

Sintesis polianilin (PANi) dengan metode polimerisasi interfasial sebagai bahan dasar pembuatan sensor gas amonia (NH₃)

Neny Rasnyanti M Aras¹, Muh Irwan²

¹Program Studi Analisis Kimia, Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng

²Program Studi Teknik Perawatan Mesin, Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng
Desa Nipa-Nipa, Pajjukukang, Bantaeng, Sulawesi Selatan 92461
Email korespondensi: neny.rasnyanti@gmail.com

Abstrak

Salah satu komponen utama pada perangkat berbasis IoT adalah sensor. Polianilin merupakan polimer konduktif yang mempunyai potensi besar untuk dikembangkan sebagai lapisan aktif sensor kimia karena mempunyai sensitivitas yang tinggi, mudah disintesis, dan dapat diatur konduktivitas listriknya. Kajian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengarakterisasi polianilin menggunakan metode polimerisasi antarmuka. Pada kajian ini, polianilin disintesis dengan memvariasikan konsentrasi anilin 2, 3, dan 5 M, kemudian dikarakterisasi gugus fungsinya menggunakan FTIR dan diukur konduktivitas serta sensitivitasnya dengan LCR meter. Hasil kajian menunjukkan bahwa polianilin berbentuk garam zamrud yang ditandai dengan terbentuknya pita serapan pada konsentrasi 2, 3, dan 5 M berturut-turut 1.141,86 cm⁻¹, 1.139 cm⁻¹, dan 1.139,93 cm⁻¹. Konduktivitas tertinggi diperoleh pada konsentrasi 2 M yaitu 4,9x10⁻⁵ dan sensitivitas 82,8% untuk konsentrasi amonia 100 ppm. Jadi dapat disimpulkan bahwa polianilin yang diperoleh merupakan salah satu bentuk garam zamrud semikonduktor.

Kata kunci: PANi, sensor amonia, interfasial.

Abstract

One of the main components in IoT-based devices is sensors. Polyaniline is a conductive polymer that has great potential to be developed as an active layer for chemical sensors because it has high sensitivity, is easy to synthesize and its electrical conductivity can be adjusted. This study aims to synthesize and characterize polyaniline using the interfacial polymerization method. In this study, polyaniline was synthesized by varying the aniline concentration of 2, 3, and 5 M, then its functional groups were characterized using FTIR and its conductivity and sensitivity were measured with an LCR meter. The result shows that polyaniline is in the form of emeraldine salt which is characterized by the formation of absorption bands at concentrations of 2, 3, and 5 M, respectively, 1,141.86 cm⁻¹, 1,139 cm⁻¹ and 1,139.93 cm⁻¹. The highest conductivity was obtained at a concentration of 2 M, namely 4.9x10⁻⁵ and a sensitivity of 82.8% for an ammonia concentration of 100 ppm. So it can be concluded that the polyaniline obtained is a form of semiconducting emeraldine salt.

Keywords: PANi, ammonia sensor, interfacial.

1. Pendahuluan

Saat ini Indonesia telah memasuki era revolusi industri 4.0, di mana industri diantaranya dapat membentuk konektivitas antar mesin dan manusia, menyentuh dunia virtual, mesin dan data yang dinamakan *Internet of Things* (IoT). Melalui IoT, proses industri dapat dikendalikan dari jarak jauh melalui koneksi internet. Produk-produk berbasis IoT pada dasarnya menggunakan sensor sebagai alat deteksi. Sensor yang menjadi salah satu bagian inti dari IoT terbuat dari material yang sensitif, responsif, selektif, stabil, dan respon kinetik dan penyimpanan jangka panjang. Material anorganik sebagai sensor merupakan material pertama yang dibuat berupa film yang stabil dan tebal.

Karakteristik polianilin (PANi) yang baik dari sisi sifat optik dan kestabilan kimia menjadikannya banyak dilirik sebagai material dalam kajian terkini [1]. PANi merupakan salah satu polimer dengan konduktivitas yang tinggi yang diminati untuk dikaji,

dibandingkan polimer yang lain seperti Poliasetilen (PA), Polidiasetilen (PdA), Politiopen (PT), dan Poliperol (PPy). Salah satu karakteristik dari polimer konduktif adalah nilai konduktivitasnya yang setara dengan bahan semikonduktor. Suatu bahan dapat dikategorikan bahan konduktor, dikarenakan adanya delokalisasi elektron pada posisi terluar dari suatu tingkat energi ke tingkatan energi lainnya [2]. Konjugasi ini memungkinkan transfer arus pada suatu sistem elektrokimia, sehingga PANi banyak dimanfaatkan sebagai material sensor dan biosensor [3], *Organic Light Emitting Diode* (OLED) [4], superkapasitor [5], solar sel, dan elektrokatalis [6].

PANi yang berbeda, dipengaruhi keadaan tingkat oksidasi yang bergantung pada doping saat polimerisasi. Terdapat tiga tingkatan oksidasi pada PANi, yakni *Leucomeraldine Base* (LB) dengan tingkat tereduksi penuh, *Emeraldine Base* (EB) teroksidasi setengah, dan *Pernigraniline Base* (PB) teroksidasi penuh [7]. Tiga tingkat keadaan oksidasi PANi yakni *Leucomeraldine Base*/LB (tereduksi

penuh), *Emeraldine Base*/EB (teroksidasi setengah), dan *Pernigranilin Base*/PB (teroksidasi penuh). Tingkat oksidasi *Emeraldine Base* merupakan jenis polimer yang banyak dipelajari, dikarenakan aplikasinya yang luas dengan konduktivitas yang dapat diatur mulai dari rentang 10-10 Ω /cm hingga 100 Ω /cm melalui proses doping [8].

Material pertama yang dikembangkan sebagai sensor konduktometri (tipe transduksi berdasarkan perubahan konduktivitas listrik) yaitu berupa oksida logam yang berbentuk film tebal yang lebih stabil dari sensor bahan kimia organik [9]. Salah satu pengaplikasian sensor yaitu sensor gas amonia dengan menggunakan material polimer konduktif seperti polianilin (PANi). PANi digunakan sebagai sensor gas karena daya hantar listriknya yang baik dengan luas permukaan yang besar baik dalam bentuk kawat nano, serat nano, dan tabung nano. PANi sebagai bahan sensor akan sangat baik jika disintesis dalam bentuk nano komposit PANi [10].

Dalam aplikasinya secara luas, PANi dibuat dalam bentuk makro maupun nanofiber yang aplikasinya dapat diterapkan pada sensor pH, sensor uap, baterai, dan sel surya. Kajian tentang pembuatan nanofiber PANi sudah meluas, dilakukan mulai dari elektrokimia, melalui membran berpori, *electrospinning*, pembentukan *template* DNA pada permukaan silikon, *electropolymerisasi*, dan lain sebagainya [11]. Dalam sintesis nanofibernya sendiri, metode *electrospinning* yang paling banyak digunakan karena pertimbangan kemudahan modifikasi dan biaya produksi yang murah [12].

Sensor gas bekerja berdasarkan perubahan resistansi pada saat sebelum dan sesudah terpapar gas. Pada sensor gas berbasis polimer konduktif dalam hal ini polianilin (PANi) mengakibatkan perubahan struktur kimia pada polimer, ketika sensor dikenai gas yang bersifat reduktif, maka konduktivitas sensor akan menurun begitu pula sebaliknya, ketika ia dikenai gas yang bersifat oksidatif [7].

Gas amonia yang bersifat reduktif akan menyebabkan perubahan sifat kelistrikan dari PANi yang awalnya konduktor menjadi isolator setelah paparan gas amonia. Banyaknya paparan gas amonia yang mengenai struktur permukaan polimer sebanding dengan nilai resistansi polimer [13]. Pada kadar 1 ppm, gas amonia masih dapat dideteksi dengan baik oleh PANi bahkan untuk konsentrasi 100 ppm selektivitasnya mencapai sebesar 62% [14].

Polianilin (PANi) merupakan salah satu polimer yang telah banyak dikembangkan karena sifat konduktivitasnya yang baik dan kestabilannya di udara, nontoksik, dan mudah disintesis [15]. Kemudahan PANi untuk disintesis baik secara kimia (polimerisasi *bulk*, dan interfasial polimerisasi) maupun elektrokimia (*electrospinning*) menjadikannya lebih banyak dipilih untuk kebutuhan modifikasi, memiliki stabilitas lingkungan yang baik,

serta konduktivitas listrik yang dapat disesuaikan [15]. Di sisi lain, meskipun mudah untuk dimodifikasi dan disintesis, kekuatan mekanik dan kimia polimer ini relatif rendah. Oleh karenanya, diperlukan suatu metode atau komposit lain yang dapat dicampurkan guna mengatasi kekurangan tersebut. Berbagai metode telah dikembangkan untuk sintesis polianilin (PANi). PANi dianggap sebagai salah satu polimer konduktif listrik yang menarik, karena dapat dengan mudah diubah, basa dan garam mudah terbentuk dengan menambahkan basa (OH⁻) atau asam (H⁺). Sifat reduksi dan oksidasi, daya hantar listrik yang baik, cara pembuatan yang mudah, dan modifikasi serta kestabilan lingkungan menjadikan PANi salah satu bahan polimer paling konduktif [10].

Diantara beberapa metode kimia lebih disukai, dikarenakan metode ini relatif mudah dan murah dibandingkan metode *electrospinning* yang membutuhkan sumber potensial tinggi dan peralatan rumit lainnya. Metode polimerisasi interfasial merupakan metode polimerisasi di mana permukaan antar pelarut saling tidak bercampur, namun proses polimerisasi terjadi antara pertemuan antara kedua fasa tersebut. Tidak hanya dari segi keunggulan dalam kesederhanaan sintesis, tetapi juga dari bentuk polimer yang lebih seragam dari sampel yang diproduksi berupa nanofiber >95%, serta ukuran yang dapat mencapai nano dengan proses purifikasi yang lebih mudah [16]. Metode sintesis, jenis dan konsentrasi dopan akan mempengaruhi bentuk polimer anilin serta konduktivitas listriknya. Jika menggunakan metode *electrospinning*, maka kuat arus dan tegangan juga akan berpengaruh. Dengan parameter sintesis yang optimum, akan didapatkan polianilin (PANi) dengan nilai konduktivitas listrik yang maksimum.

Karakteristik pita pada 1453 cm^{-1} berhubungan dengan regangan C=C pada struktur *quinoid* dan *benzenoid* PANi. Pada pita serapan 1276 cm^{-1} ditetapkan ke mode peregangan C-N *benzenoid*. Keberadaan PANi dalam bentuk garam *emeraldine* telah dikonfirmasi [17].

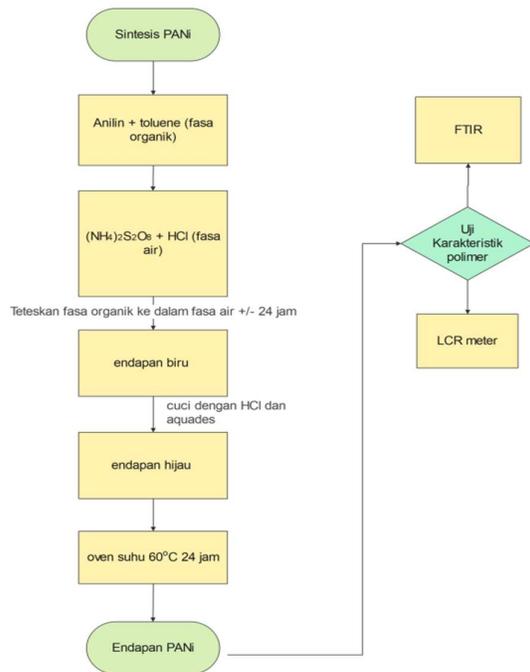
Berdasarkan latar belakang tersebut, dirasa perlu dikaji dengan mensintesis polianilin (PANi) dalam pembuatan sensor gas amonia dengan metode polimerisasi interfasial, dengan memvariasikan konsentrasi anilin untuk memperoleh nilai konduktivitas listrik yang maksimum. Adapun karakterisasi yang dilakukan pada hasil sintesisnya yaitu uji gugus fungsional polianilin (PANi) dengan spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) serta uji konduktivitas dan sensitivitas dengan menggunakan LCR meter.

2. Metode

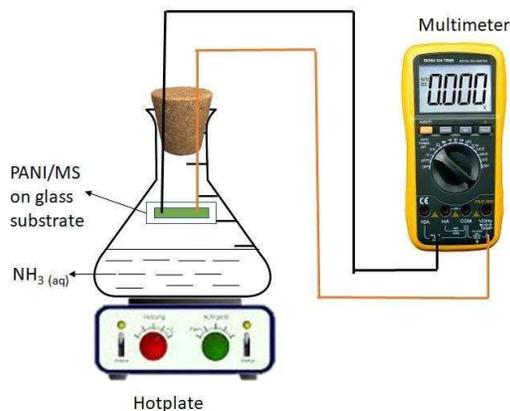
Adapun alat yang digunakan pada kajian ini yaitu gelas kimia 100 ml, 250 ml, 500 ml, dan 1000 ml, Erlenmeyer asah 500 ml, pipet skala 1 ml, 20 ml dan

50 ml, pipet volume 10 ml, spatula, batang pengaduk, timbangan analitik, botol tumbang, corong *buchner*, botol vial, cawan petri, suntikan, oven, FTIR, dan LCR meter. Bahan yang digunakan yakni Anilin p.a ($C_6H_5NH_2$) dengan kadar 99,9% (brand Merck), *Ammonium* peroksidisulfat ($(NH_4)_2S_2O_8$) (brand Merck), HCl 37%, toluena (C_7H_8) teknis, Etanol (C_2H_5OH) teknis, Kalium Bromida (KBr), kertas saring Whatman 42, Akuades (H_2O), dan Amonia p.a (NH_3).

Sintesis polianilin dengan metode polimerisasi interfasial ditunjukkan pada Gambar 1 berikut. Gambar 2 menunjukkan rangkaian alat uji sensitivitas sensor.



Gambar 1. Metode pengujian.



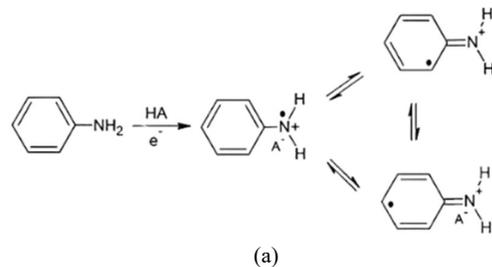
Gambar 2. Rangkaian alat uji sensitivitas sensor [18].

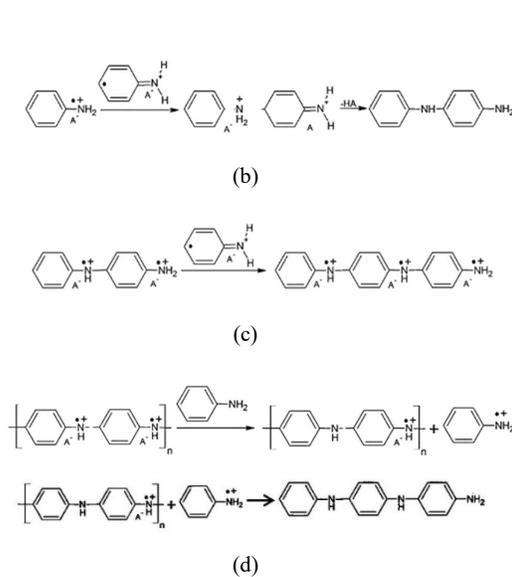
3. Hasil dan Pembahasan

Sintesis Polianilin

Pada kajian ini, sintesis PANi menggunakan metode interfasial atau antarmuka. Metode ini dilakukan dengan mencampurkan antara monomer anilin dalam larutan *aqua*, antara asam, anilin, dan oksidator. Bentuk polimer yang dihasilkan berupa nanoserat. Bahan utama berupa monomer anilin (5 M) yakni anilin sejumlah 0,46 mL p.a yang kemudian divariasikan menjadi 2 M dan 3 M yang dilarutkan dalam 1 mL toluena. Toluena bersifat non polar, sehingga dapat melarutkan anilin, kedua campuran ini disebut sebagai fasa organik. Sebagai oksidator sekaligus inisiator, digunakan *ammonium* peroksidisulfat ($(NH_4)_2S_2O_8$) sebanyak 1,14 gram yang dilarutkan ke dalam 100 ml larutan HCl 1 M, larutan ini disebut larutan air (*aqueous*). HCl ini digunakan sebagai katalis untuk meningkatkan konduktivitas polianilin. Dalam sintesisnya setelah masing-masing fasa dibuat, campuran antara anilin dan toluena ditambahkan setetes demi setetes ke dalam fasa air yang bertujuan agar posisi interfasialnya tidak bergeser.

Adanya perbedaan polaritas diantara keduanya membuat kedua campuran terpisah. Larutan fasa organik berada di atas dan fasa air di lapisan bawah. Proses polimerisasi berlangsung ditandai dengan dengan polianilin mengisi larutan fasa air karena polianilin memiliki sifat hidrofilik yaitu berikatan dengan air. Proses polimerisasi berada di antara batas fasa. Mula-mula inisiator akan mengoksidasi monomer, sehingga terbentuk kation kopling radikal dan rearomatisasi. Pada proses kopling radikal terjadi penggabungan antara bagian kepala dan ekor yaitu pada posisi N dan para-radikal kation yang menghasilkan dimer kation. Pada tahap selanjutnya, proses rearomatisasi di mana kation mengalami penyusunan ulang membentuk polimer menjadi tidak bermuatan berupa p-aminodifilamin yang mengakibatkan warna larutan menjadi merah muda. Setelah itu, pada tahap propogasi terjadi perpanjangan rantai polimer membentuk polimer berwarna biru gelap yang disebut pernigranilin terprotonasi. Pada tahap terakhir disebut reaksi terminasi, di mana oksidator telah habis digunakan selama proses propagasi, sehingga garam pernigranilin tersebut akan tereduksi dengan anilin yang tidak bereaksi, sehingga membentuk garam *emeraldine* yang berwarna hijau. Skema reaksi polimerisasi anilin dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.





Gambar 3. Skema reaksi polimerisasi anilin (a) tahap inisiasi, (b) tahap radikal dan rearomatisasi, (c) tahap propagasi, dan (d) tahap terminasi [19].

Pada Gambar 4 di bawah ini, menunjukkan terjadi perubahan mulai dari monomer ke polimer. Pada awalnya, oligomer anilin berwarna merah muda, kemudian bertransformasi menjadi garam *emeraldine* berwarna biru dan akhirnya menjadi hijau gelap yang mengindikasikan dihasilkannya polianilin dalam bentuk garam *emeraldine*.



(a)



(c)



(d)

Gambar 4. Tahap polimerisasi anilin (a) sebelum pencampuran fasa organik ke fasa air, (b) fasa air yang telah ditambahkan beberapa fasa organik, (c) beberapa saat setelah dilakukan pencampuran, dan (d) anilin yang telah didiamkan beberapa lama.

Proses polimerisasi berlangsung selama 24 jam. Selama proses ini berlangsung, rantai PANi akan semakin panjang dan teroksidasi yang diindikasikan dengan warna merah pada larutan [20]. Gambar 5 berikut menunjukkan hasil polimerisasi setelah didiamkan selama 24 jam.



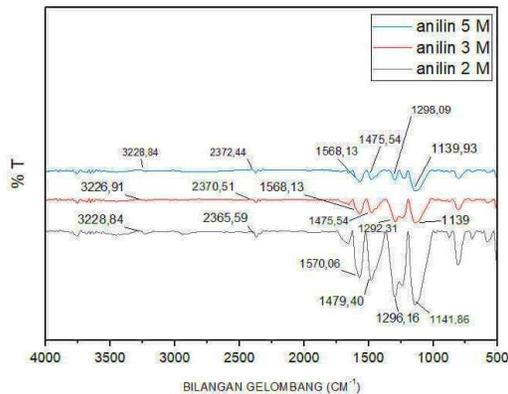
Gambar 5. Hasil polimerisasi setelah didiamkan selama 24 jam.

Setelah 24 jam seperti yang terlihat pada Gambar 5, oligomer akan berubah menjadi polimer berwarna hijau gelap yang mengendap pada bagian bawah. Produk yang dihasilkan merupakan bentuk garam

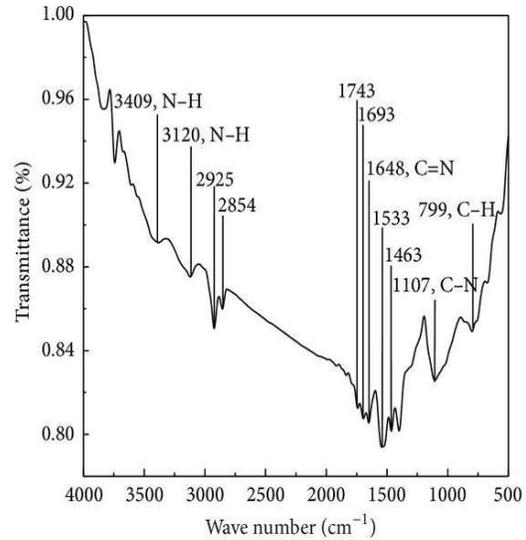
Emeraldine (ES) berwarna hijau gelap. Endapan tersebut kemudian dicuci dengan HCl 0,1 M, etanol teknis, dan akuades secara bertahap. HCl selain sebagai agen protonasi dalam rantai polimer dengan ion klorida menjadi lebih seragam, dalam hal ini juga berfungsi untuk menghilangkan pengotor berupa monomer dan oksidan yang terbentuk selama polimerisasi. Sedangkan pencucian dengan aseton dilakukan untuk menghilangkan *intermediate* senyawa organik dengan oligomer [21]. Hasil filtrasi tersebut kemudian dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 60°C untuk menghilangkan sisa airnya, sehingga menghasilkan serbuk polianilin dalam bentuk garam *Emeraldine* (ES) ditandai dengan warna serbuk yang dihasilkan merupakan ciri khas polianilin bentuk garam *Emeraldine*. Dalam proses pemanasan, suhu harus dijaga tetap rendah agar dopan tidak hilang, serta polimer tidak mengalami degradasi. Serbuk polianilin kemudian dikarakterisasi dengan FTIR untuk mengetahui ikatan yang terbentuk dalam hasil polimerisasi polianilin. Perubahan warna yang terkait dengan PANi dalam keadaan oksidasi yang berbeda dapat digunakan dalam sensor dan perangkat elektronik [22]. Metode terbaik untuk membuat sensor PANi adalah dapat dikatakan untuk memanfaatkan konduktivitas yang dramatis, perubahan antara bilangan oksidasi atau doping yang berbeda tingkat [23].

Karakterisasi FTIR

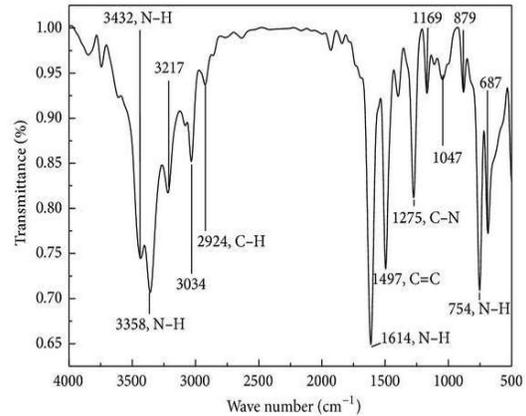
Karakterisasi FTIR bertujuan untuk melihat gugus fungsi yang terbentuk pada sampel polianilin yang telah disintesis. Data perolehan hasil karakterisasi dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7 berikut ini.



Gambar 6. Spektrum FTIR polianilin konsentrasi anilin 2, 3, dan 5 M.



(a)



(b)

Gambar 7. Spektrum FTIR anilin [24].

Dilihat dari spektrum FTIR dari anilin di atas, menguatkan bahwa pada kajian ini anilin berhasil disintesis menjadi polianilin, ditandai dengan adanya perbedaan antara spektrum anilin pada Gambar 6 dengan spektrum hasil karakterisasi polianilin yang diperoleh pada Gambar 7, yaitu adanya gugus fungsi yang dihasilkan anilin, hilang pada gugus fungsi yang dihasilkan polianilin. Gugus fungsi yang hilang yaitu gugus fungsi N-H pada spektrum 1.614 cm^{-1} , selain itu terdapat pula gugus fungsi yang tidak ditemukan pada anilin, tetapi ditemukan pada polianilin, salah satunya yaitu gugus fungsi C-C *stretching benzoin* pada spektrum 1.479 cm^{-1} , sedangkan gugus fungsi yang lain hanya mengalami pergeseran pada spektrumnya. Dari hasil spektrum yang diperoleh, disimpulkan interfasial menghasilkan polianilin dengan metode polimerisasi interfasial menghasilkan polianilin (PANi) dengan bentuk garam *Emeraldine*.

Tabel 1 berikut menunjukkan data pengamatan spektrum FTIR.

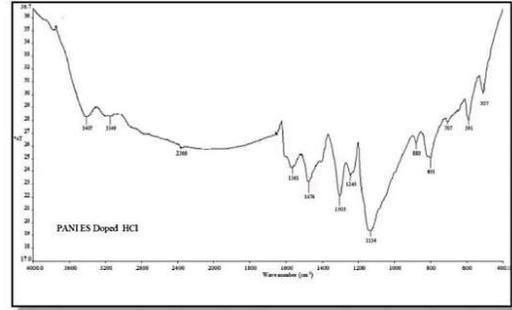
Tabel 1. Data pengamatan spektrum FTIR [25].

Referensi spektrum anilin (cm^{-1})	Spektrum (cm^{-1}) Konsentrasi anilin			Dugaan gugus fungsi
	2 M	3 M	5 M	
900-1.143	1.141,86	1.139	1.139,93	Vibrasi dari struktur (-NH ⁺ =).
1.296-1.303	1.296,16	1.292,31	1.298,09	C-N stretching cincin benzoid.
1.474	1.479,40	1.475,54	1.475,54	C-C stretching cincin benzoid (N-B-N).
1.560-1.589	1.570,06	1.568,13	1.568,13	C=C stretching cincin quinoid (N=Q=N).
2.366	2.365,59	2.370,51	2.372,44	C-H stretching.
3.100-3.407	3.228,84	3.226,91	3.228,84	N-H stretching.

Tabel 1 menunjukkan adanya peregangan ikatan C-C gugus benzoid dan C=C gugus quinoid ditandai dengan munculnya puncak serapan pada bilangan gelombang 1.479,40 cm^{-1} dan 1.570,06 cm^{-1} ; 1.475,54 cm^{-1} dan 1.568,13; serta 1.475,45 dan 1.568,13 untuk konsentrasi anilin berturut-turut 2 M, 3 M, dan 5 M. Keduanya merupakan gugus cincin yang ada pada suatu fasa polianilin (PANi) yang menguatkan dugaan bahwa hasil dari sintesis polimerisasi interfasial menghasilkan polianilin.

Karakteristik spektrum polianilin yang terdoping bersifat konduktif terdapat pada puncak 1.242,16 cm^{-1} , 1.238,30 cm^{-1} , dan 1.226,73 cm^{-1} untuk konsentrasi anilin berturut-turut 2 M, 3 M, dan 5 M. Puncak ini menandakan peregangan struktur polaron C-N*, yang terbentuk dari hasil doping polianilin (PANi) dengan HCl. Pada bilangan gelombang 1.141 cm^{-1} , 86 cm^{-1} , 1.139 cm^{-1} , dan 1.139,92 cm^{-1} terdapat pada puncak spektrum yang menandakan vibrasi dari struktur -NH⁺=, struktur ini terbentuk dari proses doping polianilin (PANi) dan HCl. Gambar 8 berikut

menunjukkan spektrum FTIR polianilin garam emeraldine.

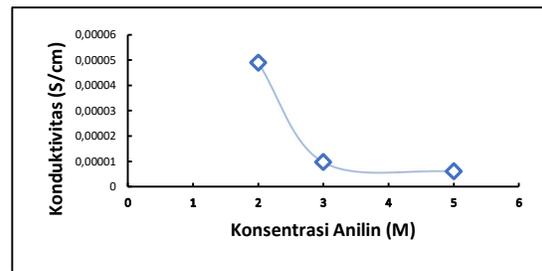


Gambar 8. Spektrum FTIR polianilin (PANi) garam emeraldine [25].

Data hasil FTIR apabila dibandingkan dengan kajian sebelumnya, hasil FTIR yang terekam pada kajian ini mengalami sedikit pergeseran dari spektrum kajian sebelumnya, tetapi pergeseran yang dihasilkan tidak terlalu signifikan. Hasil kajian dapat dilihat pada Gambar 8 di atas [25]. Berdasarkan hasil spektra FTIR pada polimer dengan konsentrasi 2, 3, dan 5 M yaitu absorbansi yang dihasilkan. Konsentrasi anilin 2 M menghasilkan spektrum absorbansi yang tertinggi, jika dibandingkan dengan konsentrasi 3 M dan 5 M. Hal ini dikarenakan ikatan pada konsentrasi ini lebih kuat dan memiliki atom yang ringan, sehingga dibutuhkan energi yang besar untuk meregangkan ikatan tersebut. Frekuensi vibrasi berbanding terbalik dengan massa atom, sehingga vibrasi atom yang lebih besar terjadi pada frekuensi yang lebih rendah.

Konduktivitas Polianilin

LCR meter digunakan untuk mengukur hasil resistansi polianilin. Hasil pengukuran resistansi akan dikonversi untuk mendapatkan nilai konduktivitas listrik. Hasil pengukuran dikonversi menggunakan rumus resistivitas. Gambar 9 berikut menunjukkan nilai konduktivitas polianilin.



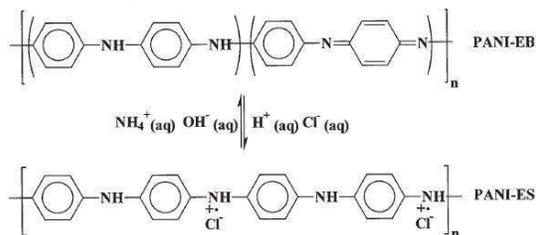
Gambar 9. Nilai konduktivitas polianilin.

Dari Gambar 9 di atas, dapat dilihat bahwa nilai konduktivitas polianilin berbanding terbalik dengan konsentrasi anilin. Dari hasil kajian diperoleh konsentrasi anilin berbanding terbalik dengan nilai konduktivitas polimer. Konsentrasi 2 M memiliki konduktivitas tertinggi yakni $4,88 \times 10^{-5}$ S/cm, kemudian diikuti konsentrasi 3 M pada konduktivitas $9,72 \times 10^{-6}$ S/cm, dan terakhir pada konsentrasi 5 M pada $6,09 \times 10^{-6}$ S/cm. Pada konsentrasi anilin yang

tinggi, banyak monomer yang tidak dapat bereaksi secara stoikiometri dengan APS akibat jumlah tidak proporsional selama proses reaksi, sehingga terjadi aglomerasi dan terbentuk partikel granular, di mana partikel granular dapat mempengaruhi nilai konduktivitas polianilin menjadi lebih rendah. Dari data perolehan di atas, diperoleh nilai konduktivitas antara 10^{-8} – 10^{-3} S/cm yang menandakan bahwa hasil polimerisasi merupakan tipe semikonduktor, di mana level sensitivitas yaitu $>10^{-3}$ S/cm konduktor, 10^{-8} – 10^{-3} S/cm semikonduktor, dan $<10^{-8}$ S/cm isolator.

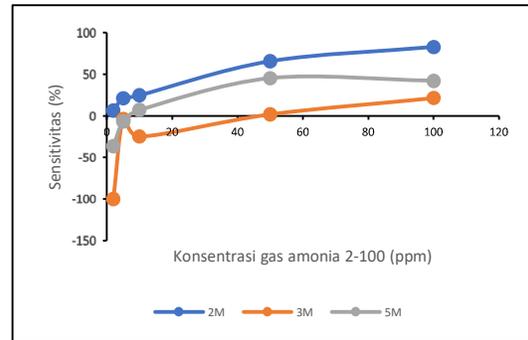
Sensitivitas Sensor

Pengukuran sensitivitas polianilin diukur dengan memaparkan gas amonia terhadap sampel yang berbentuk pelet selama 10 menit, yang berasal dari larutan amonia yang dipanaskan pada suhu 50°C dengan variasi konsentrasi 2, 5, 10, 50, dan 100 ppm dengan volume 10 ml. Pada konsentrasi gas amonia dalam rentang 2 ppm – 100 ppm termasuk dalam rentang konsentrasi yang berbahaya, yang memiliki toleransi terjadinya dampak paling lama 1-2 minggu dengan konsentrasi amonia maksimal 100 ppm. Dampak paling ringan yang dapat ditimbulkan adalah iritasi pada mata, hidung, dan tenggorokan. Efek paling merugikan dapat menyebabkan luka bakar pada saluran pernapasan manusia, kulit dan mata. Pada saat polimer terpapar gas amonia, polianilin yang berbentuk garam *emeraldine* mengalami deprotonasi kembali menjadi basa *emeraldine* yang disebabkan oleh uap amonia yang dipaparkan terhadapnya. Gambar 10 berikut menunjukkan proses protonasi-deprotonasi polianilin.



Gambar 10. Proses protonasi-deprotonasi atau doping dedoping polianilin [26].

Gambar 10 di atas menggambarkan proses kimia yang terjadi saat polianilin terpapar gas amonia yang mengalami protonasi-deprotonasi polianilin. Mula-mula polimer anilin dalam bentuk garam *emeraldine* yang terhubung melalui ikatan amina (-N-), membentuk cincin *benzoid* akan melepaskan elektron saat terpapar dengan gas amonia. Ikatan (-N-) ini mengalami deprotonasi menjadi basa *emeraldine*. Ikatan amina (-N-) yang melepaskan elektron membentuk cincin *quinoid* dan *benzoid* yang terhubung satu sama lain oleh ikatan amina (-N=) dan amina (-N-). Terjadinya proses protonasi ditandai dengan naiknya nilai resistansi dari sebelum pemaparan gas amonia ke setelah pemaparan gas amonia. Gambar 11 berikut menunjukkan nilai sensitivitas sensor gas amonia polianilin.

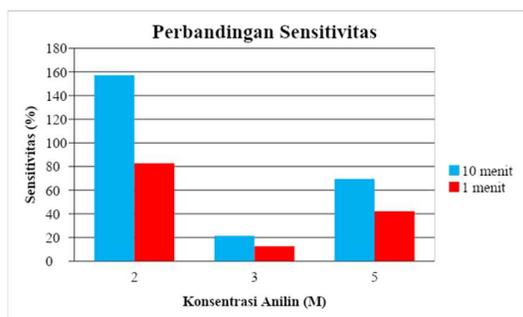


Gambar 11. Nilai sensitivitas sensor gas amonia polianilin 2, 3, dan 5 M.

Dari Gambar 11, dapat dilihat nilai sensitivitas polianilin pada saat pemaparan gas amonia selama 1 menit dengan variasi konsentrasi anilin 2, 3, dan 5 M. Setelah pemaparan gas amonia dengan berbagai konsentrasi yaitu 2, 5, 10, 50, dan 100 ppm, diperoleh nilai sensitivitas sensor meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi gas amonia. Namun ada beberapa hasil perolehan yang menurun, seperti nilai sensitivitas yang diperoleh pada konsentrasi anilin 3 M. Pada saat penambahan gas amonia sebesar 10 ppm, nilai sensitivitasnya menurun dari -3,53% menjadi -24,86%. Hal ini diperkirakan pada saat pemaparan, terdapat gas amonia yang keluar dari erlenmeyer.

Perolehan nilai sensitivitas tertinggi diperoleh dari nilai sensitivitas polianilin 2 M yaitu sebesar 82,81% dengan pemaparan gas amonia 100 ppm. Terdapat 2 variasi konsentrasi anilin yang pada saat penambahan gas amonia 2 ppm dan 5 ppm telah mencapai batas deteksi yang ditandai dengan nilai sensitivitas negatif. Hasil sensitivitas yang diperoleh dari tiga variasi konsentrasi anilin disimpulkan bahwa nilai sensitivitas berbanding lurus dengan konsentrasi anilin.

Waktu *recovery* sensor dipengaruhi melalui kenaikan resistansi, di mana makin tinggi lonjakan resistansi dari menit ke menit, maka semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk kembali ke resistansi awal. Dengan kata lain, semakin tinggi kenaikan resistansi, maka semakin lama waktu *recovery* yang dibutuhkan. Perkiraan yang mempengaruhi terjadinya *train error* dimungkinkan karena pada saat kompaksi serbuk polianilin tidak tercampur dengan baik atau tidak homogen, sehingga alur elektron menjadi kurang baik. Gambar 12 berikut menunjukkan perbandingan sensitivitas polianilin pada pemaparan gas amonia 100 ppm selang waktu 1 menit dan 10 menit.



Gambar 12. Perbandingan sensitivitas polianilin pada paparan gas amonia 100 ppm selang waktu 1 menit dan 10 menit.

Gambar 12 di atas menunjukkan bahwa polianilin memiliki daya *sensing* yang agak stabil, hal ini dibuktikan dengan nilai sensitivitas yang dihasilkan tidak terlalu jauh antara paparan gas amonia pada menit pertama dengan menit ke-10. Naik dan turunnya sensitivitas dari rentang waktu tersebut kemungkinan disebabkan terdapat uap amonia yang keluar dari erlenmeyer atau amonia baru menguap sempurna setelah 1 menit.

4. Kesimpulan

Polianilin telah berhasil disintesis dan diperoleh bubuk berwarna hijau yang mengindikasikan terbentuknya polianilin dalam bentuk garam *emeraldine*. Struktur -NH^+ pada spektrum 1.139 cm^{-1} yang merupakan penanda terjadinya protonasi akibat penambahan dopan, serta hadirnya cincin *quinoid* dan *benzoid* yang menguatkan dugaan bahwa hasil dari sintesis dengan metode polimerisasi interfasial pada kajian ini menghasilkan polianilin dalam bentuk garam *emeraldine*. Adapun nilai konduktivitas dan sensitivitas yang dihasilkan berbanding terbalik dengan konsentrasi anilin yang digunakan pada saat polimerisasi. Konduktivitas tertinggi diperoleh pada konsentrasi anilin 2 M yaitu $2,9 \times 10^{-5} \text{ S/cm}$ dan sensitivitas $8,28 \times 10^{-1} \text{ cm}^{-1}$ untuk konsentrasi amonia 100 ppm. Dari hasil yang diperoleh, nilai konduktivitas yang diperoleh antara 10^{-8} – 10^{-3} S/cm yang menandakan hasil polimerisasi merupakan tipe semikonduktor.

Ucapan Terima Kasih

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu baik berupa materi maupun pikiran, sehingga kajian dan artikel ini dapat terselesaikan. Yang kedua, penulis mengucapkan terima kasih kepada AK-Manufaktur Bantaeng yang telah memberikan fasilitas untuk melaksanakan kajian ini, serta BPSDMI Kementerian Perindustrian atas bantuan dana penelitian melalui Program Penelitian Hibah Eksternal 2021 yang dibiayai melalui DIPA-BPSDMI Kementerian Perindustrian.

Daftar Pustaka

- [1] N. Widiyanti and N. P. Putri, "Sintesis Polianilin dengan Metode Interfasial Menggunakan Variasi Larutan dalam Fasa Organik," 2018.
- [2] R. Wulandari and N. P. Putri, "Sintesis Soluble Polianilin dengan Variasi Jenis dan Konsentrasi Dopan," *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, vol. 9, p. 211, Jul. 2021, doi: 10.23960/jtaf.v9i2.2809.
- [3] C. Dhand, P. R. Solanki, M. K. Pandey, M. Datta, and B. D. Malhotra, "Electrophoretically deposited polyaniline nanotubes based film for cholesterol detection," *Electrophoresis*, vol. 31, no. 22, pp. 3754–3762, Nov. 2010, doi: 10.1002/elps.201000321.
- [4] R. Kandulna, R. B. Choudhary, R. Singh, and D. Nayak, "Augmented properties for PPY-PANI-ZnO nanocomposite as electron transport layer material for organic light emitting diode (OLED) application," presented at the Dae Solid State Physics Symposium 2018, Hisar, Haryana, India, 2019, p. 030439. doi: 10.1063/1.5113278.
- [5] V. Lystianingrum, *Superkapasitor sebagai Alternatif Penyimpan Energi Untuk Bus Listrik Di Indonesia: Potensi Dan Tantangan*. 2019.
- [6] J. Zhang *et al.*, "Pd/PANI/Ti composite electrocatalyst with efficient electrocatalytic performance: Synthesis, characterization, stability, kinetic studies, and degradation mechanism," *Journal of Alloys and Compounds*, vol. 902, p. 163723, May 2022, doi: 10.1016/j.jallcom.2022.163723.
- [7] R. Bagherzadeh, M. Gorji, M. S. Sorayani Bafgi, and N. Saveh-Shemshaki, "18 - Electrospun conductive nanofibers for electronics," in *Electrospun Nanofibers*, M. Afshari, Ed., in Woodhead Publishing Series in Textiles. , Woodhead Publishing, 2017, pp. 467–519. doi: 10.1016/B978-0-08-100907-9.00018-0.
- [8] A. Aspi, M. Malino, and B. P. Lapanporo, "Analisis Data Spektrum Spektroskopi FT-IR untuk Menentukan Tingkat Oksidasi Polianilin," *PRISMA FISIKA*, vol. 1, no. 2, Sep. 2013, doi: 10.26418/pf.v1i2.3066.
- [9] D. Zappa *et al.*, "Metal oxide nanostructures: preparation, characterization and functional applications as chemical sensors," *Beilstein J. Nanotechnol.*, vol. 8, pp. 1205–1217, Jun. 2017, doi: 10.3762/bjnano.8.122.
- [10] A. H. Majeed *et al.*, "A Review on Polyaniline: Synthesis, Properties, Nanocomposites, and Electrochemical Applications," *International Journal of Polymer Science*, p. 19, 2022.
- [11] J. Xue, T. Wu, Y. Dai, and Y. Xia, "Electrospinning and Electrospun Nanofibers: Methods, Materials, and Applications," *Chem. Rev.*, vol. 119, no. 8, pp. 5298–5415, Apr. 2019, doi: 10.1021/acs.chemrev.8b00593.

- [12] D. Purnawati, A. D. Nugraheni, H. Shalihah, and L. Laraswati, "Pembuatan Nanofiber Polivinil Alkohol (PVA) Dengan Metode Electrospinning Sebagai Masker Debu Vulkanik," *Jurnal Fisika Indonesia*, vol. 21, no. 1, Art. no. 1, Mar. 2017, doi: 10.22146/jfi.38656.
- [13] D. C. Pane, "Pembuatan dan Karakterisasi Sensor Gas Amonia Berbasis Polianilin," 2009. [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:91742357>
- [14] S. B. Kulkarni, Y. H. Navale, S. T. Navale, F. J. Stadler, and V. B. Patil, "Room temperature ammonia gas sensing properties of polyaniline nanofibers," *J Mater Sci: Mater Electron*, vol. 30, no. 9, pp. 8371–8380, May 2019, doi: 10.1007/s10854-019-01154-x.
- [15] Zh. A. Boeva and V. G. Sergeev, "Polyaniline: Synthesis, properties, and application," *Polym. Sci. Ser. C*, vol. 56, no. 1, pp. 144–153, Sep. 2014, doi: 10.1134/S1811238214010032.
- [16] Eftakhari, "Nanostructured Conductive Polymers | Wiley Online Books." Accessed: Nov. 11, 2023. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470661338>
- [17] F. Heydari, S. S. S. Afghahi, M. Manteghian, and M. J. Taghizadeh, "Nanosized amorphous (Co, Fe) oxide particles decorated PANI–CNT: facile synthesis, characterization, magnetic, electromagnetic properties and their application," *Int Nano Lett*, vol. 7, no. 4, pp. 275–283, Dec. 2017, doi: 10.1007/s40089-017-0223-1.
- [18] M. M. J. Albar, N. Ramli, A. Jamion, S. N. Atika, T. Marimuthu, and K. P. Sambasevam, "Fabrication of Ammonia Gas Sensor Based on Polyaniline/Mussel Shell Composite," vol. 13, no. 6, 2020.
- [19] A. M. P. Hussain and A. Kumar, "Electrochemical synthesis and characterization of chloride doped polyaniline," *Bull Mater Sci*, vol. 26, no. 3, pp. 329–334, Apr. 2003, doi: 10.1007/BF02707455.
- [20] I. Rahayu, A. Wijayati, and S. Hidayat, "Sintesis dan Karakterisasi Polianilina Doping Asam Klorida dengan Metode Interfasial," *JKV*, pp. 74–79, Nov. 2015, doi: 10.15408/jkv.v0i0.3143.
- [21] J. Stejskal and R. G. Gilbert, "Polyaniline. Preparation of a Conducting Polymer: (IUPAC Technical Report)." De Gruyter. doi: 10.1515/iupac.74.0085.
- [22] V. Babel and B. L. Hiran, "A review on polyaniline composites: Synthesis, characterization, and applications," *Polymer Composites*, vol. 42, no. 7, pp. 3142–3157, Jul. 2021, doi: 10.1002/pc.26048.
- [23] S. Virji, J. Huang, R. B. Kaner, and B. H. Weiller, "Polyaniline Nanofiber Gas Sensors: Examination of Response Mechanisms," *Nano Lett.*, vol. 4, no. 3, pp. 491–496, Mar. 2004, doi: 10.1021/nl035122e.
- [24] H. Zhu, S. Peng, and W. Jiang, "Electrochemical Properties of PANI as Single Electrode of Electrochemical Capacitors in Acid Electrolytes," *The Scientific World Journal*, vol. 2013, pp. 1–8, 2013, doi: 10.1155/2013/940153.
- [25] A. N. J. Al-Daghman, K. Ibrahim, N. M. Ahmed, and M. A. A. -Messiere, "EFFECT OF DOPING BY STRONGER IONS SALT ON THE MICROSTRUCTURE OF CONDUCTIVE POLYANILINE-ES: STRUCTURE AND PROPERTIES," *Journal of Optoelectronics and Biomedical Materials*, vol. 8, no. 4, pp. 175–183, 2016.
- [26] A. Bimantoro, A. Manaf, and M. A. E. Hafizah, "Sintesis dan Karakterisasi Polimer Konduktif Polianilin sebagai Matriks Material Komposit Penyerap Gelombang Mikro," 2014.