



**SINTESIS DAN KARAKTERISASI MATERIAL KOMPOSIT
POLIANILIN (PANI)-SELULOSA DENGAN METODE VPP (*VAPOR
PHASE POLYMERIZATION*)**

PROPOSAL SKRIPSI

Oleh

Ayu Widhia Sari

NIM 171810301040

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS JEMBER

2022



**SINTESIS DAN KARAKTERISASI MATERIAL KOMPOSIT
POLIANILIN (PANi)-SELULOSA DENGAN METODE VPP (*VAPOR
PHASE POLYMERIZATION*)**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program studi Kimia (S1) dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh

Ayu Widhia Sari

NIM 17181031040

JURUSAN KIMIA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS JEMBER

2022

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Ayahanda Nahdlo, S. Pd. Dan Ibunda Naning Ispariyah tercinta yang senantiasa memberikan doa, dukungan, nasihat, kasih sayang serta menjadi sumber terindah dalam kehidupan.
2. Kakak Andita, kakak ipar Harry, kakak Fahmi, kakak ipar Sintya, dan adik Tabi'ina yang selalu memberikan doa, dukungan dan motivasi.
3. Suamiku Nugraha Alif Pratama yang turut memberikan doa, dukungan dan motivasi selama mengerjakan skripsi.
4. Almamater Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember.
5. Guru-guru di TK Dharma Wanita, SDN Kemantren 2, MTs Al-Multazam, SMAS Al-Multazam serta dosen-dosen Jurusan Kimia yang telah bersedia mengamalkan ilmunya.
6. Teman-teman Kimia 2017 FMIPA Universitas Jember (tim anilin Tyara Salsabila, Nadila Anggraini, dan Khoiriyah Dwiyantri) serta teman-teman sepermainan Dyah Hayuning, Millatie Afrih, Diah Amemia, Dian Retno, Tita Dian, Nailatur Rifdah, dan Menik Haryati atas dukungan dan kerjasamanya.
7. Teman-teman Kos Pondok Hijau (khususnya Mei, Nurul, Okta dan Mita) yang telah memberikan dukungan dan telah menjadi bagian dalam kehidupan selama di Jember.
8. Semua pihak yang juga turut memberikan doa, dukungan serta kasih sayang yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

MOTTO

“Ya Tuhanku, tempatkanlah aku pada tempat yang diberkahi, dan Engkau adalah
sebaik-baiknya pemberi tempat”

(QS. Al Mu'minun : 29)



*) Departemen Agama Republik Indonesia. 2014. *Al-Qur'an dan Terjemahnya*.
Bandung : CV. Diponegoro

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Ayu Widhia Sari

NIM : 171810301040

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Sintesis dan Karakterisasi Material Komposit Polianilin (PANi)-Selulosa dengan Metode VPP (*Vapor Phase Polymerization*)” adalah benar-benar hasil karya saya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan atau paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 15 Juli 2022

Yang menyatakan,

Ayu Widhia Sari

NIM 171810301040

SKRIPSI

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI MATERIAL KOMPOSIT
POLIANILIN (PANI)-SELULOSA DENGAN METODE VPP (*VAPOR
PHASE POLYMERIZATION*)**



Oleh
Ayu Widhia Sari
NIM 171810301040

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Bambang Piluharto, S. Si., M. Si.
Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Busroni, M. Si.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Sintesis dan Karakterisasi Material Komposit Polianilin (PANi)-
Selulosa dengan Metode VPP (*Vapor Phase Polymerization*)” karya Ayu Widhia
Sari telah diuji dan disahkan pada :

Hari, tanggal : Jum’at, 15 Juli 2022

Tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas
Jember

Tim Penguji :

Ketua

Dr. Bambang Piluharto, S.Si., M.Si.
NIP. 197107031997021001

Anggota II,

Drs. Zulfikar, Ph.D.
NIP. 196310121987021001

Anggota I,

Dr. Busroni, M.Si.
NIP. 195905151991031007

Anggota III,

drh. Wurryanti Handayani, M.Si.
NIP. 196008221985032002

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember

Drs. Achmad Sjaifullah, M.Sc., Ph.D.
NIP. 195910091986021001

RINGKASAN

Sintesis dan Karakterisasi Material Komposit Polianilin (PANi)-Selulosa dengan Metode VPP (*Vapor Phase Polymerization*) ; Ayu Widhia Sari 171810301040; 2022; 40 halaman; Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Polianilin (PANi) merupakan salah satu polimer konduktif yang memiliki ketertarikan bagi banyak ilmuwan untuk diteliti berdasarkan sifat listrik, stabil, mudah disintesis dan relatif ekonomis. Susunan rantai polimer yang sebagian besar terkonjugasi menyebabkan PANi memiliki sifat mekanik yang lemah sehingga dikombinasikan menjadi komposit menggunakan *supporting material*. Pada penelitian ini dilakukan sintesis komposit PANi berbasis selulosa untuk membentuk film yang fleksibel. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Vapor Phase Polymerization* (VPP) yang terdiri dari 2 tahap, yakni tahap pertama pelapisan oksidan terhadap substrat (selulosa asetat, kertas saring, dan *nata de coco*) dan tahap kedua meliputi polimerisasi terhadap substrat oleh uap monomer dalam ruang yang tertutup dengan variasi waktu (10,20, dan 30 menit). Tujuan penelitian ini untuk mengkaji perbandingan konduktivitas komposit PANi-Selulosa menggunakan waktu polimerisasi yang berbeda. Kedua untuk mengetahui pengaruh perbedaan jenis substrat melalui nilai konduktivitas berdasarkan karakterisasi gugus fungsi yang didapatkan dari komposit PANi-selulosa.

Hasil sintesis komposit PANi-Selulosa pada penelitian ini berwarna hijau pekat cenderung hitam. Hasil konduktivitas tertinggi diperoleh pada waktu polimerisasi selama 20 menit yaitu substrat kertas saring yaitu sebesar $33,54 \times 10^{-5}$ S/cm, kemudian substrat *nata de coco* sebesar $19,55 \times 10^{-5}$ S/cm, dan substrat selulosa asetat sebesar $8,64 \times 10^{-5}$ S/cm. Hal ini diakibatkan waktu polimerisasi selama 20 menit memberikan difusi monomer anilin yang bereaksi dengan oksidan secara optimal pada setiap substrat. Oksidan yang digunakan dalam penelitian ini berupa FeCl_3 yang berperan juga sebagai agen dopan sehingga berperan dalam proses doping untuk menghasilkan konduktivitas yang tinggi. Adapun nilai konduktivitas kertas saring yang tertinggi, disebabkan kadar serat selulosa pada

kertas saring lebih banyak dibandingkan selulosa asetat dan nata de coco. Selulosa asetat yang memiliki sifat hidrofilik sehingga sukar menyerap air menyebabkan interaksi oksidan terhadap substrat sedikit sehingga reaksi antara oksidan terhadap monomer anilin semakin berkurang. Pada *nata de coco* memiliki nilai konduktivitas lebih kecil dikarenakan serat selulosa lebih sedikit disebabkan masa inkubasinya yang digunakan selama 5 hari. Hal ini dibuktikan melalui analisis gugus fungsi spektrum IR untuk melihat puncak khas PANi yang terbentuk.

Hasil karakterisasi gugus fungsi pada komposit PANi-Selulosa diperoleh terdapat pergeseran panjang gelombang disebabkan adanya interaksi antara substrat (selulosa asetat, kertas saring dan *nata de coco*) dengan monomer anilin membentuk PANi. Nilai konduktivitas tinggi menunjukkan bahwa cincin quinoid mengalami protonasi H^+ dari $FeCl_3$ pada situs imina ($-N=$) sehingga membentuk cincin benzoid. Puncak khas serapan PANi *stretching* C-N dari cincin benzoid serta *stretching* C=N dari quinoid terletak pada bilangan gelombang $1425,68\text{ cm}^{-1}$ dan $1628,18\text{ cm}^{-1}$. Berdasarkan karakterisasi pada komposit PANi-Selulosa menghasilkan polianilin yang memiliki nilai konduktivitas tinggi disebabkan terdoping oleh $FeCl_3$ selain berperan sebagai oksidan juga sebagai agen dopan sehingga memberikan sumber proton yang dapat menjembatani untuk membentuk struktur garam emeraldin.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT Yang Maha Melihat lagi Maha Mendengar atas segala limpahan rahmat, taufik dan hidayat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik, yang berjudul “*Sintesis dan Karakterisasi Material Komposit Polianilin (PANi)-Selulosa dengan Metode VPP (Vapor Phase Polymerization)*”. Skripsi ini disusun serta dilakukan untuk memenuhi salah satu persyaratan kelulusan pendidikan jenjang pendidikan tinggi strata satu (S1) di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember. Penyusun skripsi berikut tidak terlepas dari bantuan maupun masukan dari berbagai pihak. Maka penulis menyampaikan rasa terimakasih kepada :

1. Drs. Achmad sjaifullah M. Sc., M. Si. Selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan alam Universitas Jember.
2. Dr. Anak Agung Istri Ratnadewi, S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
3. Dr. Bambang Piluharto S.Si., M.Si. Selaku dosen pembimbing utama dan Dr. Busroni M.Si. Selaku dosen pembimbing anggota yang dengan dedikasinya telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran dan perhatiannya dalam penulisan skripsi ini.
4. Drs. Zulfikar, Ph.D., selaku dosen penguji utama dan drh. Wuryanti Handayani, M. Si. Selaku dosen penguji anggota yang telah memberikan masukan maupun pengarahan dalam penulisan skripsi ini.
5. I Nyoman Adi Winata, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing akademik yang selalu memberikan semangat dan nasihat selama menempuh pendidikan strata satu.
6. Segenap Bapak dan Ibu Dosen yang selama ini dengan dedikasinya telah mendidik dan mengamalkan ilmu.
7. Segenap Bapak dan Ibu teknisi laboratorium yang telah membantu jalannya penelitian ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih terdapat kekurangan pelaksanaan dan

hasil penelitian. Oleh karena itu, penulis menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat terhadap pengembangan ilmu pengetahuan.

Jember, Juli 2022

Penulis.



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMANAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Masalah	4
1.4 Batasan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.2 Polianilin	7
2.3 Polimerasi Polianilin	9
2.4 Sifat Kelistrikan Polianilin.....	12
2.5 Selulosa.....	13
2.5.1 Selulosa Bakteri “Nata de Coco”.....	14
2.5.2 Selulosa Kertas Saring	15
2.5.3 Selulosa Asetat	17

2.6 Komposit Polianilin	18
2.7 Karakterisasi Komposit Polianilin.....	18
2.7.1 Karakterisasi Sifat Kelistrikan.....	18
2.7.2 Fourier Transform Infra Red (FTIR)	19
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Waktu dan Tempat	21
3.2 Alat dan Bahan.....	21
3.2.1 Alat.....	21
3.2.2 Bahan	21
3.3 Diagram Alir	22
3.4 Prosedur Penelitian.....	23
3.4.1 Preparasi Bahan	23
a. Pemurnian Selulosa Bakteri (<i>Nata de Coco</i>).....	23
b. Pembuatan Membrane Selulosa Asetat.....	23
c. Pembuatan Oksidan <i>Ferric Chloride</i> (FeCl_3).....	23
3.4.2 Polimerisasi Anilin pada Selulosa	24
3.4.3 Karakterisasi Film PANi-Selulosa.....	24
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Pengaruh variasi waktu polimerisasi monomer Anilin pada komposit PANi-Selulosa terhadap nilai konduktivitas.....	28
4.2 Analisis gugus fungsi pada komposit PANI-Selulosa menggunakan FTIR	30
BAB 5. KESIMPULAN	35
5.1 Kesimpulan	35
5.2 Saran.....	35
DAFTAR PUSTAKA.....	36
LAMPIRAN	41

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Bentuk Fisik Komposit PANI-Selulosa setelah polimerisasi	26
Tabel 4.2 Mode Vibrasi dan Panjang Gelombang pada Spektra PANI-Selulosa	34

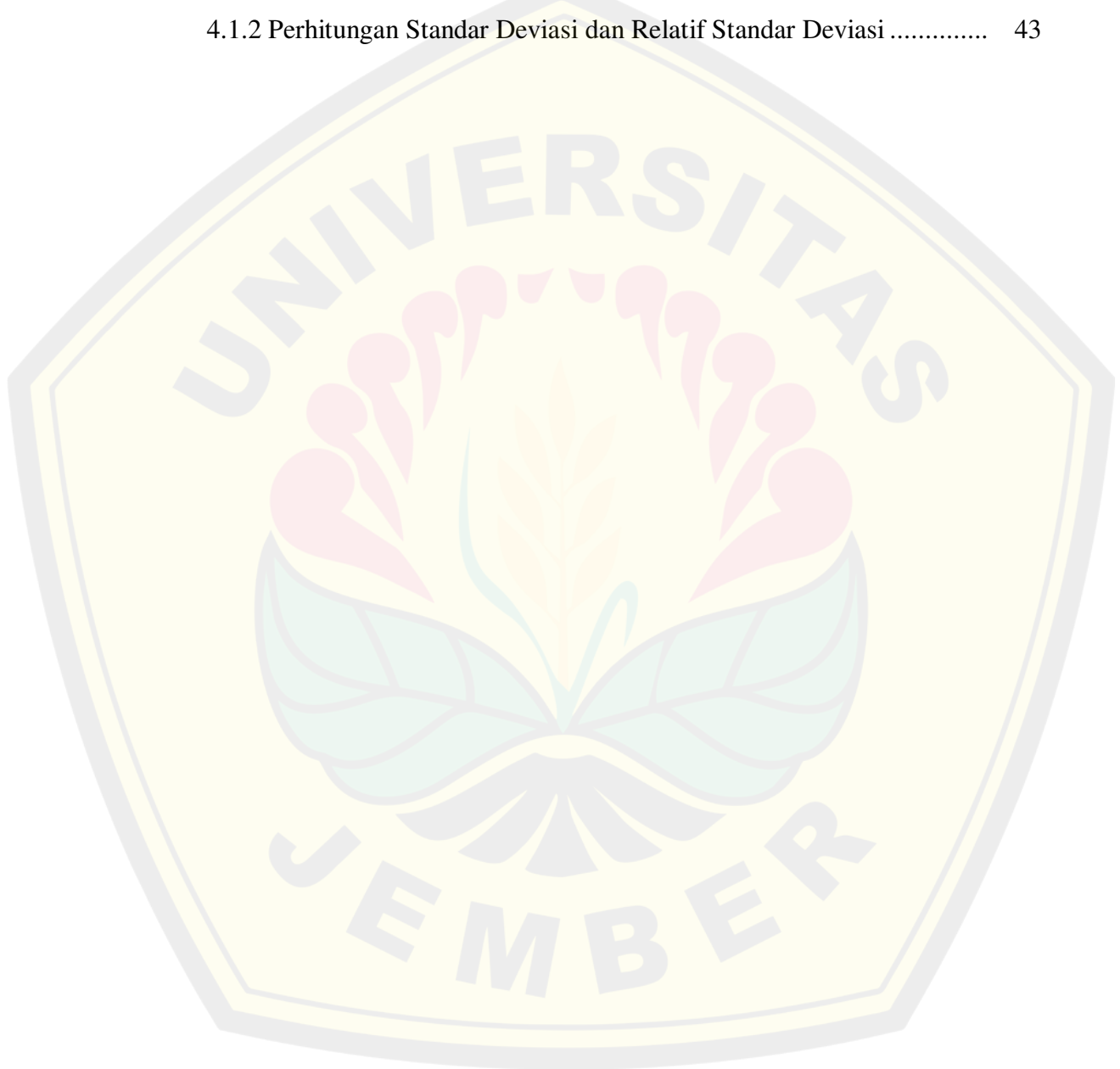


DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Diagram Pita Energi	7
2.2 Struktur Molekul Polianilin (PANI)	8
2.3 Skema Alat Metode <i>Vapor Phase Polymerization</i>	10
2.4 Mekanisme Polimerisasi dari PANI	12
2.5 Bentuk-bentuk dasari PANI.....	14
2.6 Struktur Molekul Selulosa	15
2.7 Struktur Molekul Selulosa Bakteri.....	16
2.8 Struktur Molekul Selulosa Asetat	19
2.9 Spektrum FTIR Polianilin dan Spektrum FTIR Kertas Konduksi.....	21
3.1 Diagram Alir Penelitian	24
3.2 Desain Alat VPP	26
4.1 Reaksi Monomer Anilin dengan Oksidan FeCl_3	27
4.2 Konduktivitas Komposit PANI-Selulosa	28
4.3 Spektra FTIR Selulosa.....	30
4.4 Spektra FTIR dari Polianilin Murni	31
4.5 Spektra FTIR komposit PANI-Selulosa	33

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 3.1 Preparasi Larutan	41
3.1.1 Larutan NaOH 2%	41
3.1.2 Larutan FeCl ₃ 16,73%w/w.....	41
Lampiran 4. 1 Perhitungan Data Penelitian	41
4.1.1 Perhitungan Nilai Konduktivitas.....	41
4.1.2 Perhitungan Standar Deviasi dan Relatif Standar Deviasi	43



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Polimer konduktif memiliki sistem yang sebagian besar terkonjugasi pada rantai polimerik elektron π yang memberikan sifat elektronik sehingga memiliki konduktivitas listrik (Li *et al.*, 2019). Beberapa contoh polimer konduktif seperti politiofen (PT), polianilin (PANi), dan polipirol (Ppy). Aplikasi polimer konduktif yang banyak digunakan berupa konduktor, transistor film, baterai dan sensor (Lawal & Wallace, 2014). Polianilin merupakan salah satu polimer konduktif yang paling banyak digunakan karena memiliki konduktivitas yang tinggi, stabil, monomer anilin yang relatif ekonomis dan mudah disintesis (Bhadra *et al.*, 2009).

Polianilin merupakan salah satu jenis polimer konduktif yang dapat dihasilkan dari proses polimerisasi monomer anilin dalam suasana asam (Shi *et al.*, 2012) dan juga dapat diperoleh dari proses polimerisasi secara oksidasi kimia yang dilakukan dalam suasana asam berair (Scherr *et al.*, 1991). Berdasarkan tingkat oksidasinya, polianilin dapat disintesis dalam beberapa bentuk isolatifnya, yaitu *leucomeraldine base* (LB) yang tereduksi penuh, *emeraldine base* (EB) yang tereduksi setengah dan *pernigranilin base* (PB) yang teroksidasi penuh (Kusumawati, 2008). PANi dengan keadaan oksidasi *leucomeraldine base* (LB) mempunyai penampakan yang hampir tidak berwarna. Keadaan oksidasi *emeraldine base* (EB) atau disebut dengan zamrud dapat berwarna hijau dalam bentuk garam dan biru dalam bentuk dasarnya, dimana memiliki konduktivitas listrik sebesar 1-130 S/cm (Balkan *et al.*, 2017). PANi dengan keadaan oksidasi penuh atau PB memiliki wujud berwarna biru-ungu (Feast *et al.*, 1996). Polianilin yang memiliki sifat mekanik yang rapuh sehingga membutuhkan modifikasi agar sesuai dengan aplikasi yang dibutuhkan.

Polianilin memiliki sistem terkonjugasi sehingga meningkatkan kekakuan material, dimana mengurangi kemampuan pembentukan film yang digunakan dalam penelitian ini. Hal ini dapat diperbaiki melalui kombinasi PANi dengan polimer yang memiliki sifat mekanik fleksibel, dapat dicetak menjadi film dan mudah diproses. Kombinasi PANi dengan polimer lain dapat disebut dengan

komposit, dimana kombinasi dua material atau lebih yang berbeda sifat fisik, komposisi kimia, dan tidak saling melarutkan antara materialnya (Maryanti *et al.*, 2011). Modifikasi dapat dilakukan dengan menggunakan selulosa yang memiliki sifat kristalinitas tinggi sehingga dapat membentuk serat yang kuat (Lin *et al.*, 2020). Selulosa tersebut berupa selulosa bakteri, selulosa asetat, dan kertas saring. Berbagai selulosa yang digunakan memiliki perbedaan pada bahan dasar yang digunakan dan metode pengolahan pada bahan dasar tersebut. Pada selulosa bakteri dapat diperoleh dari alga, fungi, dan bakteri, tetapi pada penelitian ini menggunakan selulosa bakteri dari *Acetobacter xylinum*. Pembuatan selulosa bakteri melalui fermentasi yang optimal terletak pada suhu 25-30°C, dengan keadaan pH 3-7, dan menggunakan sakarida sebagai sumber karbon (Oprea & Voicu, 2020). Selulosa berupa kertas saring dan selulosa asetat merupakan kelompok selulosa tanaman, dimana berbahan dasar dari kayu. Serat kayu pada pembuatan selulosa asetat diolah menggunakan anhidrida asetat melalui reaksi asetilasi dilakukan pertama kali oleh Paul Schützenberger pada tahun 1865. Proses pengolahan serat kayu untuk membentuk kertas saring yang sesuai dengan diawali tahap aktivasi yakni *pulping* (pembuburan). Serat kayu yang telah dipisah pada komponennya (hemiselulosa dan lignin) dapat dilanjutkan untuk pemrosesan berupa pemberian zat aditif, *pressing* (penekanan), pengeringan, dan konversi menjadi kertas saring (Hubbe *et al.*, 2007).

Gopakumar (2018) telah menggunakan serat nano selulosa dari selulosa bakteri agar polianilin dapat di cetak menjadi film dengan polimerisasi secara *in situ*. Selulosa bakteri memiliki keunggulan berupa sifat mekanik yang tinggi, kristalinitas tinggi, ramah lingkungan dan memiliki ketahanan air yang tinggi (Castro *et al.*, 2011). Selulosa bentuk kertas konduksi juga dapat dijadikan campuran polianilin untuk membentuk film yang fleksibel berdasarkan keunggulannya. Keunggulan kertas konduksi berupa kertas roti memiliki fleksibilitas yang dapat digunakan untuk membentuk film konduktif yang mudah dilipat, stabil, tidak beracun dan biayanya yang terjangkau (Bhowmik *et al.*, 2016). Youssef (2012) juga telah melakukan sintesis PANI menggunakan kombinasi dengan kertas saring secara *in situ*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Eslah & Mahdi (2019) sintesis PANI dengan selulosa asetat menggunakan metode elektrosponing, selulosa

asetat dapat digunakan sebagai substrat karena sifat mekanik yang baik, fleksibilitas, dan stabilitas termal yang tinggi.

Salah satu metode yang telah dilakukan untuk polimerisasi polianilin dengan penguapan monomer atau dapat disebut dengan *Vapor Phase Polymerization* (VPP). VPP merupakan proses sintesis dengan memaparkan monomer terhadap permukaan substrat melalui fase uapnya (Yang *et al.*, 2013). Metode ini terbagi menjadi proses dua tahap, dimana tahap pertama merupakan pengaplikasian oksidan pada substrat yang biasanya berupa larutan. Tahap kedua yakni pemberian fase uap monomer pada substrat di dalam tempat yang tertutup (Bhattacharyya *et al.*, 2012). Metode fasa uap memiliki banyak kelebihan berupa, metode yang sederhana sehingga mudah mengendalikan ketebalan dengan mengatur konsentrasi monomer, suhu, waktu polimerisasi, dan jarak antara substrat dengan cairan monomernya. VPP dapat membuat lapisan homogen dan dapat mencapai lapisan tipis (film) yang jernih dengan permukaan yang sangat halus (Lawal & Wallace, 2014). Oksidan yang digunakan berupa FeCl_3 yang memiliki prinsip dapat menjadi oksidan dan doping, (Chiolerio *et al.*, 2017). Berdasarkan Deb (2018) menjelaskan bahwa polimerasi fase uap anilin memiliki cara yang efektif untuk mengendalikan proses sintesis dengan mengatur konsentrasi zat pengoksidasi di atas permukaan substrat. Peneliti lain yang telah melaporkan teknik VPP oleh Bhowmik *et al* (2016) dengan mensintesis PANi-*conducting paper* menggunakan agen oksidan FeCl_3 pada suhu 60°C memiliki konduktivitas sebesar $8,92 \times 10^5 \Omega/\text{cm}$. Kim (2007) menjelaskan bahwa penguapan monomer anilin pada substrat selama 20 menit menunjukkan resistansi permukaan substrat tidak lagi menurun sehingga mencapai 10^4 - $10^5 \Omega/\text{cm}$, serta pembentukan kristal terhadap film polianilin terjadi pada suhu $>50^\circ\text{C}$ sehingga suhu yang digunakan dalam penelitian ini adalah 60°C .

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian sebelumnya, penelitian ini akan melakukan sintesis polianilin menggunakan metode *Vapor Phase Polymerization*. Dalam penelitian ini, akan dikaji pengaruh waktu penguapan dan jenis substrat pada konduktivitas film yang diperoleh. Hasil sintesis PANi-Selulosa dengan metode VPP diharapkan memiliki sifat mekanik yang memenuhi sehingga

memerlukan beberapa karakterisasi. Karakterisasi film meliputi konduktivitas yang diukur menggunakan LCR meter, dan analisis gugus fungsi menggunakan FTIR.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, maka diperoleh rumusan masalah dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi waktu penguapan polimerisasi monomer anilin pada komposit PANi-Selulosa terhadap nilai konduktivitas?
2. Bagaimana pengaruh jenis substrat yang digunakan pada proses polimerisasi terhadap nilai konduktivitas pada karakterisasi gugus fungsi film yang terbentuk?

1.3 Tujuan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah, maka diperoleh tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengkaji pengaruh variasi waktu polimerisasi monomer anilin pada komposit PANi-selulosa terhadap nilai konduktivitasnya.
2. Mengkaji pengaruh jenis substrat yang digunakan pada proses polimerisasi terhadap nilai konduktivitas pada karakterisasi gugus fungsi film yang terbentuk.

1.4 Batasan Penelitian

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Selulosa yang dijadikan sebagai komposit polianilin yakni, *nata de coco* masa inkubasi 5 hari yang telah melalui proses pemurnian dan pengeringan, kertas saring *whattman* 42, dan selulosa asetat.
2. Komposisi selulosa asetat untuk membentuk membran menggunakan pelarut aseton 15% sebagai pelarut, dimetil sulfoksida (DMSO) 62% sebagai pelarut, dan dimetil ptalat (DMP) 3% sebagai aditif (*plasticizer*).
3. Metode yang digunakan dalam sintesis komposit PANI-selulosa yakni fase uap menggunakan suhu 60°

4. Oksidan yang digunakan berupa FeCl_3 .
5. Waktu pemanasan anilin saat proses polimerasi pada fasa uap adalah 10 menit, 20 menit, dan 30 menit.

1.5 Manfaat Penelitian

Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat bermanfaat dan berpotensi untuk pengembangan sintesis polimer konduktif berbasis polianilin dan modifikasinya.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

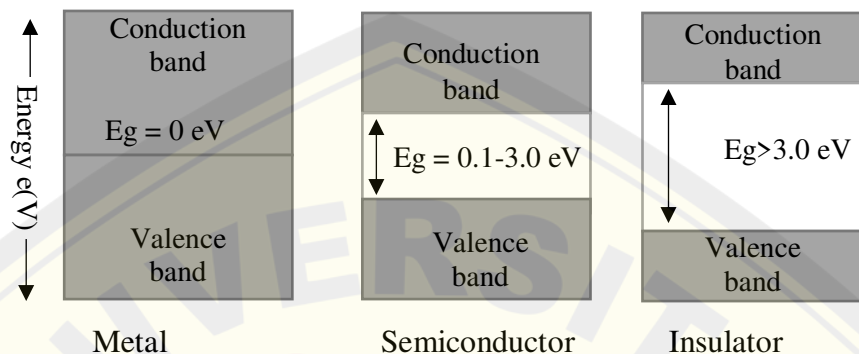
2.1 Polimer

Polimer ialah molekul besar yang dibentuk oleh penggabungan berulang secara kovalen senyawa kimia berasal dari molekul kecil yang sangat banyak. Kesatuan-kesatuan berulang dari molekul kecil setara dengan monomer, adalah bahan dasar pembuat polimer. Kemungkinan terdapat ratusan, ribuan, puluh ribuan atau lebih banyak molekul monomer yang dihubungkan bersama sehingga membentuk molekul polimer. Oleh karena itu polimer pada umumnya mempunyai massa molekul yang sangat besar. Sebutan polimer berasal dari bahasa Yunani *Poly*, yang berarti “banyak” serta *mer*, yang berarti “bagian” (O dian, 2004.)

Pada tahun 1980 polimer konduktif pertama kali diidentifikasi serta tergolong dalam kelas bahan organik yang dapat disintesis secara elektrokimia dari monomer yang sesuai dan heterosiklik aromatik. Terpantau selama 15 tahun terakhir polimer konduktif telah menjadi salah satu pusat perhatian yang cukup besar dalam aktivitas ilmiah sebagai konduktor elektronik. Kemampuan yang dimiliki oleh polimer berupa dapat menghantarkan listrik merupakan perihwal baru yang mengkombinasi antara atribut fisik dan kimia dari polimer dengan sifat elektronik logam (Saboktakin, 2009). Sifat elektronik ditunjukkan karena adanya elektron ikatan π yang terdelokalisasi terjadi pada *polymeric backbone*, seperti potensial ionisasi rendah dan sifat afinitas elektron tinggi (Chen et al., 2012). Keuntungan dari polimer konduktif berupa; kombinasi dari sifat logam dan polimer, memiliki konduktivitas tinggi, terang (tembus cahaya atau transparan), harga terjangkau serta mudah disintesis (Shirakawa, 2001).

Polimer yang bersifat konduktif secara intrinsik merupakan makromolekul terkonjugasi- π yang menunjukkan perubahan sifat kelistrikan dan optis ketika didoping/dedoping oleh dopan tertentu (Pron et al., 2002). Salah satu sifat khusus polimer konduktif adalah dapat mengurangi refleksi serta penyerapan gelombang elektromagnetik dibandingkan dengan logam lain (Aini et al., 2016). Prinsip kerja polimer konduktif adalah terdapat rantai polimer yang mengalami ikatan rangkap

terkonjugasi. Atom karbon ketika mengikat atom karbon lain menggunakan ikatan tunggal dan ganda secara berseling-seling memberikan pengaruh yang dapat menyebabkan sifat konduktif pada polimer terkonjugasi. Kerapatan elektron pada ikatan π atau π^* polimer terkonjugasi dapat dirubah oleh pengaruh faktor lain, dengan menambahkan senyawa kimia berupa dopan sehingga terjadi perubahan konduktivitas polimer dari semikonduktor menjadi konduktif (Sitorus *et al.*, 2011)



Gambar 2.1 Diagram pita energi yang menunjukkan celah pita

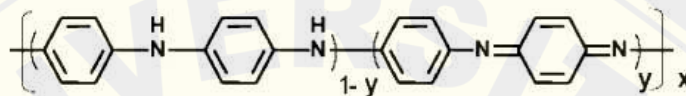
(Sumber : Molapo *et al.*, 2012)

Suatu bahan yang memiliki sifat elektronik dapat ditentukan berdasarkan struktur elektroniknya. Pada Gambar 2.1 menunjukkan pengaruh dari seberapa besar celah pita yang terletak diantara pita valensi dan pita konduksi pada konduktivitas pada logam, dimana memiliki nilai mendekati nol, sehingga dengan medan listrik kecil elektron akan terdistribusi dengan mudah. Polimer konduktif memiliki perbedaan, dimana perpindahan elektron dari orbital berbeda dengan polimer konduktif, dimana perpindahan elektron dari pita valensi menuju pita konduksi dibantu dengan adanya suatu atom dopan. Semikonduktor dibagi menjadi dua jenis berdasarkan jenis atom dopan, semikonduktor tipe n dan tipe p. Semikonduktor tipe n terjadi pada suatu material yang memiliki banyak elektron sehingga atom dopan berada dekat orbital pita konduksi. Semikonduktor tipe p terjadi pada material dengan kadar elektron yang sedikit sehingga atom dopan berada dekat dengan pita valensi (Sitorus *et al.*, 2011)

2.2 Polianilin

Polianilin (PANi) merupakan salah satu polimer konduktif buatan tertua yang memiliki masa sejarah terpanjang diantara polimer konduktor intrinsik.

Pengkajian terhadap polimer konduktif ini karena konduktivitas listriknya yang tinggi di antara senyawa organik, sifat fisika dan kimianya yang khas sehingga memiliki potensi untuk diaplikasikan pada berbagai bidang. Anilin merupakan senyawa organik dengan komposisi $C_6H_5NH_2$ tergabung dengan ikatan kovalen yang termasuk ke dalam kelompok senyawa aromatik yang mempunyai berat molekul 93 gr/mol, titik didih 183-186°C, indeks bias 1,58 dan rapat massa 1,002 kg.liter (Msds, n.d.). Secara umum molekul polianilin terdiri atas molekul berbentuk cincin benzoid dan quinoid yang dihubungkan satu sama lain oleh atom nitrogen dalam bentuk amina dan imina. Struktur polianilin dapat ditunjukkan pada Gambar 2.2 berikut



Gambar 2.2 Struktur Polianilin (PANi), ketika $y=0$; leukomeraldin, $y=-0,5$; basa emeraldin, $0,5 < y < 1$; garam zamrud, dan $y=1$; pernigranilin

(Sumber: Kim, 2007)

PANi berdasarkan sifat listriknya dibagi menjadi dua yaitu polianilin konduktif dan polianilin isolatif. Berdasarkan sifat listrik dan optik pada bahan polimer memiliki keunikan tersendiri, perubahan *reversible* yang disebabkan reaksi redoks dan doping-dedoping atau protonasi-deprotonasi sehingga bahan berpotensi untuk dikembangkan pada berbagai aplikasi (Ansari & Keivani, 2006). Konduktivitas dari polianilin ditentukan oleh dua parameter yaitu berdasarkan tingkat oksidasi dan berdasarkan konsentrasi doping. PANi memiliki 3 bentuk berdasarkan tingkat oksidasinya, yaitu leukomeraldine, emeraldine, dan pernigrinilin, polianilin juga memiliki 2 keadaan yang berbeda berdasarkan konsentrasi dopingnya yaitu, keadaan garam (terdoping) dan keadaan basa (tanpa doping) (Abia, 2006).

PANi dapat disintesis melalui reaksi kimia dan elektrokimia. Sintesis secara reaksi kimia menggunakan agen pengoksidasi yang berbeda seperti ammonium peroksoedisulfat (APS), hidrogen peroksida (H_2O_2), besi klorida ($FeCl_3$), dan ceric nitrat ($Ce(NO_3)_5$). Sintesis secara elektrokimia dilakukan dalam elektrolit asam kuat

dimana mekanisme yang diterima menghasilkan kation radikal anilinium dengan oksidasi anilin pada elektroda (Eskandari *et al.*, 2020). Parameter sintesis dapat diatur untuk mempengaruhi sifat konduktivitas listrik, seperti konsentrasi monomer, konsentrasi doping, jenis oksidan, tegangan listrik, arus listrik, waktu polimerisasi dan temperatur polimerisasi (Wibawanto & Darminto, 2012). Kunggulan lain dari PANi sehingga bahan polimer ini sering dipertimbangkan untuk digunakan berupa bahannya ringan, biayanya murah, stabilitas lingkungannya baik dan memiliki sifat reversibel pada reaksi asam basanya. Berbagai aplikasi yang menggunakan polianilin seperti anti korosi, elektroda untuk baterai, sensor, dan sel fotovoltaik (Peikertova *et al.*, 2011). PANi dikenal dapat diaplikasikan sebagai sensor karena sifat optoelektroniknya, dengan mengubah derajat oksidasi pada rantai utama melalui protonasi pada rantai amina (Acevedo *et al.*, 2005).

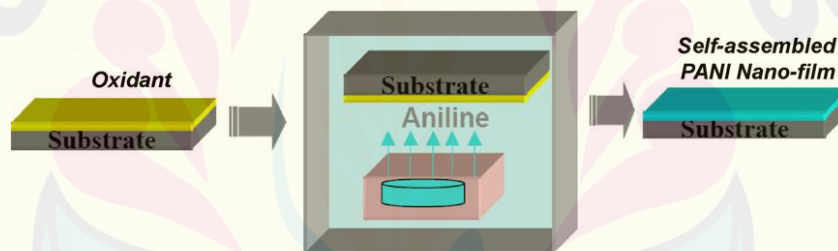
2.3 Polimerasi Polianilin

Proses pembentukan polimer tinggi disebut dengan polimerisasi dimana dibagi menjadi dua golongan yakni polimerisasi adisi dan polimerisasi kondensasi. Kedua proses ini memiliki perbedaan yang terletak pada reaksinya. Reaksi yang terjadi pada polimerisasi adisi yakni menggunakan reaksi rantai, salah satu faktor penyebab reaksi rantai dapat berupa radikal bebas. Polimerisasi adisi terjadi terutama pada senyawa dengan ikatan rangkap. Molekul fungsional yang bereaksi dengan molekul yang lain atau lebih banyak molekul, reaksi polikondensasi terjadi, dan kemudian menyebabkan molekul kecil (seperti air) dihilangkan (Cowd, 1991).

Anilin mengalami proses polimerisasi oksidasi kimiawi, dimana monomer anilin bereaksi secara elektrokimia maupun secara kimia (Liu & Freund, 1997). Proses polimerisasi pada anilin dengan cara oksidasi kimia, dimana monomer anilin baik secara elektrokimia maupun secara kimia (Liu & Freund, 1997). Beberapa faktor yang mempengaruhi proses polimerisasi anilin melalui oksidasi kimia, antara lain waktu polimerisasi, konsentrasi oksidan dan rasio molar anilin dan oksidan (Marcos *et al.*, 2000). Faktor-faktor ini menyebabkan peningkatan reaksi kopling kimia antara kation silan, dan panjang rantai serta berat molekul polianilin yang

terbentuk akan meningkat. Polianilin dibuat melalui penguapan anilin dengan ammonium peroksodisulfat (APS) dalam media larutan asam, dan diperoleh dalam bentuk presipitasi. Hasilnya adalah emeraldin terprotonasi dengan warna hijau pekat (garam emeraldin)(Sjetskal, 2005). Polimerisasi anilin biasanya diiringi dengan meningkatnya temperatur reaksi yang berlanjut pada penurunan kembali temperatur reaksi.

Terdapat berbagai macam metode polimerisasi untuk polianilin, salah satunya yakni *Vapor Phase Polymerization* (VPP). VPP adalah metode polimerisasi dimana monomer dimasukkan dalam bentuk uap ke substrat yang dilapisi dengan zat pengoksidasi. Polimerisasi kemudian terjadi pada permukaan material yang telah dilapisi oleh oksidan, berinteraksi dengan uap monomer, teknik ini dapat dilihat pada Gambar 2.3 (Bhattacharyya *et al.*, 2012). VPP dapat berupa polimerisasi uap kimia (CVPP) atau polimerisasi uap elektrokimia (EVPP). CVPP adalah proses bebas pelarut yang digunakan untuk mendapatkan lapisan polimer yang seragam, tipis, dan sangat konduktif pada substrat yang berbeda.



Gambar 2.3 Skema Alat Metode *Vapor Phase Polymerization*

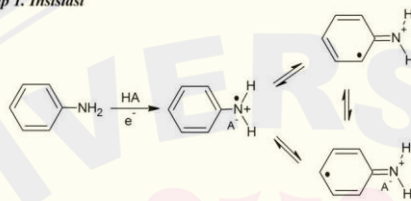
(Sumber : Kim *et al.*, 2007)

Proses pengendapan uap dibandingkan dengan metode pengendapan polimer konduktif lainnya, memiliki banyak keuntungan karena monomer digunakan dalam bentuk uap daripada larutan, dan tidak ada cairan yang dapat digunakan sebagai media transportasi untuk aglomerasi partikel. Stussi *et al.*, menjelaskan bahwa VPP merupakan metode teknis inovatif yang memungkinkan lapisan polimer konduktif dibentuk secara seragam pada substrat isolasi. Namun, sebagian besar polimer konduktif mengalami konduktivitas yang tidak memadai, yang membatasi penggunaannya sebagai jalur arus pada perangkat elektronik.

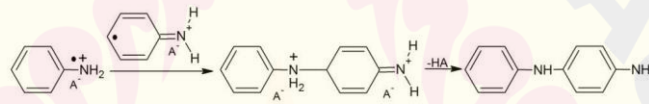
Kekurangan ini dapat diatasi, telah dilakukan penelitian mendalam terhadap VPP. Lapisan ICP yang dibentuk pada substrat oleh VPP memiliki konduktivitas yang tinggi, dan karena tidak ada cairan yang terlibat dalam media transmisi, hampir tidak ada aglomerasi. VPP juga dapat membuat lapisan yang seragam menjadi halus, dan metode VPP adalah cara untuk mendapatkan film transparan dan permukaan yang sangat halus.

Mekanisme polimerisasi pada tahap satu yang terletak pada Gambar 2.4 menunjukkan oksidasi dari anilin untuk menjadi sebuah kation radikal, dimana terletak dalam setiap ketiga bentuk resonansinya.

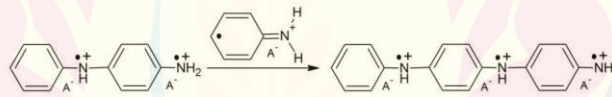
Tahap 1. Insisiasi



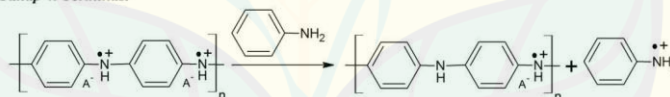
Tahap 2. Kopling radikal



Tahap 3. Propagasi rantai



Tahap 4. Terminasi



Gambar 2.4 Mekanisme polimerisasi dari PANi

(Sumber : Molapo *et al*, 2012)

Langkah ini disebut sebagai langkah penentuan laju disebabkan proses yang sangat lambat dalam reaksinya. Tahap kedua merupakan kopling radikal dan pembentukan aromatisasi kembali. Kopling radikal kation dari N- dan para- terjadi mulai dari kepala sampai ekor menghasilkan sebuah spesies dimer dikationik. Dimer akan mengalami proses re-aromatisasi sehingga kembali ke keadaan yang netral, menghasilkan sebuah intermediet yang disebut sebagai *p*-aminodipenilamina (PADPA). Proses ini disertai dengan eliminasi dari dua proton.

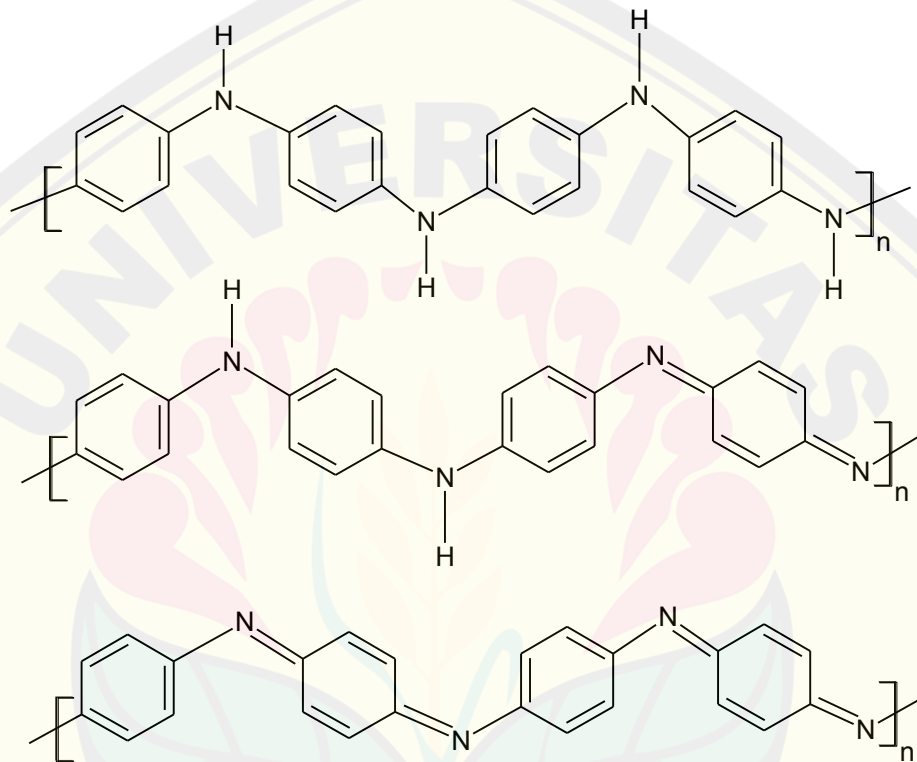
Tahap ketiga yakni propagasi rantai, dimana terdapat kation radikal dimer yang terletak pada posisi para pada atom nitrogen mengalami oksidasi pada permukaan elektroda, menghasilkan rantai propagasi dari kation radikal dimer kopling seperti pada Gambar 2.4 yang membentuk produk teroksidasi penuh dengan inisial garam pernigranilin. Tahap keempat merupakan terminasi dimana seluruh oksidan dalam campuran reaksi telah habis, maka garam pernigranilin yang terbentuk pada tahap ketiga akan direduksi oleh anilin yang tidak bereaksi membentuk garam zamrud.

2.4 Sifat Kelistrikan Polianilin

PANi merupakan salah satu polimer konduktor yang bergantung pada keadaan oksidasi dan tingkat protonasinya. Polianilin dapat disintesis berdasarkan tingkat oksidasinya yaitu *Leucomeraldine Base* (LB) yang tereduksi penuh dengan semua nitrogen membentuk amina, *Emeraldine Base* (EB) yang teroksidasi setengah dengan perbandingan 1:1 antara gugus amina dan imina, dan *Pernigranilin Base* (PB) yang teroksidasi penuh dengan semua nitrogen membentuk imina seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.5 (Salman, 2004). Berdasarkan tiga keadaan oksidasinya, polianilin akan memiliki keadaan stabil ketika keadaan teroksidasi sedang, kondisi ini terletak pada EB karena konduktivitasnya dapat diatur dari 10^{-10} S/cm hingga 100 S/cm melalui proses doping/dedoping. Polianilin memiliki kondisi yang berbeda dengan kebanyakan poliaromatik lainnya, keadaan PANi yang teroksidasi penuh tidak menghantarkan listrik. Untuk mendapatkan kinerja PANi yang optimal, maka polimer konduktif yang digunakan sebagai material aktif harus memenuhi beberapa persyaratan yaitu mobilitas hole yang cukup tinggi, memiliki celah pita kurang dari 2,0 eV dan memiliki konduktivitas lebih dari 10 S cm^{-1} (Wibowo, 2007).

PANI menjadi konduktor ketika basa zamrud terprotonasi dan pembawa muatan dihasilkan. Proses ini umumnya disebut doping asam protonat. Garam zamrud hijau terprotonasi memiliki konduktivitas yang lebih tinggi daripada polimer biasa, tetapi lebih rendah dari logam biasa. PANI terdiri dari unit berulang dari monomer anilin yang terhubung untuk membentuk *backbone*. Keberadaan atom nitrogen (N) yang terletak di antara cincin fenil memungkinkan pembentukan

keadaan oksidasi yang berbeda, hal ini dapat mempengaruhi sifat fisiknya. PANI memiliki *backbone* yang tidak stabil secara inheren, yang dihasilkan dari pembentukan ikatan tunggal dan ganda di sepanjang unit monomer selama polimerisasi. Elektron ikatan yang terdelokalisasi diproduksi melintasi *backbone* terkonjugasi, menyediakan jalur listrik untuk pembawa muatan bergerak, yang diperkenalkan melalui doping. Akibatnya, sifat elektronik PANI, serta banyak sifat fisikokimia lainnya, ditentukan oleh struktur *backbone* polimer dan sifat serta konsentrasi ion dopan (Izwan *et al.*, 2015).



Gambar 2.5 Bentuk-bentuk dasar PANI

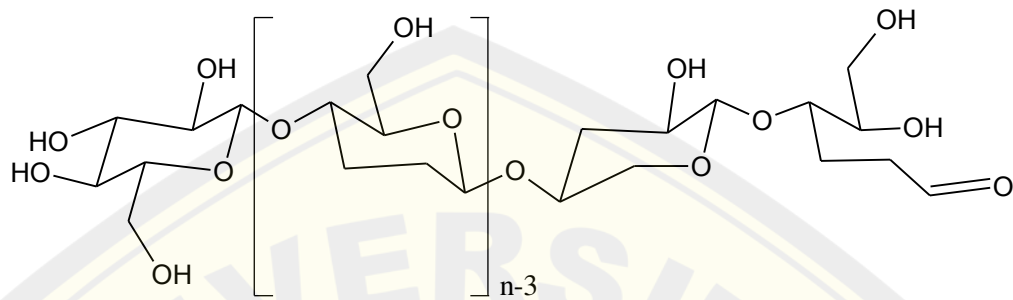
(Sumber: Deb *et al.*, 2018)

2.5 Selulosa

Selulosa adalah sumber daya alam yang paling melimpah dengan hasil tahunan hampir 1,5 triliun ton, dan merupakan sumber bahan baku yang hampir tidak ada habisnya di dunia. Selulosa umumnya dapat diperoleh dari dinding sel tumbuhan, alga, dan dari bakteri yang juga menghasilkan biopolimer (Baghaei & Skrifvars, 2020). Selulosa ditemukan pada tahun 1838 oleh ahli kimia Perancis

Anselme Payene dimanfaatkan sebagai sumber energi, bahan bangunan dan pakaian dalam bentuk kapas, kayu atau serat nabati lainnya (Oprea & Voicu, 2020).

Selulosa tersusun dari empat komponen utama berupa glukosa, gugus C4-OH biasa dikenal sebagai ujung non-pereduksi, gugus C1-OH yang dikenal sebagai ujung terminasi, dan aldehida sebagai ujung pereduksi. Monomer glukosa pada selulosa berikatan β -1,4 glikosidik yang ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Struktur Molekul dari Selulosa

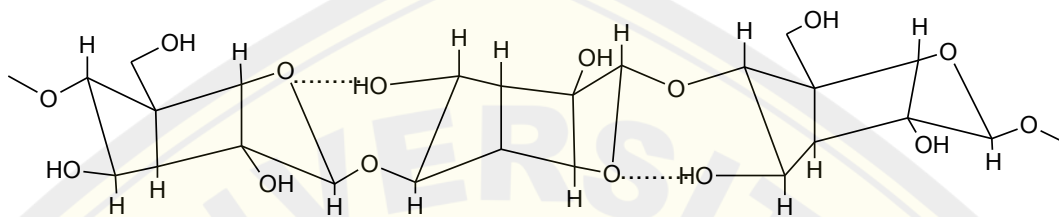
(Sumber : Oprea, 2020)

Rantai selulosa disatukan oleh ikatan dan gaya Van der Waals, yang merupakan elemen utama dari struktur supramolekul, yang disebut nanofibril elementer, dengan tingkat kristalinitas dan kemurnian yang tinggi. Karakteristik nanofibril lainnya seperti ketebalan bergantung pada sumber selulosa. Lignin dan hemiselulosa sebagai perekat untuk nanofibril yang merangkai dalam bentuk mikrofibril dengan daerah amorf dan kristal secara bergantian. Mikrofibril memiliki diameter berkisar antara 10 dan 30 nanometer dan mengandung sekitar 30-100 selulosa dalam konformasi rantai yang diperpanjang (Saba *et al*, 2009). Mikrofibril selanjutnya ditempatkan dalam beberapa lapisan yang membentuk struktur dinding sel tumbuhan. Ikatan antar dan intra molekul yang kuat dan linieritas molekul selulosa bertanggung jawab atas kristalinitas serat selulosa alami atau buatan (Oprea & Voicu, 2020). Beberapa jenis selulosa yang digunakan pada penelitian ini berupa selulosa bakteri (*Nata de coco*), selulosa asetat, dan kertas saring.

2.5.1 Selulosa Bakteri “Nata de Coco”

Tanaman merupakan penyumbang utama selulosa, sumber alternative selain tanaman terdapat pada bakteri. A.J. Brown pertama kali melaporkan bahwa produksi selulosa dari *Acetobacter xylinum* (Brown, 1886). Sel-sel *Actobacter* yang

nonaktif diamati, sehingga ditemukan selulosa ditandai dengan adanya oksigen dan glukosa. Struktur selulosa bakteri yang terdiri dari glukosa menunjukkan sifat yang unik sehingga lebih banyak dimanfaatkan dari pada selulosa kayu. Sifat selulosa bakteri terletak pada kapasitas penampung air yang tinggi (Saibuatong dan Phisalaphong, 2010), kristalinitas tinggi (Keshk, 2014) dan sifat mekanik yang tinggi (Castro *et al.*, 2011). Ketebalan serat selulosa bakteri lebih rendah sekitar 100 kali dari selulosa tumbuhan, sehingga memiliki kemampuan untuk menyerap monomer-monomer lain (Cahyandari, 2014).



Gambar 2.7 Struktur Selulosa Bakteri

(Sumber: Bobleter, 1994)

Pertumbuhan *Acetobacter xylinum* dilakukan dalam medium air kelapa melalui proses yang terkontrol, sehingga memerlukan nutrisi C, H, N, dan mineral. Kandungan air kelapa memenuhi kebutuhan sebagian nutrisi pada substrat makro seperti sumber C dan N, tetapi agar hasil nata menjadi lebih optimal maka diperlukan penambahan dalam proses fermentasi. Penambahan yang diperlukan untuk memenuhi sumber karbon berupa sukrosa, glukosa, fruktosa, dan nitrogen (Iguchi *et al.*, 2000). Berbagai jenis tambahan sumber karbon, fruktosa merupakan jenis karbon yang memberikan hasil terbaik sebagai sumber karbon pada serat selulosa (Hamad *et al.*, 2012). Kebutuhan sumber nitrogen yang belum tercukupi dapat ditambahkan dengan urea, ammonium sulfat, ZA serta ekstrak yeast (khamir) (Iguchi *et al.*, 2000).

2.5.2 Selulosa Kertas Saring

Kertas adalah bahan universal yang secara luas digunakan sebagai media komunikasi dan pengemasan. Kertas merupakan polimer terdiri dari matriks serat selulosa yang disatukan oleh ikatan hidrogen antara kelompok hidroksil pada serat yang berdekatan dalam bentuk lembaran (Johnston *et al.*, 2005). Teknologi dengan

inovasi baru yang dapat mengkombinasi berbagai sifat dari kertas sehingga membuat permintaan konsumen semakin meningkat dalam bidang pengemasan.

Kertas memiliki empat sifat yang menarik sebagai substrat yakni,

- a. Fleksibel dan kuat secara mekanis
- b. Permukaannya dapat dibuat pola menggunakan berbagai teknik pencetakan
- c. Dapat dicetak menjadi berbagai bentuk dan struktur melalui pelipatan, pemotongan, dan penumpukan
- d. Memiliki tekstur berserat sehingga dapat dimodifikasi secara kimia untuk mengikat banyak bahan.

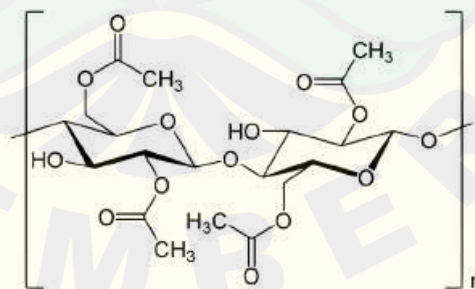
Kertas memiliki kemampuan dapat mengangkut cairan melalui sumbu spontan dan kapilaritas. Berdasarkan sifatnya, kertas telah menunjukkan potensi dalam sejumlah aplikasi seperti elektronik tercetak, mikrofluida kertas, dan perangkat penyimpanan energi (Wang *et al.*, 2018).

Kertas saring merupakan selulosa dari tanaman, berbahan dasar serta kayu yang stabil dan tidak beracun. Kadar kristalinitas pada selulosa dari tanaman asli cukup rendah yang terletak pada rentan 40-60%. Selulosa tanaman memiliki ukuran pori sebesar 1-100 nm (Naomi *et al.*, 2020). Setiap selulosa memiliki kandungan lignin dan hemiselulosa, tetapi kandungan lignin pada pembuatan kertas saring harus dihilangkan untuk menghasilkan monomer glukosa yang lebih banyak. Penghilangan lignin dapat melalui proses *pulping*, tahap ini dapat disebut sebagai tahap aktivasi. Aktivasi merupakan tahap dimana kayu sudah menjadi bubur kayu sehingga dalam keadaan tersebut lebih rentan terhadap perubahan. Pembuburan kayu dilanjutkan dengan pemberian zat aditif sesuai yang digunakan dalam suatu tempat produsen, seperti yang tertera pada penelitian Backman (1987) zat aditif yang digunakan berupa resin fenolik. Pemberian zat aditif ini bertujuan untuk mempengaruhi karakteristik muatan serat pada pembuatan kertas sehingga kertas dalam kualitas yang baik setelah melewati tahapan selanjutnya seperti pengeringan. Tahap selanjutnya berupa *pressing* (penekanan) yang bertujuan untuk membentuk daerah semi kristal dari ikatan hidrogen yang terbentuk pada permukaan hemiselulosa yang membengkak. Pengeringan dilakukan setelah penekanan yang

bergantung pada berat dasar produk, kecepatan mesin kertas dan parameter desain akhir kertas tersebut. Adapun pengeringan secara konvensional pada mesin kertas berlangsung dibawah tekanan atmosfer. Tahap yang terakhir berupa konversi meliputi pemotongan, pelapisan, pengeleman dan pengampelasan bergantung pada parameter desain dari suatu produksi (Hubbe *et al.*, 2007)

2.5.3 Selulosa Asetat

Selulosa asetat ($C_6H_7O_2(CH_3COO)_3$)_n adalah turunan selulosa alami tergolong dalam biopolymer tersusun dari satuan glukosa yang terhubung dengan molekul glukosa melalui ikatan glikosida. Selulosa asetat merupakan selulosa yang diperoleh melalui esterifikasi gugus hidroksil dalam molekul selulosa yang merupakan komponen struktural utama dari dinding sel tumbuhan hijau (Li & Yang, 2020). Ikatan hidrogen mengikat 14.000 satuan rantai-rantai mikrofibril dari D-glukosa membentuk molekul selulosa (Fessenden, 1980). Struktur dari selulosa asetat linier dan teratur, menyebabkan sifat kristalinitas yang baik. Berdasarkan strukturnya, membran diklasifikasikan menjadi membran berpori dan tidak berpori atau membran simetris dan asimetris. Membran juga diklasifikasikan sebagai filter, mikrofilter, dan ultrafilter jika memiliki ukuran pori masing-masing lebih besar dari 5000 nm, 100-5000 nm, dan 2-100 nm. Ukuran pori membran merupakan parameter penting untuk penilaian kinerja membran dan perkembangan pori-pori dalam membran terutama bergantung pada pemilihan polimer yang sesuai (Shoba *et al.*, 2020). Berikut struktur molekul dari selulosa asetat yang dapat dilihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.8 Struktur Molekul Selulosa Asetat

Sumber : Wustenberg, 2014

Membran selulosa asetat telah disintesis baik dengan menggunakan teknik inversi fase basah atau kering (Shoba *et al.*, 2020). Proses pembuatan CA melibatkan esterifikasi selulosa dengan anhidrida asetat menggunakan katalis asam sulfat untuk membentuk selulosa triasetat, diikuti dengan hidrolisis parsial untuk menghilangkan katalis asam dan menghasilkan tingkat substitusi dalam polimer yang menghasilkan sifat kerja yang diinginkan. Pembuatan selulosa asetat berdasarkan yang dilakukan oleh Windayanti (2013) dengan menggunakan pelarut aseton/asam format sehingga mendapatkan membran yang asimetris dan rapat.

2.6 Komposit Polianilin

Material komposit merupakan gabungan dari dua atau lebih material dengan bentuk dan komposisi kimia berbeda yang tidak saling melarutkan. Salah satu bahan berfungsi sebagai bahan penguat dan bahan lainnya sebagai pengikat untuk menjaga kesatuan unsur-unsurnya. Material komposit memiliki sifat mekanik yang baik, tidak mudah menimbulkan korosi, material yang murah dan mudah diperoleh, serta dapat digunakan dengan baik sebagai material penyerap udara (Widodo, 2008). Menurut Fahri *et al* (2013) suatu komposit mampu ditentukan ciri khasnya melalui :

- a. Karakteristik material penyusun komposit
- b. Bentuk dari material penyusunnya
- c. Interaksi antar material penyusun

Matriks memiliki peran sebagai media untuk mengikat polimer konduktif pada gugus fungsi yang ada pada material komposit (Widodo, 2008). Contoh matriks salah satunya sebagai objek terikatnya polianilin adalah selulosa. Selulosa mempunyai konduktivitas yang tinggi sehingga ketika polianilin masuk dalamnya akan membentuk film tipis yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan elektronik .

2.7 Karakterisasi Komposit Polianilin

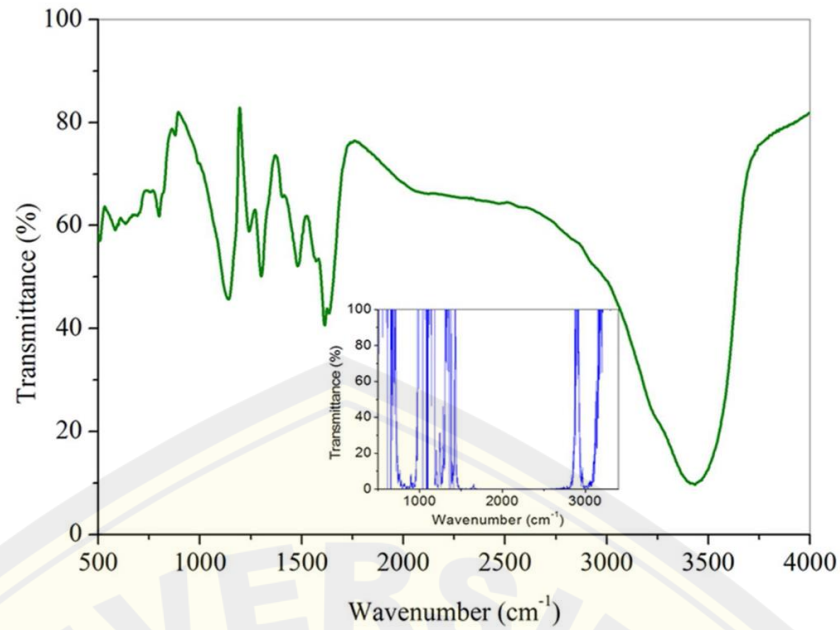
2.7.1 Karakterisasi Sifat Kelistrikan

Peningkatan nilai konduktivitas listrik menurut Irzaman *et al* (2010) disebabkan oleh eksitasi dari penambahan pengisian bebas yang diangkut oleh

cahaya energi tinggi pada semikonduktor dan isolator. Klasifikasi bahan alami atau buatan dibagi menjadi tiga yakni konduktor, semikonduktor, dan isolator. Berdasarkan penelitian sintesis garam emeraldin komposit akan memiliki hasil konduktivitas yang tinggi bergantung pada jumlah monomer, jenis inisiator, jenis substrat dan waktu polimerasi yang dilakukan (Rao *et al.*, 2002). Metode V-I merupakan metode pengukuran konduktivitas yang digunakan dimana mengukur tegangan (V) akan melewati lapisan film yang dihasilkan dari proses sintesis. Pengukuran tegangan melalui perhitungan selisih dari tegangan yang masuk melewati papan PCB dan keluarnya, menggunakan alat pembaca tegangan berupa LCR meter (Fachri *et al.*, 2005)

2.7.2 Fourier Transform Infra Red (FTIR)

Radiasi gelombang magnetik menurut Anam *et al* (2007) merupakan materi sehingga terjadi interaksi diantaranya absorpsi atau penyerapan energi oleh atom atau molekul. Elektron tereksitasi disebabkan absorpsi sinar uv dan cahaya tampak (*visible*). Penyerapan (absorpsi) radiasi inframerah dihasilkan ketika energi radiasi sesuai dengan energi getaran molekul (Stuart *et al.*, 2004). Mode vibrasi dari molekul dapat melibatkan variasi panjang ikatan antar atom (peregangan, ν) (Reichenbacher *et al.*, 2012) atau sudut ikatan antara dua ikatan (tekukan atau deformasi, δ) yang akan bergantung dengan keadaan suhu ruangan (Singh dkk., 2012). Molekul yang terdiri dari atom-atom penyusunnya mengalami vibrasi. Sinar *infra red* (IR) ketika melewati sampel senyawa organik, akan menyerap beberapa frekuensi, ada yang diteruskan dan ada yang ditransmisikan. Absorpsi atau penyerapan dapat mengembangkan metode spektroskopi (atomik ataupun molekuler) dan diplot sebagai panjang gelombang radiasi atau fungsi frekuensi serta transmisi. Spektrum IR yang diperoleh transmisi cahaya yang melewati sampel, intensitas cahayanya diukur dengan detektor dan dibandingkan dengan serta tanpa sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Plot hasil spektrum IR yang diperoleh sebagai intensitas fungsi energi, panjang gelombang (μm) atau bilangan gelombang (cm^{-1}). Skema alat spektroskopi FTIR secara sederhana ditunjukkan pada gambar berikut ini:



Gambar 2.9 Spektrum FTIR polianilin dan spektrum FTIR kertasIR (sisipan).

(Sumber : Bhowmik, 2016)

Wang *et al* (2012) mendapatkan data spektogram karakterisasi PANi menunjukkan ikatan C-N pada puncak 1294, 1164, dan 849 cm^{-1} . Pada bilangan gelombang berkisar 1536 cm^{-1} dan 1448 cm^{-1} menunjukkan adanya puncak ikatan C-C aromatik. Berdasarkan data puncak bilangan gelombang yang didapat menunjukkan terjadinya penurunan karena adanya polianilin yang berinteraksi dengan rantai selulosa.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian mengenai “Sintesis dan Karakterisasi Material Komposit Polianilin (PANi)-Selulosa dengan Metode VPP (*Vapor Phase Polymeration*)” dilaksanakan pada bulan Agustus 2021 sampai bulan November 2021 bertempat di Laboratorium Kimia Fisik dan Anorganik, Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember.

3.2 Alat dan Bahan

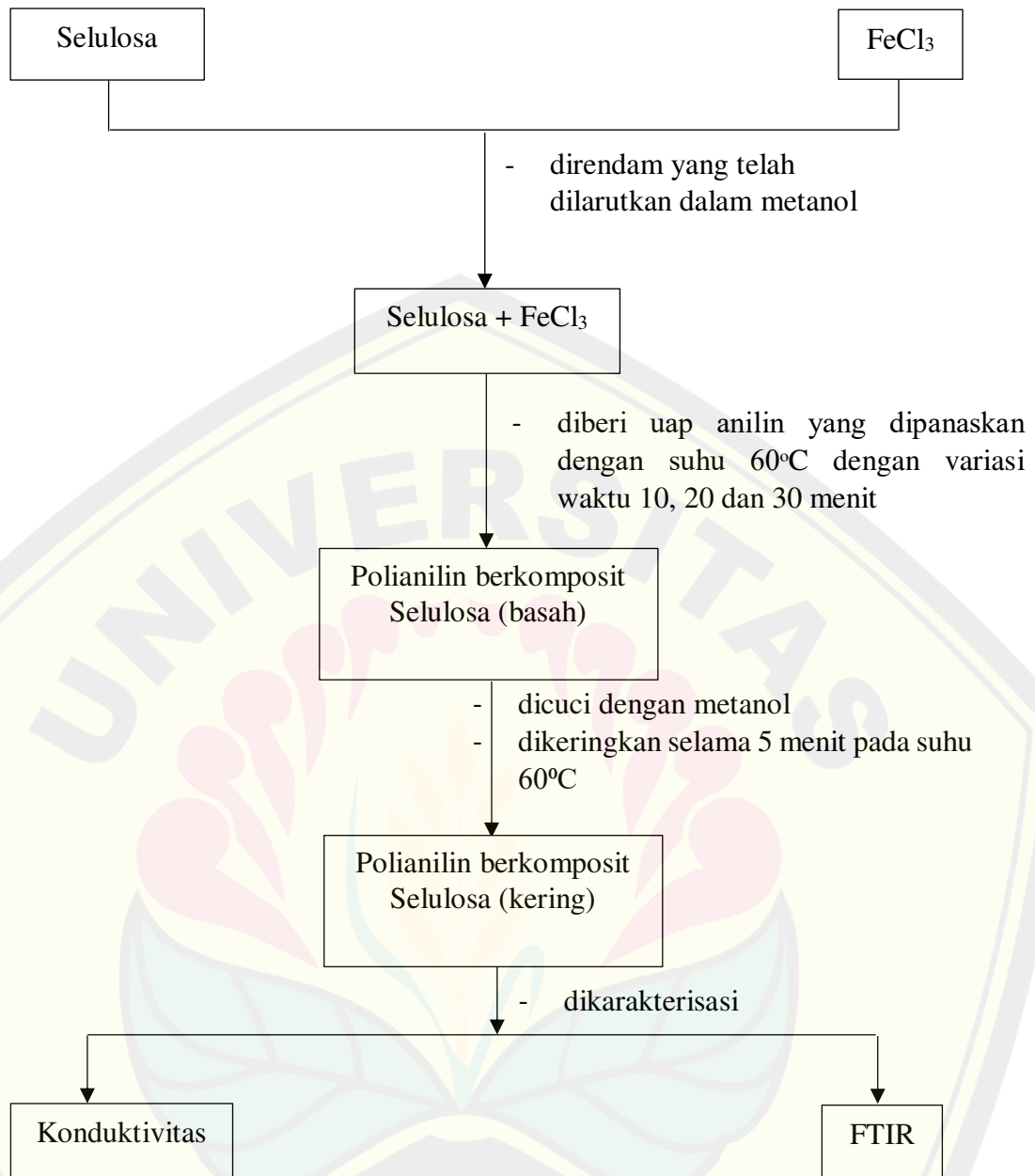
3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian “Sintesis dan Karakterisasi Material Komposit Polianilin (PANi)-Selulosa dengan Metode VPP (*Vapor Phase Polymeration*)” meliputi alat berdasarkan metode sintesis dan karakterisasi. Peralatan yang digunakan pada metode sintesis meliputi gelas beaker dengan volume 50 mL, 100 mL, 150 mL, gelas ukur dengan volume 100 mL, pipet mohr 10 ml, pipet volume 50 ml, *ball pipet*, batang pengaduk, kaca arloji, botol semprot, neraca analitik, penangas, desikator, oven, *water bath*, gunting, pelat kaca, bak koagulasi, dan *magnetic stirrer*. Peralatan yang digunakan pada karakterisasi meliputi alat *Fourier Transmittance Infra Red* (FTIR), PCB, kabel dan LCR meter.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian mengenai “Sintesis dan Karakterisasi Material Komposit Polianilin (PANi)-Selulosa dengan Metode VPP (*Vapor Phase Polymeration*)” antara lain anilin ($C_6H_5NH_2$) (*Merck Smart-Lab* M.W.93,13 g/mol) p.a, *Nata de Coco* inkubasi 5 hari, kertas saring *whattman* No.42 (diameter 90 mm), akuades, besi (III) klorida ($FeCl_3$) p.a, methanol, NaOH p.a (*Merck*), selulosa asetat *Sigma Aldrich* (BM 30.000,39,9wt%), aseton (*Merck*; $\rho=0,79$ g/mL,pa), dimetil sulfoksida (DMSO) (*Merck*; $\rho=1,11$ g/mL), dan dimetil pthalat (DMP) (*Schuchardt*; $\rho= 1.19$ g/mL, pa).

3.3 Diagram Alir



3.1 Diagram Alir Penelitian

*Catatan : Prosedur diatas dilakukan kembali dengan menggunakan substrat yang lain yaitu Nata de coco dan selulosa asetat

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Preparasi Bahan

a. Pemurnian Selulosa Bakteri (*Nata de Coco*)

Pemurnian selulosa bakteri (*nata de coco*) menggunakan metode pemurnian berdasarkan Indarti dan Asnawati (2011) yang telah dimodifikasi. Selulosa bakteri (*nata de coco*) didapatkan dari produksi UD. S WIAJI WIRA MANDIRI. *Nata de Coco* dipotong dengan ukuran 10x10 cm sebanyak sampel yang dibutuhkan. *Nata de Coco* sebanyak 1 kg ditambahkan dengan 1 liter NaOH 2% kemudian dimasak selama 1 jam dalam suhu 80-90°C. *Nata de Coco* didinginkan dan dicuci menggunakan air mengalir sehingga mencapai pH netral yang diukur menggunakan indikator universal. Pengovenan selama 4 jam pada *Nata de Coco* dengan suhu 70°C.

b. Pembuatan Membran Selulosa Asetat

Metode inversi fasa digunakan sebagai pembuatan membran selulosa asetat. Selulosa asetat sebanyak 2,0 gram dilarutkan dengan 1,9 mL larutan aseton dan 5,6 mL DMSO, ditambahkan 0,3 mL dimetil ftalat (DMP) dalam gelas beaker. Campuran larutan polimer tersebut kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 1 jam hingga homogen, kemudian didinginkan hingga tidak ada gelembung di dalamnya. Larutan polimer kemudian dituangkan di atas pelat kaca datar. Tepi pelat kaca diberi selotip terlebih dahulu untuk menyesuaikan ketebalan film yang dicetak. Batang pengaduk digunakan sebagai pendorong larutan polimer yang telah dituangkan pada plat kaca untuk mengatur ketebalan membran yang dicetak. Film yang terbentuk kemudian ditempatkan dalam bak koagulasi yang berisi aquades untuk proses pepadatan. Film yang terbentuk akan menjadi putih dan terpisah dari pelat kaca datar.

c. Pembuatan Oksidan *Ferric Chloride* (FeCl₃)

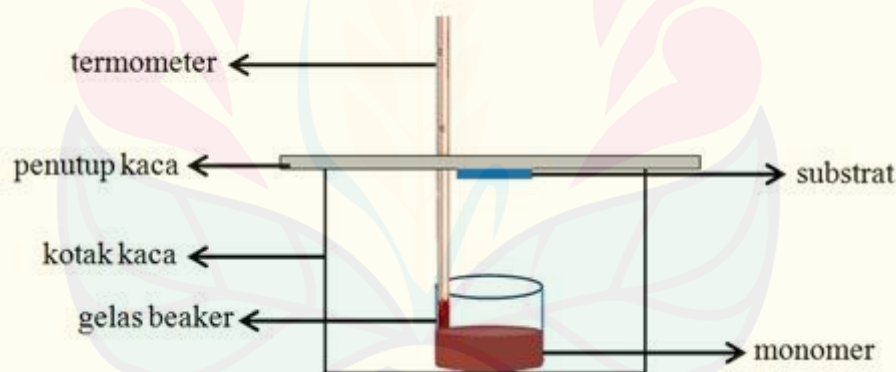
Pembuatan *Ferric chloride* 16,73% (w/w) dengan menimbang sebanyak 20 gram. Padatan FeCl₃ dilarutkan dalam gelas beaker 150 mL menggunakan methanol 70% sebanyak 126 mL. Larutan oksidan FeCl₃ 16,73 % (w/w) telah dibuat.

d. Anilin untuk polimerisasi

Anilin yang digunakan untuk proses polimerisasi sebanyak 10 mL, diambil menggunakan pipet mohr 10 mL. Larutan anilin diletakkan pada gelas beaker 50 mL dan diletakkan dalam kotak polimerisasi yang berada di *waterbath*. Anilin dapat digunakan untuk memulai proses polimerisasi.

3.4 Polimerisasi Anilin pada Selulosa

Polimerisasi dilakukan menggunakan proses VPP. Selulosa (5x5 cm) akan direndam dalam larutan FeCl_3 untuk melalui tahap awal VPP yakni pemberian oksidan pada substrat selama 10 menit dan dikeringkan dalam suhu ruang selama 1 jam. Selulosa masing-masing diletakkan dalam alat yang telah didesain untuk polimerisasi fase uap yang telah berisi monomer anilin dengan suhu 60°C . Selulosa dipolimerasi menggunakan uap anilin dengan variasi lama penguapan selama 10, 20, dan 30 menit. Komposit yang telah terbentuk dicuci menggunakan methanol untuk menghilangkan sisa pelarut yang tidak bereaksi dan dioven dalam suhu 60°C selama 5 menit. Sampel kemudian diletakkan dalam desikator selama 1 hari untuk memastikan distribusi dari uap anilin telah merata. Berikut Gambar 3.2 merupakan desain alat dari metode polimerisasi fase uap.



Gambar 3.2 Desain Alat VPP

Polimerisasi fase uap dilakukan dalam tempat tertutup yang berisikan gelas beaker untuk meletakkan monomer. Lubang pada atas kotak untuk meletakkan termometer guna mengukur suhu yang telah dicapai monomer. Kotak polimerisasi diletakkan dalam *waterbath* untuk mengatur suhu pemanasan monomer.

3.4 Karakterisasi Film PANi-Selulosa

a. Uji Konduktivitas Film Komposit PANi-Selulosa

Konduktivitas yang merupakan sifat kelistrikan dari film PANi-Selulosa yang merupakan hasil pengaruh dari oksidan FeCl_3 dapat diukur menggunakan alat LCR meter seperti yang telah dilakukan oleh Fachry *et al* (2005). Media perantara pengukuran konduktivitas menggunakan papan PCB 2 sisi dengan luas permukaan $P \times L$ (cm x cm) untuk menjepit film komposit. Komposit yang telah dijepit dengan PCB kemudian dirangkai dengan kabel-kabel yang dihubungkan pada alat LCR meter. Tombol LCR meter diarahkan pada pengukuran resistensi (Ω). Nilai resistensi yang didapatkan kemudian dikonversi menjadi nilai konduktivitas. Berikut persamaan yang digunakan untuk mengkonversi nilai resistansi menjadi konduktivitas ;

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (3.1)$$

nilai konduktivitas (σ) yang diperoleh dari nilai resistivitas (ρ), maka dapat diketahui nilai resistivitasnya menggunakan persamaan berikut ;

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (3.2)$$

dimana L merupakan ketebalan dan A merupakan luas film.


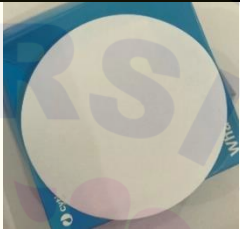



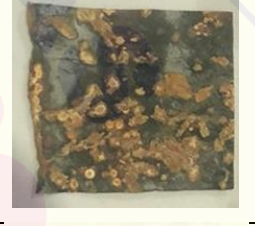
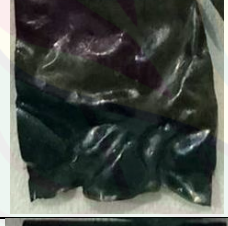
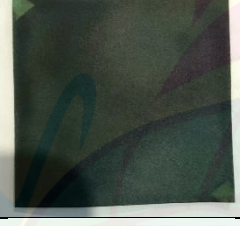

b. Karakterisasi dengan FTIR pada Komposit PANi-Selulosa

Karakterisasi FTIR dilakukan untuk mengkonfirmasi perubahan spectra IR selulosa yang telah dikompositkan dengan polianilin membentuk komposit PANi/Selulosa. Fungsi lain analisis FTIR yakni menganalisis perubahan konduktivitas dari perbedaan jenis oksidan dan waktu penguapan. Pengujian menggunakan FTIR dilakukan pada sampel komposit selulosa yang memiliki nilai konduktivitas tertinggi. Rentan gelombang yang digunakan adalah antara $500\text{-}4000 \text{ cm}^{-1}$.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

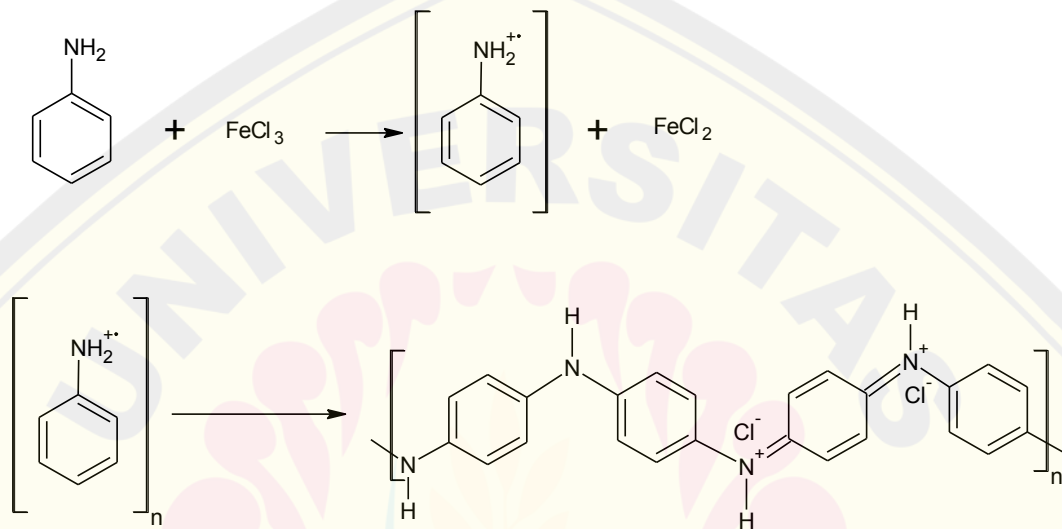
Sintesis komposit PANI-Selulosa pada penelitian ini menggunakan metode VPP (Yang *et al.*, 2013). Metode VPP prosesnya berlangsung melalui 2 tahap, tahap pertama pelapisan oksidan pada substrat dan tahap kedua polimerisasi berupa penguapan monomer dalam suatu wadah tertutup dengan suhu tertentu. Substrat dan komposit yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Bentuk Fisik Komposit PANI-Selulosa setelah polimerisasi

Waktu (menit)	Kompoit PANI-Selulosa Asetat	Komposit PANI-Kertas Saring	Komposit PANI-Nata de Coco
10			
20			
30			

Monomer dalam penelitian ini menggunakan anilin, dengan suhu polimerisasi sebesar 60°C didalam *waterbath*. Substrat yang digunakan dalam penelitian ini berupa 3 jenis berbasis selulosa yakni selulosa asetat, kertas saring (no. 42) dan *nata de coco*. Oksidan yang digunakan adalah FeCl_3 20% (w/w) untuk melapisi substrat sebelum proses polimerisasi (Bhowmik, *et al*, 2016).

Sifat fisik pada setiap substrat yang telah dipolimerisasi memberikan warna hijau pekat (garam emeraldin) dan biru pekat (basa emeraldin). Ketebalan selulosa murni menjadi komposit mengalami kenaikan, pada selulosa asetat sebesar 0,061 cm menjadi 0,062 cm, kertas saring sebesar 0,052 cm menjadi 0,068 cm dan nata de coco sebesar 0,073 cm menjadi 0,078 cm. Perubahan warna dan ketebalan terjadi ketika monomer anilin yang diapakan terpapar diatas substrat yang telah dilapisi oksidan FeCl_3 . Hal ini menunjukkan terdapat reaksi antara oksidan dengan monomer yang terdapat pada Gambar 4.1

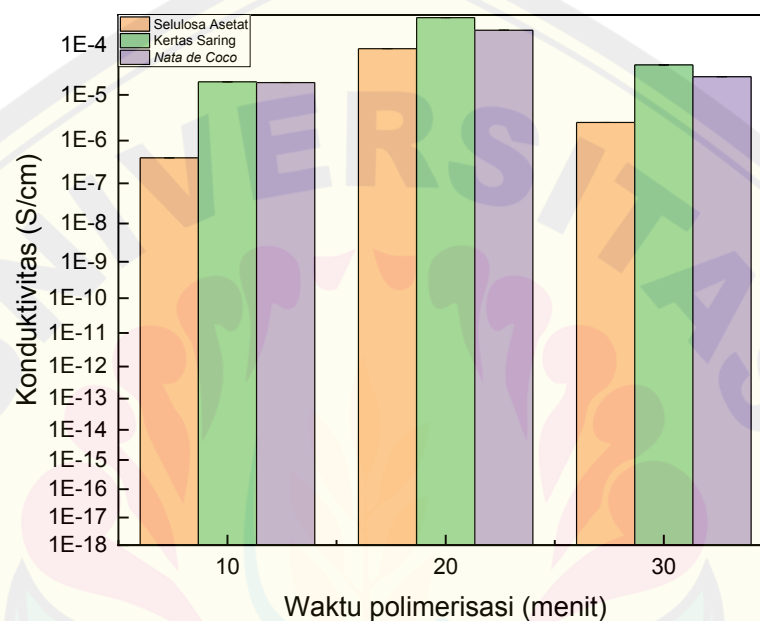


Gambar 4.1 Reaksi Monomer Anilin dengan Oksidan FeCl_3

Anilin yang bereaksi membentuk struktur basa emeraldin mengalami protonasi (H^+) dari FeCl_3 pada $-\text{N}=\text{$. Jumlah kation yang terdapat pada FeCl_3 mengalami reaksi secara optimal sehingga memberikan warna hijau pekat membentuk garam emeraldin dan memberikan nilai konduktivitas pada setiap substrat yang digunakan. Deb (2018) telah melakukan penelitian dengan hasil komposit berbasis *butter paper* memiliki warna hijau gelap menggunakan oksidan FeCl_3 , menunjukkan PANI telah terbentuk dimana keadaan oksidasinya merupakan garam emeraldin. Sifat fisik dapat dikonfirmasi dengan melihat sifat listrik melalui pengukuran nilai konduktivitas dari setiap komposit yang terbentuk dan melihat sinyal gelombang yang menunjukkan puncak benzoid dan quinoid dengan analisis IR yang menunjukkan bahwa PANI terdapat dalam substrat.

4.1 Pengaruh variasi waktu polimerisasi monomer Anilin pada komposit PANi-Selulosa terhadap nilai konduktivitas

Ketiga jenis substrat berbasis selulosa (selulosa asetat, kertas saring, dan *nata de coco*) yang telah dipolimerisasi selama 10, 20, dan 30 menit untuk membentuk komposit PANI dianalisis nilai konduktivitasnya. Analisis konduktivitas terhadap komposit PANI-Selulosa menggunakan alat LCR meter. Hasil pengukuran nilai konduktivitas yang diperoleh didapatkan ditunjukkan pada Gambar 4.2 sebagai berikut.



Gambar 4.2 Konduktivitas Komposit PANI-Selulosa (a)Selulosa Asetat; (b) Kertas Saring; (c)*nata de coco* pada setiap variasi waktu polimerisasi

Pada Gambar 4.2 konduktivitas komposit PANI-selulosa dengan berbagai waktu polimerisasi. Komposit PANI-Selulosa memiliki kenaikan nilai konduktivitas pada waktu polimerisasi 20 menit dan mengalami penurunan pada waktu polimerisasi 30 menit di setiap substrat (Lampiran Tabel 3). Komposit PANI-Selulosa pada setiap substrat memiliki nilai konduktivitas tertinggi pada polimerisasi selama 20 menit. Konduktivitas yang diperoleh pada waktu polimerisasi 20 menit yaitu selulosa asetat sebesar $8,64 \times 10^{-5}$ S/cm, kertas saring sebesar $33,54 \times 10^{-5}$ S/cm, dan *nata de coco* sebesar $19,55 \times 10^{-5}$ S/cm. Dalam metode

VPP yang telah dilakukan oleh Kim (2007) berdasarkan hasil konduktivitas yang didapatkan bahwa waktu polimerisasi yang optimal yakni 20 menit nilai konduktivitas tidak mengalami penurunan sehingga didapatkan nilai konduktivitas yang tinggi. Waktu polimerisasi 20 menit ini memungkinkan bahwa polimerisasi mencapai titik optimum dimana anilin akan berinteraksi dengan selulosa secara maksimal melalui perantara oksidan berupa FeCl_3 . Faktor yang mempengaruhi difusi anilin berkaitan dengan waktu dan oksidan yang digunakan pada saat polimerisasi berlangsung (Kim *et al*, 2007). Pada polimerisasi komposit-PANI selama 10 menit dan 30 menit menghasilkan konduktivitas yang relatif lebih kecil. Hal ini disebabkan monomer anilin belum berdifusi secara optimal sehingga anilin belum banyak yang berikatan dengan selulosa yang telah dilapisi oleh oksidan. Sementara pada komposit perlakuan polimerisasi selama 30 menit terjadi penurunan, hal ini memungkinkan karena difusi anilin mencapai titik jenuh sehingga polianilin yang terbentuk kembali ke keadaan basanya.

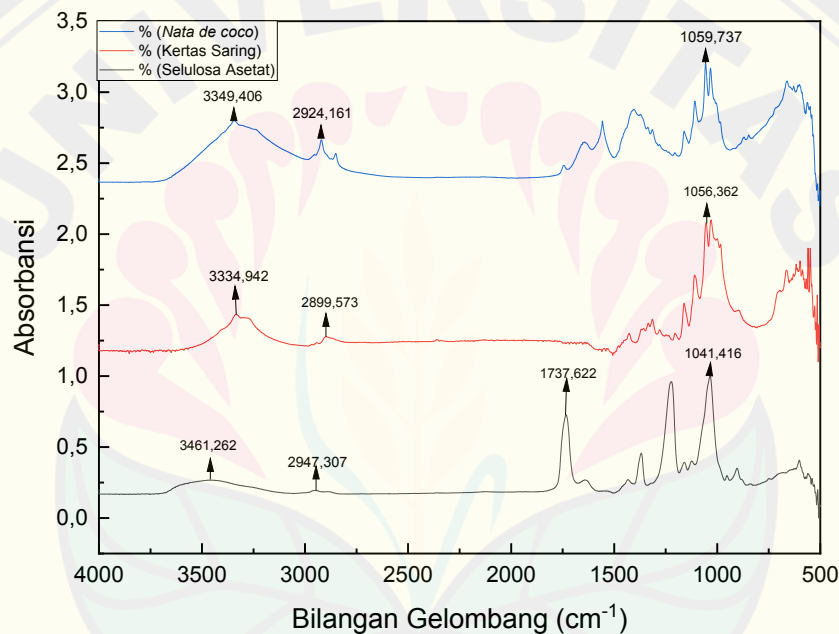
Berdasarkan nilai konduktivitas tertinggi diantara substrat yang digunakan untuk membentuk komposit PANI-Selulosa berupa selulosa asetat, kertas saring, dan *nata de coco*, selulosa berupa kertas saring mempunyai nilai konduktivitas tertinggi dibandingkan dengan selulosa lainnya yakni selulosa asetat dan *nata de coco*. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian Youssef (2012) konduktivitas komposit PANi sebesar $5,7 \times 10^{-5} \text{ S/cm}$. Hal ini disebabkan kertas saring memiliki daya serap yang tinggi sehingga FeCl_3 terserap secara optimum. Pada kertas saring yang memiliki nilai konduktivitas tertinggi mengindikasikan bahwa polianilin banyak berinteraksi dengan serat-serat selulosanya.

Komposit berbasis selulosa asetat dan *nata de coco* memiliki nilai konduktivitas yang lebih kecil. Pada selulosa asetat memiliki nilai konduktivitas yang kecil disebabkan semakin lama pemanasan suatu senyawa yang dipaparkan pada selulosa asetat maka dapat memperkecil porinya. Sesuai dengan pernyataan Supriyadi (2013), membran yang mengalami pemanasan lebih lama akan mengakibatkan pori mengecil sehingga interaksi anilin dalam substrat semakin sedikit. Adapun pada *nata de coco* nilai konduktivitasnya kecil disebabkan serat selulosa pada *nata de coco* masa inkubasi 5 hari lebih sedikit sehingga interaksi

anilin pada serat-seratnya juga sedikit. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Putra (2020) dimana BC-PANI masa inkubasi 11 hari memiliki nilai konduktivitas lebih tinggi dibandingkan dengan BC-PANI mana inkubasi 3 hari. Hal ini dapat dikonfirmasi dengan munculnya puncak spektra senyawa benzoid dan quinoid yang merupakan ciri khas dari PANI melalui karakterisasi FTIR.

4.2 Analisis gugus fungsi pada komposit PANI-Selulosa menggunakan FTIR

Hasil dari penelitian ini berupa komposit PANI-Selulosa dikarakterisasi menggunakan instrumen berupa FTIR. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi dan pergeseran rentan bilangan gelombang yang terdapat pada Komposit PANI-Selulosa. Pada Gambar 4.2 berupa spektra absorbansi 3 jenis substrat berbasis selulosa yakni selulosa asetat, kertas saring, dan *nata de coco*.

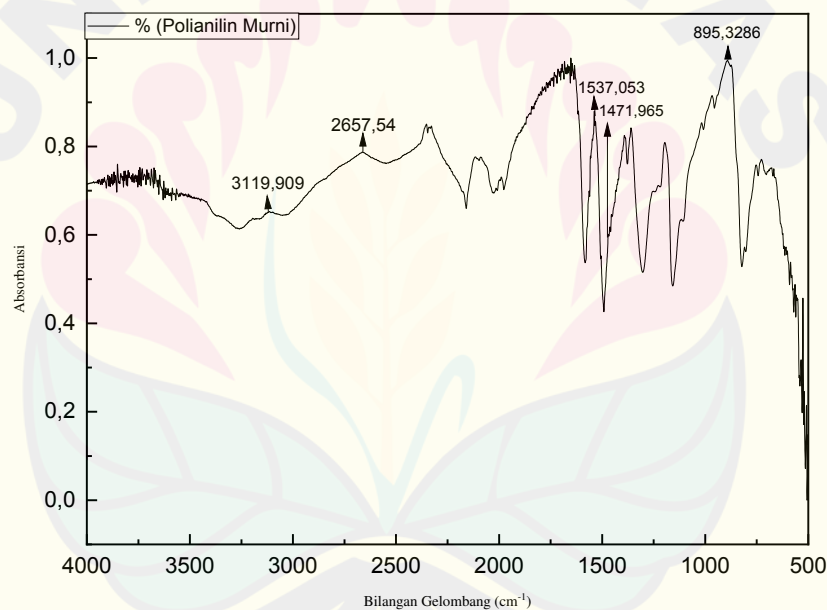


Gambar 4.3 Spektra FTIR Selulosa berupa selulosa asetat, kertas saring, dan *nata de coco*

Puncak ciri khas pada Gambar 4.3 terletak di bilangan gelombang sekitar 3500 cm⁻¹ menunjukkan puncak -OH *stretching* dimana setiap selulosa memiliki rentan panjang gelombang pada bilangan berturut-turut 3461,261 cm⁻¹, 3334,942 cm⁻¹, dan 3334,29 cm⁻¹. Salah satu puncak serapan yang menunjukkan ciri khas dari selulosa juga ditunjukkan pada bilangan gelombang sekitar 2900 cm⁻¹ merupakan

vibrasi *stretching* ikatan C-H sp³, pada ketiga selulosa ditunjukkan pada bilangan gelombang berturut-turut 2947,304 cm⁻¹, 2899,573 cm⁻¹, dan 2924,161 cm⁻¹. Ciri khas selulosa juga ditunjukkan dengan adanya ikatan glukosida antar monomer terletak pada sekitar panjang gelombang 1060 cm⁻¹, dimana puncak tersebut merupakan vibrasi C-O-C eter. Pada ketiga selulosa ditunjukkan ikatan glikosida pada bilangan gelombang berturut-turut 1041,416 cm⁻¹, 1056,362 cm⁻¹, dan 1059,737 cm⁻¹. Terdapat spektra khusus pada selulosa asetat yang muncul sekitar 1700 yang merupakan serapan karbonil asam karboksilat, pada hasil penelitian muncul pada puncak 1737,622 cm⁻¹. Hal ini menunjukkan bahwa analisis selulosa pada variasi selulosa yang digunakan berupa selulosa asetat, kertas saring dan *nata de coco* merupakan selulosa seperti pada Gambar 2.6.

Berdasarkan spektra FTIR pada Gambar 4.4 didapatkan puncak spektra yang mewakili PANi murni.

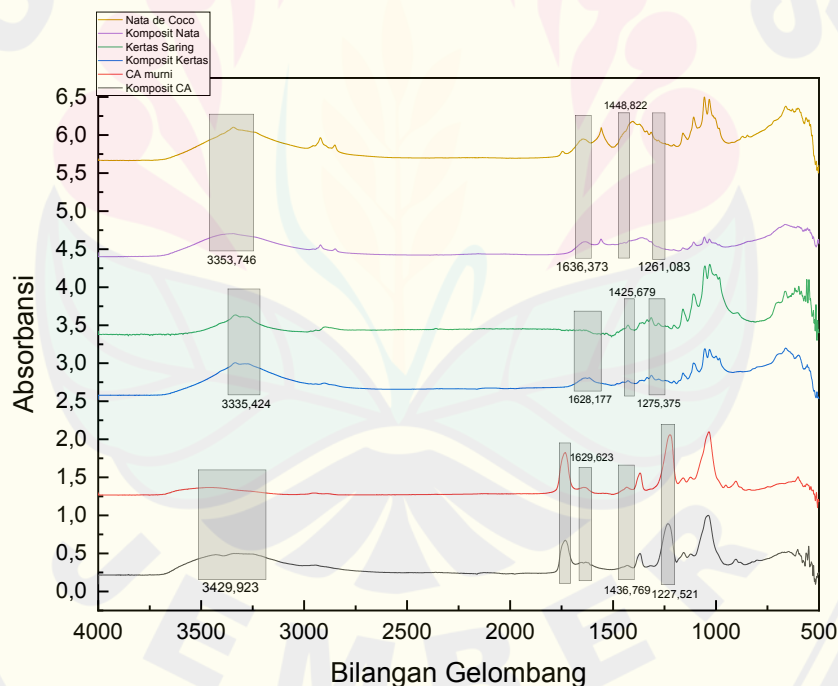


Gambar 4.4 Spektra FTIR dari Polianilin Murni

Puncak yang didapatkan terletak pada panjang gelombang 1537,053 cm⁻¹ menunjukkan *stretching* C=N dari cincin quinoid, 1471,965 cm⁻¹ mewakili *stretching* C-N dari benzoid dan 895,3286 cm⁻¹ yang merupakan C-H *bending*. Hasil dari spektra PANi murni yang didapatkan mendukung data dari penelitian yang telah dilakukan oleh Husein (2017). Puncak khas spektra PANi murni yang

didapatkan terletak pada panjang gelombang 1564 cm^{-1} , 1493 cm^{-1} , dan 822 cm^{-1} . Puncak serapan pada panjang gelombang tersebut merupakan *stretching* cincin quinoid, *stretching* cincin benzoid, dan substitusi *-para* pada C-H benzene. Hal ini menunjukkan bahwa spektra tersebut merupakan polianilin murni berdasarkan spektra FTIR yang telah dianalisis.

Ketiga substrat yang digunakan dalam Sintesis komposit PANI-Selulosa pada karakterisasi sifat listrik melalui LCR meter menghasilkan komposit PANI-Selulosa dengan nilai konduktivitas tertinggi pada setiap substrat dengan waktu polimerisasi selama 20 menit. Hal ini dapat dikonfirmasi dengan hasil dari karakterisasi menggunakan FTIR untuk mengetahui puncak-puncak khas PANI yang menunjukkan film yang terbentuk merupakan komposit PANI-Selulosa. Pada Gambar 4.5 dibawah menunjukkan spektra FTIR dari PANI-Selulosa waktu polimerisasi 20 menit yang memiliki nilai konduktivitas tertinggi, dikonfirmasi pada spektra tersebut terdapat puncak PANI yang mengalami tumpang tindih dengan puncak khas dari selulosa.



Gambar 4.5 Spektra FTIR pada Komposit PANI-Selulosa (Selulosa Asetat, Kertas Saring, dan *Nata de Coco*) polimerisasi selama 20 menit

Puncak PANI yang terletak pada spektra PANI-Selulosa berupa gugus hidroksil (O-H), cincin quinoid, cincin benzoid, dan gugus eter (C-O) yang ditunjukkan pada Tabel 4.2. Cincin quinoid dan cincin benzoid merupakan ciri khas dari PANI dimana kedua cincin tersebut memberikan sifat kelistrikan terhadap PANI. Penggunaan FeCl_3 sebagai oksidan memiliki peran lain yaitu sebagai dopan, dimana ketika FeCl_3 bereaksi dengan methanol akan melepaskan 1 atom H yang akan memprotonasi situs imina ($-\text{N}=\text{}$). Proses protonasi tersebut akan memberikan perubahan terhadap cincin quinoid sehingga membentuk cincin benzoid, dimana hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya sifat kelistrikan dari PANI.

Penggunaan ketiga substrat berupa selulosa asetat, kertas saring, dan *nata de coco* memiliki tujuan untuk mengetahui substrat terbaik untuk menjadi matriks dari PANI. Perbedaan spektra selulosa murni (Gambar 4.3) dengan komposit PANI-Selulosa (Gambar 4.6) tampak tidak berbeda secara signifikan, komposit PANI-Selulosa memiliki pergeseran spektra untuk mencapai ciri khusus PANI dari puncak asal selulosa murni. Konfirmasi lain yang menunjukkan bahwa PANI telah membentuk komposit terhadap matriksnya didukung dari nilai konduktivitas yang didapatkan. Ketiga substrat yang digunakan masing-masing memiliki nilai konduktivitas (Gambar 4.2) yang tinggi pada variasi waktu polimerisasi 20 menit dengan menggunakan suhu polimerisasi 60°C . Nilai konduktivitas terbesar dari masing-masing substrat berupa selulosa asetat ($8,657 \times 10^{-5} \text{ S/cm}$), kertas saring ($33,610 \times 10^{-5} \text{ S/cm}$), dan *nata de coco* ($19,554 \times 10^{-5} \text{ S/cm}$) merupakan kertas saring. Hasil analisis FTIR pada komposit PANI-Selulosa untuk mengetahui gugus fungsi dari komposit PANI-Selulosa bahwa pergeseran untuk mengkonfirmasi bahwa PANI telah berinteraksi dengan selulosa kurang signifikan sehingga perbedaan spektra selulosa dengan yang telah menjadi komposit tidak terlihat jelas. Tetapi dalam hal ini dapat dikonfirmasi dari analisis konduktivitas yang telah dilakukan sehingga dalam komposit PANI-Selulosa memiliki sifat listrik yang lebih besar dari senyawa monomer anilinya. Namun, perlu dilakukan studi lebih lanjut untuk mengetahui kualitas substrat yang baik digunakan untuk komposit PANI-Selulosa.

Tabel 4.2 Mode Vibrasi dan Panjang Gelombang pada Spektra PANI-Selulosa

Mode Vibrasi	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)						
	PANI murni	CA	Komposit PANI-CA*	Kertas Saring	Komposit PANI-KS**	NdC	Komposit PANI-NdC***
<i>Stretching</i> N-H	-	-	3429,923	-	3335,424	-	3353,746
C=N Quinoid	1537,053	-	1629,623	-	1628,177	-	1636,373
C=C Benzoid	1471,965	-	1436,769	-	1425,679	-	1448,822
C-O-C Eter	-	1041,416	1227,521	1056,362	1275,375	1059,737	1281,083
<i>Stretching</i> O-H	-	3461,261	-	334,942	-	3334,29	-
C-H sp ³	-	2947,304	-	2899,573	-	2924,161	-
<i>Stretching</i> benzena disubstitusi para	895,329	-	802,758	-	795,044	-	740,08

*Al-Ahmed (2004)

**Youssef (2012)

***Widiyanti & Putri (2018)

BAB 5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian sintesis komposit polianilin-selulosa (selulosa asetat, kertas saring, dan *nata de coco*) diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengaruh waktu polimerisasi pada sintesis Komposit PANI-Selulosa ini menunjukkan bahwa waktu polimerisasi selama 20 menit memberikan nilai konduktivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan waktu polimerisasi selama 10 menit dan 30 menit. Nilai konduktivitas yang didapatkan setiap komposit PANI-Selulosa yaitu selulosa asetat sebesar $8,645 \times 10^{-5}$ S/cm, kertas saring sebesar $33,54 \times 10^{-5}$ S/cm, dan *nata de coco* sebesar $19,496 \times 10^{-5}$ S/cm.
2. Perbandingan substrat yang baik digunakan untuk membentuk komposit PANI-Selulosa berupa selulosa asetat, kertas saring, dan *nata de coco* ditinjau dari hasil spektra terdapat puncak gugus C=C quinoid dan benzoid serta nilai konduktivitas yang diperoleh. Pada substrat kertas saring waktu polimerisasi 20 menit puncak khas PANI muncul pada bilangan gelombang $1628,177 \text{ cm}^{-1}$ dan $1425,679 \text{ cm}^{-1}$ dengan nilai konduktivitas sebesar $33,54 \times 10^{-5}$ S/cm. Berdasarkan nilai konduktivitas serta konfirmasi ciri khas PANI yang muncul pada spektra IR bahwa kertas saring merupakan substrat yang baik dalam penelitian ini untuk membentuk komposit PANI-Selulosa.

5.2 Saran

Berdasarkan dari hasil penelitian berupa sintesis komposit polianilin-selulosa (PANI-Selulosa) menggunakan metode *Vapor Phase Polymerization* (VPP) didapatkan komposit yang fleksibel dan menghasilkan nilai konduktivitas tertinggi pada substrat kertas saring dengan waktu polimerisasi selama 20 menit. Monomer anilin yang tidak diketahui seberapa banyak telah terkomposit didalam setiap substrat yang digunakan, dengan demikian perlu analisis yang lebih spesifik dari analisis FTIR dan analisis konduktivitas terhadap film.

DAFTAR PUSTAKA

- Abia, A. J. (2006). *Polyaniline and Its Derivatives for Environmental Analysis*. 70.
- Acevedo, D. F., Salavagione, H. J., Miras, M. C., & Barbero, C. A. (2005). Synthesis, properties and applications of functionalized polyanilines. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 16(2), 259–269. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532005000200020>
- Ansari, R., & Keivani, M. B. (2006). *Polyaniline Conducting Electroactive Polymers : Thermal and Environmental Stability Studies*. 3(4), 202–217.
- Baghaei, B., & Skrifvars, M. (2020). All-Cellulose Composites: A Review of Recent Studies on Structure, Properties and Applications. *Molecules*, 25(12). <https://doi.org/10.3390/molecules25122836>
- Balkan, A., Armagan, E., & Ince, G. O. (2017). Synthesis of coaxial nanotubes of polyaniline and poly(hydroxyethyl methacrylate) by oxidative/initiated chemical vapor deposition. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 8(1), 872–882. <https://doi.org/10.3762/bjnano.8.89>
- Bhadra, S., Khastgir, D., Singha, N. K., & Lee, J. H. (2009). Progress in preparation, processing and applications of polyaniline. In *Progress in Polymer Science (Oxford)* (Vol. 34, Issue 8, pp. 783–810). Pergamon. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2009.04.003>
- Bhattacharyya, D., Howden, R. M., Borrelli, D. C., & Gleason, K. K. (2012). Vapor phase oxidative synthesis of conjugated polymers and applications. *Journal of Polymer Science, Part B: Polymer Physics*, 50(19), 1329–1351. <https://doi.org/10.1002/polb.23138>
- Bhowmik, K. L., Deb, K., Bera, A., Nath, R. K., & Saha, B. (2016). Charge Transport through Polyaniline Incorporated Electrically Conducting Functional Paper. *Journal of Physical Chemistry C*, 120(11), 5855–5860. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5b08650>
- Castro, C., Zuluaga, R., Putaux, J. L., Caro, G., Mondragon, I., & Gañán, P. (2011). Structural characterization of bacterial cellulose produced by *Gluconacetobacter swingsii* sp. from Colombian agroindustrial wastes. *Carbohydrate Polymers*, 84(1), 96–102. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.10.072>
- Chen, C., Larue, J. C., Nelson, R. D., Kulinsky, L., & Madou, M. J. (2012). *Electrical Conductivity of Polymer Blends of Poly (3 , 4-ethylenedioxythiophene) : Poly (styrenesulfonate) : N -Methyl-2-*

pyrrolidinone and Polyvinyl Alcohol. <https://doi.org/10.1002/app>

- Chiolerio, A., Bocchini, S., Crepaldi, M., Bejtka, K., & Pirri, C. F. (2017). Bridging electrochemical and electron devices: fast resistive switching based on polyaniline from one pot synthesis using FeCl₃ as oxidant and co-doping agent. *Synthetic Metals*, 229(January), 72–81. <https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2017.05.001>
- Deb, K., Bera, A., Bhowmik, K. L., & Saha, B. (2018). Conductive polyaniline on paper as a flexible electronic material with controlled physical properties through vapor phase polymerization. *Polymer Engineering and Science*, 58(12), 2249–2255. <https://doi.org/10.1002/pen.24845>
- Eskandari, E., Kosari, M., Davood Abadi Farahani, M. H., Khiavi, N. D., Saeedikhani, M., Katal, R., & Zarinejad, M. (2020). A review on polyaniline-based materials applications in heavy metals removal and catalytic processes. *Separation and Purification Technology*, 231(July 2019). <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.115901>
- Fachry, H., Santoso, E., Febriadi, H. 2005. *Pembuatan Bahan Konduktor Melalui Proses Polimerisasi Anilin*. Jurnal Teknik Kimia No. 4 Vol. 6. Unsri
- Gopakumar, D. A., Pai, A. R., Pottathara, Y. B., Pasquini, D., Carlos De Morais, L., Luke, M., Kalarikkal, N., Grohens, Y., & Thomas, S. (2018). Cellulose Nanofiber-Based Polyaniline Flexible Papers as Sustainable Microwave Absorbers in the X-Band. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 10(23), 20032–20043. <https://doi.org/10.1021/acsami.8b04549>
- Hubbe, M. A., Venditti, R. A., & Rojas, O. J. (2007). What happens to cellulosic fibers during papermaking and recycling? A review. *BioResources*, 2(4), 739–788. <https://doi.org/10.15376/biores.2.4.739-788>
- Izwan, S., Razak, A., Wahab, I. F., Fadil, F., Dahli, F. N., Khudzari, A. Z., & Adeli, H. (2015). A Review of Electrospun Conductive Polyaniline Based Nanofiber Composites and Blends: Processing Features, Applications, and Future Directions. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2015, 1–19.
- Johnston, J. H., Moraes, J., & Borrmann, T. (2005). Conducting polymers on paper fibres. *Synthetic Metals*, 153(1–3), 65–68. <https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2005.07.138>
- Kim, J. Y., Lee, J. H., & Kwon, S. J. (2007). The manufacture and properties of polyaniline nano-films prepared through vapor-phase polymerization. *Synthetic Metals*, 157(8–9), 336–342. <https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2007.03.013>

- Lawal, A. T., & Wallace, G. G. (2014). Vapour phase polymerisation of conducting and non-conducting polymers: A review. *Talanta*, *119*, 133–143. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2013.10.023>
- Li, B., & Yang, X. (2020). Rutin-loaded cellulose acetate/poly(ethylene oxide) fiber membrane fabricated by electrospinning: A bioactive material. *Materials Science and Engineering C*, *109*(December 2019), 110601. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2019.110601>
- Li, X., Rafie, A., Smolin, Y. Y., Simotwo, S., Kalra, V., & Lau, K. K. S. (2019). Engineering conformal nanoporous polyaniline via oxidative chemical vapor deposition and its potential application in supercapacitors. *Chemical Engineering Science*, 156–164. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2018.06.053>
- Lin, Z., Li, S., & Huang, J. (2020). Natural Cellulose Derived Nanocomposites as Anodic Materials for Lithium-Ion Batteries. *Chemical Record*, *20*(3), 187–208. <https://doi.org/10.1002/tcr.201900030>
- Liu, G., & Freund, M. S. (1997). New approach for the controlled cross-linking of polyaniline: Synthesis and characterization. *Macromolecules*, *30*(19), 5660–5665. <https://doi.org/10.1021/ma970469n>
- Maryanti, B., Sonief, A., & Wahyudi, S. (2011). Pengaruh Alkalisasi Komposit Serat Kelapa-Poliester Terhadap Kekuatan Tarik. *Rekayasa Mesin*, *2*(2), 123–129.
- Naomi, R., Idrus, R. B. H., & Fauzi, M. B. (2020). Plant-vs. Bacterial-derived cellulose for wound healing: A review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(18), 1–25. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186803>
- Odian, G. 2004. *Principle of Polymerization Fourth Edition*. New Jersey : A John Wiley & Sons, Inc.
- Oprea, M., & Voicu, S. I. (2020). Recent advances in composites based on cellulose derivatives for biomedical applications. *Carbohydrate Polymers*, *247*, 116683. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116683>
- Peikertova, P., Matejka, V., Kulhankova, L., Neuwirthova, L., Tokarsky, J., & Čapkova, P. (2011). Thin polyaniline films: Study of the thermal degradation. *NANOCON 2011 - Conference Proceedings, 3rd International Conference*, 516–520.
- Pron, A., Rannou, P., & Synthe, Â. (2002). *Processible conjugated polymers : from organic semiconductors to organic metals and superconductors*. 27, 135–190.

- Rao, P. S., Sathyanarayana, D. N., & Palaniappan, S. (2002). Polymerization of aniline in an organic peroxide system by the inverted emulsion process. *Macromolecules*, 35(13), 4988–4996. <https://doi.org/10.1021/ma0114638>
- Sanaz Eslah, & Mahdi Nouri. (2019). Fabrication of Electrically Conductive Cellulose Acetate/Polyaniline/WO₃ Nanocomposite Nanofibers with Potential Applications in Electrochemical Devices. *Polymer Science - Series A*, 61(3), 345–356. <https://doi.org/10.1134/S0965545X19030040>
- Scherr, E. M., MacDiarmid, A. G., Manohar, S. K., Masters, J. G., Sun, Y., Tang, X., Druy, M. A., Glatkowski, P. J., Cajipe, V. B., Fischer, J. E., Cromack, K. R., Jozefowicz, M. E., Ginder, J. M., McCall, R. P., & Epstein, A. J. (1991). Polyaniline: Oriented films and fibers. *Synthetic Metals*, 41(1–2), 735–738. [https://doi.org/10.1016/0379-6779\(91\)91173-8](https://doi.org/10.1016/0379-6779(91)91173-8)
- Shi, Z., Zang, S., Jiang, F., Huang, L., Lu, D., Ma, Y., & Yang, G. (2012). In situ nano-assembly of bacterial cellulose-polyaniline composites. *RSC Advances*, 2(3), 1040–1046. <https://doi.org/10.1039/c1ra00719j>
- Shirakawa, H. (2000). *Nobel Prize in Chemistry 2000 Electrically Conductive Plastic The Discovery of Polyacetylene Film : The Dawning of an Era*.
- Shoba, B., Jeyanthi, J., & Vairam, S. (2020). Synthesis, characterization of cellulose acetate membrane and application for the treatment of oily wastewater. In *Environmental Technology (United Kingdom)* (Vol. 41, Issue 12). Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1080/09593330.2018.1543353>
- Sitorus, B., Suendo, V., & Hidayat, F. (2011). Sintesis Polimer Konduktif sebagai Bahan Baku untuk Perangkat Penyimpan Energi Listrik. *Jurnal ELKHA*, 3(1), 43–47.
- Sabotakin, M., Maharramov, M., Ramazanov, M. (2009). *Synthesis and Characterization of Polyaniline/Poly (P-Hydroxyaniline)/Fe₃O₄ Magnetic Nanocomposite 1*(3), 211–215.
- Wang, Z., Malti, A., Ouyang, L., Tu, D., Tian, W., Wågberg, L., & Hamed, M. M. (2018). Copper-Plated Paper for High-Performance Lithium-Ion Batteries. *Small*, 14(48), 1–8. <https://doi.org/10.1002/sml.201803313>
- Wibawanto, R. H., & Darminto, D. (2012). Elektropolimerisasi Film Polianilin dengan Metode Galvanostatik dan Pengukuran Laju Pertumbuhannya. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 8(1), 120104. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v8i1.859>
- Yang, Y., Zhang, L., Li, S., Wang, Z., Xu, J., Yang, W., & Jiang, Y. (2013). Vapor phase polymerization deposition conducting polymer nanocomposites on

porous dielectric surface as high performance electrode materials. *Nano-Micro Letters*, 5(1), 40–46. <https://doi.org/10.3786/nml.v5i1.p40-46>

Youssef, A. M., Kamel, S., El-Sakhawy, M., & El Samahy, M. A. (2012). Structural and electrical properties of paper-polyaniline composite. *Carbohydrate Polymers*, 90(2), 1003–1007. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.06.034>



LAMPIRAN

Lampiran 3.1 Preparasi Larutan

3.1.1 Larutan NaOH 2%

$$x\% = \frac{m}{v}$$

$$\frac{x \text{ g}}{100 \text{ mL}} = \frac{20 \text{ g}}{1000 \text{ mL}}$$

$$m = \frac{20 \text{ g} \times 100 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}}$$

$$m = 2 \text{ gram}$$

Sehingga larutan yang digunakan sebesar 2%

3.1.2 Larutan FeCl₃ 20%w/w

Densitas metanol = 0,7918 g/cm³ = 0,7918 g/mL

Volume metanol = 126 mL

$$\begin{aligned} \text{w/w \%} &= \frac{W \text{ terlarut}}{W \text{ larutan}} \times 100 \% \\ &= \frac{20}{119,54} \times 100 \% \\ &= 16,73\% \end{aligned}$$

FeCl₃ yang dilarutkan sebanyak 20 gram dalam 99,54 gram methanol

Sehingga larutan FeCl₃ yang digunakan sebanyak 16,73%

Lampiran 4. 1 Perhitungan Data Penelitian

4.1.1 Perhitungan Nilai Konduktivitas

$$\rho = R \times \frac{A}{l}$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

Keterangan:

σ : Konduktivitas (S/cm)

ρ : Resistivitas (Ω .cm)

R : Resistansi (Ω)

A : Luas film (cm²)

l : Ketebalan (cm)

Contoh perhitungan konduktivitas komposit Selulosa Asetat data 1

$$\rho = R \times \frac{A}{l}$$

$$\rho = 68820 \times \frac{2,25 \text{ cm}^2}{0,062}$$

$$\rho = 2497500$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

$$\sigma = \frac{1}{2497500}$$

$$\sigma = 4,004 \times 10^{-7} \text{ S/cm}$$

Tabel 1 Data Konduktivitas pada setiap substrat dengan variasi waktu polimerisasi

Waktu (t)	Substrat	Resistansi (Ohm)	A (cm ²)	L (cm)	Resistivitas (Ohm.cm) ⁻¹	Konduktivitas (S/cm)
10	Selulosa Asetat	68820	2,25	0,062	2497500	4,004x10 ⁻⁷
		68830	2,25	0,062	2497862,9	4,00341x10 ⁻⁷
		68930	2,25	0,062	2501491,94	3,99781x10 ⁻⁷
	Kertas Saring	1620	2,25	0,068	53602,94118	1,86557x10 ⁻⁵
		1622	2,25	0,068	53669,11765	1,86327x10 ⁻⁵
		1623	2,25	0,068	53702,20588	1,86212x10 ⁻⁵
	Nata de Coco	1921,1	2,25	0,078	55416,34615	1,80452x10 ⁻⁵
		1920,8	2,25	0,078	55407,69231	1,8048x10 ⁻⁵
		1919,6	2,25	0,078	55373,07692	1,80593x10 ⁻⁵
20	Selulosa Asetat	318,3	2,25	0,062	11551,2097	8,6571x10 ⁻⁵
		318,8	2,25	0,062	11569,3548	8,64352x10 ⁻⁵
		319,1	2,25	0,062	11580,2419	8,6354x10 ⁻⁵
	Kertas Saring	89,92	2,25	0,068	2975,294118	3,36101x10 ⁻⁴
		90,39	2,25	0,068	2990,845588	3,34335x10 ⁻⁴
		89,99	2,25	0,068	2977,610294	3,3584x10 ⁻⁴
	Nata de Coco	178,3	2,25	0,078	5143,269231	1,94429x10 ⁻⁴
		177,29	2,25	0,078	5114,134615	1,95537x10 ⁻⁴
		177,85	2,25	0,078	5130,288462	1,94921x10 ⁻⁴

30	Selulosa Asetat	10900	2,25	0,062	395564,516	$2,52803 \times 10^{-6}$
		10840	2,25	0,062	393387,097	$2,54203 \times 10^{-6}$
		10890	2,25	0,062	395201,613	$2,53035 \times 10^{-6}$
	Kertas Saring	734	2,25	0,068	24286,76471	$4,11747 \times 10^{-5}$
		733	2,25	0,068	24253,67647	$4,12309 \times 10^{-5}$
		737	2,25	0,068	24386,02941	$4,10071 \times 10^{-5}$
	Nata de Coco	1455,5	2,25	0,078	41985,57692	$2,38177 \times 10^{-5}$
		1457,9	2,25	0,078	42054,80769	$2,37785 \times 10^{-5}$
		1456,8	2,25	0,078	42023,07692	$2,37964 \times 10^{-5}$

4.1.2 Perhitungan Standar Deviasi (SD) dan Relatif Standar Deviasi (RSD)

$$SD = \sqrt{\frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}{n - 1}}$$

$$RSD = \frac{SD}{\bar{x}}$$

Keterangan

SD : Standar deviasi

X : Konduktivitas

n : Pengulangan

RSD : Relatif standar deviasi

\bar{x} : Rata-rata konduktivitas

Contoh perhitungan SD dan RSD komposit komposisi A dengan HCl 3M

$$SD = \sqrt{\frac{\sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}}{n - 1}}$$

$$SD = \sqrt{\frac{4,8 \times 10^{-13} - \frac{1,6 \times 10^{-13}}{3}}{3 - 1}}$$

$$SD = 3,533 \times 10^{-10}$$

$$RSD = \frac{SD}{\bar{x}}$$

$$RSD = \frac{3,533 \times 10^{-10}}{4,0 \times 10^{-7}} = 8,8 \times 10^{-4}$$

Tabel 2 Data Standard Deviasi pada substrat setiap variasi waktu polimerisasi

Waktu (menit)	Substrat	$\chi \sigma$ (Ohm.cm) ⁻¹	ΣX	ΣX^2	$(\Sigma X)^2$	SD	RSD
10	Selulosa asetat	4,002x10 ⁻⁷	1,2x10 ⁻⁶	4,8x10 ⁻¹³	1,6x10 ⁻¹³	3,5x10 ⁻¹⁰	8,8x10 ⁻⁴
	Kertas saring	1,864x10 ⁻⁵	5,6x10 ⁻⁵	1x10 ⁻⁹	3,5x10 ⁻¹⁰	1,8x10 ⁻⁸	9,4x10 ⁻⁴
	<i>Nata de coco</i>	1,805x10 ⁻⁵	5,4x10 ⁻⁵	9,8x10 ⁻¹⁰	3,3x10 ⁻¹⁰	7,5x10 ⁻⁹	4,1x10 ⁻⁴
20	Selulosa asetat	8,645x10 ⁻⁵	2,6x10 ⁻⁴	2,2x10 ⁻⁸	7,5x10 ⁻⁹	2,4x10 ⁻⁸	7,6x10 ⁻⁴
	Kertas saring	3,354x10 ⁻⁴	1x10 ⁻³	3,4x10 ⁻⁷	1,1x10 ⁻⁷	9,4x10 ⁻⁷	2,2x10 ⁻³
	<i>Nata de Coco</i>	1,950x10 ⁻⁴	5,8x10 ⁻⁴	1,1x10 ⁻⁷	3,8x10 ⁻⁸	5,5x10 ⁻⁷	2,8x10 ⁻³
30	Selulosa asetat	2,533x10 ⁻⁶	7,6x10 ⁻⁶	1,9x10 ⁻¹¹	6,4x10 ⁻¹²	7,5x10 ⁻⁹	3,0x10 ⁻³
	Kertas Saring	4,114x10 ⁻⁵	1,2x10 ⁻⁴	5,1x10 ⁻⁹	1,7x10 ⁻⁹	1,2x10 ⁻⁷	2,8x10 ⁻³
	<i>Nata de Coco</i>	2,380x10 ⁻⁵	7,1x10 ⁻⁵	1,7x10 ⁻⁹	5,7x10 ⁻¹⁰	2,0x10 ⁻⁸	8,2x10 ⁻⁴

Tabel 3 Nilai konduktivitas pada komposit PANi-Selulosa

Waktu (menit)	Nilai Konduktivitas					
	Selulosa Asetat	SD	Kertas Saring	SD	Nata de Coco	SD
10	4,002x10 ⁻⁷	3,5x10 ⁻¹⁰	1,863x10 ⁻⁵	1,7x10 ⁻⁸	1,805x10 ⁻⁵	7,5x10 ⁻⁹
20	8,645x10 ⁻⁵	1,1x10 ⁻⁷	3,354x10 ⁻⁴	9,4x10 ⁻⁷	1,95x10 ⁻⁴	5,5x10 ⁻⁷
30	2,533x10 ⁻⁶	7,5x10 ⁻⁹	4,113x10 ⁻⁵	1,2x10 ⁻⁷	2,38x10 ⁻⁵	1,96x10 ⁻⁸