

SINTESIS POLIANILINA PADA MATRIKS SELULOSA SEBAGAI ELEKTROLIT PADAT PADA MODEL BATERAI SEDERHANA

Ricco Andrean William^{1*}, Berlian Sitorus¹, Mariana Bara'allo Malino²

¹Progam Studi Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura,

²Progam Studi Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura,
Jln. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi 78124, Pontianak

*email: ricco.andreanw@gmail.com

ABSTRAK

Sintesis polimer konduktif polianilina pada matriks selulosa menghasilkan komposit polianilina-selulosa (PANI-selulosa) sebagai elektrolit padat telah dilakukan. Selulosa yang digunakan berasal dari hasil isolasi tandan kosong kelapa sawit melalui proses pulping dan bleaching. Komposit PANI-selulosa disintesis dengan melakukan variasi terhadap jumlah anilina, yaitu 2 g dan 4 g. Komposit PANI-selulosa dibuat dengan penambahan dopan HCl 1 M dan inisiator $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ dengan perbandingan $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ terhadap anilina yaitu 3:4. Karakterisasi komposit PANI-selulosa dilakukan menggunakan metode X-Ray Diffraction (XRD) dan Scanning Electron Microscope (SEM). Hasil XRD menunjukkan adanya daerah kristal polianilina yang bersifat semikristalin dan daerah amorf selulosa pada nilai $2\theta = 14,87^\circ$; $19,98^\circ$; dan $25,46^\circ$ serta diketahui ukuran kristal polianilina sebesar 8,22 nm berdasarkan persamaan Scherrer. Hasil SEM menunjukkan citra polianilina nanokristal berbentuk granular yang terdispersi ke serat selulosa. Komposit PANI-selulosa kemudian diaplikasikan sebagai elektrolit padat pada model baterai sederhana. Komposit PANI-selulosa dengan massa anilina 2 g dan 4 g berturut-turut menghasilkan nilai konduktivitas 0,1259-0,1422 S/cm dan 0,2342-0,3644 S/cm. Pengujian baterai dengan elektrolit padat PANI-selulosa untuk massa anilina 2 g menghasilkan tegangan 0,875-0,876 V dan arus 9,5-10,5 mA. Sedangkan untuk baterai dengan massa anilina 4 g memperoleh tegangan 1,014-1,016 V dan arus 10,5-11,0 mA.

Kata Kunci : Komposit, polianilina (PANI), selulosa, elektrolit padat

PENDAHULUAN

Pengembangan perangkat penyimpan energi yang digiatkan dewasa ini adalah polimer konduktif yang berbasis bahan organik. Material organik lebih dipilih karena sifatnya yang mudah diurai secara alami (biodegradabel) dibandingkan dengan perangkat penyimpan energi berbasis material anorganik seperti Ni, Ni-Cd dan Li-ion.

Penelitian mengenai perangkat penyimpan energi berbasis bahan organik seperti polianilina, poliasetilena, polipirrole mulai banyak dikembangkan. Di antara polimer konduktif tersebut, polianilina (PANI) merupakan salah satu polimer konduktif yang sering dikembangkan karena memiliki beberapa keunggulan seperti nilai konduktivitas yang tinggi, stabilitas lingkungan yang tinggi dan mudah disintesis baik secara elektrokimia maupun secara kimia (Li *et al.*, 2010). Akan tetapi, polianilina memiliki kelemahan yaitu sifat materialnya yang kaku sehingga kurang fleksibel dan hanya terbatas pada aplikasi tertentu. Oleh karena itu, sifat kekakuan polianilina perlu diatasi dengan pembentukan komposit dengan matriks seperti karet, plastik dan clay agar menghasilkan material yang lebih fleksibel dan konduktivitas yang tinggi.

Beberapa penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa polianilina (PANI) telah berhasil dibentuk menjadi komposit pada matriks selulosa dari kapas (John *et al.*, 2010), pulp (Li *et al.*, 2010), tisu (Hidayat, 2011) dan sumber selulosa lainnya (Mo *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2012). Saputra (2013) dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa komposit polianilina-selulosa dari tandan kosong kelapa sawit yang disintesis tanpa perlakuan awal *swelling* ($2,58 \times 10^{-2}$ - $2,96 \times 10^{-2}$ S/cm) memiliki nilai konduktivitas yang lebih tinggi dibandingkan yang menggunakan perlakuan awal *swelling* ($8,89$ - $8,91 \times 10^{-3}$ S/cm).

Polianilina (PANI) merupakan polimer yang sering diteliti dan pengembangan aplikasinya cukup pesat. Aplikasi-aplikasi tersebut di antaranya adalah sebagai material pendukung sel surya (Wang *et al.*, 2008), biosensor (Dhand dan Maumita, 2010) dan pelapis anti korosi (Subathira dan Meyyappan, 2011). Salah satu aplikasi polianilina yang berpotensi untuk dikembangkan saat ini adalah sebagai komponen pada baterai sekunder berupa bahan pengisi (elektrolit). Polianilina (PANI) memiliki potensi diaplikasikan sebagai bahan pengisi (elektrolit) baterai. Hal ini didukung oleh proses redoks polianilina yang berlangsung secara

reversibel dan sifatnya yang mudah diolah secara alami. Hidayat dan Tjia (2002) telah berhasil membuat PANI yang diplastisasi menggunakan N-metil pirrolidinon (NMP) yang diaplikasikan pada baterai sekunder dan diperoleh tegangan operasional sebesar 1,5 – 3 volt.

Berdasarkan uraian di atas, maka dilakukan sintesis dan karakterisasi komposit polianilina-selulosa (PANI-selulosa) sebagai komponen utama pada baterai sekunder biodegradabel yaitu elektroda dan bahan pengisi (elektrolit). Komposit polianilina-selulosa disintesis tanpa melakukan perlakuan awal *swelling* dengan variasi jumlah anilina. Komposit yang telah dibuat kemudian dikarakterisasi dengan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscope* (SEM), dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS). Untuk pengujian komposit PANI-selulosa sebagai bahan pengisi (elektrolit padat) dilakukan dengan memadatkan sampel dalam model baterai sederhana dan diukur tegangan dan arus yang dihasilkan menggunakan alat multimeter digital dan analog.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini meliputi alat-alat gelas standar, alat EIS tehnik impedansi dua elektroda pada LCR meter Agilent E4890A dengan frekuensi 20 Hz – 2 MHz, alat SEM JEOL-JSM-6510, alat XRD PANalytical Cu $K\alpha_1$, *magnetic bar*, mesin penggiling, multimeter analog & digital, neraca analitik, oven, pemanas listrik, pompa air dan pompa vakum.

Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi akuades, anilina p.a ($C_6H_5NH_2$), amonium persulfat ($(NH_4)_2S_2O_8$), asam klorida (HCl), asam sulfat p.a (H_2SO_4), aseton teknis (CH_3OCH_3), etanol (C_2H_5OH), natrium hidroksida (NaOH), natrium hipoklorit (NaOCl) komersial dan tandan kosong kelapa sawit dari Kecamatan Parindu Kabupaten Sanggau Provinsi Kalimantan Barat.

CARA KERJA

Preparasi Tandan Kosong Kelapa Sawit

Tandan kosong kelapa sawit dicuci dengan air hingga bersih dan dikeringkan dengan cara dijemur di bawah sinar matahari. Setelah kering, kemudian tandan kosong kelapa sawit dicincang. Selanjutnya tandan kosong kelapa sawit dihaluskan dengan menggunakan mesin penggiling.

Isolasi Selulosa dari Tandan Kosong Kelapa Sawit

Prosedur isolasi selulosa dari tandan kosong kelapa sawit ini mengacu pada penelitian Hamisan *et al.* (2009). Sampel tandan kosong kelapa sawit sebanyak 8 g dimasukkan ke dalam labu leher tiga dan ditambahkan 400 mL larutan NaOH 2% (w/v). Campuran direfluks pada suhu 90°C selama 3 jam. Kemudian campuran disaring dan dilakukan uji lignin.

Uji lignin dilakukan dengan cara mengambil sebagian filtrat dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi lalu filtrat direaksikan dengan H_2SO_4 72% (v/v). Jika masih terdapat gumpalan pada filtrat, residu dilarutkan kembali dalam larutan NaOH 2% (w/v) dan direfluks kembali pada suhu 90°C selama 1 jam dan kemudian campuran disaring kembali.

Selanjutnya dilakukan tahap pemutihan dengan cara merendam sampel selama 1 jam dalam 200 mL larutan NaOCl 1% pada suhu 70°C dengan penambahan 1 g NaOH. Setelah itu campuran disaring, residu kemudian direndam dalam 100 mL larutan NaOH 17,5% (w/w) selama 30 menit. Campuran lalu disaring kembali dan dicuci dengan akuades sampai pH netral. Pencucian dilanjutkan menggunakan etanol. Residu dikeringkan di dalam oven pada suhu 60°C selama 24 jam. Setelah dikeringkan, selulosa disimpan di dalam desikator.

Pembuatan Komposit Polianilina-Selulosa (PANI-Selulosa)

Selulosa sebanyak 0,5 g ditambahkan anilina dengan variasi massa, yaitu 2 g dan 4 g. Campuran diaduk selama 1 jam menggunakan *magnetic stirrer*. Kemudian ditambahkan 50 mL larutan HCl 1 M dan dilanjutkan dengan penambahan amonium persulfat (APS) secara perlahan dengan perbandingan mol APS terhadap anilina yaitu 3:4. Campuran diaduk kembali selama 30 menit. Setelah itu campuran didiamkan selama 24 jam pada suhu kamar untuk proses polimerisasi.

Setelah proses polimerisasi selesai, campuran disaring menggunakan corong *buchner*. Komposit yang dihasilkan kemudian dicuci dengan 100 mL larutan HCl 0,2 M dan dilanjutkan dengan 100 mL aseton. Komposit polianilina-selulosa yang dihasilkan kemudian dikeringkan di oven pada suhu 60°C selama 24 jam dan kemudian disimpan di dalam desikator.

Karakterisasi Komposit Polianilina-Selulosa (PANI-Selulosa)

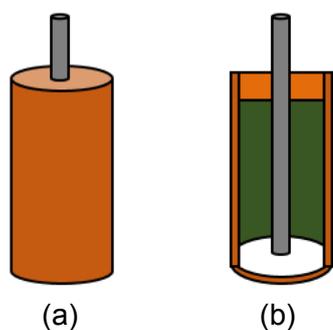
Karakterisasi komposit PANI-selulosa meliputi karakterisasi menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscope* (SEM),

dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS). Analisis XRD dilakukan menggunakan alat XRD PANalytical Cu K α 1 ($\lambda=1,54060 \text{ \AA}$). Pengukuran nilai konduktivitas listrik komposit dengan EIS dilakukan menggunakan tehnik impedansi dua elektroda pada LCR meter Agilent E4890A dengan frekuensi 20 Hz – 2 MHz. Pengamatan morfologi dari komposit dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) JEOL-JSM-6510 dengan mode *secondary electron image*.

Pengujian Komposit PANI-Selulosa sebagai Elektrolit Padat pada Model Baterai Sederhana

Komposit PANI-selulosa sebanyak $\pm 1,5 \text{ g}$ untuk masing-masing variasi massa anilina (2 g dan 4 g) dan dimasukkan ke dalam selongsong tembaga berbentuk tabung sedikit demi sedikit. Sebelum diisi dengan komposit, terlebih dahulu diletakkan plastik berbentuk lingkaran di bawah dasar selongsong tembaga. Setelah plastik dan komposit PANI-selulosa, lalu dimasukkan batangan aluminium dan diposisikan berada di bagian tengah dan dilanjutkan dengan penambahan komposit hingga habis. Kemudian dipadatkan menggunakan alat cetak (*press*) manual.

Baterai sederhana yang telah jadi kemudian diukur tegangan dan arusnya. Tegangan baterai diukur dengan menggunakan multimeter digital. Arus baterai diukur menggunakan multimeter analog tanpa dipasangkan resistor.



Gambar 1. Model Baterai Sederhana Komposit PANI-Selulosa: (a)tampak luar; (b)tampak dalam

Keterangan alat:

- = tembaga sebagai elektroda positif dan wadah baterai
- = aluminium sebagai elektroda negatif
- = plastik sebagai lapisan pemisah antara elektroda positif dan negatif
- = komposit PANI-selulosa sebagai bahan pengisi baterai

HASIL DAN PEMBAHASAN

Isolasi Selulosa dari Tandan Kosong Kelapa Sawit

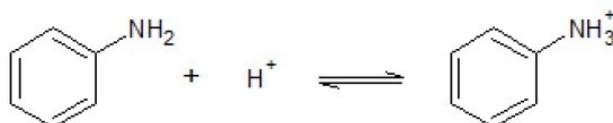
Proses isolasi selulosa menggunakan larutan NaOH pada penelitian ini dilakukan secara bertahap. Tahap pertama direfluks selama 3 jam dan kemudian dilanjutkan dengan tahap yang kedua yaitu selama 1 jam. Larutan NaOH dapat menghidrolisis dan memutuskan ikatan intra molekul lignin seperti rantai alfa eter, rantai fenil, rantai asetal, dan rantai ester. Ikatan yang putus ini akan menyebabkan lignin lepas dari selulosa/hemiselulosa dan larut dalam larutan NaOH (Nieves *et al.*, 2011). Lignin yang larut teridentifikasi melalui warna filtrat yang berubah dari semula tidak berwarna (larutan NaOH) menjadi berwarna hitam.

Sintesis Polianilina Jenis *Emeraldine Salt* (PANI-ES) pada Matriks Selulosa

Pada penelitian ini disintesis polianilina jenis *emeraldine salt* yaitu bentuk garam dari *emeraldine base* pada permukaan matriks selulosa. Komposit PANI-selulosa dalam penelitian ini disintesis tanpa menggunakan proses *swelling* dan dilakukan variasi massa anilina, yaitu 2 g dan 4 g. Variasi massa anilina ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah anilina terhadap sifat kelistrikkannya berupa nilai konduktivitas, arus, dan tegangan.

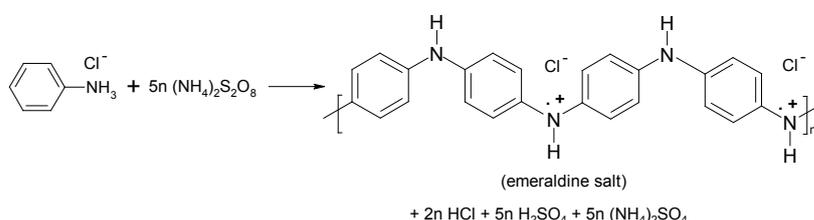
Interaksi anilina dengan matriks selulosa pada penelitian ini dibantu dengan proses pengadukan menggunakan *magnetic stirrer*. Selulosa yang telah ditambahkan anilina dan dopan HCl dipolimerisasi dengan menggunakan inisiator (NH₄)₂S₂O₈. HCl yang digunakan dalam proses pembuatan komposit PANI-selulosa berperan sebagai dopan. Dopan adalah suatu senyawa yang ditambahkan ke dalam suatu material sebagai agen pembawa muatan pada proses doping. Proses doping dalam penelitian ini dilakukan bertujuan untuk meningkatkan nilai konduktivitas polianilina.

Penambahan larutan HCl selain sebagai dopan juga bertujuan untuk membentuk ion anilinium akibat protonasi senyawa anilina. Anilina yang larut dan membentuk ion anilinium akan menyebabkan reaksi polimerisasi oleh (NH₄)₂S₂O₈ menjadi lebih optimal.



Gambar 2 Protonasi Anilina menjadi Ion Anilinium

HCl dipilih sebagai dopan dalam penelitian ini karena HCl menghasilkan komposit dengan konduktivitas yang tinggi dibandingkan asam lainnya seperti HNO₃ dan H₂SO₄ (Rao *et al.*, 2002; Mo *et al.*, 2009). Konsentrasi HCl yang dipilih adalah 1 M karena pada penelitian yang telah dilakukan oleh Mihardi (2008) diperoleh polimer polianilina dengan tegangan yang paling tinggi. Proses polimerisasi pada penelitian ini dilakukan selama 24 jam pada suhu kamar. Rao *et al.* (2002) melaporkan bahwa proses polimerisasi anilina semakin meningkat seiring peningkatan durasi polimerisasi. Kecenderungan ini akan berhenti ketika waktu polimerisasi mencapai 24 jam. Reaksi polimerisasi anilina secara umum ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Reaksi Umum Polimerisasi Anilina (Stejskal and Gilbert, 2002)

Asam klorida (HCl) akan mengubah polianilina dalam bentuk *emeraldine base* (PANI-EB) menjadi *emeraldine salt* (PANI-ES) yang bersifat konduktif (Maddu *et al.*, 2008). Polianilina dalam bentuk *emeraldine base* mula-mula akan terprotonasi oleh dopan dan membentuk polianilina bentuk *emeraldine salt*. Kemudian PANI-ES akan mengalami distribusi elektron yang mengakibatkan ikatan rangkap pada atom N menjadi ikatan tunggal dan menghasilkan atom N yang bersifat kation radikal atau polaron positif. Polaron-polaron ini akan terdistribusi di sepanjang rantai PANI-ES akibat penataan ulang muatan (Stejskal *et al.*, 2010; Hidayat, 2014)

Beberapa penelitian sebelumnya telah menggunakan beberapa inisiator dalam membuat polianilina, yaitu (NH₄)₂S₂O₈ (Stejskal dan Gilbert, 2002), K₂Cr₂O₇ (Chowdhury dan Saha, 2005), dan FeCl₃ (Nestorovic *et al.*, 2006). Menurut Ram dan Palaniappan (2004), (NH₄)₂S₂O₈ dan K₂Cr₂O₇ merupakan dua inisiator yang mampu menghasilkan polianilina dengan *yield* dan konduktivitas yang tinggi. Pemilihan (NH₄)₂S₂O₈ sebagai inisiator didasari oleh kelarutan ion NH₄⁺ yang lebih baik di dalam air dibandingkan ion K⁺. Tingginya kelarutan ion NH₄⁺ menyebabkan (NH₄)₂S₂O₈ mudah untuk dicuci (Stejskal dan Gilbert, 2002).

Tidak adanya kontaminan ini akan meningkatkan kemurnian komposit PANI-selulosa yang dihasilkan. Menurut Song *et al.*,

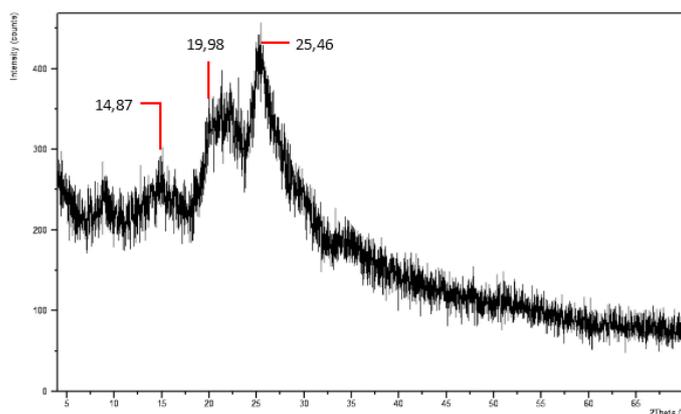
(2006) bahwa perbandingan (NH₄)₂S₂O₈ terhadap anilina yang baik adalah 3:4 karena proses polimerisasi anilina berlangsung optimal serta menghasilkan *yield* yang tinggi.

Perubahan polianilina dalam bentuk *emeraldine base* (PANI-EB) menjadi *emeraldine salt* (PANI-ES) dapat diidentifikasi melalui perubahan warna pada campuran. Perubahan warna yang signifikan dapat terlihat jelas pada saat penambahan APS. Saat beberapa tetes pertama pencampuran APS dengan campuran selulosa dengan larutan anilina-HCl, campuran berubah warna menjadi kecoklatan, kemudian berwarna biru yang merupakan warna khas dari PANI-EB dan pada akhirnya menghasilkan warna hijau pekat yang merupakan warna khas dari PANI-ES. Campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama pencampuran (30 menit) untuk menghomogenkan campuran dengan inisiatornya dan mengoptimalkan kontak bahan.

Karakterisasi Komposit Polianilina-Selulosa (PANI-Selulosa)

X-Ray Diffraction (XRD)

Sampel komposit PANI-selulosa yang dianalisis adalah sampel dengan jumlah anilina 2 g. Hasil analisis XRD ditunjukkan melalui difraktogram pada Gambar 4.



Gambar 4 Difraktogram Komposit PANI-Selulosa

Berdasarkan difraktogram di atas dapat dilihat beberapa pola difraksi yang digunakan untuk mempelajari kristalografi dan karakteristik komposit PANI-selulosa (Tabel 1).

Tabel 1 Pola Difraksi Komposit PANI-Selulosa

Nilai 2θ Literatur	Komposit PANI-Selulosa	Intensitas Relatif (%)
14,5°	14,87°	63,61
19,6°	19,98°	79,01
20°	19,98°	79,01
25,5°	25,46°	100,00
34°	34,21°	37,05

Zhao *et al.* (2007) melaporkan bahwa puncak difraksi pada nilai $2\theta = 34^\circ$ merupakan karakteristik daerah kristalin selulosa. Sedangkan puncak difraksi pada nilai $2\theta = 20^\circ$ adalah karakteristik daerah selulosa yang amorf (Park *et al.*, 2010). Dari hasil analisis sampel diperoleh nilai $2\theta = 34,21^\circ$ dengan intensitas puncak yang relatif lemah serta nilai $2\theta = 19,98^\circ$ dengan intensitas puncak yang tajam. Hal ini menunjukkan bahwa selulosa yang telah diisolasi dari tandan kosong kelapa sawit menghasilkan selulosa yang cenderung amorf.

Puncak difraksi pada nilai $2\theta = 14,5^\circ$; $19,6^\circ$; dan $25,5^\circ$ merupakan karakteristik struktur semikristalin atau kristal parsial dari polianilina. Puncak pada $2\theta = 19,6^\circ$ diakibatkan oleh periodisitas yang sejajar terhadap cincin polimer polianilina, sedangkan puncak pada $2\theta = 25,5^\circ$ diakibatkan oleh periodisitas yang tegak lurus terhadap cincin polimer polianilina (Chen *et al.*, 2008; Maddu *et al.*, 2008). Maddu *et al.* (2008) juga melaporkan bahwa pola difraksi yang melebar pada nilai 2θ yang berkisar 24° - 28° menunjukkan struktur polianilina nanokristal. Hasil analisis komposit PANI-selulosa diperoleh nilai 2θ yang tidak begitu jauh atau relatif sama dengan literatur yaitu $14,87^\circ$; $19,98^\circ$; dan $25,46^\circ$ dengan intensitas puncak yang tajam. Difraktogram hasil analisis komposit PANI-selulosa pada penelitian ini juga menunjukkan adanya pelebaran difraksi pada 24° - 28° .

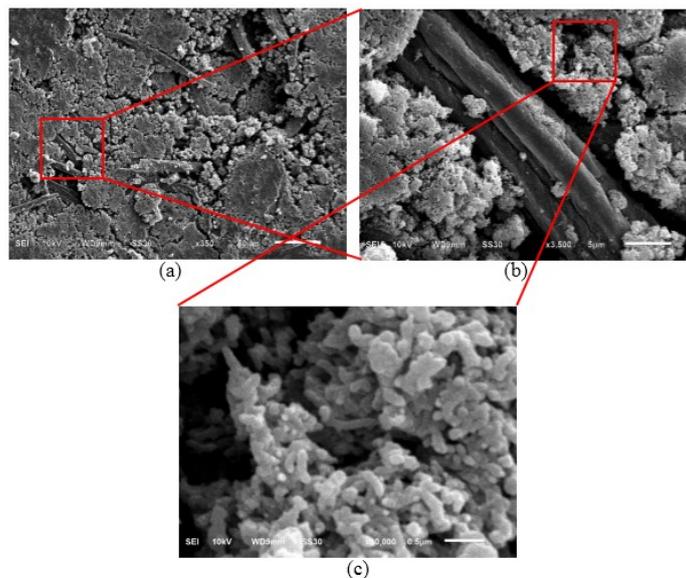
Hal ini dibuktikan juga melalui perhitungan ukuran kristal menggunakan metode Scherrer yang menunjukkan bahwa sebagian besar kristal PANI-selulosa yang terbentuk berukuran 8,22 nm. Berdasarkan pola difraksi XRD, maka dapat diketahui bahwa polimer polianilina semikristalin terdispersi pada medium (matriks) selulosa amorf membentuk komposit PANI-selulosa.

Scanning Electron Microscope (SEM)

Sampel komposit PANI-selulosa yang dianalisis adalah sampel dengan jumlah anilina 2 g. Citra mikro SEM mengungkapkan bahwa polianilina bentuk *emeraldine salt* (PANI-ES) yang disintesis memiliki struktur nanokristal berupa agregat. PANI-ES yang terbentuk terdiri dari partikel granular yang terdispersi ke medium amorf selulosa dan membentuk agregat pada permukaan selulosa.

Polianilina yang disintesis dalam penelitian ini menggunakan pengadukan dari awal pencampuran anilina dengan dopan HCl hingga penambahan inisiator APS. Inisiator APS ditambahkan ke dalam campuran selulosa-anilina-HCl secara perlahan-lahan menggunakan pipet tetes. Perlakuan ini akan membuat polimerisasi berlangsung optimal dan dapat

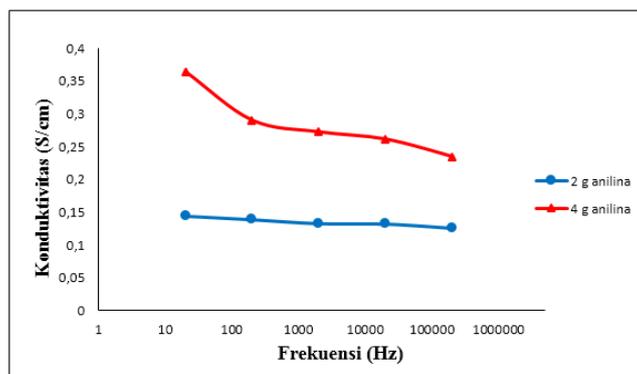
menghindari terjadinya pertumbuhan sekunder polianilina yang serentak sehingga dapat diperoleh polianilina nanoserat. Namun dengan dilakukannya pengadukan yang tidak memperhatikan kecepatannya, maka setiap polianilina nanoserat yang mulai terbentuk akan mengalami pemutusan akibat pengadukan yang relatif tinggi. Polianilina yang telah terputus ini menjadi granular yang kemudian membentuk gumpalan (agregat) ketika bergabung. Hal ini dibuktikan dengan hasil citra SEM sampel PANI-selulosa pada Gambar 5.



Gambar 5 Foto Hasil SEM Komposit PANI-Selulosa: (a) perbesaran 350x, (b) perbesaran 3.500x, dan (c) perbesaran 30.000x

Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)

Pengukuran EIS dilakukan pada sampel komposit PANI-selulosa dengan variasi massa anilina 2 g dan 4 g pada kondisi temperatur ruang dengan frekuensi 20 Hz hingga 200.000 Hz. Hasil pengukuran konduktivitas elektroda PANI-selulosa dengan variasi massa anilina 2 g dan 4 g yang dihasilkan dalam penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 6 dan Tabel 2.



Gambar 6 Grafik Konduktivitas Komposit PANI-Selulosa terhadap Frekuensi

Tabel 2 Nilai Konduktivitas Elektroda PANI-Selulosa

Frekuensi (Hz)	Nilai konduktivitas komposit PANI-selulosa (S/cm)	
	2 g anilina	4 g anilina
20	0,1422	0,3644
200	0,1389	0,2899
2.000	0,1329	0,2720
20.000	0,1323	0,2610
200.000	0,1259	0,2342

Berdasarkan grafik pada Gambar 6 dan Tabel 2 dapat dilihat bahwa nilai konduktivitas komposit memiliki kecenderungan semakin menurun seiring dengan meningkatnya frekuensi. Hal ini dikarenakan pada frekuensi mula-mula yaitu 20 Hz energi kecil yang diberikan membuat elektron bergerak secara perlahan dan teratur mencapai elektroda alat. Namun semakin tinggi frekuensi pengukuran dilakukan semakin besar pula energi yang diberikan, maka mengakibatkan pergerakan elektron pada elektroda PANI-selulosa akan semakin cepat. Pergerakan elektron yang sangat cepat akan membuat elektron-elektron bergerak tidak beraturan, kemudian saling bertumbukan dan berhamburan sehingga hanya sedikit jumlah elektron yang mencapai elektroda alat. Semakin kecil jumlah elektron yang mencapai elektroda alat, maka sinyal listrik yang diterima oleh detektor juga kecil sehingga nilai konduktivitas yang terukur akan rendah.

Nilai konduktivitas komposit PANI-selulosa yang dihasilkan dalam penelitian ini yaitu berada pada kisaran $10^{-1} - 10^0$ S/cm. Menurut Heeger *et al.* (2000) suatu bahan yang nilai konduktivitasnya pada kisaran 10^{-6} sampai 10^2 S/cm digolongkan sebagai bahan yang bersifat semikonduktor. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa komposit polianilina-selulosa (PANI-selulosa) yang dihasilkan bersifat semikonduktor.

Komposit PANI-Selulosa sebagai Elektrolit Padat pada Model Baterai Sederhana

Komposit PANI-selulosa yang telah dibuat diuji sifat kelistrikannya sebagai elektrolit padat dalam suatu model baterai sederhana. Jenis baterai yang dibuat merupakan jenis baterai primer. Hasil pengukuran tegangan dan arus baterai PANI-selulosa dengan variasi massa anilina 2 g dan 4 g ditunjukkan oleh Tabel 3.

Tabel 3. Tegangan dan Arus Baterai PANI-Selulosa

Jenis Baterai	Tegangan (V)	Arus (mA)	Hambatan Jenis (Ω cm)
2 g	0,876	9,5	52,11
	0,875	10,5	47,09
4 g	1,014	11,0	52,10
	1,016	10,5	54,68

SIMPULAN

Komposit PANI-selulosa dengan variasi massa anilina 2 g dan 4 g berturut-turut menghasilkan nilai konduktivitas 0,1259-0,1422 S/cm dan 0,2342-0,3644 S/cm. Pengujian baterai dengan elektrolit padat PANI-selulosa untuk massa anilina 2 g menghasilkan tegangan 0,875-0,876 V dan arus 9,5-10,5 mA. Sedangkan untuk baterai dengan massa anilina 4 g memperoleh tegangan 1,014-1,016 V dan arus 10,5-11,0 mA.

DAFTAR PUSTAKA

Chen, J.; Xu, Y.; Zheng, Y.; Dai, L. and Wu, H., 2008, The Design, Synthesis and Characterization of Polyaniline Nanophase Materials, *Comptes Rendus Chimie*, 11(84-89)

Chowdhury, P. and Saha, B., 2005, Potassium Dichromate Initiated Polymerization of Aniline, *Indian Journal of Chemical Technology*, 12:671-675

Dhand, C.; Das, M.; Datta, M. and Malhotra, B.D., 2011, Recent Advances in Polyaniline Based Biosensors, *Biosensors and Bioelectronics* 26:2811-2821

Hamisan, A.F.; Abd-Aziz, S.; Kamaruddin, K.; Shah, U.K.M.; Shahab, N. and Hassan, M.A., 2009, Delignification of Oil Palm Empty Fruit Bunch Using Chemical and Microbial Pretreatment Methods, *International Journal of Agriculture Research*, 4(8): 250-256

Heeger, A.J.; MacDiarmid, A.G. and Shirakawa, H., 2000, The Nobel Prize in Chemistry, 2000: conductive polymer, Kungl. Vetenskapsakademien, Sweden.

Hidayat, F., 2011, Sintesis Komposit PANI-Selulosa dengan Modifikasi Perlakuan Awal pada Selulosa, Universitas Tanjungpura, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Pontianak, (Skripsi).

Hidayat, F., 2014, Sintesis Pasangan Asam-Basa Polianilina/Polianilina Tersulfonasi (PANI/SPAN) dengan Variasi Polianilina Pembentuk SPAN, Institut Teknologi Bandung, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Bandung, (Tesis).

- Hidayat, S. dan Tjia, M.O., 2002, Karakteristik Model Baterai Sekunder Menggunakan Elektroda PANI-NMP, *Kontribusi Fisika Indonesia*, 13(3):165-168
- John, A.; Mahadeva, S.K. and Kim, J., 2010, The Preparation, Characterization and Actuation Behavior of Polyaniline and Cellulose Blended Electro-Active Paper, *Smart Materials and Structures*, 19:1-6
- Li, J.; Qian, X.R.; Wang, L.J. and An, X.H., 2010, XPS Characterization and Percolation Behavior of Polyaniline-Coated Conductive Paper, *Bioresources*, 5(2):712-726
- Maddu, A.; Wahyudi, S.T. dan Kurniati, M., 2008, Sintesis dan Karakterisasi Nanoserat Polianilin, *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*, 1(2):74-78
- Mihardi, I., 2008, Karakteristik Optik dan Listrik Polianilin yang Di-Doped HCl, Institut Teknologi Bandung, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Bogor, (Skripsi).
- Mo, Z.; Zhao, Z.; Hong, C.; Niu, G. and Shi, H., 2009, Heterogeneous Preparation of Cellulose-Polyaniline Conductive Composites with Cellulose Activated by Acids and its Electrical Properties, *Carbohydrate Polymers*, 75:660-664
- Nestorovic, G.D.; Jeremic, K.B. and Jovanovic, S.M., 2006, Kinetics of Aniline Polymerization Initiated with Iron(III) Chloride, *J. Serb. Chem. Soc.*, 71(8-9):895-904
- Nieves, D.C.; Karimi, K. and Horvath, I.S., 2011, Improvement of Biogas Production from Oil Palm Empty Fruit Bunches (OPEFB), *Industrial Crops and Products*, 34:1097-1101
- Park, S.; Baker, J.O.; Himmel, M.E.; Parilla, P.A. and Johnson, D.K., 2010, Cellulose Crystallinity Index: measurement techniques and their impact on interpreting cellulase performance, *Biotechnology for Biofuel*, 3(1):1-10
- Ram, M.S. and Palaniappan, S., 2004, A Process for the Preparation of Polyaniline Salt Doped with Acid and Surfactant Groups Using Benzoyl Peroxide, *Journal of Materials Science*, 39:3069-3077
- Rao, P.S.; Sathyanarayana, D.N. and Palaniappan, S., 2002, Polymerization of Aniline in an Organic Peroxide System by the Inverted Emulsion Process, *Macromolecules*, 35(13):4988-4996
- Saputra, E., 2013, Sintesis Komposit Polianilina-Selulosa Menggunakan Matriks Selulosa dari Tandan Kosong Sawit, Universitas Tanjungpura, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Pontianak, (Skripsi).
- Song, H.; Qian, X. L. and Xie, W., 2006, The Conductive Paper Manufactured with the Composite of Polyaniline/pulp Fiber: effect of adsorption and polymerization conditions on the performances of conductive paper, *J. Trans. Chi. Pulp and pp.*, 21(1): 43-46
- Stejskal, J and Gilbert, R.G., 2002, Polyaniline. Preparation of A Conducting Polymer (IUPAC Technical Report), *Pure and Applied Chemistry*, 74(5):857-867
- Stejskal, J., Sapurina, I. and Trchova, M., 2010, Polyaniline Nanostructures and the Role of Aniline Oligomers in Their Formation, *Progress in Polymer Science*, 35:1420-1481
- Subathira, A. and Meyyappan, R.M., 2011, Anticorrosion Behavior of Polyaniline/Polypyrrole Composite Coatings on Stainless Steel, *Int. J. Chem. Sci.*, 9(2):493-502
- Wang, W.; Schiff, E. and Wang, Q., 2008, Amorphous Silicon/Polyaniline Heterojunction Solar Cells: fermi levels and open-circuit voltages, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 354:2862-2865
- Wang, H.; Zhu, E.; Yang, J.; Zhou, P.; Sun, D. and Tang, W., 2012, Bacterial Cellulose Nanofiber-Supported Polyaniline Nanocomposites with Flake-Shaped Morphology as Supercapacitor Electrodes, *The Journal of Physical Chemistry*, 116:13013-13019
- Zhao, H.; Kwak, J.H.; Zhang, Z.C.; Brown, H.M.; Arey, B.W. and Holladay, J.E., 2007, Studying Cellulose Fibers Structure by SEM, XRD, NMR and Acid Hydrolysis, *Carbohydrate Polymers*, 68:235-241