

Pengaruh Variasi Frekuensi Tegangan terhadap Nilai Kapasitansi dan Konduktansi Nanofiber Polianilin

Nurlaila Rajabiah^{1*}, Eko Nugroho², Ngurah Ayu Ketut Umiyati³

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Metro
Jl. Ki Hajar Dewantara 15 A Kota Metro, Lampung, Indonesia

³Jurusan Fisika, Universitas Diponegoro, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jl. Prof. Soedarto, SH, Semarang, Indonesia

*Corresponding author: nurlailarajabiah@gmail.com

Abstract

This research is driven by the need to develop conductive materials that can be applied to sensitive and responsive sensors. Polyaniline-based sensors offer potential solutions for a variety of applications, including gas detection, medical imaging, and environmental monitoring. The purpose of this study is to determine the effect of variations in electrical voltage frequency on the conductance and capacitance values of the electroactive conductive polymer polyaniline nanofiber. The primary data were obtained by an experimental method through the synthesis of polyaniline nanofibers using an interfacial polymerization method doped with hydrochloric acid (HCl) with varying voltage frequencies from 1 kHz to 100 kHz. Capacitance and conductance testing used inductance (L), capacitance (C) and resistance (R) measuring instruments, namely the LCR meter. The characterization results show that variations in voltage frequency have a significant impact on the conductive and capacitive properties of the nanofiber. An increase in frequency causes a decrease in capacitance at high frequencies. The highest capacitance value is at a frequency of 1 kHz, namely 149.9 pF, while the highest conductance value is at a frequency of 100 kHz, namely 134.64 siemens (1/ohm). The conductivity of polyaniline nanofiber shows a positive influence, with increasing conductance values at higher frequencies. This increase shows that the size and morphology of the nanofiber indicate the nanofiber's ability to conduct electric current. These results provide deep insight into the influence of frequency in controlling the conductive properties of polyaniline nanofibers, which can be applied in the development of sensors, flexible electronic devices, and other fields that utilize polymer conductivity.

Key words: voltage frequency, capacitance, conductance, polyaniline nanofiber.

Abstrak

Penelitian ini didorong oleh kebutuhan akan pengembangan material konduktif yang dapat diaplikasikan dalam sensor yang sensitif dan responsif. Sensor berbasis polianilin menawarkan solusi potensial untuk berbagai aplikasi, termasuk deteksi gas, pencitraan medis, dan pemantauan lingkungan. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi frekuensi tegangan listrik terhadap nilai konduktansi dan kapasitansi polimer konduktif elektroaktif nanofiber polianilin. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental melalui sintesis nanofiber polianilin dengan menggunakan metode polimerisasi interfasial terdoping *hydrochloric acid* (HCl) dengan variasi frekuensi tegangan dari 1 kHz sampai dengan 100 kHz. Pengujian kapasitansi dan konduktansi menggunakan alat ukur induktansi (L), kapasitansi (C), dan resistansi (R) yaitu LCR meter. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa variasi frekuensi tegangan memiliki dampak signifikan terhadap sifat konduktif dan kapasitif nanofiber. Peningkatan frekuensi menyebabkan penurunan kapasitansi pada frekuensi tinggi. Nilai kapasitansi yang tertinggi yaitu pada frekuensi 1 kHz yaitu 149,9 pF, sedangkan nilai konduktansi yang paling tinggi terdapat pada frekuensi 100 kHz yaitu 134,64 siemen (1/ohm). Konduktivitas polianilin nanofiber menunjukkan pengaruh positif dengan meningkatnya nilai konduktansi pada frekuensi yang lebih tinggi. Peningkatan ini menunjukkan bahwa ukuran dan morfologi nanofiber menunjukkan kemampuan nanofiber dalam menghantarkan arus listrik. Hasil ini memberikan wawasan mendalam tentang pengaruh frekuensi dalam mengendalikan sifat konduktif nanofiber polianilin, yang dapat diaplikasikan dalam pengembangan sensor, perangkat elektronik fleksibel, dan bidang lain yang memanfaatkan konduktivitas polimer.

Kata kunci: frekuensi tegangan, kapasitansi, konduktansi, nanofiber polianilin

1. Pendahuluan

Pengembangan bahan polimer konduktif nanostruktur sangat intensif dilakukan dengan tujuan untuk

meningkatkan kinerjanya dalam berbagai aplikasi. Struktur nanofiber polianilin ini sangat efektif sebagai sensor kimia (gas) karena memiliki luas permukaan jauh lebih



besar sehingga proses difusi molekul gas ke dalam struktur nanoserat polianilin berlangsung lebih cepat dan kedalaman penetrasi molekul gas atau uap kimia ke dalam nanoserat juga jauh lebih besar yang akan meningkatkan sensitivitas dan responsivitas sensor. Salah satu metode telah dikembangkan untuk sintesis nanoserat polianilin, yaitu polimerisasi interfisial. Metode polimerisasi interfisial merupakan metode kimia yang relatif sangat sederhana, mudah dilakukan dan relatif murah [1]. Elemen biorekognisi biosensor dapat berupa material konduktif atau material dielektrik (polimer) untuk dapat mengikat analit (material yang diamati) [2].

Polianilin merupakan material konduktif yang paling banyak dipelajari karena konduktivitasnya yang tinggi ketika didoping dengan asam, mudah disiapkan untuk diproduksi, dan dapat menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan dengan baik [3].

Menurut Huang *dkk.* meskipun berbagai macam sintesis saat ini mendekati nanostruktur polianilin, dibutuhkan metode yang mampu membuatnya lebih murni, seragam, dan struktur nano polianilin dengan diameter kecil (kurang dari 100 nm) dalam jumlah besar (*bulk*), yaitu dengan polimerisasi interfisial. Struktur nanofiber dapat dibentuk dengan asam dopan apa pun yang digunakan dalam polimerisasi [4]. Kualitas keseragaman nanofiber dipengaruhi oleh konsentrasi asam dari fase cair. Semakin rendah konsentrasi asam, semakin rendah ukuran nanofiber diamati dari hasil sintesis. Asam klorida (HCl) yang digunakan sebagai dopan menghasilkan ukuran diameter nanofiber yang lebih kecil dari mineral asam lainnya. Konsentrasi asam yang lebih tinggi lebih diutamakan karena lebih besar kemungkinannya dan lebih optimal untuk menghasilkan nanofiber yang baik [5].

Nanofiber polianilin yang diproses secara kimia dengan polimerisasi interfisial memerlukan perbandingan rasio molar untuk membuatnya seragam [6]. Salah satu hal yang mempengaruhi kinerja sensor

dengan menggunakan polimer konduktif sebagai elemen biorekognisi sensor yaitu tingkat keseragamannya [7]. Menurut Detsri dan Dubas, polianilin yang dapat berperan sebagai material konduktif adalah dalam bentuk garam emeraldine. Polimer konduktif polianilin ini juga dapat mengalami perubahan sifat listrik dan optik yang dapat balik (*reversible*) melalui reaksi redoks dan doping-dedoping atau protonasi-deprotonasi sehingga sangat potensial dimanfaatkan pada berbagai aplikasi. Sifat listrik (konduktivitas) emeraldin dapat divariasikan melalui reaksi oksidasi reduksi oleh agen-agen oksidan dan reduktan [8]. Perubahan sifat dari film tipis polianilin yang didoping menghasilkan perubahan dramatis dalam respon biosensor terutama karena perubahan pada bagian riil dan imajiner dari konstanta dielektrik [9]. Mikrostruktur dan sifat listrik nanofiber polianilin diprediksi akan mempengaruhi potensi aplikasinya pada biosensor berbasis SPR. Modifikasi film polianilin dapat meningkatkan efisiensi untuk immobilisasi biomolekul sehingga teknologi ini sangat menjanjikan untuk biosensor SPR [10]. Berdasarkan uraian diatas maka tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi frekuensi tegangan listrik terhadap nilai konduktansi dan kapasitansi polimer konduktif elektroaktif nanofiber polianilin. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental melalui sintesis nanofiber polianilin dengan menggunakan metode polimerisasi interfisial terdoping *hydrochloric acid* (HCl) dengan variasi frekuensi tegangan dari 1 kHz sampai dengan 100 kHz.

Karakteristik Listrik Bahan

Resistansi (R_s) merupakan istilah yang mengacu pada karakteristik dalam rangkaian yang bersifat melawan arus listrik. Resistansi merupakan tahanan yang diberikan oleh resistor. Faktor kualitas induktor (Q) dapat didefinisikan sesuai disipasi dayanya. Faktor kualitas Q dari sebuah induktor adalah perbandingan reaktansi induktif (L_s) dan resistansi (R_s)

dengan frekuensi anguler (ω) pada frekuensi tegangan (V):

$$R_s = \frac{\omega L_s}{Q}, \quad (1)$$

$$G_s = \frac{1}{R_s}, \quad (2)$$

Satuan dasar untuk konduktansi (G_s) adalah siemens (S). Luas penampang plat (A) dan jarak antar plat (d) juga mempengaruhi konduktansi (G_s). Sehingga satuan konduktansi menjadi Siemens/cm (S/cm).

Kapasitansi (C) adalah besaran yang menyatakan kemampuan dari sebuah plat kapasitor dalam menampung muatan listrik. Kapasitansi (C) tergantung dari ukuran dan bentuk konduktor dan nilainya akan bertambah jika ada sebuah material pengisolasi atau dielektrik. Sifat dielektrik (ϵ_r) selalu berkaitan dengan konstanta dielektrik bahan pada ruang vakum (ϵ_0) dan digunakan untuk menentukan permitivitas listrik [11].

$$\epsilon_r = \frac{Cd}{\epsilon_0 A}, \quad (3)$$

Nilai konstanta dielektrik (ϵ_r) suatu material merupakan karakteristik dari material itu sendiri. Besaran itu menunjukkan peristiwa penyearahan dipol-dipol penyusun material terhadap medan listrik luar (E) yang berkerja padanya, sehingga material tersebut mengalami polarisasi (P). Medan listrik *alternating current* (AC) merupakan medan yang terisolasi, sehingga terjadi pergeseran medan-medan E dan D yang memunculkan adanya komponen arus yang hilang atau dissipasi energi. Konstanta dielektrik relatif (ϵ_r), (selanjutnya ditulis konstanta dielektrik) dari suatu material dapat dituliskan sebagai, $\epsilon_r = \epsilon' - i\epsilon''$ dengan ϵ' adalah komponen riil konstanta dielektrik yang berhubungan dengan kemampuan material yang menyimpan energi, sedangkan ϵ'' adalah bagian imajiner konstanta dielektrik yang menentukan jumlah energi yang hilang (terdisipasi)

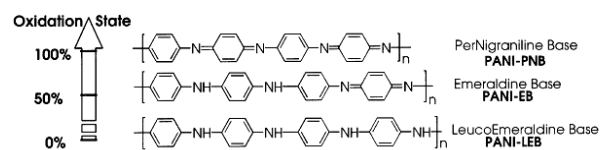
menjadi panas [12]. Kapasitansi (C_s) bahan dihitung dari persamaan [13]:

$$C_s = \frac{\epsilon' \epsilon_0 A}{d}, \quad (4)$$

dengan ϵ' adalah permitivitas ruang hampa dan C_s merupakan kapasitansi seri, dengan konstanta dielektrik bahan pada ruang vakum (ϵ_0). Kualitas kapasitor dapat didefinisikan sesuai disipasi dayanya. Faktor disipasi $\tan \delta$ atau faktor D dari sebuah kapasitor adalah perbandingan reaktansi kapasitif dan resistansinya. Menggunakan rangkaian ekivalen seri, faktor D diformulasikan sebagai $D = \omega R_s C_s$ dengan ω adalah frekuensi anguler, R_s dan C_s adalah resistansi dan kapasitansi seri. Konstanta dielektrik bagian imajiner (ϵ'') diperoleh dengan persamaan $\epsilon'' = \epsilon' \tan \delta$ dengan $\tan \delta$ atau D (faktor disipasi) adalah rugi tangen, yang nilainya berbanding lurus dengan ϵ'' . Rugi tangen (D) berkaitan dengan jumlah energi yang terdisipasi atau hilang [14].

Nanofiber Polianilin

Polianilin memiliki mekanisme konduksi elektron yang unik sebagai polimer konduktif, seperti jika didoping dengan protonasi. Polianilin memiliki bentuk bervariasi pada tingkatan oksidasinya. Prinsip dasar bentuk polianilin seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Bentuk utama dasar polianilin [15]

Polianilin setengah teroksidasi disebut *emeraldine*. Nitrogen imina dan amina memiliki jumlah yang sama dengan rasio cincin benzoid dan quinoid adalah 3:1. Rantai eemeraldin harus terisi empat cincin dan empat nitrogen [15].

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental melalui sintesis nanofiber polianilin dengan menggunakan metode polimerisasi interfisial terdoping

hydrochloric acid (HCl) dengan 9 variasi frekuensi tegangan yang merupakan data kontinu dari 1 kHz sampai dengan 100 kHz. Eksperimen dilakukan menggunakan bahan-bahan yang digunakan untuk sintesis nanoserat polianilin adalah monomer anilin, ammonium peroxydisulphide $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ sebagai oksidan atau inisiator polimerisasi, HCl sebagai doping sumber proton (H^+), toluena sebagai fasa organik dan akuades sebagai fasa air (*aquoeus*).

2.1 Sintesis Nanofiber Polianilin dengan Metode Polimerisasi Interfasial

Pada sintesis ini dilakukan dengan dua fase yaitu fase organik dan fase cair. Pada fase organik, pengenceran anilin ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$) 1,5 ml dilarutkan dengan toluena (C_7H_8) 48,5 ml dan pada fase cair ammonium peroxydisulfat $((\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8)$ sebagai inisiator ditambahkan dengan dopan HCl 1,2 M. Perbandingan rasio molar anilin/ammonium peroxydisulfat (APS) yaitu 1:4 untuk memungkinkan mendapatkan nanofiber polianilin yang baik dengan dopan HCl [16]. Selanjutnya, mencampurkan fase organik dan fase cair tanpa diaduk dan didiamkan selama 15 jam. Polianilin yang telah terbentuk endapan difiltrasi dan dikeringkan. Proses filtrasi dengan dibilas dengan akuades sampai air filtrasi jernih. Setelah sisa filtrasi jernih, polianilin yang masih dikertas saring diambil menggunakan spatula dan dilapisi ke kaca preparat sampai polianilin kering untuk karakterisasi morfologi polianilin dengan menggunakan *scanning electron microscopy* (SEM) dan karakterisasi untuk mengukur konduktivitas dengan LCR meter menggunakan *printed circuit board* (PCB) yang dilapisi polianilin sampai kering. Lapisan tipis polianilin diatas kaca preparat dan PCB yang telah kering dipindahkan keplastik untuk karakterisasi.

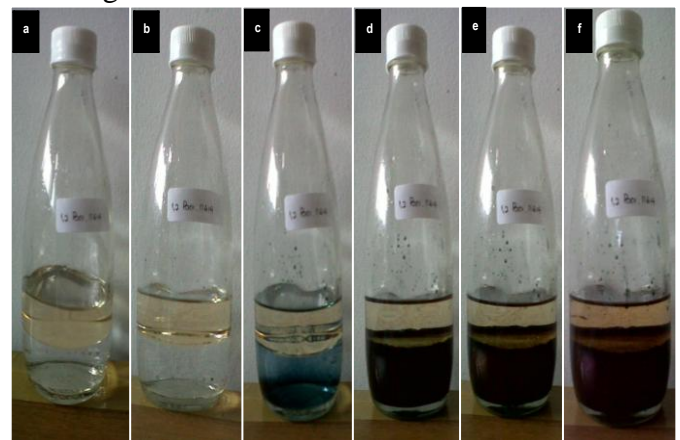
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Sintesis Polianilin dengan Metode Polimerisasi Interfasial

Proses sintesis nanofiber polianilin dilakukan dengan sistem dua fase. Pada

Gambar 2. Dapat dilihat hasil pencampuran kedua fase terbentuk batas antara fase organik yang mengandung anilin dan toluena pada bagian atas serta fase cair mengandung dopan proton berupa HCl dan $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ pada bagian bawah. Warna biru pada awal pencampuran kedua fase merupakan polianilin dalam bentuk basa emeraldin yang belum terprotonasi dan berubah menjadi hijau setelah terjadi protonasi oleh dopan HCl 1,2 M di dalam fase cair. Pada saat yang sama lapisan bagian atas atau fase organik menjadi warna oranye akibat pembentukan oligomer anilin.

Hasil polimerisasi nanofiber polianilin setelah 1 jam mengalami perubahan warna pada bagian fase organik. Tampak bahwa semakin besar konsentrasi molar dopan HCl warna lapisan atas (fase organik) semakin bening dan setelah polimerisasi selama ± 15 jam warna fase organik ini semakin gelap sampai polimerisasi lengkap atau warna larutan tidak lagi berubah.



Gambar 2. Proses polimerisasi interfasial menggunakan dopan HCl 1,2 M dengan waktu reaksi yang diamati yaitu; a) 0,5, b) 1, c) 2, d) 3, e) 4, dan f) 10 menit.

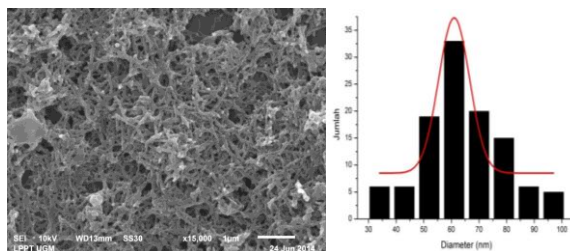
Sintesis dengan metode polimerisasi interfasial, nanofibers dengan cepat menjauh dari batas antarmuka dan berdifusi ke dalam lapisan air [4], seperti ditunjukkan pada Gambar 2.c-f. Dengan cara ini, nanofiber polianilin menarik diri dari batas fase yang bereaksi, sehingga menghindari pertumbuhan nanofiber polianilin berlebih dan memungkinkan nanofiber baru tumbuh pada *interface* ini. Faktor yang

mempengaruhi ukuran partikel dalam polimerisasi interfasial antara lain jenis dopan, konsentrasi dopan, dan rasio molar anilin dengan ammonium peroxydisulfat.

3.2 Karakterisasi Polianilin dengan Scanning Electron Microscopy (SEM)

Polianilin membutuhkan dopan anion dari asam untuk memperbaiki keseimbangan muatan, oleh karena itu struktur anion mempengaruhi ukuran nanofiber polianilin [17]. Konsentrasi dopan HCl 1,2 M diperlukan agar permukaan nanofiber polianilin berpotensi dengan baik sebagai elemen biorekognisi biosensor SPR.

Besarnya rata-rata diameter serat nano dapat dimodifikasi dengan metode sintesis polimerisasi Interfasial. Pada Gambar 3. merupakan citra hasil uji menggunakan SEM dan distribusi diameter nanofiber polianilin yang menunjukkan bahwa ukuran diameter dan serat nano polianilin sebagai elemen biorekognisi dipengaruhi oleh besarnya konsentrasi asam dopan seperti penelitian yang dikerjakan oleh [14].



Gambar 3. Citra SEM dan distribusi diameter nanofiber polianilin dengan dopan HCl 1,2 M. Rata-rata diameter sampel $59,6 \pm 0,6$ nm

Nanofiber polianilin dengan konsentrasi HCl 1,2 M tampak halus dan rata pada sebagian besar permukaannya. Rata-rata diameternya yaitu $59,6 \pm 0,6$ nm. Nilai FWHM yang diperoleh adalah 13,2, menunjukkan keseragaman permukaan nanofiber polianilin. Penelitian ini sesuai dengan yang dilakukan oleh Virji *dkk.* [5] yaitu diameter nanofiber menunjukkan respon karena memiliki luas permukaan lebih besar yang dapat berinteraksi lebih efektif dengan analit sehingga mendukung mekanisme *sensing*.

3.3 Variasi Frekuensi Terhadap Nilai Kapasitansi Nanofiber Polianilin

Data hasil eksperimen pada Tabel 1. menunjukkan bahwa nilai kapasitansi nanofiber polianilin yang dibuat dipengaruhi oleh perubahan frekuensi tegangan listrik yang digunakan selama proses polimerisasi interfasial.

Tabel 1. Variasi frekuensi terhadap nilai kapasitansi dan konduktansi

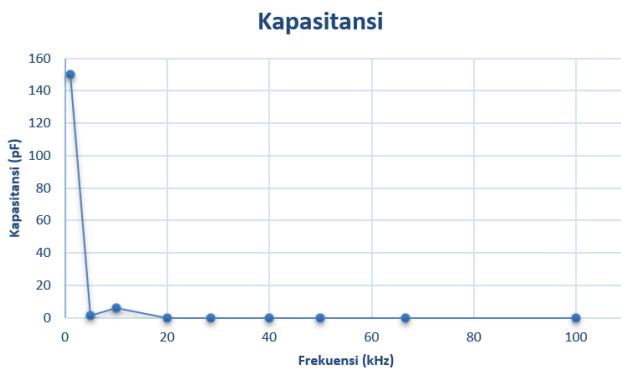
Frekuensi (kHz)	Kapasitansi (pF)	Konduktansi ($\times 10^7$)(S)
1	149.9	6.35
5	1.5065	6.24
10	6.1424	5.76
20	0.01182	2.74
29	0.00597	6.29
40	0.00988	17.38
50	0.01313	32.15
67	0.01873	64.10
100	0.03715	134.64

Nilai kapasitansi diperoleh langsung dari hasil eksperimen menggunakan LCR Meter dengan tegangan 1 V, sedangkan nilai konduktansi diperoleh dari data nilai resistansi yang kemudian dihitung menggunakan persamaan 2. Data nilai kapasitansi dan konduktansi dapat dilihat pada tabel 1.

Hasil pengujian dengan variasi frekuensi dari 1 sampai 100 kHz, yang dibagi menjadi 9 variasi frekuensi menunjukkan nilai kapasitansi tertinggi terdapat pada frekuensi 1 kHz dibandingkan dengan frekuensi lainnya. Ini disebabkan karena efek resonansi atau optimalisasi proses pengujian pada frekuensi ini, yang membuat nanofiber polianilin tersebar lebih merata.

Pada gambar 4, menunjukkan ada perbedaan yang lebih besar pada frekuensi 1 kHz dengan 5 kHz yaitu terjadi penurunan nilai yang signifikan dari 149,9 pF menjadi 1,5 pF. Kemudian pada frekuensi 10 kHz terjadi peningkatan menjadi 6 pF. Penurunan nilai terjadi pada frekuensi yang berikutnya yaitu 20 kHz semakin menurunnya nilai kapasitansi sampai frekuensi 50 kHz dan naik kembali sampai 100 kHz. Ini disebabkan karena perubahan morfologi dan struktur nanofiber yang dipengaruhi oleh frekuensi yang berbeda,

yang pada akhirnya berdampak pada nilai kapasitansi.



Gambar 4. Grafik variasi frekuensi terhadap nilai kapasitansi

Fenomena yang terjadi selama proses pengujian LCR Meter pada frekuensi tinggi, seperti peningkatan gaya elektrostatik, dapat menyebabkan penurunan nilai kapasitansi. Pembentukan nanofiber yang lebih rapat dengan luas permukaan yang lebih kecil pada akhirnya dapat berdampak pada data hasil pengujian kapasitansi nanofiber. Namun, meskipun ada penurunan frekuensi di atas 1 kHz, nilai kapasitansi tetap relatif tinggi dibandingkan dengan frekuensi rendah. Hal ini menunjukkan bahwa proses sintesis menggunakan polimerisasi interfisial masih dapat menghasilkan nanofiber polianilin dengan ketahanan yang tinggi sehingga mendapatkan nilai kapasitansi yang signifikan pada rentang frekuensi ini.

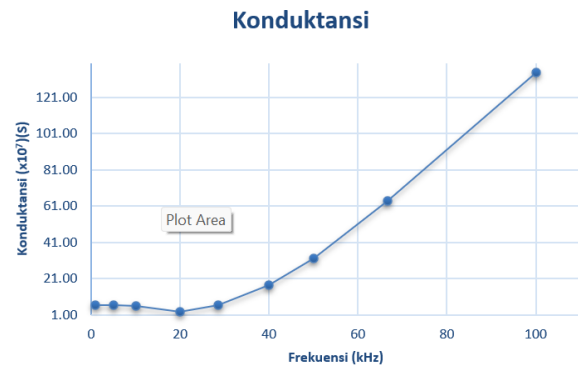
3.4 Variasi Frekuensi Terhadap Nilai Konduktansi Nanofiber Polianilin

Pada metode sintesis polimerisasi interfisial, polianilin disintesis di antarmuka dua fase yang tidak bercampur, contohnya antara air dan minyak. Nanofiber polianilin hasilnya memiliki sifat konduktif yang bervariasi berdasarkan kondisi sintesisnya, termasuk frekuensi tegangan listrik yang digunakan pada pengujian kapasitansi dan konduktansi menggunakan LCR Meter.

Data yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai konduktansi nanofiber polianilin meningkat seiring dengan peningkatan frekuensi tegangan listrik.

Pada gambar 5 terbaca pada frekuensi awal yaitu 1 kHz, konduktansi nanofiber

polianilin 6,35 S (1/ohm). Kemudian mengalami sedikit penurunan pada frekuensi 20 kHz yaitu mencapai 2,74 S dan naik secara signifikan pada frekuensi 40 kHz yaitu 17,38 S. Kenaikan terus terjadi sampai frekuensi 100 kHz yang merupakan nilai konduktansi tertinggi yaitu 134,64 S.



Gambar 5. Grafik variasi frekuensi terhadap nilai konduktansi

Peningkatan tersebut disebabkan oleh peningkatan struktur nanofiber yang lebih baik pada frekuensi yang lebih tinggi, yang berdampak positif pada konduktivitas dan kapasitansi.

Nilai kapasitansi dan konduktansi nanofiber polianilin sangat berharga dalam pengembangan teknologi baru. Kapasitansi memberikan gambaran tentang kemampuan nanofiber untuk menyimpan muatan listrik, yang penting dalam pengembangan baterai, superkapasitor, dan sistem penyimpanan energi. Sementara itu, konduktansi memperlihatkan kemampuan nanofiber dalam menghantarkan arus listrik, yang penting dalam pengembangan sensor, perangkat elektronik, dan material konduktif lainnya.

4. Kesimpulan

Variasi frekuensi yang diaplikasikan pada sample berpengaruh pada nilai kapasitansi dan konduktansi nanofiber. Peningkatan frekuensi menyebabkan penurunan kapasitansi pada frekuensi tinggi. Nilai kapasitansi yang tertinggi yaitu pada frekuensi 1 kHz yaitu 149,9 pF, sedangkan nilai konduktansi yang paling tinggi terdapat pada frekuensi 100 kHz yaitu 134,64 siemen (1/ohm). Konduktivitas polianilin nanofiber

menunjukkan pengaruh positif dengan meningkatnya nilai konduktansi pada frekuensi yang lebih tinggi. Peningkatan ini menunjukkan bahwa ukuran dan morfologi nanofiber menunjukkan kemampuan nanofiber dalam menghantarkan arus listrik.

Data mengenai kapasitansi dan konduktansi tersebut memegang peran penting dalam pengembangan berbagai aplikasi teknologi. Pemahaman akan pengaruh frekuensi terhadap sifat listrik nanofiber polianilin memiliki nilai penting dalam pengembangan material yang lebih efisien dan fungsional.

Referensi

- [1] Maddu, A., Wahyudi, S.T. dan Kurniati, M., 2008, Sintesis dan Karakterisasi Nanoserat Polianilin, *J. Nano Saintek*, Vol. 1, No. 2.
- [2] Rhodes, C., Franzen, S., Maria, J.P., Losego, M., Leonard, D.N., Laughlin, B., Duscher, G. dan Weibel, S., 2006, Surface Plasmon Resonance in Conducting Metal Oxides, *J. Appl. Phys.*, 100, 054905.
- [3] Huang, J., and Kaner, R. B., 2004, A General Chemical Route to Polyaniline Nanofibers, *J. Am. Chem. Soc.* 126, 851–855.
- [4] Huang, J., Virji, S., Weiller, B.H. dan Kaner, R.B., 2003, Polyaniline Nanofibers: Facile Synthesis and Chemical Sensors, *J. Am. Chem. Soc.*, 125, 314-315.
- [5] Virji, S., Weiller, B.H., Huang, J., Blair, R., Shepherd, H., Faltens, T., Haussmann, P.C., Kaner, R.B. dan Tolbert, S.H., 2008, Construction of a Polyaniline Nanofiber Gas Sensor, *J. Chem. Edu.*, 85, 8, 1102-1104.
- [6] Abdolahi, A., Hamzah, E., Ibrahim, Z. dan Hashim, S., 2012, Synthesis of Uniform Polyaniline Nanofibers through Interfacial Polymerization, *Materials*, 5, 1487-1494.
- [7] Wijaya, E., Lenaerts, C., Maricot, S., Hastanin, J., Habraken, S., Vilcot, J.-P., Boukherroub, R. dan Szunerits, S., 2011, Surface Plasmon Resonance-Based Biosensors: From the Development of Different SPR Structures to Novel Surface Functionalization Strategies, *J. COSSMS*, 15, 208-224.
- [8] Detsri, E. dan Dubas, S.T., 2009, Interfacial Polymerization of Water-Soluble Polyaniline and Its Assembly Using the Layer-By-Layer Technique, *Journal of Metals, Materials and Minerals*, 19, 1, 39-44.
- [9] Baba, A., Tian, S., Stefani, F., Xia, C., Wang, Z., Advincula, R.C. dan Knoll, W., 2004, Electropolymerization and Doping/Dedoping Properties of Polyaniline Thin Films as Studied by Electrochemical-Surface Plasmon Spectroscopy and by The Quartz Crystal Microbalance, *Electroanalytical Chemistry*, 562, 95–103.
- [10] Cai, Q., Xu, B., Ye, L., Di, Z., Zhang, J., Jin, Q., Zhao, J., Xue, J. dan Chen, X., 2013, Immobilization of Biomolecules on cysteamine-modified polyaniline film for highly sensitive biosensing, *J. Talanta*, 120, 462-469.
- [11] Irzaman, M.A., Maddu, A., Syafutra, H. dan Ismangil, A., 2010, Uji Konduktivitas Listrik dan Dielektrik Film Tipis Lithium Tantalate (LiTaO₃) yang Didadah Niobium Pentaoksida (Nb₂O₃) Menggunakan Metode Chemical Solution Deposition, *Proceedings of National Workshop on Physics*, 175-183.
- [12] Barsoukov, E. dan Macdonald, J.R., 2005, Impedance Spectroscopy Theory, Experiment, and Applications, 2nd edn, John Wiley & Sons Inc., Canada.
- [13] Hassan, S.M., Baker, A.G. dan Jafaar, H.I., 2012, A.C Electrical Conductivity for Polyaniline Prepared in Different Acidic Medium, *Int. J. Basappli. Sci.*, 01, 02, 352-362.
- [14] Zhang, X., Chan-Yu-King, R., Jose, A., dan Mahonar, S.K., 2004, Nanofibers of Polyaniline Synthesized by Interfacial Polymerization, *Synthetic Metals*, 145, 23-29.

- [15] Pron, A. dan Rannou, P., 2002, Processible Conjugate Polymers: From Organic Semiconductor to Organic Metals and Superconductors, *Prog. Polym. Sci.*, 27, 135-190.
- [16] Umiati, N. A. K., Rajabiah, N., Triyana, K., & Abraha, K., 2014, The Dopan Influence to Electrical Properties of Nanofibre Polyaniline Synthesize by Interfacial Polymerization. *Proceeding of International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, 214-244.
- [17] Zhao, M., Wu, X., and Cai, C., 2009, Polyaniline Nanofibers: Synthesis, Characterization, and Application to Direct Electron Transfer of Glucose Oxidase, *J. Phys. Chem. C*, 113, 4987-4996.