

PENGGUNAAN POLIANILIN SEBAGAI *CLADDING* PENGANTI PADA SERAT OPTIK UNTUK MENDETEKSI GAS AMONIA

Akhiruddin Maddu^{1*}, Hamdani Zain², La Ode Muliadi¹ dan Sar Sardy²

¹Departemen Fisika, FMIPA - IPB

Kampus IPB Darmaga, Bogor

²Program Optoelektroteknika dan Aplikasi Laser, FT - UI

Jl. Salemba Raya No. 4, Jakarta

ABSTRAK

PENGGUNAAN POLIANILIN SEBAGAI *CLADDING* PENGANTI PADA SERAT OPTIK UNTUK MENDETEKSI GAS AMONIA. Telah dilakukan studi penggunaan polianilin sebagai cladding pada serat optik untuk mendeteksi gas amonia. Film polianilin pada substrat kaca diuji respon optiknya terhadap gas amonia, selanjutnya diterapkan sebagai *cladding* pada serat optik untuk mendeteksi gas amonia. Respon optik lapisan polianilin memperlihatkan absorpsi optik spesifik polianilin berada pada pita spektrum merah dengan puncak sekitar 640 nm. Penerapan polianilin sebagai *cladding* sensitif amonia dilakukan dengan metode deposisi kimia pada inti (*core*) serat optik multimoda. Uji respon sensor serat optik menggunakan laser Helium-Neon 635 nm sebagai sumber cahaya yang *dicoupling* dengan lensa pada salah satu ujung serat optik. Intensitas laser yang sampai diujung lainnya diukur dengan *power meter*, pada kondisi tanpa amonia maupun dengan perlakuan gas amonia dengan konsentrasi berbeda. Hasil yang diperoleh memperlihatkan penurunan intensitas laser yang ditransmisikan melalui *probe* serat optik terhadap kenaikan konsentrasi gas amonia. Koefisien absorpsi *cladding* polianilin meningkat linier terhadap kenaikan konsentrasi gas amonia, seiring kenaikan indeks bias dan perubahan warnanya.

Kata kunci : Gas amonia, sensor serat optik, polianilin

ABSTRACT

USE OF POLYANILINE *CLADDING* AS MODIFIED *CLADDING* ON OPTICAL FIBER FOR DETECTION OF AMMONIA GAS. A Study of polyaniline as modified cladding on optical fiber for detection of ammonia gas has been carried out. Polyaniline film on glass substrate was tested its optical response to ammonia gas, then applied as a cladding on optical fiber for detection of ammonia gas. Optical response of the polyaniline film shows a specific optical absorption of polyaniline in red spectrum band with peak at 640 nm. Use of polyaniline as ammonia-sensitive cladding was coated by in-situ chemical deposition method on multimode fiber-optic core. Sensor response of optical fiber probe was tested using Helium-Neon Laser 635 nm as light source coupled by a lens at one of fiber optic end. Laser intensity at another end of fiber was measured by power meter, without or with ammonia gas treatment by different concentrations. Obtained result show that the laser intensity transmitted in fiber-optic probe decrease with ammonia gas concentration increase. The absorption coefficient of polyaniline cladding is linear increasing with ammonia gas concentration increase, with respect to refractive index increase and change of the color from green to blue.

Key words : Ammonia gas, optical fiber sensor, polyaniline

PENDAHULUAN

Amonia (NH₃) merupakan gas alam yang ada di atmosfer yang terbentuk melalui siklus nitrogen. Amonia dapat diciptakan oleh manusia maupun alam, dan berperan penting dalam proses biologi. Di dalam tanah, amonia diproduksi secara alami oleh bakteri, tumbuhan dan hewan yang membusuk, dan kotoran hewan [1]. Kelebihan amonia di atmosfer dapat menciptakan potensi berbahaya (*hazards*) terhadap manusia dan ekosistem. Batas ambang konsentasi ammonia di udara hanya

25 ppm bagi manusia. Gas amonia sangat reaktif dan korosif sekaligus beracun sehingga dapat menyebabkan seseorang pingsan serta merasa sakit pada jantung atau hati dan kepala jika terhirup dalam jumlah melebihi ambang. Namun demikian amonia memiliki manfaat dan bahkan merupakan komponen penting beberapa industri seperti industri pupuk, industri bahan peledak, industri pendingin, industri kertas hingga industri makanan [2,3].

Untuk mendeteksi gas amonia, sejauh ini telah dikembangkan banyak sistem sensor untuk pemantauan gas amonia [1]. Begitupun, berbagai material digunakan sebagai material sensor amonia seperti film MoO₃ dan Al₂O₃ [4,5]. Material lain yang banyak dikembangkan saat ini adalah berbasis polimer konduktif seperti polipirol (PPy) dan polianilin (PANi) [6]. Polimer konduktif polianilin paling banyak digunakan sebagai sensor amonia dibandingkan material polimer konduktif lainnya karena mudah diproses, sensitif dan stabil pada suhu kamar serta dapat dikontrol sensitivitasnya dengan mudah [6].

Polianilin tersusun dari pasangan monomer-monomer anilin yang oksidatif, yang menghubungkan atom nitrogen dan rantai benzena, dan berubah menjadi garam kation polimerik radikal dengan asam organik. Polianilin adalah material redoks aktif pada keadaan konduktif (berwarna hijau), dapat berubah warna dan konduktivitasnya saat menyerap media yang berbeda. Polianilin berubah menjadi kuning pada kondisi tereduksi dan berwarna biru pada kondisi teroksidasi. Polianilin kebanyakan disintesis dengan oksidasi anilin oleh oksidan tertentu (*rute kimia*) atau dengan cara elektrokimia (elektropolimerisasi) [6,7].

Bahan polianilin merespon gas amonia melalui perubahan warnanya ketika bereaksi dengan gas amonia. Ketika gas amonia memasuki rongga-rongga polianilin menyebabkan perubahan warna pada film polianilin dari warna hijau (*emeraldine base*) menjadi berwarna hijau gelap hingga biru. Seiring perubahan warnanya, nilai indeks biasnya juga berubah. Perubahan warna dan indeks bias ini terjadi akibat protonasi atau deprotonasi polianilin, tingkat protonasinya bergantung pada konsentrasi amonia yang diserap [6]. Dalam penelitian ini, polianilin dimanfaatkan sebagai bahan sensitif gas amonia melalui perubahan sifat optiknya. Bahan polianilin dideposisi pada inti (*core*) fiber optik sebagai pengganti *cladding* asli dengan metode deposisi kimia (*in-situ chemical deposition*) [7,8].

TEORI

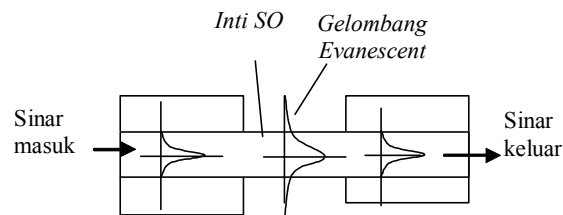
Penggunaan polianilin sebagai sensor optik gas amonia telah dilakukan oleh beberapa peneliti [6-8]. Polianilin memberikan reaksi terhadap gas amonia yaitu mengalami peningkatan absorpsi optik ketika menyerap gas amonia, menurut hubungan [8]

$$A = A_0 \exp\{(\alpha N)^\gamma\} \quad \dots\dots\dots (1)$$

dimana A_0 adalah absorbansi awal (tanpa gas amonia), A adalah absorbansi saat konsentrasi N , dan γ adalah sebuah konstanta. Persamaan (1) dapat didekati menjadi persamaan (2), yaitu

$$\ln\left(\frac{A}{A_0}\right) \approx N \quad \dots\dots\dots (2)$$

Prinsip sensor serat optik yang dikembangkan dalam penelitian ini didasarkan pada serapan gelombang optik pada *cladding* yang disebut gelombang *evanescent*. Perubahan sifat serapan optik atau nilai indeks bias *cladding* yang disebabkan oleh interaksinya dengan media yang diindera, akan menentukan besarnya intensitas cahaya yang diserap oleh *cladding*, sehingga juga menentukan intensitas gelombang optik yang ditransmisikan di dalam inti serat optik [9,10].



Gambar 1. Prinsip gelombang *evanescent*.

Fenomena gelombang *evanescent* ditunjukkan pada Gambar 1. Pada saat sinar menjalar di dalam inti serat optik (SO), sebagian kecil gelombang cahaya memasuki *cladding* dan energi gelombang tersebut menghilang (atenuasi) secara eksponensial yang disebut gelombang *evanescent* yang diekspresikan oleh persamaan [9,10]

$$E_z = E_0 \exp\left(-z/d_p\right) \quad \dots\dots\dots (3)$$

dimana z adalah jarak penjalaran gelombang cahaya, E_0 adalah medan gelombang mula-mula dan d_p disebut *penetration depth* yang dirumuskan sebagai

$$d_p = \frac{\lambda}{\left(2\pi/n\right)\sqrt{\sin^2 \theta - n^2}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

Penetration depth (d_p) adalah kedalaman gelombang memasuki *cladding* dan n adalah rasio indeks *cladding* terhadap inti (*core*), yaitu n_{cladd}/n_{core} . Gelombang cahaya yang memasuki *cladding* sepanjang z akan berkurang secara eksponensial.

Gelombang *evanescent* dapat berinteraksi dengan gelombang lain jika *cladding* dilepaskan. Jika gelombang *evanescent* (EW) ini diserap oleh spesis-spesis penyerap di sekitar inti serat optik yang berinteraksi dengan medium sensing, maka akan menghasilkan fenomena pelemahan refleksi total (*attenuated total reflection*) sehingga daya keluaran serat optik akan menurun. Transmisi daya di dalam serat optik diberikan oleh hukum *Beer-Lambert* termodifikasi yang diberikan oleh [9]

$$P(l) = P_0 \exp(-\gamma L) \quad \dots\dots\dots (5)$$

dimana L adalah panjang bagian serat optik yang tidak ada *cladding*, P_0 adalah daya yang ditransmisikan melalui serat optik tanpa kehadiran spesis penyerap, dan γ adalah koefisien absorpsi gelombang *evanescent*.

Pengembangan sensor gas amonia berbasis serat optik telah dilakukan oleh beberapa peneliti dengan menggunakan berbagai jenis material sensitif amonia sebagai cladding pengganti, seperti berbagai jenis *dye* (pigmen), polianilin dan film zirconia [2,11-14].

METODE PERCOBAAN

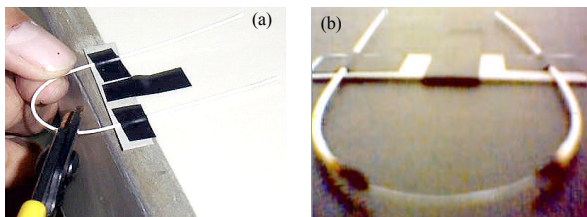
Alat dan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan adalah monomer anilin, HCl, $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$, aquades, serat optik multimoda (200/250), kaca preparat dan larutan amonia (25%). Peralatan yang dipergunakan adalah *fiber optic toolkit*, gelas-gelas kimia, pengaduk magnetik, pemotong kaca, *hot plate stirrer*, spektrofotometer *UV-Vis*, Manometer digital, termometer, *Optical Power Meter*, Laser *Helium – Neon* 635 nm, lensa, tabung gas, monokromator dan perangkatnya, *Science Workshop 750 Interface* (PASCO), *High Sensitivity light Sensor* (PASCO), PC (*personal computer*) dan wadah gas uji.

Pembuatan Probe Serat Optik

Kabel serat optik yang digunakan dalam penelitian ini dibentuk menyerupai huruf U. Pertama-tama serat optik dipotong sepanjang ± 20 cm kemudian kabel tersebut dibentuk menyerupai huruf U dengan memberikan isolatip pada kedua sisinya di atas permukaan penahan sehingga bentuk kabel serat optik diharapkan tidak mengalami perubahan bentuk pada saat proses pengelupasan dan pembakaran *cladding* (Gambar 2a).

Sepanjang 2 cm pada bagian tengah potongan serat optik tadi dilepaskan *cladding* dengan cara memotong-motong *cladding* menggunakan *stripper* dalam bagian-bagian kecil. Selanjutnya bagian-bagian tadi dibakar dengan menggunakan *microjet* hingga bagian *cladding* ini terbakar habis dan tidak ada yang tertinggal pada inti (*core*). Proses pembakaran berlangsung harus dilakukan berulang kali dengan jeda waktu ± 1 menit hingga seluruh potongan *cladding* terlepas dari inti serat optik. Probe serat optik yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 2b.



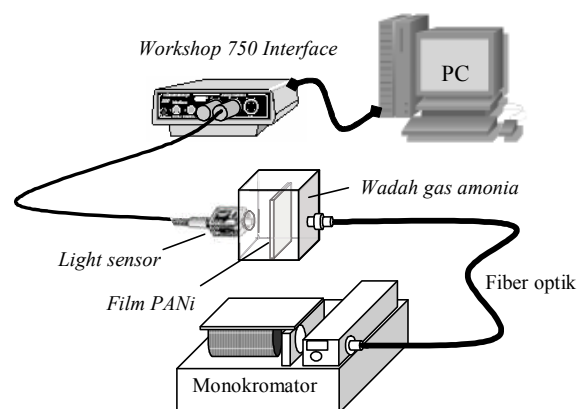
Gambar 2. Proses pembuatan probe sensor serat optik, (a) proses pengelupasan *cladding* asli, dan (b) bentuk probe yang dihasilkan.

Pembuatan dan Deposisi Larutan Polianilin

Monomer anilin sebanyak 0,4 mL dilarutkan ke dalam 30 mL HCl 2 M sambil diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* di atas *hot plate* tanpa pemanasan hingga campuran monomer anilin dan HCl larut. Setelah larutan berwarna kuning, serbuk 0,1 M $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ dimasukkan ke dalam larutan hingga larutan berubah warna dari kuning menjadi hijau sambil terus diaduk pada suhu ruang. Substrat kaca dan serat optik pada bagian tanpa *cladding* dicelupkan ke dalam larutan dan didiamkan ± 15 menit hingga terjadi pelapisan pada permukaan substrat dan inti serat optik. Setelah terjadi pelapisan, substrat dan serat optik dikeringkan pada suhu ruang.

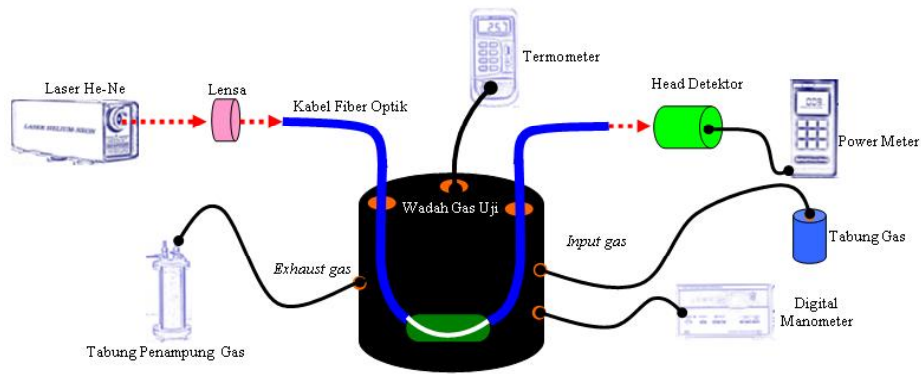
Pengukuran Karakteristik Optik Film Polianilin Terhadap Gas Amonia

Karakteristik optik polianilin diuji dengan mengukur spektrum transmisi optik film polianilin pada substrat kaca preparat dengan menggunakan *set-up* pada Gambar 3. Sistem pengukuran berbasis komputer, terdiri dari sumber cahaya polikromatik, monokromator, detektor cahaya, *interface* dan PC. Cahaya dari sumber polikromatik dipindai dengan monokromator dan keluar melalui bundel serat optik yang ujungnya diarahkan ke sampel film polianilin di dalam wadah uji. Pada sisi lain wadah diletakkan detektor optik (*Light sensor*, PASCO) yang dihubungkan dengan PC melalui sebuah *interface* (*Workshop 750*, PASCO). Monokromator dihubungkan dengan komputer untuk pengontrolan atau pemindaian. Data intensitas cahaya monokromatik yang ditransmisikan melalui film polianilin diterima detektor dan dikirim ke komputer.



Gambar 3. Set-up spektrofotometer untuk karakterisasi film polianilin.

Dengan *software DataStudio* (PASCO) dapat ditampilkan spektrum transmisi film polianilin pada kondisi tanpa amonia dan dengan perlakuan amonia 25%. Dari data transmisi dapat ditentukan spektrum absorbansi menggunakan hubungan :



Gambar 4. Set up pengujian probe sensor serat optik.

$$A = \log \frac{I}{I_0} = -\log T \quad \dots\dots\dots (6)$$

dimana A adalah absorbansi dan T adalah transmitansi film polianilin, I_0 adalah intensitas cahaya datang dan I adalah intensitas yang ditransmisikan oleh film polianilin.

Pengujian Respon Sensor Serat Optik terhadap Gas Amonia

Pengukuran respon probe sensor serat optik dilakukan dengan mengukur intensitas atau daya transmisi optik dari probe serat optik. Set-up pengukuran ditunjukkan pada Gambar 4, terdiri dari serat optik dengan probe berbentuk U yang telah diganti cladding asli dengan polianilin, dimasukkan ke dalam wadah uji (test chamber), Laser He-Ne 635 nm dicoupling dengan lensa pada salah satu ujung serat optik, dan Power meter pada ujung lain serat optik untuk mengukur daya transmisi probe serat optik. Sumber gas ammonia berupa larutan NH₄OH ditempatkan di dalam sebuah tabung dan dialirkan melalui selang ke wadah uji (test chamber) yang dilengkapi dengan tabung pembuangan untuk mengatur tekanan gas di dalam wadah uji. Untuk mengukur tekanan, wadah uji dihubungkan dengan Manometer digital melalui sebuah selang, sedangkan suhu di dalam wadah diukur dengan termometer digital. Pengukuran daya transmisi probe serat optik dilakukan untuk setiap nilai tekanan gas ammonia di dalam wadah uji.

Variasi konsentrasi gas amonia di dalam wadah dilakukan melalui variasi tekanan gas amonia di dalam wadah uji yang diukur dengan manometer, dan dihitung menggunakan persamaan gas ideal, yaitu

$$PV = nRT \quad \dots\dots\dots (7)$$

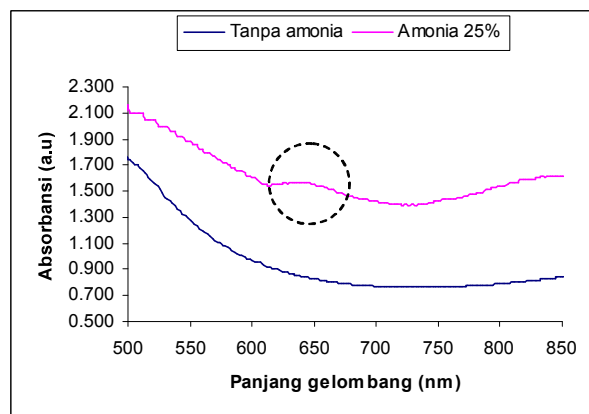
dimana P adalah tekanan gas yang diukur dengan Manometer digital, V adalah volume wadah uji, R adalah konstanta gas umum (8.314 J/mol.K), T adalah suhu mutlak (°K), dan $n=M/m$ adalah jumlah mol gas, dengan $M=17.03$ g/mol untuk

amonia (HN₃) dan m adalah massa (g) amonia di dalam wadah. Pada penelitian ini digunakan empat variasi tekanan atau konsentrasi gas amonia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Respon Optik Film Polianilin Terhadap Gas Amonia

Data transmitansi film polianilin pada kondisi tanpa amonia dan dengan perlakuan amonia digunakan untuk menghitung karakteristik absorbansi menggunakan persamaan (6). Hasil perhitungan absorbansi dibuat kurva terhadap panjang gelombang, seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Kurva yang dihasilkan memperlihatkan spektrum absorbansi film polianilin sebelum dan setelah perlakuan gas amonia, dimana nilai absorbansi optik film polianilin meningkat ketika perlakuan gas amonia. Pada kurva memperlihatkan pita absorpsi spesifik film polianilin saat berinteraksi dengan amonia dalam rentang spektrum merah dengan puncak spektrum sekitar 640 nm. Pita absorpsi spesifik yang tidak terlalu signifikan kemungkinan akibat ketebalan film polianilin yang besar atau karena konsentrasi gas amonia yang rendah (antara 20 ppm sampai 50 ppm). Namun demikian karakteristik ini sudah



Gambar 5. Spektrum absorpsi optik film polianilin.

cukup memperlihatkan respon optik polianilin terhadap gas amonia.

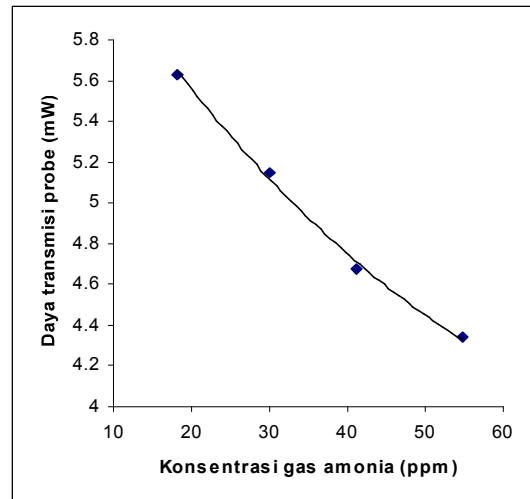
Pada kondisi tanpa perlakuan gas amonia, spektrum absorpsi film polianilin, hanya sedikit menyerap spektrum hijau hingga merah dan tidak tampak spektrum absorpsi spesifik. Ketika film polianilin diberi perlakuan gas amonia, spektrum absorpsi meningkat pada rentang spektrum yang sama, dan muncul pita spektrum absorpsi spesifik pada sekitar 640 nm. Pita absorpsi sekitar 640 nm ini diyakini sebagai pita absorpsi spesifik polianilin ketika berinteraksi dengan gas amonia. Adanya pita absorpsi spesifik ini diakibatkan oleh perubahan warna dan indeks bias film polianilin ketika berinteraksi gas amonia, akibat perubahan struktur kimia melalui proses deprotonisasi. Perubahan karakteristik optik film polianilin terhadap perlakuan gas amonia menjadi dasar pengembangan sensor gas amonia berbasis polianilin.

Respon Sensor Serat Optik Gas Amonia

Berdasarkan hasil uji respon optik film polianilin terhadap perlakuan gas amonia, maka dikembangkan probe sensor serat optik untuk mendeteksi gas amonia. Sifat optik film polianilin berubah ketika menyerap gas amonia, dari hijau muda menjadi hijau tua hingga kebiruan seiring kenaikan konsentrasi gas ammonia yang diikuti oleh perubahan nilai indeks biasnya. Akibatnya sifat absorpsi optik lapisan polianilin bervariasi terhadap variasi konsentrasi gas amonia yang diserap. Sifat polianilin ini dimanfaatkan untuk mengembangkan probe sensor optik dengan menggunakan serat optik sebagai media pandu gelombang. Pada sistem probe sensor serat optik, *cladding* asli serat optik digantikan dengan lapisan polianilin yang sensitif gas amonia.

Pengukuran daya transmisi optik pada probe sensor serat optik dilakukan untuk mengetahui respon probe sensor terhadap perlakuan gas amonia, menggunakan *set-up* pada Gambar 4. Hasil pengukuran daya transmisi optik terhadap variasi konsentrasi gas amonia ditunjukkan dalam bentuk kurva pada Gambar 6. Tampak bahwa variasi perlakuan konsentrasi gas amonia pada probe sensor serat optik akan menyebabkan perubahan nilai daya transmisi optik. Dalam penelitian ini digunakan Laser He-Ne 635 nm dengan daya 5 mW sebagai sumber cahaya, dan *power meter* sebagai alat untuk mengukur daya optik yang ditransmisikan oleh probe serat optik.

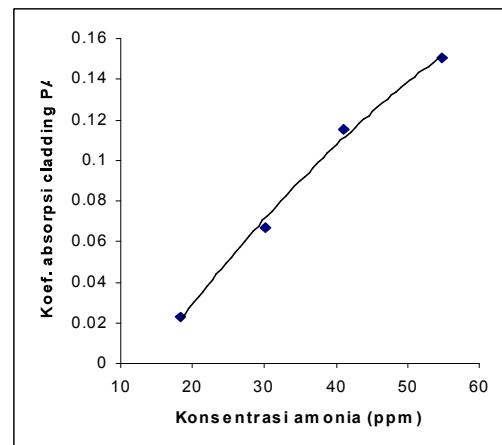
Pada Gambar 6, memperlihatkan bahwa daya yang ditransmisikan oleh probe sensor fiber optik bervariasi menurun terhadap kenaikan konsentrasi amonia. Penurunan daya optik yang ditransmisikan oleh probe tampak memperlihatkan pola eksponensial negatif mengikuti persamaan (3), dimana daya transmisi ditentukan oleh panjang (L) dan nilai koefisien absorpsi (γ) bagian *cladding* serat optik. Karena panjang bagian *cladding* polianilin tetap, maka variasi daya transmisi optik probe sensor



Gambar 6. Kurva daya transmisi probe terhadap Konsentrasi amonia.

ditentukan oleh nilai koefisien absorpsi (γ) lapisan *cladding* polianilin.

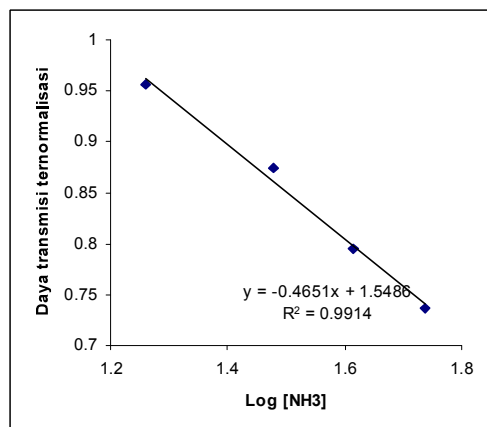
Bahan polianilin mengalami perubahan konduktivitas listrik dan absorpsi optik ketika menyerap gas amonia. Koefisien absorpsi optik (absorpsivitas, γ) polianilin meningkat terhadap kenaikan konsentrasi gas amonia yang diserap, hal ini akibat kenaikan nilai indeks biasnya seiring dengan perubahan warnanya dari hijau muda menjadi hijau tua hingga biru. Perubahan indeks bias pada *cladding* serat optik menyebabkan berubahnya sudut kritis pada pemantulan internal total, sehingga sebagian komponen gelombang cahaya diserap oleh *cladding* polianilin yang disebut gelombang *evanescent*. Akibatnya, energi cahaya yang ditransmisikan melalui probe sensor serat optik juga berubah. Jumlah energi gelombang *evanescent* yang diserap oleh *cladding* polianilin mempengaruhi daya transmisi probe serat optik, yaitu semakin besar gelombang *evanescent* yang menembus *cladding* polianilin semakin kecil daya transmisi optik probe serat optik.



Gambar 7. Kurva koefisien absorpsi *cladding* polianilin terhadap konsentrasi amonia.

Perhitungan nilai koefisien absorpsi *cladding* polianilin terhadap konsentrasi gas amonia yang diserap menggunakan persamaan (3), berdasarkan data-data yang diperoleh melalui pengukuran, meliputi panjang bagian *cladding* polianilin dan daya optik yang ditransmisikan oleh *probe* sensor baik tanpa maupun dengan perlakuan gas amonia. Hasilnya dibuat kurva seperti ditunjukkan pada Gambar 7, yang memperlihatkan kenaikan nilai koefisien absorpsi *cladding* polianilin terhadap konsentrasi gas amonia. Nilai koefisien absorpsi *cladding* polianilin yang meningkat secara eksponensial ini mengakibatkan penurunan eksponensial daya transmisi optik *probe* sensor serat optik.

Gambar 8 menunjukkan kurva antara daya transmisi ternormalisasi (P/P_0) terhadap $\log [NH_3]$ yang menunjukkan kurva linier turun dengan linieritas yang cukup baik, seperti ditunjukkan oleh nilai R^2 sebagai derajat linieritas kurva. Kurva ini memperlihatkan hubungan linier terbalik antara daya transmisi ternormalisasi terhadap konsentrasi gas amonia logaritmik. Dalam hal ini konsentrasi gas amonia sebanding dengan koefisien absorpsi *cladding* polianilin, sehingga konsentrasi amonia berbanding terbalik dengan daya transmisi ternormalisasi.



Hubungan antara daya transmisi ternormalisasi terhadap koefisien absorpsi *cladding* polianilin juga dibuat kurva, seperti ditunjukkan pada Gambar 9. Kurva yang dihasilkan memperlihatkan penurunan daya transmisi ternormalisasi terhadap koefisien absorpsi *cladding* polianilin dengan linieritas yang sangat baik. Kurva ini memberikan informasi hubungan linier antara daya transmisi ternormalisasi terhadap koefisien absorpsi *cladding* polianilin, yang selanjutnya bermanfaat dalam aplikasinya sebagai sensor amonia berbasis serat optik.

KESIMPULAN

Penggunaan polianilin sebagai *cladding* pada sistem sensor serat optik untuk mendeteksi gas amonia

telah berhasil dilakukan. Film polianilin memperlihatkan respon optik terhadap perlakuan gas amonia, dimana absorbansi optik pada pita spektrum merah dengan puncak sekitar 640 nm. Respon optik film polianilin terhadap perlakuan amonia tampak pada perubahan warna dari hijau menjadi biru akibat perubahan struktur kimianya melalui proses deprotonisasi, juga mengakibatkan perubahan nilai indeks biasnya. Sensor amonia dengan probe serat optik menggunakan *cladding* polianilin memperlihatkan respon yang cukup baik. Hal ini diperlihatkan oleh hasil pengujian daya transmisi optik *probe* sensor terhadap konsentrasi gas amonia yang bervariasi. Daya transmisi optik *probe* sensor menurun eksponensial terhadap konsentrasi gas amonia sesuai yang diharapkan. Demikian juga, sebaliknya koefisien absorpsi *cladding* polianilin meningkat secara eksponensial terhadap konsentrasi gas amonia yang diberikan dengan konsentrasi yang cukup rendah (beberapa puluh ppm).

DAFTARACUAN

- [1] B. TIMMER, W. OLTHUIS, A. VANDEN BERG, *Sensors and Actuators B*, **107** (2005) 666-677
- [2] W.Q. CAO AND Y.X. DUAN, *Sensors and Actuators B*, **110** (2005) 252-259
- [3] C. MALINS, A. DOYLE, B.D. MACCRAITH, F. KVASNIK, M. LANDL, P. SIMON, L. KALVODA, R. LUKAS, K. PUFLER, I. BABUSIK, *J. Environ. Monit.* **1** (1999) 417-422
- [4] A. K. PRASAD, D. J. KUBINSKI, P. I. GOUMA, *Sensors and Actuators B*, **93** (1-3)(2003) 25-30
- [5] O.K. VARGHESE, D. GONG, W.R. DRESCHER, K.G. ONG, C.A. GRIMES, *Sensors and Actuators B*, **94** (23)(2003) 27-35
- [6] K. S. R. CHANDRA, S.K. DHAWAN, *Sensors and Actuators B*, **75** : Chemical 14-23
- [7] A.L. KUKLA, Y.M. SHIRSHOW, S.A. PILETSKY, *Sensors and Actuators B*, **37** (1996) 135-140
- [8] Z. JIN, Y.X. SU, Y.X. DUAN, *Sensors and Actuators B*, **72** (2001) 75-79
- [9] L. BANSAL, Development of a Fiber Optic Chemical Sensor for Detection of Toxic Vapors *Tesis*, Drexel University, (2003)
- [10] S.K. KHIJWANIA, K. L. SRINIVASAN, J. P. SINGH, *Sensors and Actuators B*, **104** (2005) 217-222
- [11] E. SCORSONE, S. CHRISTIE, K.C. PERSAUD, P. SIMON, F. KVASNIK, *Sensors and Actuators B*, **90** (2003) 37-45
- [12] Z. XIE, L. GUO, X. ZHENG, X. LIN AND G. CHEN, *Sensors and Actuators B*, **104** (2005) 173-178
- [13] J. MORENO, F.J. ARREGUI AND I.R. MATIAS, *Sensors and Actuators B*, **105** (2005) 419-424
- [14] D. GALBARRA, F.J. ARREGUI, I.R. MATIAS AND R.O. CLAUS, *Smart Mater. Struct.* **14** (2006) 739-744