dan kapasitansi serta frekuensi dengan nilai permitivitas riil dan imajiner. Hasil plot

kemudian dianalisis secara deskriptif untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi karbon aktif-PVDF terhadap sifat listrik (konduktivitas, resistivitas, kapasitansi serta permitivitas riil dan imajiner).



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Keratin dibuat dari bulu ayam yang dibersihkan dengan air kemudian dikeringkandengan suhu 32 °C selama ± 48 jam. Bulu ayam dipirolisis pada suhu 215 °C dengan *holding time* 15 jam, kemudian suhu dinaikan sampai 450 °C selama 1 jam. Kecepatan kenaikan suhu yaitu 3 °C/menit. Pemanasan dilakukan dalam keadaan hampa udara.

Karbon bulu ayam diayak dengan ukuran 150 mesh. Serbuk karbon direndam selama satu jam dalam larutan toluena untuk menghilangkan zat pengotornya. Serbuk disaring dan dikeringkan di udara terbuka selama ± 48 jam. Karbon diaktivasi kimia atau direndam menggunakan larutan KOH 5M selama 24 jam. Karbon disaring dan dicuci dengan HCl 1M hingga pH serbuk netral (6 – 7), kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 100 °C selama 2 jam. Serbuk diaktivasi fisika menggunakan suhu 950 °C selama 3 jam dengan kenaikan suhu 5 °C/menit.

4.1.1 Pembuatan dan Pengujian Elektroda KA -PVDF

Bahan yang digunakan untuk pembuatan elektroda adalah karbon aktif dan PVDF dengan pelarut DMSO. Komposisi karbon aktif-PVDF yang digunakan adalah 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 dan 80:20 (wt%). Komposisi karbon aktif-PVDF dapat dilihat pada tabel 4.1. Pembuatan elektroda dimulai dengan menuangkan larutan DMSO 2 ml ke dalam *beaker glass*, kemudian dipanaskan menggunakan *hot plate* dengan suhu 90 °C/ 250 rpm. Setelah temperatur stabil, PVDF dilarutkan dengan DMSO di dalam *beaker glass*.Proses selanjutnya material karbon aktif

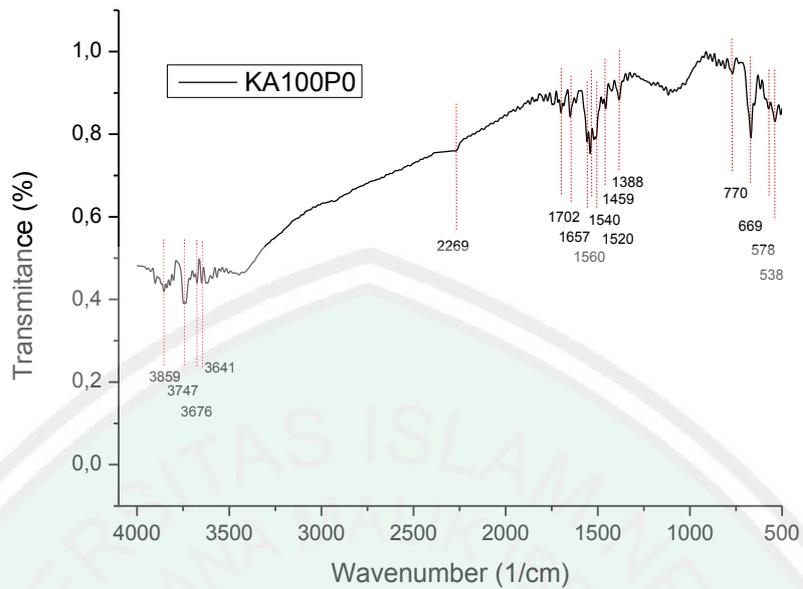
dimasukkan secara perlahan-lahan ke dalam larutan selama ± 1 jam sampai terbentuk gel. Sampel kemudian dikeringkan pada suhu ruang lalu dilakukan pengujian gugus fungsi. Setelah itu, sebagian gel dilapiskan pada lembaran Cu-foil dan dikeringkan pada suhu ruangan.

Tabel 4.1 Komposisi Karbon Aktif-PVDF

No	Sampel (Karbon Aktif:PVDF)	Komposisi Karbon Aktif	Komposisi PVDF	Kode Sampel
1	95 wt%:5 wt%	1,0089 g	0,0531 g	KA ₉₅ P ₅
2	90 wt%:10 wt%,	0,6156 g	0,0684 g	KA ₉₀ P ₁₀
3	85 wt%:15 wt%,	0,278 g	0,049 g	KA ₈₅ P ₁₅
4	80 wt%:20 wt%	0,2164 g	0,0541g	KA ₈₀ P ₂₀

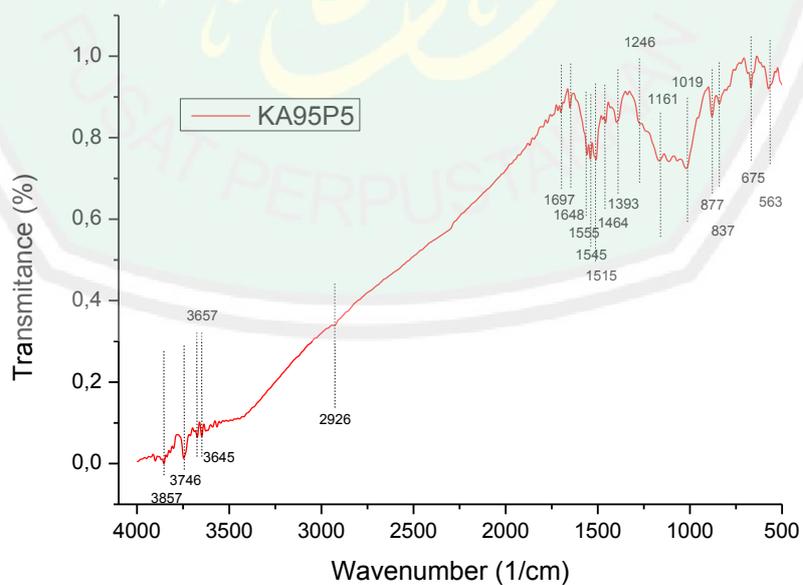
4.1.2 Hasil Pengujian Gugus Fungsi

Sampel yang sudah dibagi berdasarkan variasi komposisi karbon aktif-PVDF kemudian diuji menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) Varian 1000 *Scimitar Series*. Penggunaan FTIR bertujuan untuk mengetahui spektrum yang dihasilkan dari setiap sampel yang diuji. Data hasil yang digunakan adalah panjang gelombang dan transmitansi yang dihasilkan setiap sampel. Panjang gelombang dari FTIR menunjukkan vibrasi struktur kimia yang terkandung dalam sampel, sedangkan transmitansi menunjukkan korelasi linier dengan variasi komposisi dari sampel. Grafik hasil pengujian gugus fungsi disajikan pada Gambar 4.1 sampai 4.5.



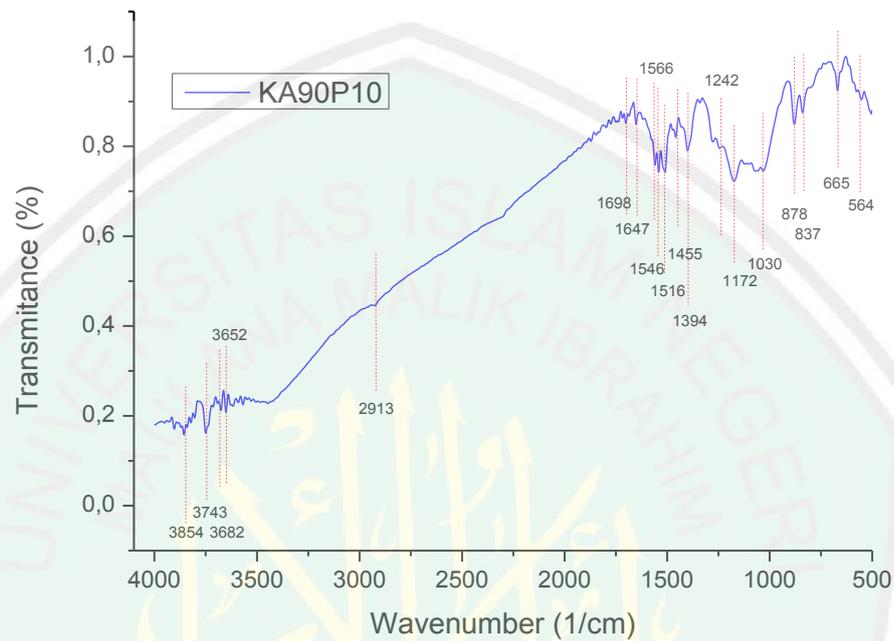
Gambar 4.1 Hasil Pengujian Gugus Fungsi KA₁₀₀P₀

Gambar 4.1 menunjukkan spektrum dihasilkan FTIR dari sampel variasi KA₁₀₀P₀, dengan komposisi karbon aktif 100 wt% dan PVDF 0 wt%. Pada grafik tersebut terdapat 15 pita serapan yang teridentifikasi.



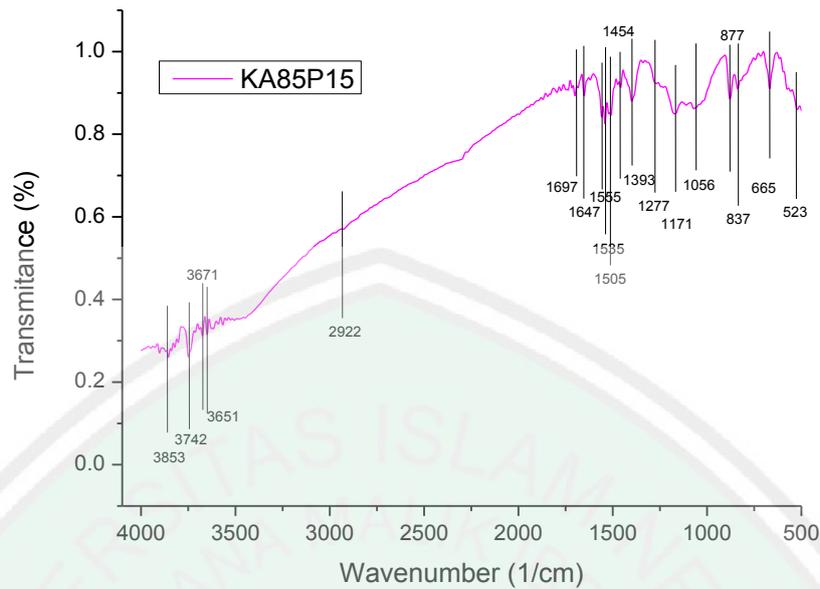
Gambar 4.2 Hasil Pengujian Gugus Fungsi KA₉₅P₅

Gambar 4.2 menunjukkan spektrum dihasilkan FTIR dari sampel variasi KA₉₅P₅, dengan komposisi karbon aktif 95 wt% dan PVDF 5 wt%. Pada grafik tersebut terdapat 19 pita serapan yang teridentifikasi.



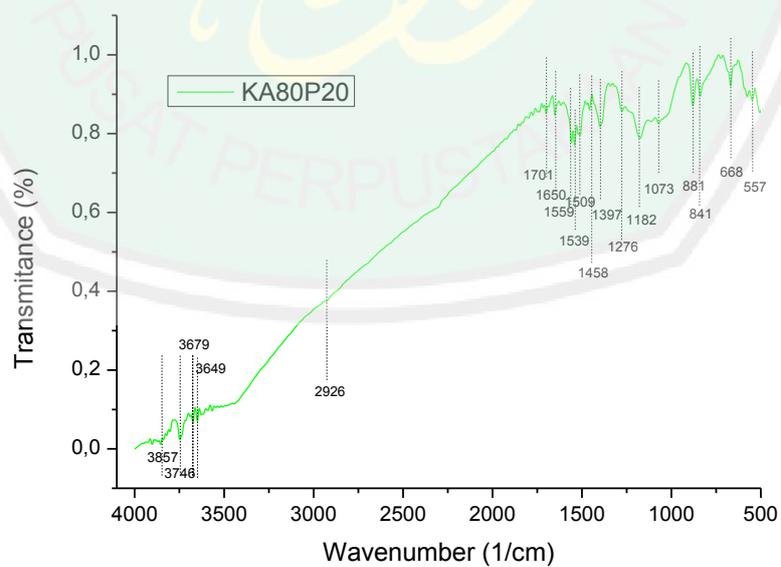
Gambar 4.3 Hasil Pengujian Gugus Fungsi KA₉₀P₁₀

Gambar 4.3 menunjukkan spektrum dihasilkan FTIR dari sampel variasi KA₉₀P₁₀, dengan komposisi karbon aktif 90 wt% dan PVDF 10 wt%. Pada grafik tersebut terdapat 19 pita serapan yang teridentifikasi.



Gambar 4.4 Hasil Pengujian Gugus Fungsi KA₈₅P₁₅

Gambar 4.4 menunjukkan spektrum dihasilkan FTIR dari sampel variasi KA₉₀P₁₀, dengan komposisi karbon aktif 85 wt% dan PVDF 15 wt%. Pada grafik tersebut terdapat 19 pita serapan yang teridentifikasi.



Gambar 4.5 Hasil Pengujian Gugus Fungsi KA₈₀P₂₀

Gambar 4.5 menunjukkan spektrum dihasilkan FTIR dari sampel variasi KA₉₀P₁₀, dengan komposisi karbon aktif 80 wt% dan PVDF 20 wt%. Pada grafik tersebut terdapat 19 pita serapan yang teridentifikasi.

Hasil pembacaan spektrum beberapa sampel variasi komposisi karbon aktif-PVDF menggunakan FTIR yaitu pada panjang gelombang antara 4000 cm⁻¹ sampai 500 cm⁻¹. Hasil pembacaan spektrum menggunakan FTIR disajikan pada Tabel 4.2.

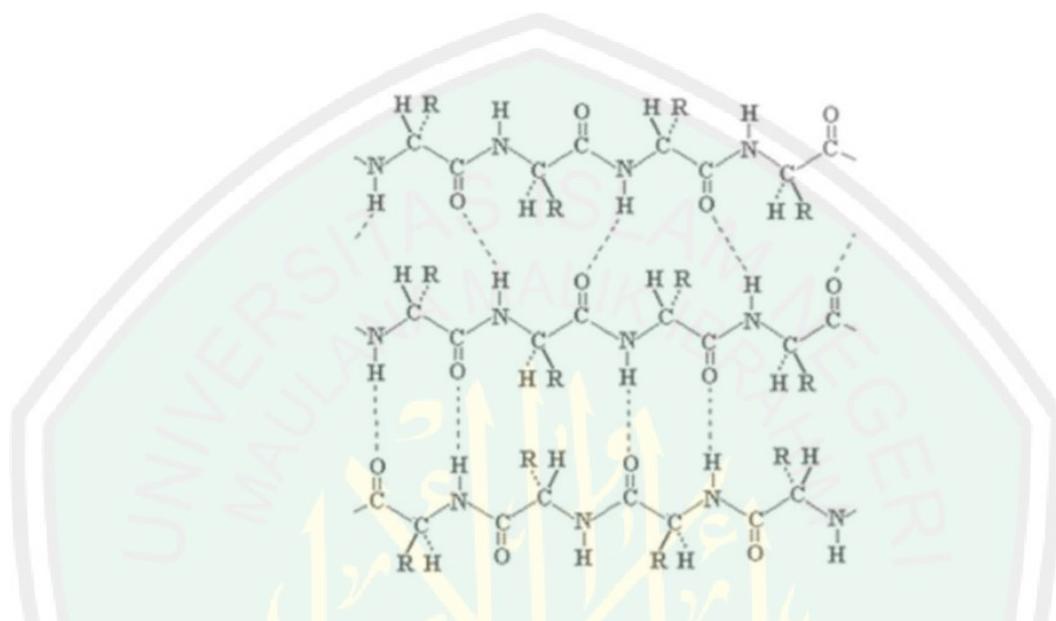
Tabel 4.2 Gugus Fungsi Pengaruh Komposisi Karbon Aktif-PVDF

Bilangan Gelombang (1/cm)					Gugus Fungsi
KA ₁₀₀ P ₀	KA ₉₅ P ₅	KA ₉₀ P ₁₀	KA ₈₅ P ₁₅	KA ₈₀ P ₂₀	
3899.583	3857.422	3854.891	3853.439	3857.128	C=O ketones
3747.094	3746.997	3743.556	3742.735	3746.862	CH-R <i>aldehydes</i>
3676.116	3657.742	3682.783	3671.845	3679.276	CH-R <i>aldehydes</i>
3641.788	3645.981	3652.342	3651.899	3649.112	CH-R <i>aldehydes</i>
3446.277	3505.941	-	-	-	O-H <i>alcohol</i>
2926.343	2913.601	2922.765	2926.398	-	C-H <i>stretching</i>
2269.981	-	-	-	-	C-H <i>stretching</i>
1742.655	-	-	-	-	C=O <i>stretching</i>
1702.691	1697.029	1698.561	1697.240	1701.089	C=O <i>carbonyl</i>
1651.651	1648.676	1647.899	1647.564	1650.167	C=O <i>stretching</i>
1560.092	1555.765	1566.349	1555.677	1559.943	C=O <i>stretching</i>
1541.041	1540.676	1541.321	1541.216	1541.184	N-H <i>bending</i>
1540.877	1545.781	1546.233	1535.899	1539.659	C=O <i>stretching</i>

1520.675	1515.899	1516.561	1505.788	1509.455	C=O <i>stretching</i>
1459.671	1464.566	1455.671	1454.099	1458.561	C-H <i>stretching</i>
1388.075	1393.348	1394.885	1393.559	1397.559	C-H <i>stretching</i>
-	1246.147	1242.761	1277.224	1276.887	C=C
-	1161.056	1172.992	1171.487	1182.595	CF ₂
-	1019.714	1030.842	1069.973	1073.482	CH ₂
-	877.414	878.862	837.561	881.485	CF ₂ <i>wagging deformation</i>
-	841.600	837.781	837.954	837.073	C-H <i>stretching</i>
770.591	-	-	-	-	C-S <i>stretching</i>
669.907	675.792	665.006	665.297	668.286	C-S <i>sulfides</i>
-	563.252	564.423	523.802	557.476	CF ₂

Spektrum gelombang FTIR pada semua sampel terdapat pita serapan pada bilangan gelombang pada rentang 3400 - 3750 cm⁻¹. Pita serapan tersebut mengidentifikasi adanya CH-R *aldehydes* yang merupakan gugus khas pada keratin (Farida, 2013). Selain itu, terdapat bilangan gelombang sekitar 3500 cm⁻¹ pada KA₁₀₀P₀ dan KA₉₅P₅ yang merujuk pada O-H *hidroksil*. Adanya gugus O-H *hidroksil* menunjukkan terbentuknya senyawa *aromatic* yang merupakan senyawa unsur penyusun karbon aktif. Puncak serapan sekitar 2900 cm⁻¹ dan 2200 cm⁻¹ mengindikasikan terbentuknya gugus fungsi C-H *stretching*. Gugus fungsi C-H *stretching* ini merupakan gugus fungsi pada keratin (Sun et al, 2009). Pada pita serapan rentang 1550 – 1750 cm⁻¹ terdapat gugus fungsi C=O *stretching* (Martinez et al, 2013). Selain itu dari semua sampel juga terdapat puncak serapan

pada daerah 1700 cm^{-1} . Puncak serapan tersebut mengindikasikan adanya $\text{C}=\text{O}$ *carbonyl* yang merupakan gugus khas pada keratin (Saravana et al, 2013). Daerah pita serapan pada daerah 1500 cm^{-1} mengindikasikan terbentuknya gugus $\text{C}=\text{O}$ *stretching*, gugus tersebut merupakan gugus pada keratin.



Gambar 4.6 Gugus fungsi keratin

Daerah serapan pada $1550\text{-}1640\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan bahwa terdapat gugus fungsi N-H *bending*. Gugus fungsi N-H *bending* merupakan gugus fungsi yang terkandung di dalam keratin (Farida, 2013). Selain itu dari semua sampel terdapat puncak serapan pada daerah 1300 cm^{-1} , dimana puncak serapan tersebut menunjukkan adanya gugus fungsi C-H *stretching*. Gugus fungsi C-H *stretching* merupakan gugus fungsi pada keratin (Sun et al, 2009). Puncak serapan pada daerah $620\text{ - }770\text{ cm}^{-1}$ merujuk pada gugus fungsi C-S *sulfides*. Gugus fungsi C-S *sulfides* merupakan senyawa unsur penyusun keratin (Martinez et al, 2013). Adanya gugus CH-R *aldehydes*, C-H *stretching*, $\text{C}=\text{O}$ *carbonyl*, N-H *bending* dan C-S *sulfides* mengindikasikan bahwa komposit karbon aktif-PVDF mengandung

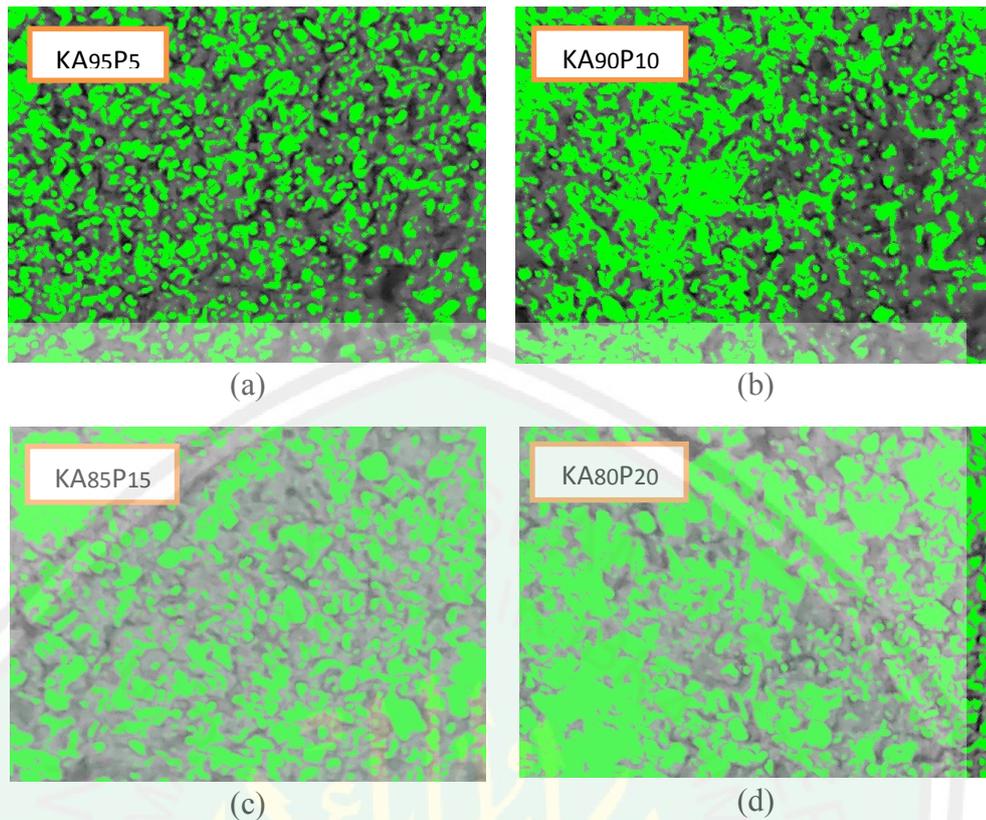
keratin. Keratin sendiri merupakan zat yang berpotensi sebagai bahan pembuat elektroda perangkat penyimpan energi.

Gugus fungsi CF_2 dan CH_2 merupakan senyawa khas pada polimer PVDF (Abd El-Salam et al, 2012). Hasil pengujian menggunakan FTIR menunjukkan beberapa pita serapan gugus CF_2 yaitu pada daerah 1100 cm^{-1} , 800 cm^{-1} dan 500 cm^{-1} . Selain itu gugus CH_2 berada pada daerah pita serapan 1000 cm^{-1} . Gugus CF_2 dan CH_2 tidak muncul pada sampel $\text{KA}_{100}\text{P}_0$, hal tersebut membuktikan bahwa CF_2 dan CH_2 merupakan gugus khas pada polimer PVDF. Gambar 4.1 menunjukkan bahwa semakin banyak komposisi polimer PVDF maka semakin tinggi puncak CF_2 dan CH_2 .

4.1.3 Hasil Sifat Fisik (Persebaran Karbon Aktif dan PVDF)

Sampel berupa lembaran yang dibagi berdasarkan variasi komposisi karbon aktif-PVDF kemudian dikarakterisasi sifat fisik menggunakan *Coolingtech Digital Microscope*. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui persebaran karbon aktif dan PVDF. Hasil gambar dari *OpticalMicroscope* kemudian diolah menggunakan *softwareImageJ*, untuk mengetahui sebaran karbon aktif dan PVDF.

Proses analisis menggunakan *ImageJ* yaitu dengan membuka software pada laptop kemudian pilih gambar yang akan diolah lalu pilih (image → 8 bit → image → adjust (threshold) → threshold (over/under)). Gambar hasil analisis disajikan pada Gambar 4.7. Gambar tersebut menunjukkan bahwa warna hitam merupakan karbon aktif dan warna hijau merupakan PVDF.



Gambar 4.7 Hasil pengujian menggunakan *optical microscope* dengan perbesaran 800x (a) KA95P5, (b) KA90P10, (c) KA85P15 dan (d) KA80P20.

Berdasarkan gambar 4.7 semakin besar komposisi PVDF pada sampel maka daerah berwarna hijau semakin luas. Komposisi PVDF yang semakin banyak dapat mengakibatkan peristiwa aglomerasi. Peristiwa aglomerasi dapat mempengaruhi sifat listrik suatu bahan (resistivitas, konduktivitas dan kapasitansi) (Daraghmen, 2017).

Gambar 4.7 (a) merupakan sampel KA95P5. Pada sampel tersebut diketahui bahwa PVDF dan karbon aktif terjadi persebaran yang homogen. Namun, keefektifan kontak antar komponen masih rendah. Gambar 4.7 (b) adalah sampel KA90P10. Penambahan komposisi PVDF menyebabkan area berwarna hijau semakin luas dan terjadi persebaran yang homogen antara PVDF dan karbon aktif. Keefektifan kontak yang terjadi antara PVDF dan karbon aktif meningkat.

Gambar 4.7 (c) merupakan sampel KA85P15. Dengan penambahan komposisi PVDF maka daerah berwarna hitam semakin sempit dan daerah berwarna hijau semakin luas. Pada sampel ini terjadi keefektifan kontak antar komponen dan *mechanical interlocking* secara maksimal. Pada KA85P15 belum terjadi proses aglomerasi. Gambar 4.7 (d) adalah sampel KA80P20. Sampel KA80P20 mengalami penurunan keefektifan kontak antar komponen dan mengalami proses aglomerasi serta keretakan. Proses tersebut mempengaruhi sifat listrik pada sampel.

4.1.4 Hasil Sifat Listrik (Konduktivitas, Resistivitas, Kapasitansi, Permittivitas Riil dan Imaginer)

Karakterisasi sifat listrik dilakukan menggunakan HIOKI 3532-50 LCR *Hitester*, pengujian LCR meter dilakukan untuk mengetahui nilai konduktivitas, resistivitas dan kapasitansi pada sampel. Output nilai pengukuran dari alat ini berupa Resistansi (R), Konduktansi (G) dan Kapasitansi (Cp) dengan frekuensi 1 MHz pada tegangan 1,5 Volt.

Konduktivitas yaitu kemampuan sebuah material untuk menghantarkan arus listrik. Nilai konduktivitas pada rangkaian bolak-balik (AC) diperoleh dari persamaan (Narider, 2003):

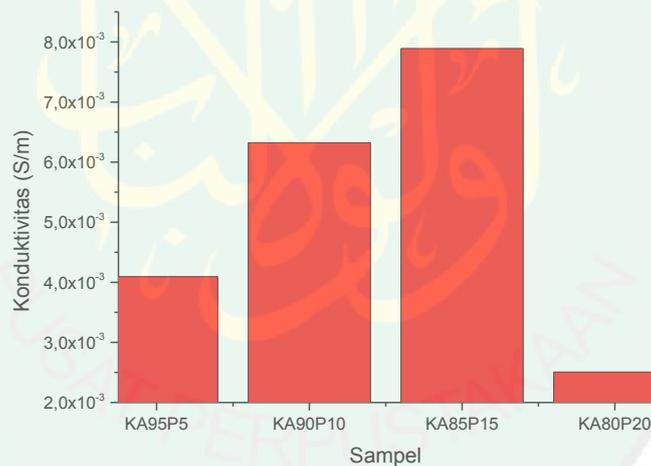
$$\sigma_{(\omega)} = \frac{G_{(\omega)} l}{A}$$

dimana σ (sigma) merupakan nilai konduktivitas dengan satuan (S/m), G adalah konduktansi (S), l (m) merupakan ketebalan sampel dan A (m²) luasan permukaan sampel. Hasil perhitungan nilai konduktivitas disajikan pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Nilai Konduktivitas Variasi Komposisi Karbon Aktif-PVDF

No	Sampel	Konduktansi (S)	Konduktivitas (S/m)
1.	KA ₉₅ P ₅	$5,388 \times 10^{-5}$	$4,094 \times 10^{-3}$
2.	KA ₉₀ P ₁₀	$1,050 \times 10^{-4}$	$6,321 \times 10^{-3}$
3.	KA ₈₅ P ₁₅	$2,780 \times 10^{-4}$	$7,889 \times 10^{-3}$
4.	KA ₈₀ P ₂₀	$4,690 \times 10^{-5}$	$2,505 \times 10^{-3}$

Dari tabel 4.3 kemudian dibuat plot grafik antara variasi komposisi karbon aktif-PVDF terhadap nilai konduktivitas di frekuensi 1 MHz yang ditunjukkan pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Pengaruh Variasi Komposisi Karbon Aktif-PVDF terhadap Nilai Konduktivitas

Gambar 4.8 menunjukkan sampel dengan variasi komposisi karbon aktif-PVDF terjadi kenaikan dan penurunan nilai konduktivitas. Nilai konduktivitas tertinggi yaitu $7,889 \times 10^{-3}$ (S/m) pada sampel KA₈₅P₁₅. Sedangkan nilai konduktivitas terendah adalah $2,505 \times 10^{-3}$ (S/m) pada KA₈₀P₂₀.

Nilai resistivitas berbanding terbalik dengan nilai konduktivitas. Resistivitas yaitu kemampuan suatu bahan atau material untuk menahan arus listrik. Nilai resistivitas pada rangkaian bolak-balik (AC) diperoleh dari persamaan (Narider, 2003):

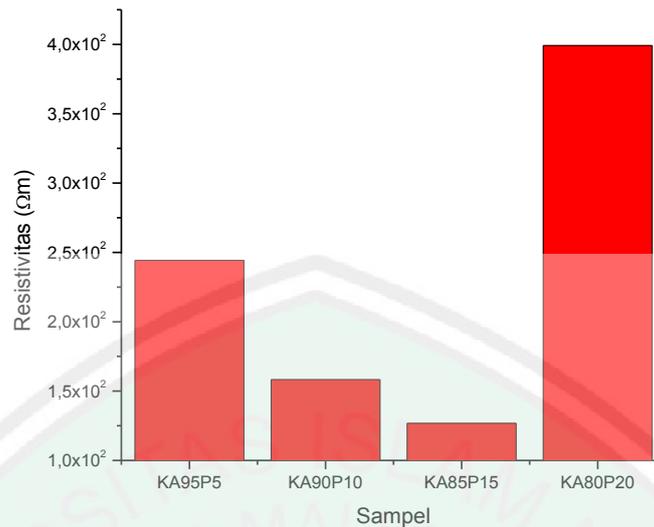
$$\rho(\omega) = \frac{1}{\sigma(\omega)}$$

dimana ρ (rho) merupakan nilai resistivitas dengan satuan (Ωm) dan σ (sigma) merupakan nilai konduktivitas dengan satuan (S/m). Hasil perhitungan nilai resistivitas disajikan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Nilai Resistivitas Variasi Komposisi Karbon Aktif-PVDF

No	Sampel	Resistivitas (Ωm)
1.	KA ₉₅ P ₅	2,44 x 10 ²
2.	KA ₉₀ P ₁₀	1,58 x 10 ²
3.	KA ₈₅ P ₁₅	1,26 x 10 ²
4.	KA ₈₀ P ₂₀	3,99 x 10 ²

Dari tabel 4.4 kemudian dibuat plot grafik antara variasi komposisi karbon aktif-PVDF terhadap nilai resistivitas pada frekuensi 1 MHz yang ditunjukkan pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Pengaruh Variasi Komposisi Karbon Aktif-PVDF terhadap Nilai Resistivitas

Gambar 4.9 menunjukkan sampel dengan variasi komposisi karbon aktif-PVDF terjadi perubahan nilai resistivitas. Nilai resistivitas terkecil yaitu $1,26 \times 10^2$ (Ωm) pada sampel KA₈₅P₁₅. Sedangkan nilai resistivitas tertinggi sebesar $3,99 \times 10^2$ (Ωm) pada sampel KA₈₀P₂₀.

Kapasitansi merupakan kemampuan suatu bahan untuk menyimpan muatan listrik. Nilai kapasitansi area dapat dihitung menggunakan persamaan:

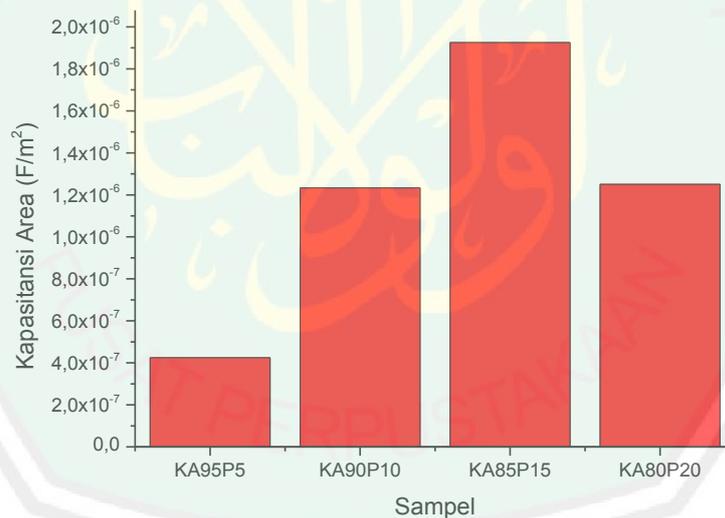
$$C_{area} = \frac{Cp(\omega)}{A}$$

dimana C area merupakan nilai kapasitansi area dengan satuan F/m², Cp adalah nilai kapasitansi (F) dan A (m²) merupakan luas permukaan sampel.

Tabel 4.5 Nilai Kapasitansi Variasi Komposisi Karbon Aktif-PVDF

No	Sampel	Kapasitansi area (F/m ²)
1.	KA ₉₅ P ₅	4,24 x 10 ⁻⁷
2.	KA ₉₀ P ₁₀	1,23 x 10 ⁻⁶
3.	KA ₈₅ P ₁₅	1,92 x 10 ⁻⁶
4.	KA ₈₀ P ₂₀	1,25 x 10 ⁻⁶

Dari tabel 4.5 kemudian dibuat plot grafik antara variasi komposisi karbon aktif-PVDF terhadap nilai kapasitansi area pada frekuensi 1 MHz yang ditunjukkan pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik Hubungan Variasi Sampel dengan Nilai Kapasitansi Area.

Gambar 4.10 memberikan informasi bahwa variasi komposisi karbon aktif-PVDF menghasilkan nilai kapasitansi maksimal pada sampel KA₈₅P₁₅

dengan nilai $2,717 \times 10^{-11}$ F. Sedangkan nilai kapasitansi terkecil memiliki nilai $6,364 \times 10^{-12}$ F pada sampel $KA_{95}P_5$.

Konstanta dielektrik adalah rapatnya fluks elektrostatik dalam suatu bahan bila diberi potensial listrik. Sifat dielektrik listrik meliputi permitivitas riil (ϵ') dan permitivitas imajiner (ϵ''). Sifat ini dapat diketahui dengan pemberian medan listrik luar pada frekuensi tertentu sehingga menimbulkan adanya polarisasi. permitivitas riil (ϵ') menunjukkan kemampuan bahan untuk menyimpan energi listrik.

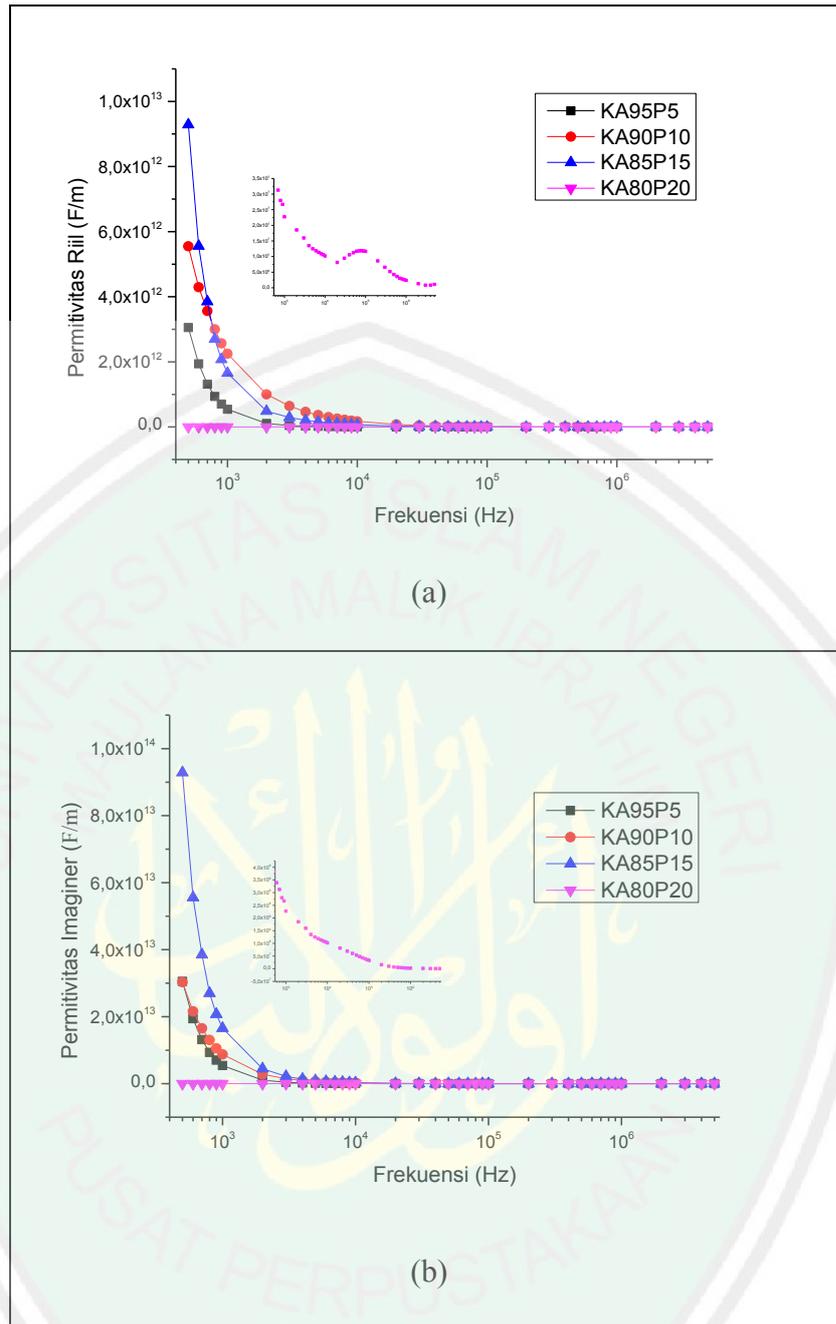
Permitivitas riil dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\epsilon'(\omega) = \frac{\epsilon_r^2}{A \epsilon_0}$$

Sedangkan nilai permitivitas imajiner dihitung menggunakan persamaan:

$$\epsilon''(\omega) = \epsilon' D$$

dengan D menyatakan besarnya daya yang hilang di dalam kapasitor (faktor disipasi)



Gambar 4.11 Grafik Hubungan Frekuensi dengan Permittivitas Riil(a) dan grafik Hubungan Frekuensi dengan Permittivitas Imaginer (b).

Gambar 4.11 (a) menunjukkan penambahan PVDF dapat meningkatkan nilai permittivitas riil dan nilai optimum pada sampel KA₈₅P₁₅. Nilai permittivitas riil minimum pada sampel KA₈₀P₂₀. Variasi komposisi karbon aktif-PVDF memiliki nilai permittivitas riil yang tinggi pada frekuensi rendah. Pada frekuensi tinggi maka nilai permittivitas riil bernilai rendah.

Permittivitas imajiner (ϵ'') menyatakan kemampuan bahan dielektrik untuk menghamburkan atau melepaskan energi. Nilai permittivitas imajiner selalu positif dan besarnya lebih kecil dari permittivitas riil.

Gambar 4.11 (b) menunjukkan bahwa kenaikan frekuensi menyebabkan penurunan nilai permittivitas imajiner sampel. Sampel memiliki nilai permittivitas imajiner rendah pada frekuensi tinggi dan nilai permittivitas imajiner tinggi pada frekuensi rendah. Nilai permittivitas imajiner tertinggi dimiliki oleh sampel KA₈₅P₁₅.

4.2 Pembahasan

Elektrodaperangkat penyimpan energi pada penelitian ini dibuat dari komposit yang terdiri dari karbon aktif sebagai penguat dan PVDF sebagai matriks. Pembuatan komposit pada penelitian ini berdasarkan variasi komposisi karbon aktif-PVDF. Komposisi yang digunakan adalah 100:0, 95:5, 90:10, 85:15 dan 80:20 (wt%). Variasi komposisi karbon aktif-PVDF dapat mempengaruhi intensitas absorbansi pada pengujian gugus fungsi, mempengaruhi persebaran karbon aktif-PVDF dan meningkatkan sifat listrik. Sehingga pada penelitian ini dibuat elektroda perangkat penyimpan energi dengan tujuan untuk mengetahui komposisi optimum serta pengaruhnya terhadap gugus fungsi, sifat fisis (persebaran karbon aktif dan PVDF) dan sifat listrik (konduktivitas, resistivitas, kapasitansi) dari sampel.

Mekanisme terbentuknya pita serapan khas disebabkan oleh interaksi vibrasi ikatan kimia yang menyebabkan perubahan polarisabilitas dengan medan listrik gelombang elektromagnetik. Terdapat dua macam vibrasi molekul, yaitu vibrasi ulur dan vibrasi tekuk. Dimana hanya vibrasi yang menghasilkan

perubahan momen dwikutub secara berirama saja yang teramati di dalam inframerah. Adanya sebuah puncak serapan pada sampel dalam daerah gugus fungsi menunjukkan bahwa gugus fungsi tertentu ada di dalam sampel. Demikian pula, apabila puncak serapan tidak terbentuk maka gugus fungsi tidak terbentuk.

Analisa data *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) menunjukkan bahwa variasi komposisi karbon aktif-PVDF mengandung gugus fungsi *CH-R aldehydes*, *C-H stretching*, *C=O carbonyl*, *N-H bending* dan *C-S sulfides* yang mengindikasikan komposit karbon aktif-PVDF mengandung keratin. Identifikasi zat keratin diketahui dengan terbentuknya gugus fungsi *N-H*, *CH-R*, *C-O*, *CH₂-S*, dan *CH₂* (Farida, 2013). Keratin merupakan zat yang berpotensi sebagai bahan pembuat elektroda perangkat penyimpanan energi. Pada sampel menunjukkan bahwa keempat sampel menghasilkan gugus fungsi *CH₂* dan *CF₂*, dimana kedua gugus fungsi tersebut merupakan gugus khas pada polimer PVDF.

Variasi komposisi karbon aktif-PVDF dapat mempengaruhi intensitas pita serapan pada sampel. Pada bilangan gelombang 3747 cm^{-1} , 1699 cm^{-1} , 1541 cm^{-1} dan 669 cm^{-1} menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan PVDF maka puncak gugus fungsi *CH-R aldehydes*, *C=O carbonyl*, *N-H bending* dan *C-S sulfides* semakin rendah. Menurunnya intensitas serapan tersebut disebabkan oleh berkurangnya komposisi karbon aktif, dimana *CH-R aldehydes*, *C=O carbonyl*, *N-H bending* dan *C-S sulfides* merupakan gugus khas pada keratin. Pertambahan komposisi PVDF juga mempengaruhi intensitas serapan gugus khas pada polimer PVDF. Puncak serapan pada daerah 1167 cm^{-1} dan 880 cm^{-1} menunjukkan bahwa semakin berkurang komposisi karbon aktif maka puncak gugus fungsi *CF₂*

semakin tinggi. Meningkatnya intensitas serapan disebabkan oleh bertambahnya komposisi polimer PVDF, dimana CF_2 merupakan gugus khas pada PVDF.

Hasil analisa gambar *optical microscop* menunjukkan semakin besar komposisi PVDF pada sampel maka daerah berwarna hijau semakin luas dan peluang terjadinya keretakan dalam suatu daerah pada sampel semakin besar. Komposisi PVDF yang tepat mampu mencegah terjadinya keretakan. Pada sampel dengan komposisi PVDF 5 wt% - 15 wt% terjadi persebaran yang homogen. Sedangkan pada komposisi PVDF 20 wt% sampel mengalami penurunan keefektifan kontak antar komponen sampel sehingga terjadi keretakan (Daraghmen, 2017).

Analisa sifat listrik menunjukkan bahwa nilai resistivitas, konduktivitas dan kapasitansi terbaik berada pada sampel $KA_{85}P_{15}$. Konduktivitas mengalami kenaikan pada variasi komposisi PVDF 5 wt% - 15 wt%. Kenaikan nilai konduktivitas diakibatkan oleh persebaran PVDF pada sampel yang homogen dan keefektifan kontak antara karbon aktif dan PVDF. Penambahan komposisi PVDF diatas 15 wt% mengakibatkan aglomerasi yang disebabkan oleh besarnya jumlah PVDF yang ditambahkan. Aglomerasi mengakibatkan ketidakhomogenan pada sampel sehingga PVDF hanya berkumpul pada satu bagian sampel dan bagian lain yang tersebar PVDF akan mengalami aglomerasi. Nilai resistivitas mengalami penurunan pada variasi komposisi PVDF 5 wt% - 15 wt% dan mengalami kenaikan pada komposisi PVDF diatas 15 wt%. Peristiwa tersebut dikarenakan nilai resistivitas berbanding terbalik dengan nilai konduktivitas. Semakin besar nilai konduktivitas maka nilai resistivitas semakin kecil, begitu pula sebaliknya. Nilai resistansi yang besar dapat menghambat gerak arus listrik.

Kapasitansi merupakan kemampuan suatu sampel untuk menyimpan energi. Kapasitansi dipengaruhi oleh luas permukaan sampel, ketebalan sampel dan permitivitas bahan. Nilai kapasitansi mengalami kenaikan pada variasi komposisi PVDF 5 wt% - 15 wt%. Kenaikan tersebut disebabkan oleh perubahan struktur sampel akibat variasi karbon aktif-PVDF. Variasi komposisi tersebut memiliki perubahan sifat elektrik yang ditandai dengan meningkatnya nilai permitivitas bahan (ϵ) yang sebanding dengan nilai kapasitansi. Komposisi PVDF diatas 15 wt% mengakibatkan kejenuhan pada sampel karbon aktif-PVDF. Kejenuhan tersebut disebabkan tertutupnya pori-pori karbon aktif oleh PVDF, sehingga nilai kapasitansi menurun.

Pada frekuensi rendah < 1 kHz, mekanisme polarisasi yang terjadi merupakan polarisasi *space charge* (muatan ruang) dimana nilai permitivitas riil dan imajiner menurun seiring bertambahnya frekuensi (Yongping, 2006). Polarisasi muatan ruang terjadi karena pemisahan muatan ruang, yang merupakan muatan bebas dalam ruang dielektrik, dengan proses ini terjadi pengumpulan muatan sejenis di dua sisi dielektrik. Secara mikroskopik penurunan nilai permitivitas riil dan imajiner seiring dengan kenaikan frekuensi pengukuran, dikarenakan ketika frekuensi yang diaplikasikan rendah maka elektron akan berosilasi dengan frekuensi yang sama dengan medan aplikasi dan semua mekanisme polarisasi dapat mengikuti medan aplikasi. Ketika frekuensi yang diaplikasikan sangat tinggi maka osilasi elektron tidak mampu mengikuti fluktuasi medan aplikasi, setelah itu pada frekuensi tinggi mekanisme polarisasi tidak dapat mengikuti medan aplikasi (Rahman, 2006). Terlihat bahwa nilai permitivitas riil

dan imajiner tertinggi yaitu pada sampel variasi komposisi KA₈₅P₁₅. Hal ini dikarenakan pada sampel tersebut merupakan komposisi yang tepat.

Bulu ayam membutuhkan suatu perlakuan sehingga dapat menghasilkan elektroda perangkat penyimpan energi yang baik, seperti firman-Nya pada Qs Ar-Rad (13:17),

أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَسَالَتْ أَوْدِيَهُ بِقَدَرِهَا فَاحْتَمَلَ السَّيْلُ زَبَدًا رَابِيًا وَمِمَّا يُوقِدُونَ عَلَيْهِ فِي النَّارِ ابْتِغَاءَ حَلِيَّةٍ أَوْ مَتَاعٍ زَبَدٌ مِثْلَهُ كَذَلِكَ يَضْرِبُ اللَّهُ الْحَقَّ وَالْبَاطِلَ فَأَمَّا الزَّبَدُ فَيَذْهَبُ جُفَاءً وَأَمَّا مَا يَنْفَعُ النَّاسَ فَيَمْكُثُ فِي الْأَرْضِ كَذَلِكَ يَضْرِبُ اللَّهُ الْأَمْثَالَ

“Allah telah menurunkan air (hujan) dari langit, maka mengalirlah air di lembah – lembah menurut ukurannya, maka arus itu membawa buih – buih yang mengambang. Dan dari apa (logam) yang mereka leburkan dalam api untuk membuat perhiasan atau alat – alat, ada (pula) buihnya seperti buih arus itu. Demikian Allah membuat perumpamaan (bagi) yang benar dan yang bathil. Adapun buih itu, akan hilang sebagai sesuatu yang tak ada harganya, adapun yang memberi manfaat kepada manusia, maka ia tetap di bumi. Demikian Allah membuat perumpamaan – perumpamaan.”

Suatu bahan akan memiliki nilai dan kegunaan yang lebih berharga jika diolah dengan baik. Hal tersebut dapat kita ambil contoh dari kalimat berikut (وَمِمَّا) *...dan dari apa (logam) yang mereka lebur dalam api untuk dijadikan perhiasan atau alat – alat...”. Ayat tersebut menjelaskan bahwa dari bahan dasar logam yang diolah dengan cara meleburnya dalam api maka akan menghasilkan perhiasan yang mahal dan alat – alat yang berguna (Al-Mahalli, 2008). Hal tersebut juga berlaku pada pembuatan material elektroda perangkat penyimpan energi. Bulu ayam tanpa perlakuan hanya akan menghasilkan limbah, sehingga bulu ayam perlu diolah untuk mendapatkan*

manfaat yang lebih banyak. Pengolahan dilakukan dengan metode khusus sehingga menghasilkan barang yang diinginkan. Bulu ayam sebagai bahan dasar diolah dengan cara dikarbonisasi, diaktivasi dan divariasikan komposisi, sehingga menghasilkan elektroda perangkat penyimpan energi.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini yaitu:

1. Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan, hasil pengujian gugus fungsi menunjukkan bahwa variasi komposisi karbon aktif-PVDF muncul gugus fungsi CH-R *aldehydes*, C-H *stretching*, C=O *carbonyl*, N-H *bending* dan C-S *sulfides* yang mengindikasikan komposit karbon aktif-PVDF mengandung keratin. Keempat sampel menghasilkan gugus fungsi CH₂ dan CF₂, dimana kedua gugus fungsi tersebut merupakan gugus khas pada polimer PVDF.
2. Variasi komposisi karbon aktif-PVDF dapat mempengaruhi persebaran karbon aktif dan PVDF. Hasil pengujian menggunakan *optical microscope* menunjukkan komposisi PVDF 5 wt% - 15 wt% terjadi persebaran yang homogen. Sedangkan pada komposisi PVDF 20 wt% sampel mengalami penurunan keefektifan kontak antar komponen sampel sehingga terjadi keretakan. Komposisi yang tepat mampu mencegah terjadinya keretakan atau *deffect* pada sampel. Sehingga menghasilkan sifat listrik yang maksimal.
3. Penambahan komposisi PVDF dapat mempengaruhi nilai konduktivitas, resistivitas, kapasitansi, permitivitas riil dan imajiner pada sampel. Peningkatan sifat listrik pada sampel disebabkan oleh keefektifan kontak antara karbon aktif dan PVDF. Keefektifan kontak yang tepat yaitu pada sampel KA₈₅P₁₅, dengan nilai konduktivitas $7,889 \times 10^{-3}$ S/m, nilai resistivitas $1,26 \times 10^2 \Omega\text{m}$ dan nilai kapasitansi area $1,92 \times 10^{-6}\text{F/m}^2$.

5.2 Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengaplikasikan hasil penelitian pada perangkat penyimpan energi.



DAFTAR PUSTAKA

- Abd-El-Salam, Eman Mohamed, dkk. 2012, "The impact of corporate image and reputation on service quality, customer satisfaction and customer loyalty: testing the mediating role Case analysis in an international service company" ,Journal of The Business & Management Review, Vol.3, Number-2, January 2013 p.177-196.
- Agustin, Almas A. 2017. (Skripsi). *Karakterisasi Keratin dengan Variasi KOH sebagai Bahan Anoda pada Baterai Litium*. Skripsi. Malang: UIN Malang.
- Albert, B. (1994). *Molecular Biology of the Cell*. 3rd ed. Garland Publisher, Inc. New York and London.
- Al-jazairi, Abu Bakar Jabir. 2009. *Tafsir Al Qur'an Al-Aisar jilid 6*. Jakarta Timur: Darus Sunnah.
- Al-Mahalli, I.J. 2008. *Terjemahan Tafsir Jalalain Berikut Asbabun Nuzul*. Jilid 1. Sinar Baru Algesindo. Bandung.
- Al-Quran dan Terjemahnya. 2015. Departemen Agama RI Jakarta: Forum Pelayanan Al-Quran.
- Bansal, Gagan, dkk. 2017. *Application and Properties of Chicken Feather Fiber (CFF) a Livestock Waste in Composite Material Development*. Journal of Graphic Era University. Vol. 5, Issue 1, 16-24.
- Basri, E., K. Hayashi, N. Hadjib and H. Roliadi. 2000. *The Qualities and Kiln Drying Schedules of Several Wood Species From Indonesia. Proceedings of The Third International Wood Science Symposium*, November 1 - 2, 2000 in Kyoto Japan. Pp. 43 - 48.
- Callister, William D. 2007. "Material Science and Engineering An Introduction". New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Campbell , F.C. 2010. *Structural Composite Materials* .ASM International Copyright.
- Cendrowski, Krzysztof, dkk. 2018. *PVDF and Carbon Derivative Structures from Eco-Friendly MOF-5 for Supercapacitor Electrode Preparation with*

Improved Electrochemical Performance. Journal Nanomaterials: University of Technology.

Chen, Yongping . 2006. *Effects Of Maxwell- Wagner Polarization on Soil Complex Dielectric Permittivity Under Variable temperature And Electrical Conductivity*. water resources research, vol.42, hal 1-14.

Conway. 1999. *Electrochemical Supercapacitors. Scientific Fundamentals and Technological Applications*. New York : Kluwer Academic/Plenum Publishers. Ch. 15.

Dorey, Robert. 2012. *Ceramic Thick for MEMS and Microdevices*. William Andrew Applied Science Publisher.

Farida, Amilatul. 2013. *Karakterisasi dan Analisis Struktur Kristal Komposit Zat Keratin dari Bulu Unggas dan Magnesium (Mg) dengan Metode Rietveld*. Skripsi. Malang: UIN Malang.

Farly, Tumimomor. 2017. *Pemanfaatan Karbon Aktif dari Bambu sebagai Elektroda Superkapasitor*. Jurnal Material: IPB.

Fitriani, Lisa.2012. *Studi Reaksi Reduksi CO₂ dengan Metode Elektrokimia Menggunakan Elektroda Cu*.Depok: Universitas Indonesia.

Gao, Zan, dkk. 2017. *Biomass-derived renewable carbon materials for electrochemical energy storage*. MATER.RES.LETT. 5:69-88.

Gibson, Ronald F. 1994. *Principles Of Composite Material Mechanics*. New York : Mc Graw Hill,Inc.

Gupta, Arun dan Swati Sharma. 2016. *Sustainable Management of Keratin Waste Biomass: Applications and Future Perspectives*. Braz. Arch. Biol. Technol. v.59: e16150684.

Hartanto, Singgih dan Ratnawati. 2010. *Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung kelapa Sawit dengan Metode Aktivasi Kimia*. *Jurnal sains Materi Indonesia*. Vol. 12. No. 1.

Hartomo, A.J. 1986. *Penyidikan Spektrometrik Senyawa Organik*. Penerbit Tiga Serangkai. Jakarta.

Hayashi, J., dkk. 2000. *Preparation of Activated carbon From Lignin by Chemical Activation*. *Journal of Carbon*.

Hindrayawati, N dan Alimuddin. 2010. *Sintesis dan Karakterisasi Silika Gel dari Abu Sekam Padi Dengan Menggunakan Natrium Hidroksida (NaOH)*. *Jurnal Kimia Mulawarman*. Vol. 7, No. 2. Hlm. 75-77.

Hwang, Yun Ju. 2008. *High Kapasitas Disordered Carbons Obtained from Coconut Shells as Anode Materials for Lithium Batteries*. *Journal of Alloy and Compounds*, vol 448:141-147.

J.M. Chem, dkk. 2012. *Hierarchical Nanocomposite of Polyaniline Nanorods Grown on the Surface of Carbon Nanotubes for High-Performance Supercapacitors Electrode*. 2774-2780

Khuluk, Rifki Husnul. 2016. *Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa (cocos nucifera L.) sebagai Absorben Bahan Warna Metilen Blue*. Skripsi. Lampung: Universitas Lampung.

Lehninger, A. L. 1995. *Dasar-Dasar Biokimia*. Edisi kelima. Jakarta: Erlangga.

Lempang, Mody. 2014. *Pembuatan dan Kegunaan Arang Aktif*. EBONI. 11:65-80.

Liew. R. K. et al. 2018. *Production of Activated Carbon as Catalyst Support by Microwave Pyrolysis of Palm Kernel Shell: A Comparative Study of Chemical Versus Physical Activation*. Springer Nature, vol. 44: 3849-3865.

Lovinger, Andrew J. 1981. *Polyvinylidene Fluoride*. Bell Lab: New Jersey.

Malacara, D., (1988), *Methods of Experimental Physics, Geometrical and Instrumental Optics*, Vol 25, Academic Press, Inc.

Manocha, Sathis M. 2003. *Porous Carbon*. *Sadhana*. 28: 33348.

Marsh, H. dan R. R. Francisco. 2006. *Activated Carbon*. Elsevier Science and Technology Books: Ukraina.

McKittrick et al. 2012. *The structure, functions, and mechanical properties of keratin*. *J Mater* 64: 449-468.

Mehta, P. Kumar (1986), "Concrete Structure, Properties and Materials", Prentice-Hall Inc, Englewood Cliffs, New Jersey.

Mullaivananathan, V. 2017. *Coir Pith Derived Bio-carbon: Demonstration of Potential Anode Behavior in Lithium-ion Batteries*. *Electrochimica Acta*, vol. 225; 143-150.

Neburchilov, V., Martin, J., Wang, H., Zhang, J. 2007. Review of Polymer Electrolyte Membranes for Direct Methanol Fuel Cells. *J. Power Sources*, 169: 221-238.

Newham, Robert E. 2005. *Properties Of Material*. New York: Oxford University Press.

Pine, S. 1980. *Kimia Organik*. Bandung: Terbitan Keempat. Penerbit ITB.

Puastuti, W. 2007. *Teknologi Pemrosesan Bulu Ayam dan Pemanfaatannya sebagai Sumber Protein Pakan Ruminansia*. Makalah Balai Penelitian Ternak. Bogor.

Rahayu, A. N. dan Adhitiyawarman. 2014. *Pemanfaatan Tongkol Jagung sebagai Adsorben Besi Pada Air Tanah*. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*. Vol. 3 No. 3.

Reed and Nagodawithana. 1993. *Enzymes in Food Processing (Food Science and Technology)*. San Diego Manning, F.C. and R.E. Thompson 1995. *Oilfield Processing, Crude Oil*. Tulsa, PennWell Books, p.5.

Rohmawati, Lydia, dkk. 2018. *Capacitance Sstability of Supercapacitor from Activated Carbon/PVDF Electrode*. *Atlantis Highlights in Engineering (AHE)*: UNESA.

Schmidt W.F. 2003. Polyethylene Reinforced with Keratin Fibers Obtained from Chicken Feathers. *Composite Science and Technology Journal* vol 65. US Departemen of Agriculture.

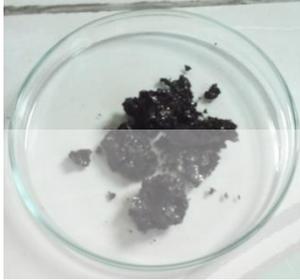
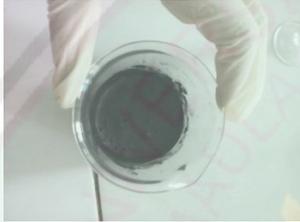
Schwartz, M.M, 1984, *Composite Material Handbook*, Mc Graw Hill, Singapore.

Sudibandriyo, M. & Mulyati S. 2008. Potensi Batu Bara Lokal Teraktivasi untuk Pengujian Limbah Air Benzene dan Toulune. *Jurnal Teknologi*. Depok. Edisi No. 4 tahun XXII Hal. 319-327.

- Sulistijono, 2013. *Material Komposit*. Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, ITS, Surabaya.
- Sun L., Shao R., Tang L.Q., Zhidong C : Synthesis of ZnFe₂O₄/ZnO Nanocomposites immobilized on Graphene with enhanced Photocatalytic Activity under Solar Light Irradiation. *Journal of Alloys and Compounds* 2013, 564:55–62.
- Van Vlack, L. H., 1992, *Ilmu dan Teknologi Bahan* (penerjemah Sriati Djaprie, 1980), Erlangga, Jakarta.
- Wang, Q., Q. Ciao, X. Wang, B. Jing, H. Kuang, dan L. Zhou. 2007. *A High-Capacity Carbon Prepared from Renewable Chicken Feather Biopolymer For Supercapacitor*. *Journal of Power Source* Vol. 225.
- Yokoyama, Shinya. 2008. *Panduan untuk Produksi dan Pemanfaatan Biomasa*. Jepang: Japan Institute of Energy.
- Zhang, Yingjie et al. 2012. *Research Progress on Binder of Activated Carbon Electrode*. *Advanced Materials Research*. Vol. 549, pp 780-784.
- Zhao, Zijian. 2015. *High Performance N-Doped Porous Activated Carbon based on Chicken Feather for Supercapacitor and CO₂ Capture*. *Royal Society of Chemistry*. Vol, 5: 34803-34811.

LAMPIRAN 1

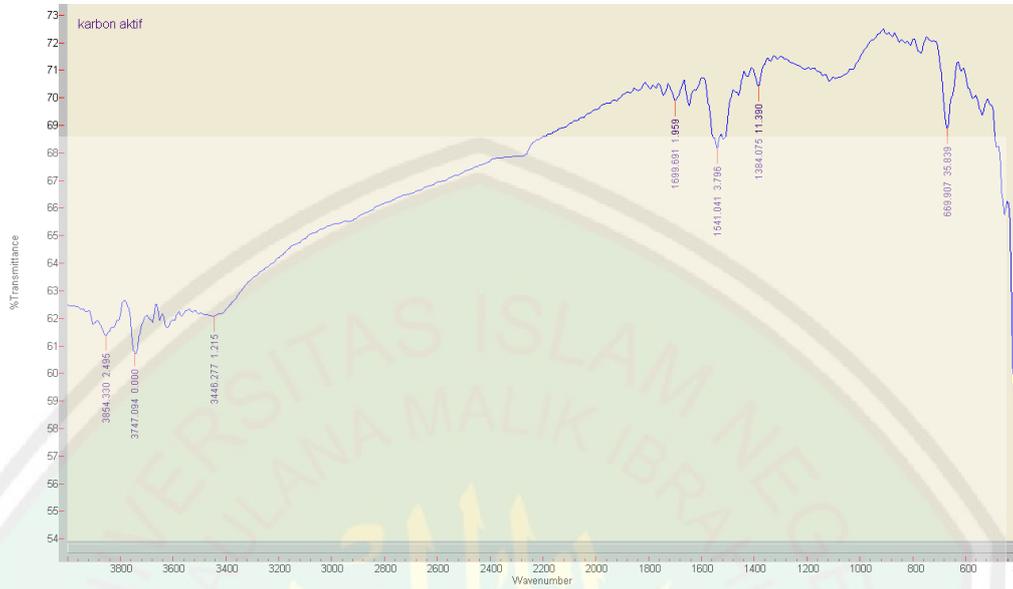
DOKUMENTASI PENELITIAN

<p>Proses Pirolisis</p> 	<p>Penghalusan Karbon</p> 
<p>Perendaman Karbon Dengan Toluena</p> 	<p>Aktivasi KOH 5M</p> 
<p>Cu untuk Pembuatan Elektroda</p> 	<p>PVDF sebagai Matriks</p> 
<p>Pembuatan Lembaran Elektroda</p> 	<p>DMSO sebagai Pelarut</p> 

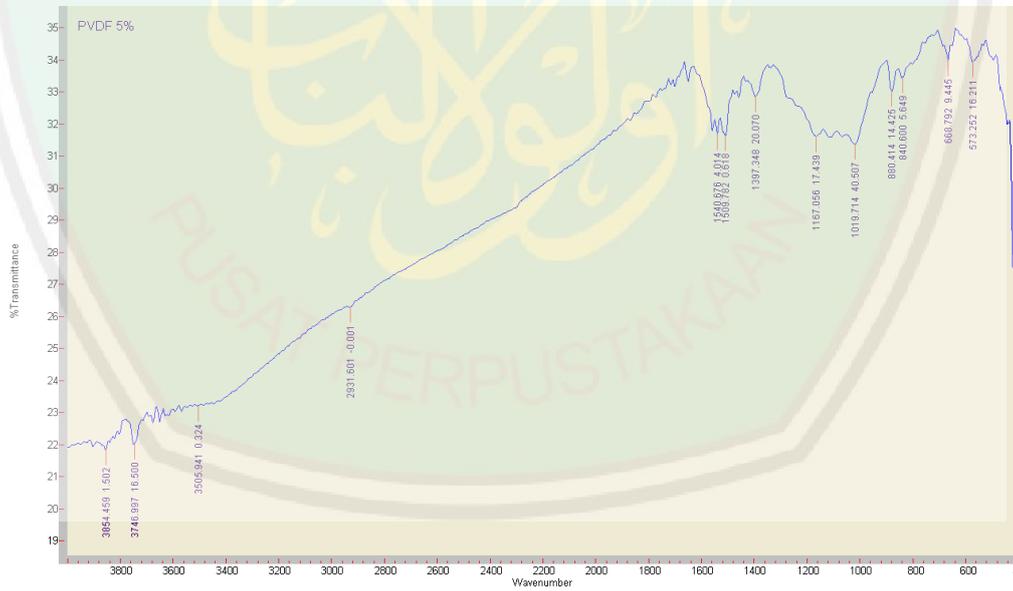
LAMPIRAN 2

HASIL PENGUJIAN GUGUS FUNGSI

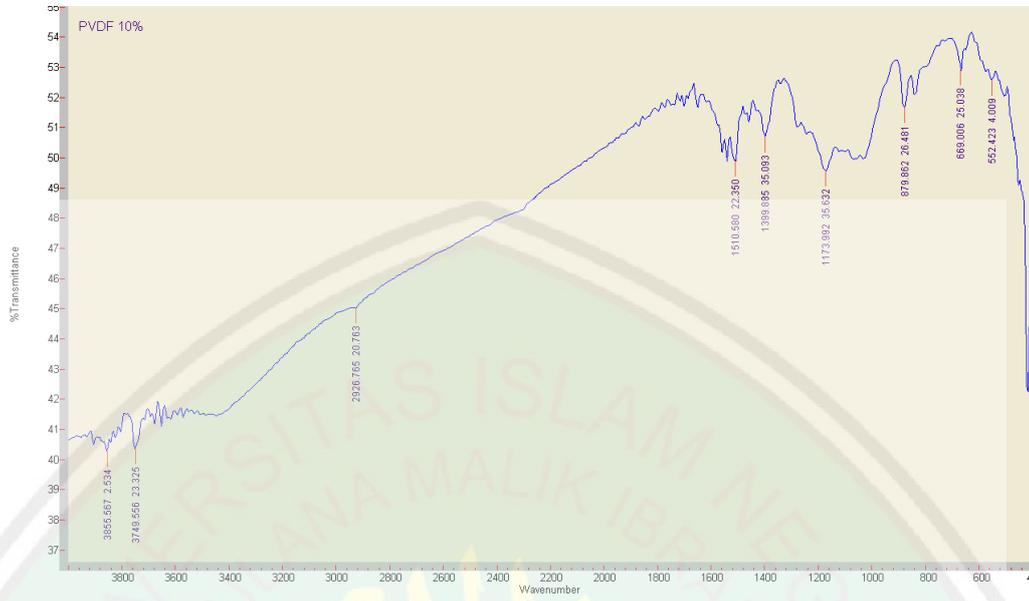
KA100P0



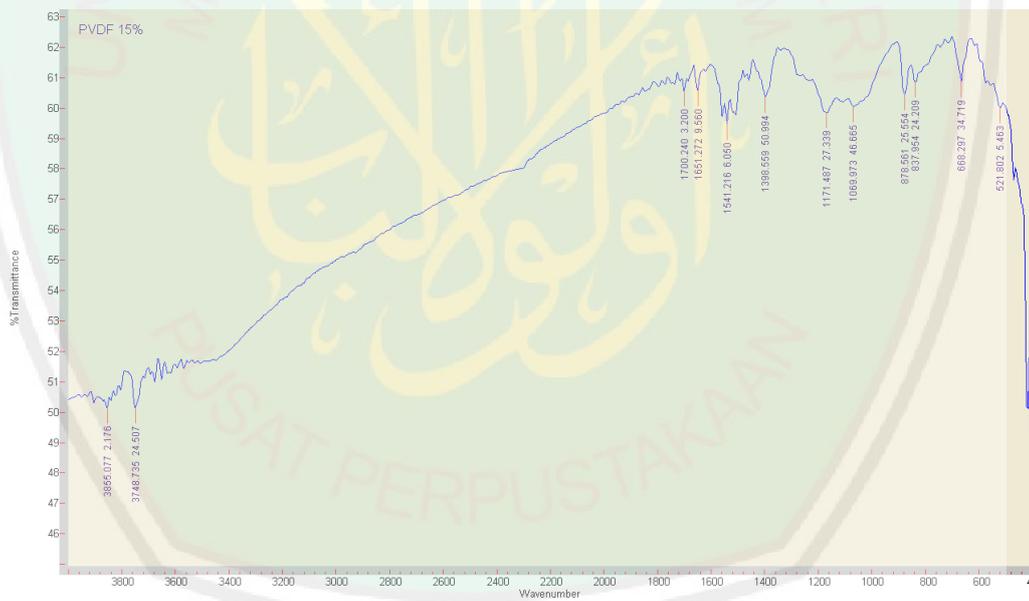
KA95P0



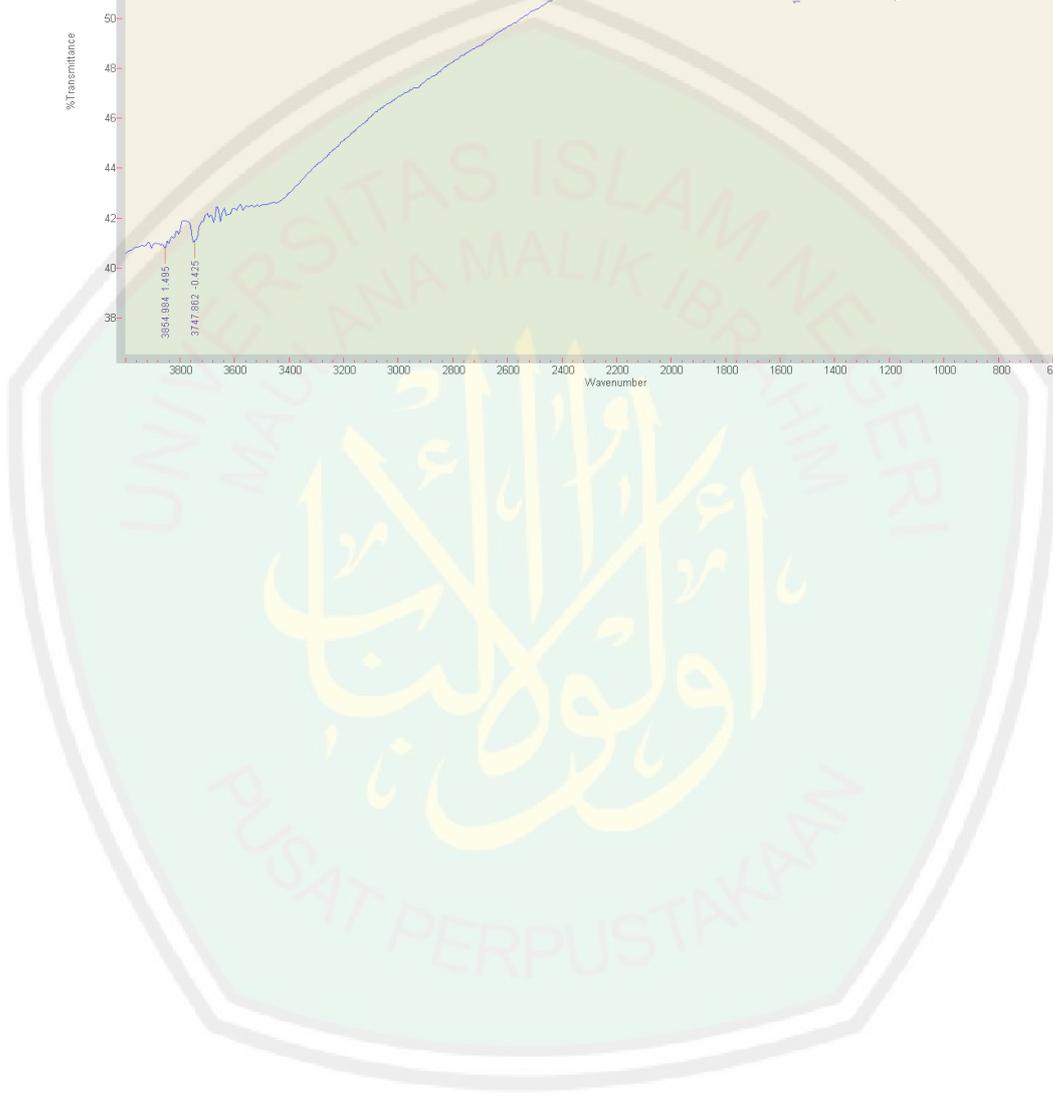
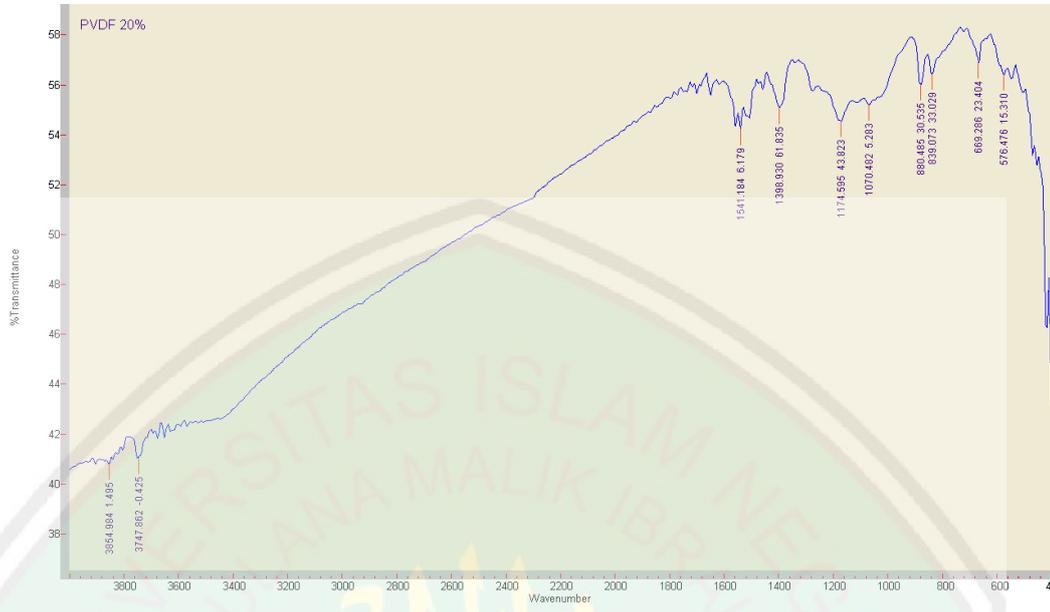
KA90P10



KA85P15



KA80P20





KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN)
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341) 551345 Fax. (0341) 572533

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Ilmi Irfana
NIM : 15640069
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika
Judul Skripsi : Pengaruh Komposisi Karbon Aktif-PVdF terhadap Sifat Listrik dan Fisik Elektroda Perangkat Penyimpan Energi
Pembimbing I : Erna Hastuti, M.Si
Pembimbing II : Ahmad Abtokhi, M.Pd

No	Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1	5 September 2019	Konsultasi Bab I, II, dan III	
2	17 September 2019	Konsultasi Bab I, II, dan III	
3	1 Oktober 2019	Konsultasi Bab I, II, dan III	
4	8 Oktober 2019	Konsultasi Bab I, II, III dan ACC	
5	15 Oktober 2019	Konsultasi Data Hasil Bab IV	
6	29 Oktober 2019	Konsultasi Data Hasil Bab IV	
7	1 November 2019	Konsultasi Bab IV	
8	5 November 2019	Konsultasi Bab IV	
7	12 November 2019	Konsultasi Bab IV	
8	21 Januari 2020	Konsultasi Kajian Agama	
9	28 Januari 2020	Konsultasi Kajian Agama dan ACC	
10	23 April 2020	Konsultasi Semua Bab, Abstrak dan ACC	

Malang, 23 April 2020

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika,

Drs. Abdul Basid, M.Si

NIP. 19650504 199003 1 003