



**SINTESIS BAHAN SENSOR DARI MATERIAL KONDUKTIF
KOMPOSIT POLIANILIN-SELULOSA (*NATA DE COCO*)**

SKRIPSI

Oleh

Salim Ashar Hanafi

NIM 151810301038

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER**

2020



**SINTESIS BAHAN SENSOR DARI MATERIAL KONDUKTIF
KOMPOSIT POLIANILIN-SELULOSA (*NATA DE COCO*)**

SKRIPSI

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

Oleh

Salim Ashar Hanafi
NIM 151810301038

JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2020

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ayahanda Komari Yusub yang telah tenang disisi-Nya dan Ibunda Istianingsih yang senantiasa memberikan nasihat, kasih sayang dan doa yang tulus kepada anaknya.
2. Kakak Rachmatul Lailiyah yang kerap membantu support dalam menyelesaikan setiap tantangan menghadapi masa depan.
3. Keluarga besar Kediri dan Nganjuk yang telah menjadi bagian dalam kehidupan.
4. Almamater Jurusan Kimia FMIPA Universitas Jember.
5. Teman-teman Chryphton 2015; Grup Pandawa dan Kontrakan Berkarya yang seling bahu membahu dikala sedih dan bahagia.
6. Tim Organik, Analitik, Fisik dan Bikomia yang juga sering berbagi cerita, keluh kesah, dan canda pelepas rasa bosan dan lelah.
7. Rosit dan Agung, sahabat dari SMP yang kerap menjadi motivasi terus maju.
8. Guru-guru di TK Kusuma Mulia, SDN Kalirong II, SMPN 1 Grogol Kediri dan SMAN 1 Loceret Nganjuk.
9. Terimakasih banyak kepada beberapa pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

MOTTO

“Berlomba-lombalah dalam kebaikan”

(QS. Al Baqarah ayat 148)*)



*) Departemen Agama Republik Indonesia. 2010. *Al-Qur'an dan Terjemahannya Mushaf Al-Azhar*. Bandung: Jabal

PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Salim Ashar Hanafi

NIM : 151810301038

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Sintesis Bahan Sensor dari Material Konduktif Komposit Polianilin-Selulosa (*Nata de Coco*)” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggungjawab 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 di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember , 29 Januari 2019

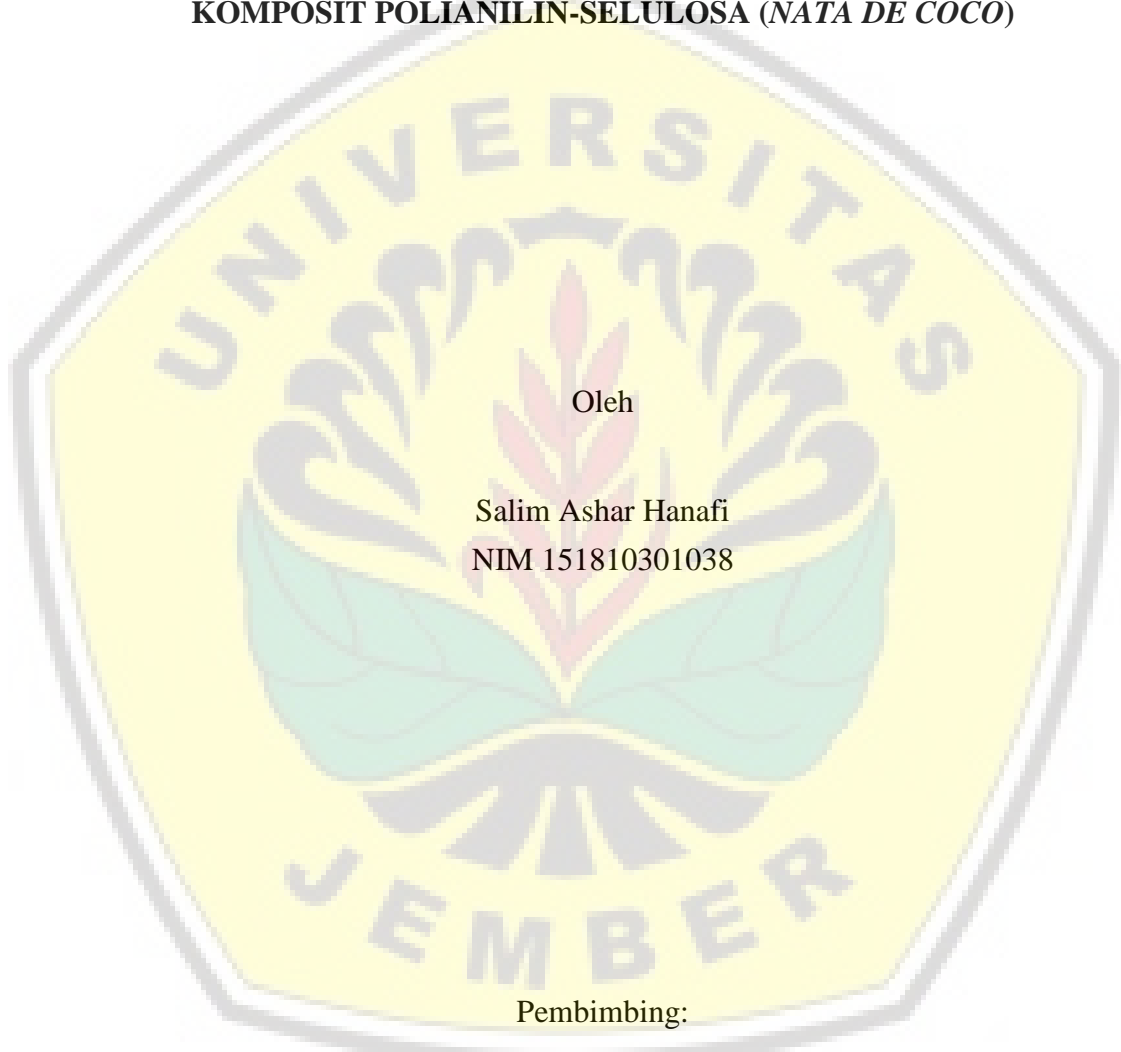
Yang menyatakan,

Salim Ashar Hanafi

NIM 151810301038

SKRIPSI

**SINTESIS BAHAN SENSOR DARI MATERIAL KONDUKTIF
KOMPOSIT POLIANILIN-SELULOSA (*NATA DE COCO*)**



Oleh

Salim Ashar Hanafi

NIM 151810301038

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Busroni, M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota : Drs. Achmad Sjaifullah, M.Sc, Ph.D.

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “*Sintesis Bahan Sensor dari Material Konduktif Komposit Polianilin-Selulosa (Nata de Coco)*” telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember pada :

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas
Jember

Tim penguji,

Ketua

Anggota I

Dr. Busroni, M.Si.

NIP. 195905151991031007

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

NIP. 195910091986021001

Anggota II

Anggota III

Dwi Indarti, S.Si., M.Si.

NIP. 197409012000032004

Ika Oktavianawati, S.Si., M.Sc.

NIP. 198010012003122001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember

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

NIP. 195910091986021001

RINGKASAN

Sitisis Bahan Sensor dari Material Konduktif Komposit Polianilin-Selulosa (*Nata de Coco*): Salim Ashar Hanafi; 151810301038; 2020: 35 halaman; Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

Polianilin merupakan salah satu jenis polimer konduktif yang banyak diteliti karena mudah disintesis, memiliki kestabilan yang baik, dan konduktivitas yang tinggi. Polianilin perlu dikompositkan karena polianilin memiliki sifat material yang kaku sehingga sulit dikemas dalam bentuk yang fleksibel dan hanya terbatas pada aplikasi tertentu. Pada penelitian ini, polianilin dikompositkan dengan matriks selulosa (*nata de coco*) karena keberadaannya yang melimpah, harganya murah dan ramah lingkungan. Polianilin pada kondisi normal yang bersifat konduktif dapat ditingkatkan konduktivitasnya dengan cara memberikan pembawa muatan atau didoping. Penelitian ini dilakukan sintesis komposit polianilin-selulosa (*nata de coco*) menggunakan metode oksidasi kimia dengan variasi doping menggunakan asam sulfat 0M; 0,5M; 1M; 1,5M; dan 2M. Tujuan penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh konsentrasi dopan H_2SO_4 (0; 0,5; 1; 1,5; 2)M terhadap nilai konduktivitas komposit polianilin-selulosa *nata de coco* dan mengetahui gugus fungsi komposit polianilin-selulosa *nata de coco* pada konduktivitas maksimum dengan melakukan karakterisasi menggunakan FTIR.

Hasil sintesis komposit polianilin-selulosa (*nata de coco*) dari penelitian ini berwarna coklat kehitaman pada konsentrasi dopan asam sulfat (0M) dan hitam kehijauan pada konsentrasi dopan asam sulfat (0,5M; 1M; 1,5M; 2M). Warna hijau kehitaman diakibatkan karena bereaksi dengan asam sulfat yang menyebabkan polianilin terprotonasi di dalam fasa air. Hasil konduktivitas diperoleh semakin tinggi seiring dengan penambahan konsentrasi dopan karena seiring penambahan konsentrasi asam mengakibatkan timbulnya kation radikal bebas akibat reaksi polimerisasi oksidasi. Kation radikal tersebut mengakibatkan polianilin yang berikatan rangkap akan membentuk tingkat energi diantara pita

valensi dan pita konduksi. Hal tersebut menyebabkan adanya elektron bebas yang merupakan pembawa muatan pada polianilin. Nilai konduktivitas tertinggi pada penelitian ini yaitu pada doping asam sulfat 2M sebesar $3,129 \times 10^{-4} \text{ (Ohm.cm)}^{-1}$.

Karakterisasi hasil FTIR komposit polianilin terdapat gugus C=C benzoid dan quinoid dengan bilangan gelombang berturut-turut 1491 cm^{-1} dan 1566 cm^{-1} , puncak kuat pada gugus C=N dengan bilangan gelombang 1175 cm^{-1} yang mengakibatkan quinoid terprotonasi dan terdapat bending C-H. Bilangan gelombang pada $1442,8 \text{ cm}^{-1}$ menandai vibrasi *stretching* gugus aromatik amonium yang mengindikasikan puncak karakteristik polianilin. Gugus O-H terdeteksi pada bilangan gelombang $3412,9 \text{ cm}^{-1}$ yang dimiliki oleh selulosa bakteri. Hasil karakterisasi penelitian ini sesuai dengan hasil polimerisasi yang menghasilkan polianilin yang terdoping dengan asam sulfat sebagai sumber proton sehingga strukturnya menjadi garam emeraldin.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Sintesis Bahan Sensor dari Material Konduktif Komposit Polianilin-Selulosa (*Nata de Coco*)”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember. Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Drs. Achmad Sjaifullah, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
2. Dr. Bambang Piluharto, S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
3. Dr. Busroni, M.Si. selaku dosen pembimbing utama dan Drs. Achmad Sjaifullah, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing anggota yang dengan dedikasinya telah meluangkan waktu, tenaga, pikiran dan perhatiannya dalam penulisan skripsi ini;
4. Dwi Indarti, S.Si., M.Si. dan Ika Oktavianawati, S.Si., M.Sc. selaku dosen penguji yang telah memberi masukan untuk perbaikan tulisan ini.
5. Ika Oktavianawati, S.Si., M.Sc. selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan masukan dan dorongan selama perkuliahan.
6. Segenap Bapak dan Ibu Dosen yang selama ini dengan dedikasinya telah mendidik dan mengajarkan ilmu.

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.

Jember, Januari 2020

Penulis.

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.2 Selulosa Bakteri	5
2.2 Komposit	6
2.2.1 Material Komposit	6
2.2.2 Komposit Selulosa Bakteri	7
2.3 Polianilin	8
2.4 Polimerisasi Anilin	10
2.5 Konduktivitas Listrik	12
2.5.1 Teknik Two-Point-Probe	12
2.5.2 Teknik Four-Point-Probe	13

2.6 Doping Polianilin	14
2.7 FTIR (<i>Fourier Transform Infrared</i>)	14
2.8 Sensor Berbasis Polimer Konduktif (Polianilin)	15
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	16
3.1 Tempat dan Waktu	16
3.2 Alat dan Bahan	16
3.2.1 Alat	16
3.2.2 Bahan	16
3.3 Diagram Alir Penelitian	17
3.4 Prosedur Penelitian	18
3.4.1 Preparasi Bahan	18
3.4.2 Sintesis Komposit Polianilin-Selulosa (<i>Nata de Coco</i>)	18
3.4.3 Penentuan Kadar Air Komposit Polianilin-Selulosa (<i>Nata de coco</i>)	19
3.4.4 Uji Konduktivitas Komposit Polianilin-Selulosa (<i>Nata de Coco</i>)	20
3.4.5 Karakterisasi dengan FTIR	20
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Pengaruh Variasi Konsentrasi Dopan H₂SO₄ terhadap Nilai Konduktivitas Komposit Polianilin-Selulosa (<i>Nata de Coco</i>)	22
4.2 Spektrum Selulosa (<i>Nata de Coco</i>) dan Komposit Polianilin-Selulosa Nata de Coco (PANi/BC) dengan Menggunakan FTIR	26
BAB 5. PENUTUP	30
5.1 Kesimpulan	28
5.2 Saran	28
DAFTAR PUSTAKA	31
LAMPIRAN	36

DAFTAR TABEL

	Halaman
4.1 Perbandingan data FTIR selulosa bakteri (nata de coco) hasil eksperimen dengan referensi	26
4.2 Perbandingan data FTIR komposit PANi/BC hasil eksperimen dengan referensi.....	27

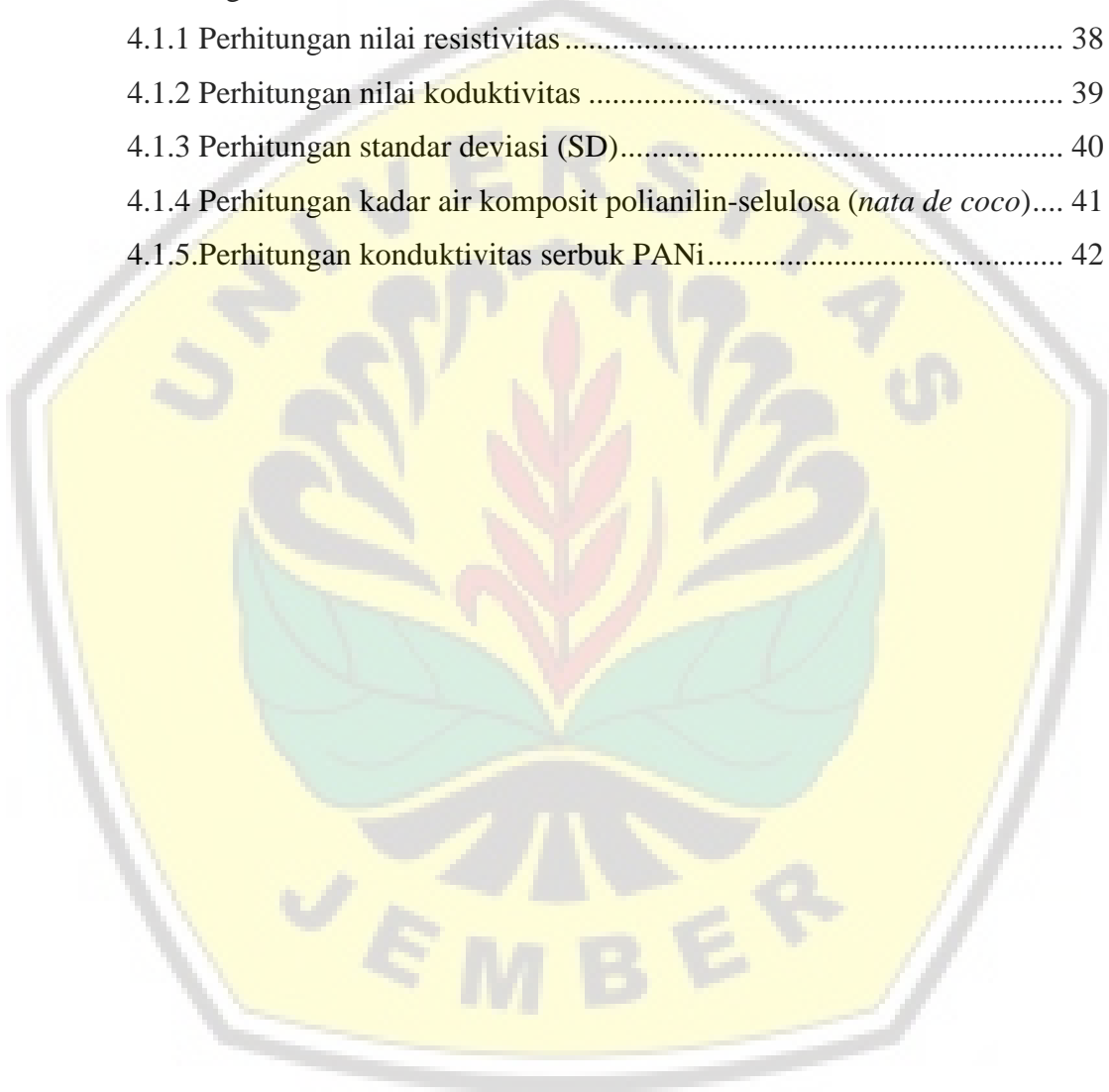


DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Inter dan intra ikatan hidrogen dari selulosa bakteri	5
2.2 Struktur basa polianilin umumnya	8
2.3 Struktur polianilin berbentuk basa (a) pernigranilin; (b) emeraldin; (c) leukomeraldin	9
2.4 Metode polimerisasi anilin dalam larutan asam.....	11
2.5 Mekanisme reaksi polimerisasi PANi.....	11
2.6 Skema pengukuran dengan two point probe	12
2.7 Skema pengukuran dengan four point probe	13
3.1 Diagram alir penelitian.....	17
4.1 Komposit PANi/BC (a) tanpa dopan (basah); (b) terdopan (basah); (c) tanpa dopan (kering); (d) terdopan (kering)	22
4.2 Proses doping H ₂ SO ₄	24
4.3 Grafik nilai konduktivitas dengan dopan asam sulfat	25
4.4 Grafik kadar air komposit PANi/BC terhadap dopan H ₂ SO ₄	25
4.5 Grafik nilai konduktivitas BC terhadap dopan H ₂ SO ₄	26
4.6 FTIR <i>bacterial cellulose (nata de coco)</i>	27
4.7 Reaksi pembentukan komposit	28
4.8 FTIR polianilin dan komposit PANi-selulosa (<i>nata de coco</i>).....	28

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
3.1 Perhitungan preparasi bahan	36
4.1 Perhitungan nilai data.....	38
4.1.1 Perhitungan nilai resistivitas	38
4.1.2 Perhitungan nilai konduktivitas	39
4.1.3 Perhitungan standar deviasi (SD).....	40
4.1.4 Perhitungan kadar air komposit polianilin-selulosa (<i>nata de coco</i>)....	41
4.1.5. Perhitungan konduktivitas serbuk PANi.....	42



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring majunya teknologi, perhatian para peneliti mengenai manfaat polimer konduktif sejak ditemukan tahun 1997 hingga saat ini semakin berkembang pesat. Perkembangan polimer konduktif telah membuka peluang banyak kemungkinan baru yang menggabungkan sifat-sifat optik, listrik dan elektrokimia. Polimer konduktif telah memasuki jajaran kelas material unggulan yang dapat memberikan jawaban atas tantangan dari perkembangan dan kemajuan teknologi saat ini (Salah dkk., 2012). Polimer konduktif yang dimaksud merupakan material polimer organik yang dapat menghantarkan listrik seperti halnya pada logam (Susmita dan Muttaqin, 2013).

Polimer konduktif dengan berbahan dasar organik seperti Polietilena terfталat (PET), Polipirol (Ppy), dan Polianilin (PANi) banyak dimanfaatkan karena sifatnya mudah terurai dibandingkan dengan material anorganik seperti Ni-Cd, Li-ion, dan Ni. Diantara macam-macam polimer konduktif berbahan organik tersebut, polianilin (PANi) merupakan jenis polimer konduktif yang disintesis pada penelitian ini karena memiliki kestabilan yang baik, mudah dibuat, dan mempunyai konduktivitas yang tinggi (Aini dkk., 2016). Polianilin (PANi) adalah salah satu jenis polimer konduktif yang berasal dari proses polimerisasi monomer anilin dalam suasana asam (Shi dkk., 2012).

Aplikasi polianilin telah berkembang pada bidang teknologi fungsional, seperti sensor kimia yaitu sensor HCl, amonia, dan bahan kimia lainnya (Skotheim dan Reynolds, 2007). Menurut Hidayat dkk., (2016) polianilin mempunyai stabilitas kimia dan fisik yang sangat baik, reaksi redoks yang reversibel, mempunyai rentang konduktivitas yang lebar dan dapat disintesis menggunakan oksidasi kimia maupun elektrokimia. Sintesis dengan menggunakan metode oksidasi kimia sangat cocok digunakan untuk memproduksi polianilin dalam skala besar dan mampu disintesis di suhu ruang (Skotheim dan Reynolds,

2007). Oleh karena itu polimerisasi pada penelitian ini menggunakan metode sintesis secara oksidasi kimia. Polimerisasi oksidasi kimia merupakan teknik pembuatan polimer secara oksidasi dengan cara mereaksikan anilin dengan zat pengoksidan (Adriani dkk., 2013). Polianilin memiliki kekurangan karena sifat material yang kaku sehingga sulit dikemas dalam bentuk yang fleksibel dan hanya terbatas pada aplikasi tertentu (William dkk., 2014). Oleh karena itu polianilin perlu ditingkatkan sifat mekaniknya dengan cara dikompositkan.

Komposit merupakan gabungan dua material atau lebih yang berbeda-beda bentuk, komposisi kimianya dan tidak saling melarutkan antara material penyusunnya dimana material yang satu berfungsi sebagai penguat dan material lainnya sebagai pengikat untuk menjaga kesatuan unsur-unsurnya (Maryanti dkk., 2011). Polianilin dapat dikompositkan dengan matriks bahan biopolimer, yaitu salah satunya dengan menggunakan selulosa bakteri (*nata de coco*) karena bahannya murah dan mudah didapatkan (Adriani dkk., 2013). *Nata de coco* memiliki porositas dan strukturnya berupa lembaran hidrogel yang memiliki luas permukaan yang tinggi dan *biodegradable* (Klemm dkk., 2005). Ditinjau dari sifat dan keberadaannya, maka *nata de coco* sangat berpotensi digunakan sebagai komposit.

Polianilin pada kondisi normal yang bersifat konduktif dapat ditingkatkan konduktivitasnya dengan cara memberikan dopan atau pembawa muatan (Susmita dan Muttaqin, 2013). Polimerisasi polianilin yang memiliki sifat konduktif adalah basa emeraldin yang mempunyai konduktivitas listrik sekitar 10 S/cm dan dapat ditingkatkan hingga mencapai 100 S/cm dengan proses doping (Rosana dan Putri, 2012). Polianilin dalam bentuk garam emeraldin memiliki konduktivitas yang dapat ditingkatkan selama proses sintesis berlangsung dengan menggunakan asam protonik. Protonasi pada polimer juga tergantung pada keadaan oksidasi dan pH larutan elektrolit. Oleh sebab itu, tingginya nilai konsentrasi doping dapat mempengaruhi nilai tegangan dari Polianilin itu sendiri (Richard dan Widodo, 2014). Sifat listrik Polianilin dapat diketahui dari pengaruh variasi konsentrasi dopan asam sulfat (H_2SO_4) terhadap nilai konduktivitas yang telah diteliti

Setianingsih (2014). Penelitian ini menggunakan perlakuan dengan variasi konsentrasi H_2SO_4 sebagai alternatif untuk meningkatkan nilai konduktivitas. Yuningsih dkk., (2017) telah berhasil melakukan sintesis komposit PANi-selulosa secara kimia dengan variasi dopan HCl. Sehingga pada penelitian ini dilakukan sintesis komposit PANi-selulosa dengan variasi dopan H_2SO_4 0M; 0,5M; 1M; 1,5M; dan 2M dengan metode oksidasi kimia. Hasil sintesis yang memiliki konduktivitas maksimum dikarakterisasi menggunakan FTIR untuk menentukan gugus fungsi komposit PANi-selulosa (*nata de coco*).

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh konsentrasi dopan H_2SO_4 (0; 0,5; 1; 1,5; 2)M terhadap nilai konduktivitas pada komposit polianilin-selulosa *nata de coco*?
2. Bagaimana gugus fungsi komposit polianilin-selulosa *nata de coco* pada konduktivitas maksimum dengan melakukan karakterisasi menggunakan FTIR?

1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Mengetahui pengaruh konsentrasi dopan H_2SO_4 (0; 0,5; 1; 1,5; 2)M terhadap nilai konduktivitas pada komposit polianilin-selulosa *nata de coco*.
2. Mengetahui gugus fungsi komposit polianilin-selulosa *nata de coco* pada konduktivitas maksimum dengan melakukan karakterisasi menggunakan FTIR.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Selulosa yang dijadikan sebagai komposit polianilin menggunakan *nata de coco* yang diproduksi di SMK 5 Jember.
2. Perendaman *nata de coco* kedalam anilin- H_2SO_4 dilakukan selama 24 jam
3. Polimerisasi dilakukan pada temperatur ruang ($27-31^{\circ}C$) selama 30 menit.
4. Karakterisasi gugus fungsi komposit Polianilin-selulosa (*nata de coco*) dengan FTIR hanya dilakukan pada komposit yang memiliki konduktivitas tertinggi.

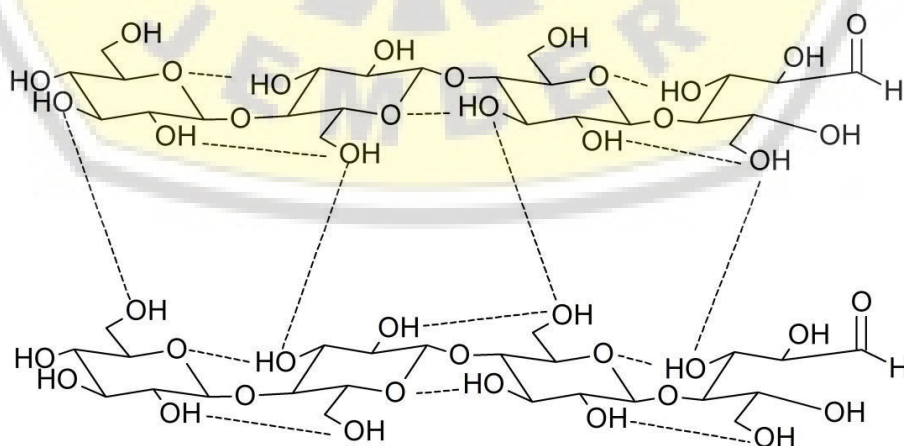
1.5 Manfaat Penelitian

Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat bermanfaat dan berpotensi untuk dijadikan material sensor di masa depan guna meningkatkan nilai konduktivitas. Memberikan informasi tentang bagaimana gugus fungsi komposit polianilin-selulosa bakteri (*nata de coco*) yang dihasilkan dari metode kimia dengan cara direndam dan pengaruh konsentrasi dopan H_2SO_4 terhadap nilai konduktivitas pada polianilin.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Selulosa Bakteri

Selulosa merupakan polimer karbohidrat yang keberadaannya di alam cukup melimpah, murah dan dapat diekstrak dari tanaman atau limbah secara tradisional. Seiring meningkatnya permintaan dan kebutuhan selulosa tanaman yang berbahan baku kayu menyebabkan deforestasi dan menjadi isu lingkungan global. Meskipun tanaman adalah kontributor utama dari selulosa, berbagai bakteri mampu menghasilkan selulosa sebagai sumber alternatif. Bakteri selulosa (BC) awalnya dilaporkan oleh Brown (1988) yang mengidentifikasi pertumbuhan pelikel (lapisan tipis) bercabang dengan struktur kimia yang setara sebagai selulosa tanaman. Karena struktur Bakteri Selulosa yang hanya terdiri dari monomer selulosa, hal itu menunjukkan banyak sifat yang dimiliki bakteri selulosa seperti struktur nano yang unik, tingkat polimerisasinya tinggi, kekuatan mekanik yang tinggi dan kristanilitasnya tinggi. Penemuan dari penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa bakteri selulosa dan turunannya memiliki potensi yang luar biasa dan memberikan masa depan yang menjanjikan di berbagai bidang seperti biomedea, elektronik dan industri makanan. Selulosa bakteri dapat diproduksi oleh bakteri asam asetat baik sintetis atau non-sintetis melalui fermentasi oksidatif (Esa dkk., 2014).



Gambar 2.1 inter dan intra ikatan hidrogen dari selulosa bakteri
(sumber: Esa dkk., 2014)

Acetobacter xylinum adalah bakteri yang paling umum digunakan untuk produksi selulosa bakteri dan efisien karena hasilnya memiliki selulosa tingkat tinggi dalam medium cair (Esa dkk., 2014). Gambar 2.1 menunjukkan selulosa bakteri memiliki struktur dasar dari fibril yang terdiri dari rantai glukosa β 1 \rightarrow 4 dengan rumus molekul $(C_6H_{10}O_5)_n$. Rantai glukosa tersusun oleh ikatan hidrogen baik intramolekuler maupun intermolekuler. Mikrofilamen dari selulosa bakteri pertama kali dijelaskan oleh Muhlethalerin 1949 dan ukurannya sekitar 1000 kali lebih kecil dari selulosa tanaman (Chawla dkk., 2009).

2.2 Komposit

2.2.1 Material Komposit

Komposit merupakan gabungan atau kombinasi antara dua material atau lebih yang berbeda-beda bentuk, komposisi kimianya dan tidak saling melarutkan antara material penyusunnya dimana material yang satu berfungsi sebagai penguat dan material lainnya sebagai pengikat untuk menjaga kesatuan unsur-unsurnya. Pada umumnya ada dua penyusun material komposit yaitu matriks dan *reinforcement*. Bahan yang digunakan sebagai penguat komposit memiliki keberagaman jenis yaitu terdiri atas bahan *reinforced* alami dan sintesis. Bahan yang paling banyak digunakan dalam komposit adalah serat. Bahan penguat seperti serat terbagi menjadi dua jenis yaitu serat alami dan sintesis (Maryanti dkk., 2011). Serat alam merupakan serat yang berasal dari hewan dan tumbuhan yang berbentuk seperti benang. Untuk mendapatkan bentuk serat alam, dapat diperoleh dari beberapa pemrosesan tergantung dengan sifat dan karakter bahan dasarnya. Contoh serat yang berasal dari tumbuhan antara lain yang berbahan jerami, enceng gondong, kapas, pelepah pisang, dan sebagainya. Sedangkan serat yang berasal dari hewan yaitu seperti sutra, wool, dan bulu dari unggas. Serat buatan atau sintesis terbentuk dari polimer-polimer alam maupun polimer-polimer buatan yang disintesis dengan cara polimerisasi senyawa-senyawa kimia yang relatif sederhana. Pada umumnya proses pembuatan serat dilakukan dengan menyempatkan polimer yang berbentuk cairan melalui pori-pori kecil

(*spinneter*). Serat buatan (serat *termoplastik*) disebut juga *man-made fibres* terdiri dari *nylon, perlon, decron, teriline, trivera, terlenka, tetoron, prinsip, bellini, laceri, larici, orlon, cashmilon, silk, caterina* dan lain-lain (Fajri dkk., 2013).

Kata komposit berasal dari kata “*to compose*” yang artinya menyusun atau menggabungkan. Sederhananya pengertian komposit adalah bahan gabungan dari material-material yang berbeda. Jadi komposit merupakan suatu bahan yang digabungkan atau dicampurkan dari beberapa material pada skala makroskopis untuk menghasilkan material ketiga yang lebih bermanfaat. Komposit dapat ditentukan karakteristik atau sifatnya dari:

- a) Material yang menjadi penyusun komposit. Sifat komposit dapat ditentukan berdasarkan karakteristik material penyusunnya, menurut *rule of mixture* yang hasilnya akan berbanding secara proporsional.
- b) Bentuk dan penyusun struktural dari komposit. Bentuk dan cara penyusunan komposit akan mempengaruhi sifat komposit.
- c) Interaksi antar penyusun komposit. Jika terjadi interaksi antar penyusunnya akan meningkatkan sifat dari komposit tersebut (Fajri dkk, 2013).

2.2.2 Komposit Selulosa Bakteri

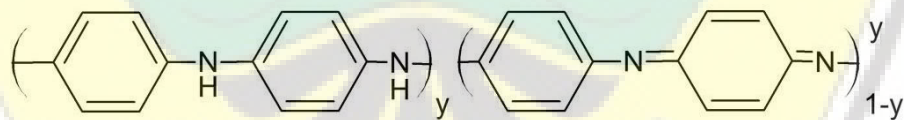
Selulosa bakteri saat ini telah diterapkan di beberapa bidang seperti kesehatan yang digunakan sebagai pembalut luka (plester) dan pada industri sebagai restorasi kertas. Meskipun selulosa bakteri memiliki sifat yang unik, ada batasan yang membatasi aplikasi seperti kurangnya sifat antibakteri, transparansi optik dan kemampuan bantalan terhadap tekanan. Untuk mengatasi keterbatasan ini, komposit selulosa bakteri telah diperkenalkan yang terdiri dari matriks dan materi penguat. Selulosa bakteri memiliki serat berpori yang bertindak sebagai matriks untuk tempat berbagai partikel dari bahan penguat yang berbeda. Bahan penguat tersebut memberikan sifat tambahan untuk selulosa bakteri yang merubah sifat biologis dan kimiafisikanya (Shah dkk., 2013).

Selulosa bakteri mempunyai potensi yang baik sebagai matriks dan penguat materi. Berbagai komposit selulosa bakteri telah disintesis baik melalui metode *in situ* atau metode *ex situ*. Metode untuk *in situ*, bahan penguat

ditambahkan ke polimer selama sintesis sementara dalam *ex situ*, bakteri selulosa diresapi dengan bahan penguat (Saibuatong, 2010). Seperti terlihat pada tabel 2.1, berbagai komposit selulosa bakteri disintesis dengan fungsi yang berbeda. Komposit selulosa bakteri dapat berupa bahan organik atau anorganik seperti polimer, logam/logam oksida, bahan padat dan nanomaterial (Kim dkk., 2011).

2.3 Polianilin

Polianin (PANi) merupakan gabungan dari monomer-monomer anilin tersusun secara berulang yang terdiri dari cincin-cincin kuinoid (Q) dan cincin-cincin benzoid (B) yang terhubung satu dengan yang lain oleh atom nitrogen (N) melalui ikatan imina dan amina. Polianilin adalah salah satu jenis polimer konduktif yang mempunyai tiga tingkat keadaan oksidasi yang tergantung pada jenis doping dan tingkat doping pada sintesis. Tiga tingkat keadaan oksidasi polianilin yaitu tereduksi penuh (leukomeraldin), teroksidasi setengah (emeraldin), dan teroksidasi penuh (pernigranilin). Dari ketiga tingkatan tersebut, emeraldin banyak diteliti karena sifat konduktivitasnya dapat diatur dan mempunyai aplikasi yang luas. Struktur polianilin secara umum dalam bentuk basa seperti Gambar 2.2.



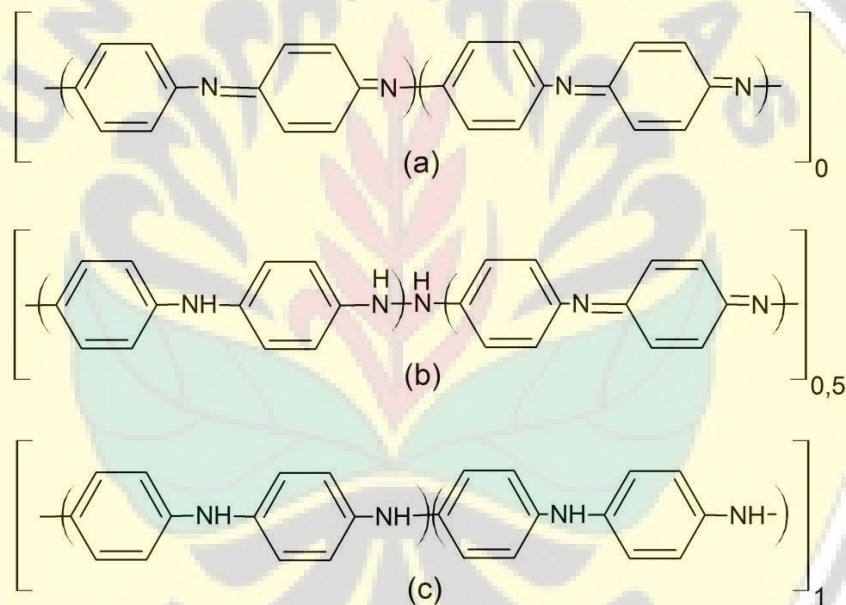
Gambar 2.2 Struktur basa polianilin umumnya

(sumber: Aspi dkk., 2013)

Polianilin dapat ditulis dengan lambang $[(-\text{BNH}-\text{B}-\text{NH}-)_x(-\text{B}-\text{N}=\text{Q}=\text{N}-)_{1-x}]_n$ dengan B menunjukkan benzoid ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$) dan Q menunjukkan kuinoid ($\text{C}_6\text{H}_5\text{N}$). Sehingga polianilin terdiri atas gugus yang tereduksi ($-\text{B}-\text{NH}-\text{BNH}-$) dan gugus yang teroksidasi ($-\text{B}-\text{N}=\text{Q}=\text{N}-$) yang ditunjukkan seperti pada Gambar 2.2 (Aspi dkk., 2013).

Polianilin dapat disintesis dengan cara reaksi kimia dan elektrokimia. Sifat konduktivitas listriknya dapat diatur dengan mengontrol parameter sintesis, seperti konsentrasi monomer, konsentrasi doping elektrolit, tegangan listrik, arus

listrik, waktu polimerisasi dan temperatur polimerisasi (Wibawanto, 2012). Sebagai salah satu polimer yang memiliki konduktivitas yang baik, PANi juga memiliki kelebihan lainnya seperti bahannya ringan, biayanya murah, stabilitas lingkungannya baik dan memiliki sifat *reversible* pada reaksi asam basanya. Bahan ini digunakan dalam berbagai aplikasi seperti anti korosi, elektroda untuk baterai, sensor, dan sel fotovoltaik (Peikertova, 2011). Selain itu, PANi juga merupakan polimer konduktif yang unik karena sifat optoelektriknya dapat dikontrol, yakni dengan mengubah derajat oksidasi pada rantai utama dengan melakukan protonasi pada rantai amina. Hal inilah yang menyebabkan polianilin dapat diaplikasikan sebagai sensor (Acevedo dkk.,2005).



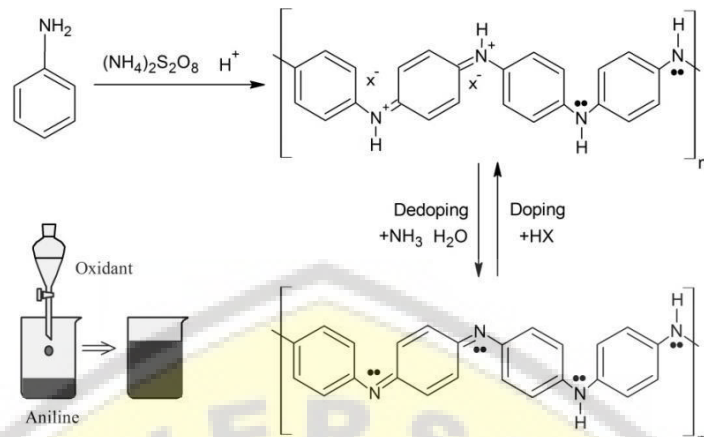
Gambar 2.3: Struktur polianilin berbentuk basa (a) pernigranilin; (b) emeraldin; (c) leukomeraldin (sumber: kusumawati, 2008)

Struktur pada polianilin dalam bentuk basa indeks y menunjukkan tingkat oksidasi dari basa polianilin dengan nilai indeks berkisar antara 0 sampai dengan 1 ($0 \leq y \leq 1$). Perbedaan perbesaran dari nilai y akan memberikan struktur polianilin yang berbeda pula. Jika nilai $y = 0$ maka akan menghasilkan polianilin dengan struktur dalam pernigranilin, jika nilai $y = 0,5$ maka membentuk basa emeraldin, dan jika $y = 1$ maka membentuk basa leukomeraldin, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3.

Polianilin berbentuk emeraldin dapat dimodifikasi menjadi konduktif dengan cara memberikan perlakuan asam yang dapat menghasilkan garam emeraldin. Garam emeraldin diperoleh melalui protonasi dari atom nitrogen yang berikatan imin dengan cincin kuinoid dari gugus teroksidasi dalam basa emeraldin. Proses protonasi ini menghasilkan cacat rantai dalam bentuk pasangan dikation dan dopan A^- , yang diawali rumus lambang $[(-B-NHB-NH-)(-B-NH^+=Q=NH^+)(2A^-)]_n$. Anion A^- yang berasal dari bahan elektrolit (seperti ion Cl^- , $(H_2SO_4)^-$, $(BF_4)^-$ dsb) masuk ke dalam polimer dan terikat secara *coulomb* dengan kation yang muncul pada rantai. Dikation ini dalam bahasan zat padat disebut bipolaron. Masuknya dopan melalui protonasi merupakan keunikan tersendiri yang tidak terdapat pada polimer konduktif lain. Dalam proses ini, jumlah elektron di dalam rantai tidak berubah, sedangkan proses doping polimer lainnya disertai perubahan jumlah elektron pada rantai polimer (Kusumawati, 2008).

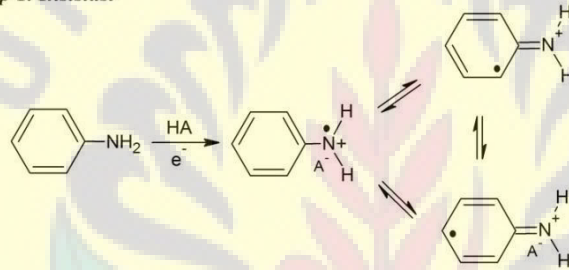
2.4 Polimerisasi Anilin

Polimerisasi kimia anilin melibatkan monomer, asam, dan oksidator. Polimerisasi anilin secara oksidasi kimia dapat dilakukan dalam larutan air yaitu anilin dilarutkan dalam asam kuat (misalnya 1 M HCl) dan polimerisasi dimulai dengan menambahkan oksidan (misalnya amonium peroksodisulfat) ke dalam larutan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Polianilin pada umumnya disintesis melalui oksidasi monomer anilin secara elektrokimia atau kimia. Metode polimerisasi anilin dengan menggunakan metode oksidasi kimia akan menghasilkan PANi dalam bentuk indeks garam emeraldin (EB) yang mempunyai tingkat oksidasi sebagian (50%) oksidasi. Proses reaksi polimerisasi pada anilin dapat dilihat pada gambar 2.5. pada saat proses polimerisasi anilin, masih terdapat partikel-partikel atau zat pengotor yang merupakan hasil dari produk samping reaksi seperti H_2SO_4 , HCl, $(NH_4)_2SO_4$ dan sisa-sisa dari inisiator yang tidak habis bereaksi (Adriani dkk., 2013).

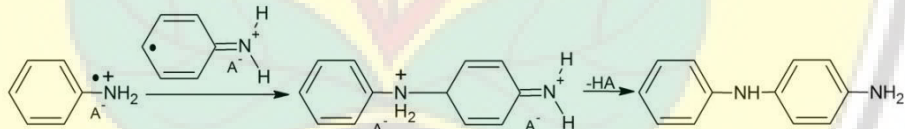


Gambar 2.4 metode polimerisasi anilin dalam larutan asam
(sumber: Skotheim dan Reynolds, 2007)

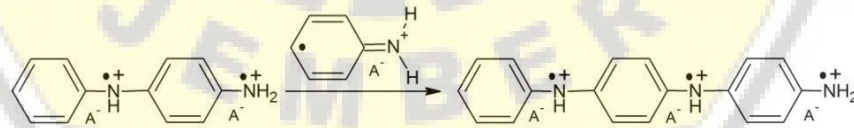
Tahap 1. Insisiasi



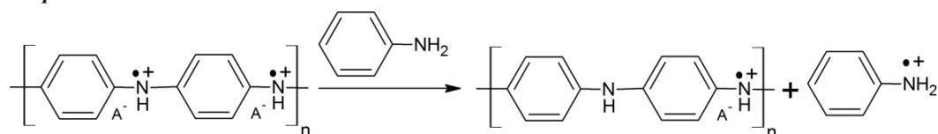
Tahap 2. Koping radikal



Tahap 3. Propagasi rantai



Tahap 4. Terminasi



Gambar 2.5 mekanisme reaksi polimerisasi PANi
(sumber: Skotheim dan Reynolds, 2007)

2.5 Konduktivitas Listrik

Film tipis yang mempunyai sifat listrik dapat diketahui dari penentuan nilai konduktivitas, resistivitas, dan jenis pembawa muatannya. Konduktivitas adalah kemampuan yang dimiliki material untuk menghantarkan listrik atau panas. Suatu material saat diberikan medan listrik, elektron yang berada di material tersebut mengalir membawa arus listrik dan berlawanan dengan arah medan listrik. Nilai konduktivitas (σ) berbanding terbalik dengan nilai resistivitas:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2.1)$$

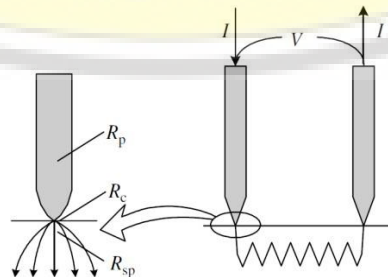
Persamaan resistivitas pada umumnya dapat dituliskan sebagai berikut

$$\rho = \frac{1}{\sigma(n\mu_n + p\mu_p)} \quad (2.2)$$

Dengan n dan p adalah konsentrasi pembawa muatan, sedangkan μ_n dan μ_p adalah mobilitas elektron dan *hole*. Resistivitas yang akan ditentukan harus diketahui nilai konsentrasi pembawa muatan dan mobilitasnya. Oleh sebab itu, penghitungan resistivitas dapat menggunakan dengan berbagai teknik. Teknik pada umumnya yang digunakan dalam menentukan resistivitas semikonduktor ialah *two-point probe* dan *four-point probe* (Schroder, 2006).

2.5.1 Teknik *Two-Point Probe*

Metode *two-point probe* dapat diterapkan dengan mudah karena hanya memerlukan dua probe untuk dimanipulasi. Tetapi interpretasi data yang diukur lebih sulit. Mengenai teknik *two-point probe* dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Skema pengukuran dengan *two-point probe*

(Sumber: Schroder, 2006)

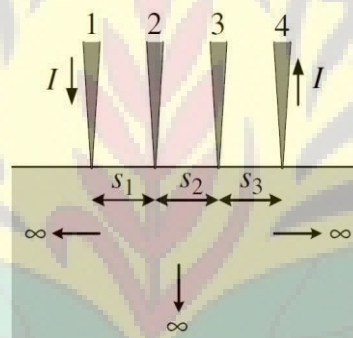
Teknik *two-point probe* memiliki dua *probe* yang masing-masing berfungsi sebagai aliran arus dan tegangan. Nilai total hambatannya yaitu pada persamaan 2.3.

$$R_T = \frac{V}{I} = 2R_w + 2R_c + R_{DUT} \quad (2.3)$$

Dengan adalah hambatan kawat, adalah hambatan kontak antara semikonduktor dengan *probe*, dan adalah hambatan hambatan dibawah *probe* yang menyebar (Schroder, 2006).

2.5.2 Teknik *Four-Point-Probe*

Teknik *four-point-probe* mempunyai 4 *probe* yang umumnya memiliki jarak (s) adalah sama. Teknik tersebut dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. Skema pengukuran dengan *four-point probe*
(Sumber: Schroder, 2006)

Nilai resistivitas film tipis menggunakan teknik *four-point probe* dapat dihitung dengan persamaan:

$$\rho = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{s_1} - \frac{1}{(s_1+s_2)} - \frac{1}{(s_1+s_2)} + \frac{1}{s_3}\right)} \frac{V}{I} \quad (2.4)$$

Dengan nilai $s = s_1 = s_2 = s_3$ maka persamaan diatas dapat disederhanakan menjadi sebagai berikut:

$$\rho = \frac{2\pi r V}{I} \quad (2.5)$$

Niai V ialah nilai tegangan (*volt*), r ialah jarak antar *probe* (cm), dan I ialah arus (*ampere*) dan rentang jarak pobe 0,15 sampai 0,5 mm (Schroder, 2006).

2.6 Doping Polianilin

Doping polimer konduktif merupakan suatu proses yang dilakukan untuk meningkatkan konduktivitas dengan adanya penambahn asam, karena polimer konduktif memiliki nilai konduktivitas yang relatif rendah. Proses doping dapat menurunkan nilai hambatan dari polimer konduktif (Sitorus dkk., 2011). Asam yang ditambahkan untuk proses doping dapat menyebabkan timbulnya kation radikal bebas akibat adanya reaksi oksidasi polimerisasi. Kation radikal tersebut dapat mengakibatkan polianilin yang berikatan rangkap akan membentuk tingkat energi diantara pita valensi dan pita konduksi. Hal tersebut mengakibatkan adanya elektron bebas yang merupakan pembawa muatan pada polianilin. Penambahan asam dengan konsentrasi yang semakin tinggi akan menyebabkan semakin banyaknya elektron bebas yang terikat pada polianilin sehingga meyebabkan peningkatan nilai konduktivitas (Fachry dkk., 2005)

2.7 FTIR (Fourier Transform Infrared)

FTIR merupakan salah satu jenis spektrofotometer, yaitu alat yang digunakan sebagai analisis berdasarkan pengukuran intensitas IR (infra merah) terhadap panjang gelombang dan digunakan untuk mendeteksi karakteristik vibrasi dari gugus fungsi suatu senyawa di dalam sampel. Cahaya infra merah ketika berinteraksi dengan sampel, molekul-molekul yang berikatan akan mengalami regangan atau tekukan. Spektrum yang dihasilkan berupa absorbansi dan transmisi molekul yang mendeskripsikan hasil rekaman data molekul dari sampel yang diuji. Rekaman data tidak ada yang sama untuk setiap molekul yang berbeda sehingga spektroskopi FTIR dapat diaplikasikan untuk berbagai macam analisis. Aplikasi FTIR dapat memberikan informasi seperti mengidentifikasi senyawa yang berikatan kovalen, menentukan kemurnian bahan, menentukan gugus fungsi dari suatu molekul, dan dapat menentukan struktur molekul pada polimer (Aspi dkk., 2013).

Atom-atom dalam molekul tidak diam melainkan melakukan vibrasi (bergetar). Apabila suatu sinar IR dilewatkan pada sampel bersenyawa organik,

maka ada beberapa frekuensi yang akan diserap, ada yang diteruskan dan ada yang ditransmisikan tanpa diserap. Serapan cahaya oleh suatu molekul tersebut tergantung pada struktur elektronik molekul tersebut. Jika molekul tersebut menyerap energi maka terjadi perubahan energi dari vibrasi dan rotasi. Energi yang diserap pada berbagai frekuensi dapat direkam oleh spektrofotometer IR dan diplot sebagai panjang gelombang radiasi atau fungsi frekuensi ($1/\text{cm}$) serta transmitansi (%T). Ketika pada suhu kamar, suatu senyawa yang berikatan secara molekul mempunyai frekuensi yang karakteristik akan mengalami vibrasi regangan (*stretching vibrations*) dan vibrasi tekukan (*bending vibrations*) dimana sinar IR dapat diserap pada frekuensi tersebut (Aspi dkk, 2013).

2.8 Sensor Berbasis Polimer Konduktif (Polianilin)

Polimer konduktif merupakan material yang dapat digunakan sebagai bahan lapisan aktif pada sensor. Prinsip kerja sensor berbasis polimer konduktif dengan bahan polianilin berdasarkan pada nilai konduktivitas yang dapat mengalami perubahan ketika polianilin berinteraksi dengan bahan lain. Perubahan yang terjadi pada arus, hambatan, dan potensial kimia pada polimer sebanding dengan respon polimer terhadap material yang saling berinteraksi. Ketika polianilin berinteraksi dengan suatu material misalnya gas NH_3 , maka proton pada gugus $-\text{NH}-$ yang ada didalam polianilin akan tertarik oleh NH_3 sehingga membentuk NH_4 atau polianilin yang mengalami deprotonasi. Kerja dari suatu sensor ditentukan juga oleh konfigurasi sensor tersebut. Sensor dengan konfigurasi transistor mempunyai sensitivitas yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan konfigurasi resistor dan diode. Sensor yang berbasis polimer konduktif mempunyai sensitivitas yang tinggi, dapat beroperasi di suhu ruangan, dan memiliki waktu respon tergolong cukup singkat. Berbeda halnya dengan sensor berbasis oksida logam yang hanya dapat beroperasi pada suhu yang tinggi (Jasalesmana dkk., 2013).

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Kimia Organik Jurusan Kimia, dan Laboratorium Instrumen Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember serta Laboratorium Kimia Fakultas Farmasi Universitas Jember. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei-Nopember 2019.

3.2 Alat dan Bahan

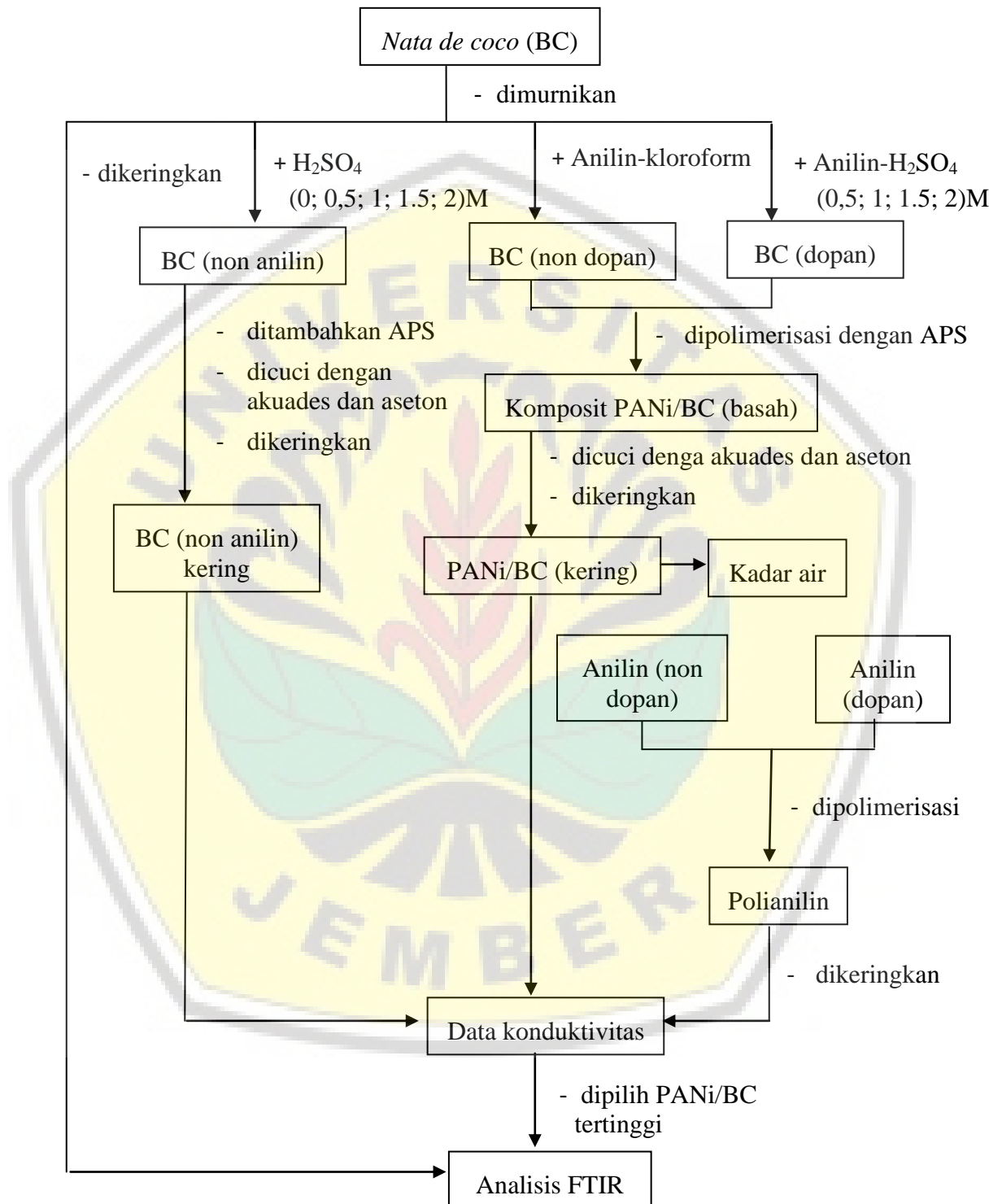
3.2.1 Alat

Peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain, labu ukur 25 mL; gelas beaker 50 mL, 100 mL dan 150 mL; gelas ukur 50 mL; pipet Mohr 10 mL, *ball* pipet, pengaduk kaca, spatula, kaca arloji, cawan porselen, wadah plastik, botol semprot, gunting, kaca, penjepit, desikator, neraca analitik, oven, *orbital shaker*, multimeter, dan *Fourier Transmittance Infrared* (FTIR).

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain, *Nata de coco* produksi dari SMK 5 Jember, akuades, aseton, Natrium Hidroksida (NaOH) (Merck), Anilin ($C_6H_5NH_2$) (Merck), Amonium peroksodisulfat $(NH_4)_2S_2O_8$ (Merck), Kloroform ($CHCl_3$) (Merck), dan Asam Sulfat (H_2SO_4) (Merck).

3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1: Diagram alir penelitian

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Preparasi Bahan

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

Pemurnian *nata de coco* menggunakan metode Indarti dan Asnawati (2011) yang telah dimodifikasi. Selulosa bakteri (*Nata de coco*) berasal dari produksi SMK Negeri 5 Jember. *Nata de coco* tersebut dipotong dengan ukuran 4x2,5 cm sebanyak sampel yang diperlukan. *Nata de coco* sebanyak 1 kg ditambahkan dengan 1 Liter NaOH 2%, kemudian dimasak selama 1 jam. *Nata de coco* kemudian didinginkan dan dicuci dengan air secara terus menerus hingga pH netral yang diukur dengan menggunakan indikator universal.

b. Asam Sulfat (0,5M; 1M; 1,5M; 2M)

Pembuatan larutan asam sulfat dengan cara pengenceran. Asam sulfat p.a (17,6 M) diambil masing-masing sebanyak 0,7 mL; 1,4 mL; 2,1 mL; 2,8 mL kemudian masing-masing diencerkan dalam labu ukur 25 mL dengan penambahan akuades hingga tanda batas sehingga diperoleh konsentrasi asam sulfat masing-masing 0,5M; 1M; 1,5M; 2M.

c. Anilin-H₂SO₄

Anilin ditimbang sebanyak 1,16 gram. Anilin kemudian dilarutkan pada asam sulfat berbagai variasi konsentrasi (0,5; 1; 1,5; 2)M hingga mencapai 25 mL. Asam sulfat untuk konsentrasi 0M, anilin dilarutkan dengan kloroform hingga 25mL. Asam sulfat yang divariasikan konsentrasinya digunakan sebagai doping mengacu pada penelitian Setianingsih dan Putra (2014).

d. Amonium Peroksodisulfat (0,25 M)

Amonium peroksodisulfat ditimbang sebanyak 2,85 gram. Amonium peroksodisulfat kemudian dilarutkan dengan akuades secukupnya dan dimasukkan ke dalam labu ukur 50 mL kemudian ditambahkan akuades hingga tanda batas.

3.4.2 Sintesis Komposit Polianilin-Selulosa (*Nata de Coco*)

Sintesis komposit polianilin-selulosa dilakukan dengan metode polimerisasi secara kimia dengan proses perendaman. Sintesis komposit

polianilin-selulosa (*nata de coco*) menggunakan metode Shi dkk (2012) yang telah dimodifikasi. *Nata de coco* yang sudah dipotong dengan ukuran 4x2,5 cm diletakkan pada gelas kimia 150 mL kemudian ditambahkan 25 mL larutan anilin-H₂SO₄ untuk konsentrasi (0,5; 1; 1,5; 2)M dan anilin-kloroform untuk konsentrasi 0M. Gelas kimia tersebut diaduk menggunakan *orbital shaker* selama 24 jam. *Nata de coco* yang sudah direndam selama 24 jam tersebut diambil lalu direndam ke dalam larutan amonium peroksodisulfat dan diaduk selama 30 menit dengan menggunakan *orbital shaker* hingga menjadi komposit. Komposit tersebut kemudian dicuci dengan akuades dan aseton lalu dikeringkan dengan cara diangin-anginkan pada suhu ruang. Komposit yang kering disimpan pada desikator. Proses yang sama diulangi seperti pembuatan komposit tanpa menggunakan anilin dan polianilin disintesis tanpa dikompositkan digunakan data tambahan sebagai kontrol, kedua prosedur tersebut sesuai Gambar 3.1.

3.4.3 Penentuan Kadar Air Komposit Polianilin-Selulosa (*Nata de Coco*)

Penentuan kadar air dilakukan berdasarkan AOAC (2000) yang dimodifikasi. Cawan kosong dioven selama 3 jam dengan suhu 105 °C, kemudian didinginkan dalam desikator selama 30 menit lalu ditimbang. Sampel berupa komposit polianilin-selulosa (*nata de coco*) dimasukkan pada cawan dan ditimbang, kemudian dioven selama 3 jam pada suhu 105 °C. Setelah kering kemudia didinginkan dalam desikator selama 30 menit dan kemudian ditimbang. Cawan berisi sampel tersebut kemudian dipanaskan lagi selama 1 jam dan didinginkan selama 15 menit pada desikator, lalu ditimbang kembali. Cawann berisi sampel diperlakukan sama seperti sebelumnya sampai beratnya konstan. Perhitungan nilai kadar air dilakukan sesuai persamaan 3.1.

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100\% \quad (3.1)$$

Keterangan:

W1= berat sampel sebelum pengeringan (g)

W2= berat sampel sesudah pengeringan (g)

3.4.4 Uji Konduktivitas Film Komposit Polianilin-Selulosa (*Nata de Coco*)

Konduktivitas yang didapatkan dari hasil pengukuran akan dibandingkan tiap konsentrasi dopan H_2SO_4 . Pengukuran konduktivitas ini mengacu pada metode Fachry dkk (2005) yang telah dimodifikasi. Pengukuran konduktivitas ini dilakukan menggunakan multimeter. Komposit polianilin-selulosa (*nata de coco*) yang sudah kering dipotong seukuran dengan pcb 1x2,5 cm lalu dijepit pada dua papan pcb yang sudah terhubung pada multimeter. Tombol multimeter diarahkan pada area resistansi (Ω). Nilai resistansi yang didapatkan dari pengukuran kemudian dikonversikan menjadi nilai konduktivitas. Nilai konduktivitas dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (3.2)$$

dengan σ adalah konduktivitas dan ρ adalah nilai resistivitas, maka dengan diukurnya resistansi (R) dapat diketahui nilai resistivitasnya:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (3.3)$$

dengan nilai L adalah ketebalan dan A adalah luas film. Pengukuran konduktivitas juga dilakukan pada Polianilin kering (non komposit) dan selulosa (non anilin) pada variasi konsentrasi asam sulfat yang sama dengan komposit polianilin-selulosa (*nata de coco*).

3.4.5 Karakterisasi dengan FTIR

Spektroskopi Fourier Transform Infrared (FTIR) dilakukan untuk mengkarakterisasi perbedaan dan perubahan gugus fungsi selulosa sebelum dan sesudah dilakukan sintesis komposit polianilin serta dibandingkan dengan polianilin murni (non komposit). Sampel yang akan diuji menggunakan FTIR yaitu *nata de coco* yang sudah kering, polianilin murni dan komposit polianilin-selulosa *nata de coco* yang memiliki nilai konduktivitas tertinggi. Bilangan gelombang yang digunakan adalah $500-4000 \text{ cm}^{-1}$.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian mengenai sintesis bahan sensor dari material konduktif komposit polianilin-selulosa (*nata de coco*) diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Sintesis komposit polianilin-selulosa (*nata de coco*) diperoleh garam emeraldin dan seiring bertambahnya konsentrasi dopan H_2SO_4 (0; 0,5; 1; 1,5; 2)M nilai konduktivitasnya semakin tinggi.
2. Karakterisasi FTIR selulosa *nata de coco* diperoleh puncak indikasi gugus C=C benzoid dan quinoid dengan bilangan gelombang berturut-turut 1491 cm^{-1} dan 1566 cm^{-1} , puncak kuat pada gugus C=N dengan bilangan gelombang 1175 cm^{-1} yang mengakibatkan quinoid terprotonasi dan terdapat vibrasi bending C-H. Karakterisasi FTIR komposit polianilin-selulosa *nata de coco* menghasilkan polianilin yang terdoping H_2SO_4 yang menyebabkan strukturnya berubah dari basa emeraldin menjadi garam emeraldin.

5.2 Saran

Pada penelitian yang akan datang perlu adanya perbaikan sifat polianilin yang belum stabil terhadap perubahan temperatur akibat pengeringan di suhu ruang sehingga saat pengukuran nilai konduktivitas, polianilin tidak dipengaruhi oleh adanya kandungan air.

DAFTAR PUSTAKA

- Acevedo, F., J. Haracio, M.C. Salavagione, Miras, dan A. Caesar. 2005. Synthesis, Properties And Applications Of Functionalized Polyanilines. *J. Braz. Chem. Soc*: 6(2).
- Adriani, D.M., B. Sitorus, dan L. Destiarti. 2013. Sintesis Material Konduktif Komposit Polianilin-Selulosa dari Tanah Gambut. *JKK*. 2(3): 127-132.
- Afrizal dan A. Purwanto. 2011. Pemanfaatan Selulosa Bakterial Nata de Coco sebagai Adsorban Logam Cu(II) dalam Sistem Berpelarut Air. *Mesomeri*. 1: 27-32.
- Aini, N.N., Widyastuti, R. Fajarin. 2016. Pengaruh Jenis Polimer terhadap Reflection Loss pada Polymer Matrix Composite (PMC) Barium Heksaferrit Sebagai Radar Absorbing Material (RAM). *Jurnal Teknik ITS*. 5(2): 125- 129.
- Alonso, R., M. Faria, F. Mohammadkazemi, M. Resnik, A. Ferreira, dan N. Cordeiro. 2018. Conductive Bacterial Cellulose-Polyaniline Blends: Influence of the Matrix and Synthesis Conditions. *Carbohydrate Polymers*. 183: 254-262.
- AOAC. 2000. *Official Methods of Analysis of The Association of Analytical Chemist*. Washington D.C.
- Aspi, M.B. Malino, dan B.P. Lapanporo. 2013. Analisis Data Spektrum Spektroskopi FT-IR untuk Menentukan Tingkat Oksidasi Polianilin. *Prisma Fisika*. 1(2): 92-96.
- Chawla, P.R., I.B. Bajaj, S.A. Survase, dan R.S. Singhal. 2009. Microbial Cellulose: Fermentative Production and Applications. *Food Technology Biotechnology*. 47(2): 107–124.
- Chowdhury, P. dan B. Saha. 2006. Potassium Iodate-Initiated Polymerization of Aniline. Wiley Inter Science. 10: 1626-1631.

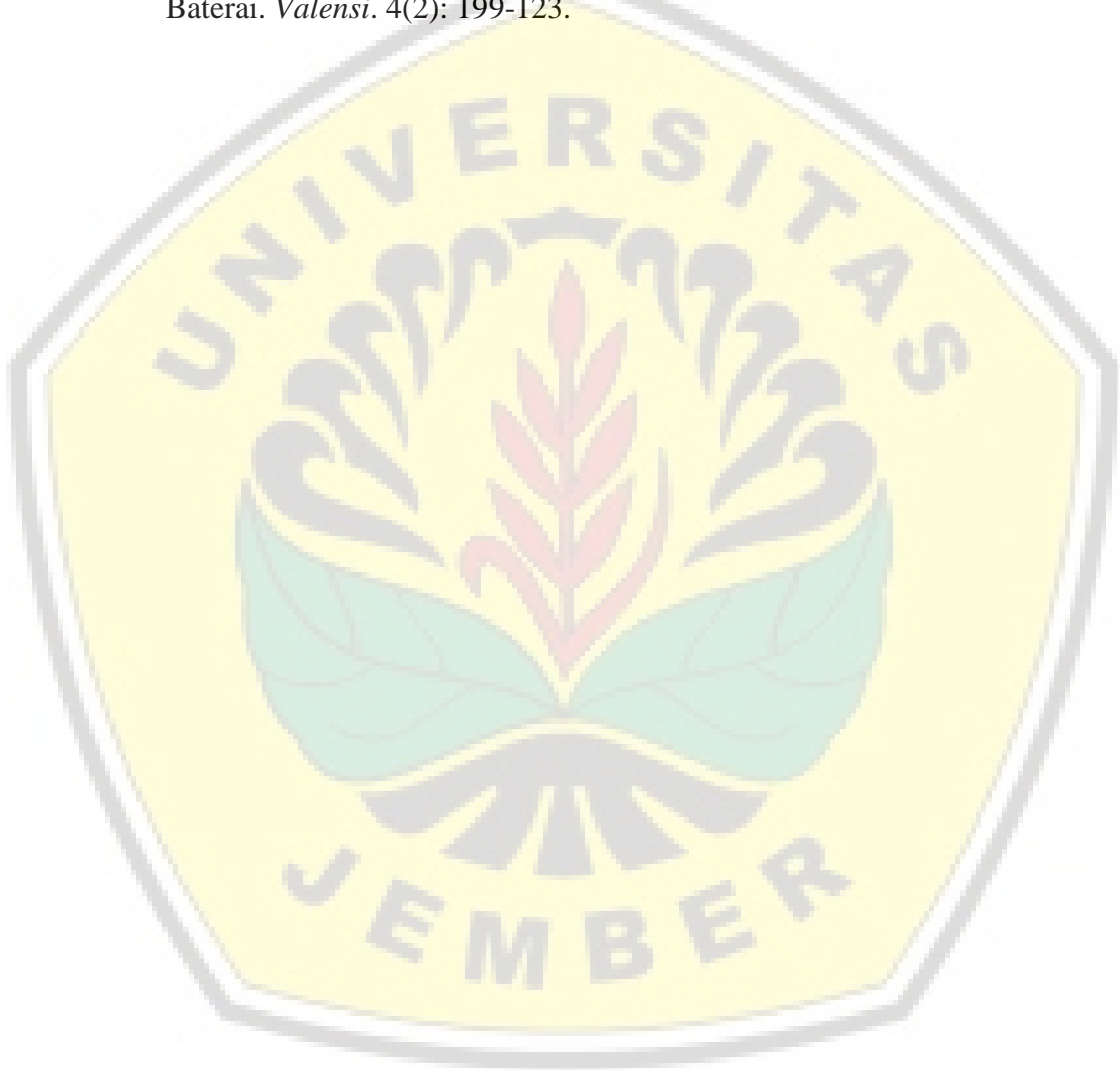
- Esa, F., S.M. Tasirin, dan A. Rahman. 2014. Overview of Bacterial Cellulose Production and Application. *ScienceDirect*. 2: 113-119.
- Fachry, E. Santoso, dan H. Febriadi. 2005. Pembuatan Bahan Konduktif Melalui Proses Polimerisasi Anilin. *Jurnal Teknik Kimia*. 4(6): 10-16.
- Fajri, R.I., Tarkono, dan Sugiyanto. 2013. Studi Sifat Mekanik Komposit Serat Sansevieria Cylindrica dengan Variasi Fraksi Volume Bermatrik Polyester. *FEMA*. 1(2): 85-93.
- Hidayat, S., C. Leonardo, M. Kartawidjaja, W. Alamsyah, dan I. Rahayu. 2016. Sintesis Polianilin dan Karakteristik Kinerjanya sebagai Anoda pada Sistem Baterai Asam Sulfat. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*.6(1): 20-26.
- Indarti D. dan Asnawati. 2011. Karakterisasi Film Nata De Coco-Benedict secara Adsorpsi untuk Sensor Glukosa dalam Urine. *Jurnal ILMU DASAR*. 12(2): 200-209.
- Jasalesmana, T., A. Nurlaela, N. Saridewi, F. Alatas, dan Akhiruddin. 2013. Transistor Film Tipis Organik Berbasis Polianilin untuk Aplikasi Sensor Gas Amoniak. *Biofisika*. 9(1): 1-7.
- Kim, J., Z. Cai, H.S. Lee, G.S. Choi, and D.H. Lee. 2011. Preparation and Characterization of a Bacterial Cellulose/Chitosan Composite for Potential Biomedical Application. *Journal of Polymer Research*. 18(4): 739-744.
- Klemm, D., B. Heublein, H.P. Fink, dan A. Bohn. 2005. Cellulose: Fascinating Biopolymer and Sustainable Raw Material. *Angewandte Chemie International Edition*. 44(22): 3358-3393.
- Kusumawati, D.H. dan M.N. Chomari. 2012. Variasi Molaritas H₂SO₄ pada Polianilin/H₂SO₄. *Sains dan Matematika*. 1(1): 29-32.
- Kusumawati, D.H., W. Setyasih, N.P. Putri. 2008. Studi Pengaruh Arus Polimerisasi terhadap Konduktivitas Listrik Polianilin yang Disintesis dengan Metode Galvanostatik. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. 4(1): 1-4.

- Maddu, A., S.T. Wahyudi, dan M.Kurniawati. 2008. Sintesis dan Karakterisasi Nanoserat Polianilin. *ISSN*. 1(2): 74-78.
- Maryanti, B., A.A. Sonief, dan S. Wahyudi. 2011. Pengaruh Alkalisasi Komposit Serat Kelapa-Poliester Terhadap Kekuatan Tarik. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 2(2): 123-129.
- Peikertova, P., V. Matejka, L.J. Kulhankova. 2011. Thin Polyaniline Films: Study Of The Thermal Degradation. *Ostrava-Poruba: Nanotechnology Centre, Brno, Czech Republic. Vsb-Technical University Of Ostrava*: 1-5.
- Richard, Y. dan D.S. Widodo. 2014. Elektropolimerisasi Anilin secara Potensiostatik dengan Penambahan Dopan. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 17(1): 12-16.
- Rosana, N. dan N.P. Putri. 2012. Penambahan Fly Ash pada Komposit Polianilin/HCl/Fly Ash. *Sains dan Matematika*. 1(1): 24-28.
- Saibuatong, O.A. dan M. Phisalaphong. 2010. Novo Aloe Vera-Bacterial Cellulose Composite Film From Biosynthesis. *Carbohydrate Polymers*. 79(2): 455-460.
- Salah, A.H. dan A. Ibrohim. 2012. Optical and Electrical Properties of Thin Films of Polyaniline and Polypyrrole. *Baghdad :College of Science for Women-Physics department. Int. J. Electrochem. Sci*. 7: 10666 – 10678.
- Schroder, D.K. 2006. *Semiconductor Material and Device Characterization Third Edition*. New Jersey: IEEE Press.
- Setianingsih, E., dan N.M.D. Putra. 2014. Karakteristik Struktur, Optik dan Listrik Film Tipis Polianilin (PANi) Doping H₂SO₄ yang Ditumbuhkan dengan Metode Spin Coating. *UPJ*. 3(2).
- Shah, N., M. Ul-Islama, W.A. Khattaka, dan J.K. Parka. 2013. Overview of Bacterial Cellulose Composites: A Multipurpose Advanced Material. *Carbohydrate Polymers*. 98: 1585– 1598.

- Shi, Z., S. Zang, F. Jiang, L. Huang, D. Lu, Y. Ma, dan G. Yang. 2012. In Situ Nano-Assembly of Bacterial Cellulose-Polyaniline Composites. *RSC Advances*. : 1040-1046.
- Sitorus, B., V. Suedo, dan F. Hidayat. 2011. Sintesis Polimer Konduktif sebagai Bahan Baku untuk Perangkat Penyimpan Energi Listrik. *Jurnal ELKHA*. 1(3): 43-47.
- Skotheim, T. A., dan J.R. Reynolds. 2007. *Handbook of Conducting Polymers: Conjugated Polymers - Theory, Synthesis, Properties and Characterization*. CRC Press: Boca Raton.
- Susmita, R. dan A. Muttaqin. 2013. Analisis Sifat Listrik Komposit Polianilin (PANi) Terhadap Peanambahan *Bottom Ash* sebagai Elektroda Superkapasitor. *Jurnal Fisika Unand*. 2(2): 107-113.
- UI-Islam, M., Khan, dan J.K. Park. 2012. Water Holding and Release Properties of Bacterial Cellulose Obtained by In Situ and Ex Situ Modification. *Carbohydrate Polymers*. 88 (2): 596-603.
- Utami, A.R. 2009. Verivikasi Metode Pengujian Sulfat dalam Air dan Air Limbah Sesuai SNI 6989.20:2009. *Jurnal Teknologi Proses dan Inovasi Industri*. 2(1): 19-25.
- Wibawanto, R.H. dan Darminto. 2012. Elektropolimerisasi Film Polianilin dengan Metode Galvanostatik dan Pengukuran Laju Pertumbuhannya. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. 8: 1-6.
- William, A.D., B. Sitorus, dan M.B. Malino. 2014. Sintesis Polianilina pada Matriks Selulosa sebagai Elektrolit Padat pada Model Baterai Sederhana. *JKK*. 3(4): 32-38.
- Xu J.C., W.M. Liu, dan H.L. Li. 2005. Titanium Dioxide Doped Polyaniline. *Material Science and Engineering*. 25: 444-447.

Yuningsih, L.M., D. Mulyadi, dan I. Aripandi. 2017. Effect of Various Dopant HCl Concentration on Electrical Conductivity of Pani-Cellulose Composite with Cellulose Isolated from Reed Plant (*Imperatycy lindrica* (L.)). *American Journal of Materials Science*. 7(3): 59-63.

Yuningsih, L.M., D. Mulyadi, dan Y.M. Fauziah.2018. Sintesis Komposit Polianilin-Karbon Aktif dari Tongkol Jagung sebagai Elektrolit Padat pada Baterai. *Valensi*. 4(2): 199-123.



LAMPIRAN

Lampiran 3.1Perhitungan Preparasi BahanKonsentrasi Asam Sulfat (pa): 17,6M (M_1)

3.1.1 Pembuatan Asam Sulfat 0,5M

Volume asam sulfat yang diperlukan untuk 25 mL (V_2) dengan konsentrasi 0,5 M (M_2)

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 17,6M = 25\text{mL} \times 0,5M$$

$$V_1 = \frac{25 \text{ mL} \times 0,5 M}{17,6 M}$$

$$V_1 = 0,7 \text{ mL}$$

3.1.2 Pembuatan Asam Sulfat 1M

Volume H_2SO_4 yang diperlukan untuk 25 mL (V_2) dengan konsentrasi 1 M (M_2)

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 17,6M = 25\text{mL} \times 1M$$

$$V_1 = \frac{25 \text{ mL} \times 1 M}{17,6 M}$$

$$V_1 = 1,4 \text{ mL}$$

3.1.3 Pembuatan Asam Sulfat 1,5M

Volume H_2SO_4 yang diperlukan untuk 25 mL (V_2) dengan konsentrasi 1,5 M (M_2)

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 17,6M = 25\text{mL} \times 1,5M$$

$$V_1 = \frac{25 \text{ mL} \times 1,5 M}{17,6 M}$$

$$V_1 = 2,1 \text{ mL}$$

3.1.4 Pembuatan Asam Sulfat 2M

Volume H_2SO_4 yang diperlukan untuk 25 mL (V_2) dengan konsentrasi 2 M (M_2)

$$V_1 \times M_1 = V_2 \times M_2$$

$$V_1 \times 17,6M = 25\text{mL} \times 2M$$

$$V_1 = \frac{25 \text{ mL} \times 2 M}{17,6 M}$$

$$V_1 = 2,8 \text{ mL}$$

3.1.5 Pembuatan Anilin 0,5M

$$\text{Mr Anilin} = 93,13 \text{ g/mol}$$

$$V \text{ larutan} = 25 \text{ mL}$$

$$M = \frac{\text{mol anilin}}{\text{volume kloroform}}$$

$$0,5 \text{ M} = \frac{\text{mol anilin}}{0,025 \text{ L}}$$

$$\text{mol anilin} = 0,0125 \text{ mol}$$

$$\text{mol} = \frac{\text{massa anilin}}{\text{Mr anilin}}$$

$$0,0125 \text{ mol} = \frac{\text{massa anilin}}{93,13 \text{ g/mol}}$$

$$\text{Massa anilin} = 1,16 \text{ gram}$$

3.1.6 Pembuatan Amonium Peroksodisulfat (APS) 0,25M

$$\text{Mr APS} = 228,18 \text{ g/mol}$$

$$V \text{ larutan} = 50 \text{ mL}$$

$$M = \frac{\text{mol APS}}{\text{volume akuades}}$$

$$0,25 \text{ M} = \frac{\text{mol APS}}{0,05 \text{ L}}$$

$$\text{mol APS} = 0,0125 \text{ mol}$$

$$\text{mol} = \frac{\text{massa APS}}{\text{Mr APS}}$$

$$0,0125 \text{ mol} = \frac{\text{massa APS}}{228,18 \text{ g/mol}}$$

$$\text{Massa APS} = 2,85 \text{ gram}$$

Lampiran 4.1 Perhitungan Nilai Data

4.1.1 Perhitungan Nilai Resistivitas

a. Komposit polianiln-selulosa (nata de coco)

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

Keterangan:

A = Luas film (cm)²

l = ketebalan (cm)

 ρ = Resistivitas (Ohm.cm)Contoh: Perhitungan resistivitas dengan dopan H₂SO₄ 0,5M (data 1)

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

$$\rho = 720 \text{ Ohm} \times \frac{(1,5 \times 2,5) \text{ cm}}{0,10 \text{ cm}}$$

$$\rho = 720 \text{ Ohm} \times 37,5 \text{ cm}$$

$$\rho = 27000 \text{ Ohm.cm}$$

Konsentrasi H ₂ SO ₄ (M)	Resistansi (Ohm)	Luas (cm ²)	Ketebalan (cm)	Resistivitas (Ohm.cm)
0	1305	3,75	0,08	61171,88
	1340	3,75	0,08	62812,50
	1334	3,75	0,08	62531,25
0,5	720	3,75	0,10	27000,00
	722	3,75	0,10	27075,00
	721	3,75	0,10	27037,50
1	251	3,75	0,10	9412,50
	255	3,75	0,10	9562,50
	255	3,75	0,10	9562,50
1,5	109	3,75	0,10	4087,50
	110	3,75	0,10	4125,00
	111	3,75	0,10	4162,50
2	85,2	3,75	0,10	3195,00
	86,3	3,75	0,10	3236,25
	84,1	3,75	0,10	3153,75

b. BC (*Bacterial Cellulose*)

Kosentrasi H ₂ SO ₄ (M)	Resistansi (Ohm)	Luas (cm ²)	Ketebalan (cm)	Resistivitas (Ohm.cm)
	1,19E+05	3,75	0,06	745,6x10 ⁴
0,5	1,19E+05	3,75	0,06	743,7 x10 ⁴
	1,21E+05	3,75	0,06	753,7 x10 ⁴
1	7,37E+04	3,75	0,06	460,6 x10 ⁴
	7,00E+04	3,75	0,06	437,5 x10 ⁴
	6,81E+04	3,75	0,06	425,6 x10 ⁴
1,5	3,74E+04	3,75	0,06	233,7 x10 ⁴
	3,50E+04	3,75	0,06	218,7 x10 ⁴
	3,60E+04	3,75	0,06	225,0 x10 ⁴
2	2,80E+04	3,75	0,06	175,0 x10 ⁴
	2,89E+04	3,75	0,06	180,6 x10 ⁴
	2,64E+04	3,75	0,06	165,0 x10 ⁴

4.1.2 Perhitungan Nilai Konduktivitas

a. Komposit polianilin-selulosa (*nata de coco*)

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

Keterangan:

 σ = Konduktivitas (Ohm.cm)⁻¹ ρ = Resistivitas (Ohm.cm)Contoh: Perhitungan resistivitas dopan H₂SO₄ 0M (data 1)

$$\sigma = \frac{1}{69910,7}$$

$$\sigma = 1,430 \times 10^{-5} \text{ (Ohm.cm)}^{-1}$$

Konsentrasi H ₂ SO ₄ (M)	Resistivitas (Ohm.cm)	Konduktivitas (Ohm.cm) ⁻¹	Rata-rata konduktivitas (Ohm.cm) ⁻¹
0	61171,9	1,635 x10 ⁻⁵	1,61x10 ⁻⁵
	62812,5	1,592 x10 ⁻⁵	
	62531,0	1,599 x10 ⁻⁵	
0,5	27000,0	3,704 x10 ⁻⁵	3,70x10 ⁻⁵
	27075,0	3,693 x10 ⁻⁵	
	27037,5	3,699 x10 ⁻⁵	
1	9412,5	1,062 x10 ⁻⁴	1,05x10 ⁻⁴
	9562,5	1,046 x10 ⁻⁴	
	9562,5	1,046 x10 ⁻⁴	
1,5	4087,5	2,446 x10 ⁻⁴	2,42x10 ⁻⁴
	4125,0	2,424 x10 ⁻⁴	
	4162,5	2,402 x10 ⁻⁴	
2	3198,8	3,126 x10 ⁻⁴	3,13x10 ⁻⁴
	3236,3	3,090 x10 ⁻⁴	
	3153,8	3,171 x10 ⁻⁴	

b. BC (*Bacterial Cellulose*)

Konsentrasi H ₂ SO ₄ (M)	Resistivitas (Ohm.cm)	Konduktivitas (Ohm.cm) ⁻¹	Rata-rata konduktivitas (Ohm.cm) ⁻¹
0,5	745,6x10 ⁴	1,341x10 ⁻⁷	1,337 x10 ⁻⁷
	743,7 x10 ⁴	1,345 x10 ⁻⁷	
	753,7 x10 ⁴	1,327 x10 ⁻⁷	
1	460,6 x10 ⁴	2,171 x10 ⁻⁷	2,269 x10 ⁻⁷
	437,5 x10 ⁴	2,286 x10 ⁻⁷	
	425,6 x10 ⁴	2,349 x10 ⁻⁷	
1,5	233,7 x10 ⁴	4,278 x10 ⁻⁷	4,431 x10 ⁻⁷
	218,7 x10 ⁴	4,571 x10 ⁻⁷	
	225,0 x10 ⁴	4,444 x10 ⁻⁷	
2	175,0 x10 ⁴	5,714 x10 ⁻⁷	5,770 x10 ⁻⁷
	180,6 x10 ⁴	5,536 x10 ⁻⁷	
	165,0 x10 ⁴	6,061 x10 ⁻⁷	

4.1.3 Perhitungan Standar Deviasi (SD)

Konsentrasi 0,5 M

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

$$SD = \sqrt{\frac{4,104 \times 10^{-9} - \frac{1,231 \times 10^{-8}}{3}}{3 - 1}}$$

$$SD = 5,13 \times 10^{-8}$$

Kosentrasi H ₂ SO ₄ (M)	Konduktivitas (Ohm.cm) ⁻¹	Σ kond	Σ kond ²	(Σ kond) ²	Standar Deviasi
0	1,635 x10 ⁻⁵	4,826 x10 ⁻⁵	7,764 x10 ⁻¹⁰	2,329 x10 ⁻⁹	2,29 x10 ⁻⁷
	1,592 x10 ⁻⁵				
	1,599 x10 ⁻⁵				
0,5	3,704 x10 ⁻⁵	1,110 x10 ⁻⁴	4,104 x10 ⁻⁹	1,231 x10 ⁻⁸	5,13 x10 ⁻⁸
	3,693 x10 ⁻⁵				
	3,699 x10 ⁻⁵				
1	1,062 x10 ⁻⁴	3,154 x10 ⁻⁴	3,316 x10 ⁻⁸	9,947 x10 ⁻⁷	9,62 x10 ⁻⁶
	1,046 x10 ⁻⁴				
	1,046 x10 ⁻⁴				
1,5	2,446 x10 ⁻⁴	7,273 x10 ⁻⁴	1,763 x10 ⁻⁷	5,290 x10 ⁻⁷	2,2 x10 ⁻⁶
	2,424 x10 ⁻⁴				
	2,402 x10 ⁻⁴				
2	3,126 x10 ⁻⁴	9,387 x10 ⁻⁴	2,938 x10 ⁻⁷	8,812 x10 ⁻⁷	4,04 x10 ⁻⁶
	3,090 x10 ⁻⁴				
	3,171 x10 ⁻⁴				

4.1.4 Perhitungan Kadar Air Komposit Polianilin-selulosa (*nata de coco*)

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100\%$$

Keterangan:

W1= berat awal (g)

W2= berat akhir (g)

Contoh: Perhitungan kadar air H₂SO₄ 0 M (data 1)

$$\begin{aligned} \text{Kadar Air (\%)} &= \frac{0,261 \text{ g} - 0,208 \text{ g}}{0,261 \text{ g}} \times 100\% \\ &= 20,307\% \end{aligned}$$

H ₂ SO ₄ (M)	Berat awal (g)	Berat Akhir (g)	Kadar Air (%)	Rata-rata Kadar Air (%)
0	0,261	0,208	20,307	20,588
	0,260	0,206	20,769	
	0,261	0,207	20,689	
0,5	0,266	0,209	21,486	21,178
	0,267	0,211	20,974	
	0,265	0,209	21,132	
1	0,278	0,205	26,259	26,149
	0,272	0,201	26,103	
	0,276	0,204	26,087	
1,5	0,267	0,189	29,213	29,521
	0,263	0,187	28,897	
	0,266	0,185	30,451	
2	0,275	0,192	30,182	30,279
	0,274	0,190	30,657	
	0,270	0,189	30,000	

4.1.5 Tabel Perhitungan Konduktivitas Serbuk PANi

Jenis Sampel PANi	Resistansi (Ohm)	Resistivitas (Ohm.cm)	Konduktivitas (Ohm.cm) ⁻¹	Rata-rata Konduktivitas (Ohm.cm) ⁻¹
Non dopan	1,39 x10 ⁸	5,211 x10 ⁹	1,919 x10 ⁻¹⁰	1,960 x10 ⁻¹⁰
	1,40 x10 ⁸	5,261 x10 ³	1,901 x10 ⁻¹⁰	
	1,30 x10 ⁸	4,856 x10 ³	2,059 x10 ⁻¹⁰	
Terdopan	2,00 x10 ²	7,500 x10 ³	1,333 x10 ⁻⁴	1,316 x10 ⁻⁴
	2,06 x10 ²	7,725 x10 ³	1,294 x10 ⁻⁴	
	2,02 x10 ²	7,575 x10 ³	1,320 x10 ⁻⁴	