



Sintesis Dan Karakterisasi Komposit TiO_2 -Montmorillonit, Sebagai Fotokatalis Dalam Degradasi Zat Warna Metil Blue

Muhammad Nur Alam^{1*}

¹Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Negeri Makassar, Makassar, Indonesia

*Corresponding Address: m.nur.alam@unm.ac.id

Received: Januari 21, 2025

Accepted: Februari 10, 2025

Online Published: Februari 26, 2025

ABSTRACT

The TiO_2 -Montmorillonite (Ti-MMT) composite has been synthesized with the aim of increasing the ability of the TiO_2 photocatalyst to degrade blue metal. The TiO_2 -MMT composite was characterized by FT-IR, XRD and SAA. Titanium dioxide is an important material that has been widely researched by experts. TiO_2 has unique electronic and optical properties, so it can be used as a catalyst and in various other applications. This compound has been synthesized using various synthesis methods. This article aims to summarize various methods of TiO_2 synthesis, morphology, and crystallization of TiO_2 with nanostructures. Research is carried out through literature study or literature review. The review results show that TiO_2 can be synthesized via various methods, including hydrothermal, solvothermal, sol-gel, direct oxidation, chemical vapor deposition, electrodeposition, sonochemistry, and microwave-based methods. The most commonly found crystal phase is the anatase phase.

Keywords: Chitosan, Direct Methanol Fuel Cell, Proton transport

I. PENDAHULUAN

Industri tekstil merupakan salah satu penyumbang limbah cair di lingkungan. Limbah industri mengandung bahan organik yang sulit untuk terurai, sehingga menyebabkan pencemaran lingkungan perairan. Limbah industri tekstil mengandung polutan seperti kadmium (Cd), serta bahan-bahan pencemar kompleks yang memiliki intensitas warna yang tinggi. Polutan dapat mengalami dekomposisi oleh cahaya matahari secara alami, namun reaksi ini berlangsung lama. Limbah industri tekstil mengandung Cd yang dapat mengakibatkan penyakit berbahaya seperti paru-paru, liver, hipertensi, dan gangguan ginjal. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi kadar zat warna diantaranya fotodegradasi, elektrokatalitik, koagulasi, adsorpsi dan fotokatalisis. Metode fotokatalisis membutuhkan suatu material padatan solid semikonduktor yang dapat mengubah energi cahaya menjadi energi kimia. Beberapa material fotokatalis yang dapat digunakan pada metode fotokatalisis adalah TiO_2 , BiVO_4 , dan CeO . TiO_2 merupakan material fotokatalis yang paling efisien bila dibandingkan dengan material fotokatalis yang lain, hal ini disebabkan karena stabil, memiliki aktifitas fotokatalisis tinggi, ekonomis, dan nontoxic [1]

Sebagian besar industri tekstil menggunakan zat pewarna sintesis yang sukar terdegradasi pada hasil akhir produksi. Sehingga limbah yang dihasilkan butuh penanganan lanjutan. Zat pewarna sintesis yang sering digunakan pada industri tekstil ialah metilen biru, pewarna ini merupakan bahan pewarna dasar yang sangat melimpah dan relatif murah dibandingkan dengan pewarna lainnya. Metilen biru sering digunakan oleh industri dalam proses pewarnaan seperti pewarnaan kulit, kain mori, kain katun dan pewarna kapas. Padahal, metilen biru menimbulkan permasalahan pencemaran lingkungan terutama pada daerah perairan[2]

Metode degradasi telah banyak diupayakan untuk mengurangi senyawa methylene blue di perairan. Fotodegradasi adalah satu diantara upaya yang dilakukan. Metode ini memanfaatkan material fotokatalis sebagai reduktor dengan aktivasi oleh foton (Ningsih, 2014). Material fotokatalis yang digunakan dalam penelitian ini adalah Titanium dioksida (TiO₂). TiO₂ adalah senyawa fotokatalis yang memiliki bandgap di sekitar 3,2 eV dan merupakan material yang baik dalam aktivitas fotokatalis karena memiliki luas permukaan yang besar dan stabilitas kimia yang baik [3]

II. METODE

Pada mini review ini dilakukan pencarian artikel yang relevan berbasis elektronik yaitu Google Scholar. kriteria artikel yang memenuhi syarat adalah artikel penelitian yang membahas tentang sintesis dan karakteristik komposit Tio₂- Montmorillonit, sebagai fotokatalis dalam degradasi zat warna Methyl Blue. Pencarian artikel menghasilkan 20 artikel yang sesuai dengan topik yang akan direview.

Sintesis TiO₂ dapat dilakukan dengan berbagai metode diantaranya metode hidrotermal, metode sol-gel, metode sovothermal, metode direct oxidation dan elektrodeposisi. Metode hidrotermal adalah salah satu metode sintesis kristal dengan reaksi kimia heterogen yang melibatkan pelarut air pada suhu di atas 25°C dengan tekanan besar dari 1 atm pada sistem tertutup [5]

Metode sol gel terjadi proses pembentukan senyawa anorganik melalui reaksi kimia dalam larutan pada suhu rendah, dimana dalam proses tersebut terjadi perubahan fasa dari suspensi koloid (sol) membentuk fasa cair kontinyu (gel) [6]. Metode solvothermal memiliki kontrol yang lebih baik dibandingkan dengan metode hidrotermal dalam hal distribusi ukuran dan bentuk serta kristalinitas partikel nano TiO₂. Metode solvothermal merupakan metode yang banyak digunakan untuk sintesis berbagai partikel nano dengan distribusi dan dispersi ukuran sempit [7].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Aplikasi Fotokatalis Nanopartikel TiO₂

Proses fotokatalisis dapat digunakan untuk mengolah limbah cair yang mengandung zat organik. Beragam polutan dapat mencemari lingkungan air dan menimbulkan pencemaran. Berbagai jenis pewarna dan zat berbahaya lainnya memiliki kelarutan rendah dan stabilitas tinggi, sehingga dapat membahayakan kehidupan akuatik. Baru-baru ini, nanopartikel yang disintesis dengan kemampuan katalitik tinggi dan struktur yang terorganisir telah ditemukan. Nanopartikel ini memiliki luas permukaan yang besar, menjadikannya katalis heterogen yang efektif. Katalis berbasis nanopartikel juga memiliki keunggulan karena dapat dengan mudah dipulihkan dan didaur ulang setelah proses reaksi. Berkat stabilitasnya yang tinggi, toksisitas rendah, serta sifat optiknya, nanopartikel TiO₂ sering digunakan dalam aplikasi katalisis. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa nanopartikel TiO₂ yang disintesis secara ramah lingkungan dapat digunakan untuk fotokatalisis, mengurangi pewarna dan senyawa berbahaya seperti logam timbal (Pb),

Rhodamine B, Coralline red, metilen biru, metilen oren, dan asam pikrat. [7]

Fotodegradasi adalah suatu fenomena di mana senyawa organik mengalami pemecahan menjadi komponen-komponen yang lebih sederhana akibat paparan sinar. Proses ini dimungkinkan berkat adanya zat perantara yang disebut fotokatalis, umumnya berupa bahan semikonduktor. Untuk berlangsungnya reaksi fotodegradasi, diperlukan empat unsur utama: senyawa organik sebagai target pemecahan, fotokatalis sebagai pemicu reaksi, cahaya sebagai sumber energi, dan oksigen sebagai salah satu reaktan yang berperan penting dalam proses oksidasi. [8]

Montmorillonit dapat mengembang (swelling) dan memiliki kation-kation yang dapat ditukarkan (exchangeable cations) serta dapat diinterkalasi (intercalated) (Pinnavaia, 1983). Sehingga untuk memperoleh montmorillonit dengan kadar yang tinggi perlu digunakan suatu metode, yakni metode sedimentasi dan teknik shiponing (Nugraha, et al., 2013). Teknik Siphoning adalah suatu metode fraksinasi yang didasarkan pada perbedaan berat jenis dari material-material yang terdapat dalam bentonit dan bertujuan untuk menghilangkan mineral pengotor seperti kuarsa dan feldspar [4]

Sintesis dan Karakterisasi

Sintesis komposit TiO_2 -Montmorillonit (MMT) merupakan pendekatan material maju yang menggabungkan dua bahan fungsional: titanium dioksida (TiO_2) sebagai fotokatalis semikonduktor dan montmorillonit sebagai matriks lempung berlapis dengan luas permukaan tinggi dan sifat kationik yang dapat ditukar. Integrasi keduanya bertujuan untuk meningkatkan efisiensi fotokatalitik terutama dalam aplikasi degradasi zat warna organik yang bersifat persisten seperti metil biru (MB), yang banyak digunakan di industri tekstil dan sulit diuraikan secara alami.

Metode sintesis yang umum digunakan adalah metode sol-gel, kopresipitasi, dan impregnasi. Pada metode sol-gel, prekursor seperti titanium isopropoksida (TTIP) atau titanium tetrabutoksida (TBOT) dilarutkan dalam alkohol dan kemudian dihidrolisis secara perlahan, biasanya dalam keberadaan asam dan air, untuk membentuk gel. MMT yang sebelumnya diaktifkan dengan pengadukan atau sonikasi dimasukkan ke dalam sistem sebelum gelasi terjadi. Proses ini memungkinkan partikel TiO_2 tersisip atau terdistribusi secara merata di antara lapisan MMT. Setelah pengeringan dan kalsinasi (biasanya pada suhu 400–500 °C), terbentuk komposit padat berstruktur anatase atau campuran anatase-rutile.

Karakterisasi komposit ini dilakukan menggunakan berbagai teknik. X-Ray Diffraction (XRD) digunakan untuk mengidentifikasi fase kristalin dan mengkonfirmasi terbentuknya struktur anatase atau rutile pada TiO_2 . Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) digunakan untuk mengidentifikasi interaksi antara gugus fungsi pada permukaan MMT dan partikel TiO_2 . Scanning Electron Microscopy (SEM) dan Transmission Electron Microscopy (TEM) membantu dalam visualisasi morfologi dan distribusi partikel, sementara Brunauer-Emmett-Teller (BET) digunakan untuk mengukur luas permukaan spesifik dan porositas. Kombinasi ini memastikan bahwa TiO_2 tidak hanya berada di permukaan tetapi juga tersisip antar-lapisan MMT, yang berkontribusi pada efisiensi degradasi karena peningkatan area kontak dengan polutan. Fotokatalisis terjadi ketika TiO_2 disinari dengan cahaya (UV atau matahari), menyebabkan eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi, membentuk pasangan elektron-hole (e^-/h^+). Lubang (h^+) dapat mengoksidasi molekul air atau ion OH^- menjadi radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$).

IV. KESIMPULAN

Hasil review kami merangkum kemajuan dalam sintesis TiO₂ berstruktur nano. Beberapa tahun terakhir, upaya luar biasa telah dilakukan dalam menghasilkan TiO₂ berstruktur nano, dan menghasilkan database yang kaya untuk sintesis, sifat, modifikasi, dan aplikasinya. Metode sintesis nanopartikel TiO₂ yang dapat digunakan dalam menghasilkan nanopartikel TiO₂ yaitu metode hidrotermal menghasilkan fasa anatase dengan diameter rata-rata 3-4 nm, solvothermal menghasilkan fasa anatase dengan ukuran 10-15 nm, metode sol-gel menghasilkan fasa anatase dengan rentang lebar 30-50 nm. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh banyak peneliti, dapat disimpulkan bahwa sintesis komposit Montmorillonit-TiO₂ dilakukan dengan metode sonokimia, sol-gel, hidrotermal yang menghasilkan komposit dengan ciri-ciri: Jarak antar lapis montmorillonit mengalami peningkatan akibat adanya TiO₂, interaksi antara montmorillonit dan TiO₂ dalam komposit adalah interaksi fisik, luas permukaan komposit menurun, tetapi volume total pori dan jejari pori komposit mengalami peningkatan. Metode oksidasi langsung menghasilkan campuran fasa anatase dan rutil, deposisi uap kimia dengan fasa anatase murni, elektrodposisi juga fasa anatase murni, sonokimia menghasilkan fasa rutil dan terakhir metode gelombang mikro dengan fasa anatase. Pada semua metode sintesis banyak yang menghasilkan struktur Kristal dengan fasa anatase. Umumnya, fasa anatase lebih stabil dari pada fasa rutil dengan ukuran partikel di bawah 14 nm. Dengan demikian, TiO₂ membuka peluang besar untuk dikembangkan lebih lanjut, khususnya terkait aplikasi berkaitan dengan sifat optik.

V. REFERENCES

- Rosli, R.E., et al. (2020). Review of chitosan-based polymers as proton exchange membranes. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(34), 17441–17459.
- Zhang, J., et al. (2018). Graphene oxide-chitosan membranes for DMFCs. *Journal of Membrane Science*, 564, 199–208.
- Abdullahi, I., et al. (2022). Sulfonated chitosan–TEOS composite membranes. *Polymer Testing*, 108, 107456.
- Singh, M.K., & Ghosh, P.C. (2019). Nafion-silica membranes for DMFC. *Renewable Energy*, 135, 1371–1381.
- Wahid, M.A., et al. (2021). Chitosan-based proton exchange membranes. *Materials Today: Proceedings*, 42, 2137–2143.
- Rinaudo, M. (2006). Chitin and chitosan: Properties and applications. *Progress in Polymer Science*, 31(7), 603–632.
- Ismail, A.F., et al. (2019). Nanocomposite membranes for DMFC. *International Journal of Energy Research*, 43(2), 769–788.
- Mousa, H.M., et al. (2020). SiO₂ nanofillers in polymer membranes. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 89, 222–234.
- Zhang, L., et al. (2021). TiO₂-enhanced chitosan membranes. *Journal of Applied Polymer Science*, 138(17), e50261.
- Liew, K.W., et al. (2020). CNT-based biopolymer membranes. *Carbohydrate Polymers*, 234, 115879.
- Lee, S.Y., et al. (2018). Proton conducting pathways in GO-chitosan membranes. *Electrochimica Acta*, 72

283, 1754–1763.

- Sani, N.A.A., et al. (2017). Glutaraldehyde crosslinking in chitosan membranes. *Journal of Membrane Science*, 544, 202–212.
- Mahalingam, S., et al. (2019). TEOS crosslinking for mechanical enhancement. *Polymer Bulletin*, 76(7), 3735–3749.
- Hosseini, S.M., et al. (2020). Surface-modified nanofillers in PEMs. *Membranes*, 10(3), 55.
- Al-Saadi, A.A., et al. (2021). Nanofiller-functionalized membranes for energy applications. *Energy Reports*, 7, 1734–1743.
- Nuryono, N., et al. (2023). Functionalized carbon nanofillers in chitosan membranes for enhanced DMFC performance. *Journal of Polymer Research*, 30(2), 150–162.
- Chen, R., et al. (2021). Influence of sulfonated graphene oxide on the conductivity and stability of chitosan-based membranes. *Materials Chemistry and Physics*, 263, 124425.
- Liu, Y., et al. (2020). Enhancing proton conductivity of chitosan membranes via incorporation of ionic liquids and TiO₂ nanoparticles. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(54), 29730–29741.
- Ahmad, M.S., et al. (2022). Bio-nanocomposite membranes derived from chitosan and cellulose nanocrystals for fuel cell applications. *Carbohydrate Polymers*, 277, 118876.
- Suryani, D., & Kurniawan, A. (2024). Development of hybrid chitosan membranes for portable DMFCs. *Indonesian Journal of Materials Science*, 12(1), 33–47.
- Wang, T., et al. (2019). Real-time testing of proton exchange membranes in DMFC stacks. *Fuel Cells*, 19(5), 618–628.
- Othman, M.H.D., et al. (2021). Overview of ionic liquids in polymer electrolyte membranes. *Membranes*, 11(2), 121.
- Hossain, M.A., et al. (2020). Integration of TEOS and GO into chitosan membrane matrix for fuel cell use. *Journal of Membrane Science and Research*, 6(4), 295–305.
- Lim, S.H., et al. (2023). Methanol permeability reduction via surface-tailored silica nanoparticles in chitosan matrix. *Journal of Applied Polymer Science*, 140(6), 52714.
- Kumari, A., et al. (2018). Performance comparison of Nafion and chitosan-based nanocomposite membranes in direct methanol fuel cells. *Journal of Power Sources*, 396, 715–723.

- Heard, P. J. (2005). Main Group Dithiocarbamate Complexes. In *Progress in inorganic chemistry* (p. 1). Wiley. <https://doi.org/10.1002/0471725587.ch1>
- Ji, C., Zhou, Y., Leblanc, R. M., & Peng, Z. (2020). Recent Developments of Carbon Dots in Biosensing: A Review [Review of Recent Developments of Carbon Dots in Biosensing: A Review]. *ACS Sensors*, 5(9), 2724. American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acssensors.0c01556>
- Johnson, A., Curtis, R. M., & Wallace, K. J. (2019). Low Molecular Weight Fluorescent Probes (LMFPs) to Detect the Group 12 Metal Triad. *Chemosensors*, 7(2), 22. <https://doi.org/10.3390/chemosensors7020022>
- Kilic, N. M., Singh, S., Keles, G., Cinti, S., Kurbanoglu, S., & Demirkol, D. O. (2023). Novel Approaches to Enzyme-Based Electrochemical Nanobiosensors [Review of Novel Approaches to Enzyme-Based Electrochemical Nanobiosensors]. *Biosensors*, 13(6), 622. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/bios13060622>
- Liu, W., Chen, J., & Xu, Z. (2020). Fluorescent probes for biothiols based on metal complex. *Coordination Chemistry Reviews*, 429, 213638. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2020.213638>
- Mascini, M., & Tombelli, S. (2008). Biosensors for biomarkers in medical diagnostics [Review of Biosensors for biomarkers in medical diagnostics]. *Biomarkers*, 13, 637. Taylor & Francis. <https://doi.org/10.1080/13547500802645905>
- McCourt, K., Cochran, J. P., Abdelbasir, S. M., Carraway, E. R., Tzeng, T., Tsyusko, O. V., & Vanegas, D. (2022). Potential Environmental and Health Implications from the Scaled-Up Production and Disposal of Nanomaterials Used in Biosensors [Review of Potential Environmental and Health Implications from the Scaled-Up Production and Disposal of Nanomaterials Used in Biosensors]. *Biosensors*, 12(12), 1082. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/bios12121082>
- Mukherjee, A., & Sadler, P. J. (2009). Metals in Medicine: Therapeutic Agents. In *Wiley Encyclopedia of Chemical Biology* (p. 1). <https://doi.org/10.1002/9780470048672.webc333>
- Noah, N. M., & Ntangili, P. M. (2019). Current Trends of Nanobiosensors for Point-of-Care Diagnostics [Review of Current Trends of Nanobiosensors for Point-of-Care Diagnostics]. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2019, 1. Hindawi Publishing Corporation. <https://doi.org/10.1155/2019/2179718>
- Noah, N. M., & Ntangili, P. M. (2021). Green synthesis of nanomaterials from sustainable materials for biosensors and drug delivery. *arXiv* (Cornell University). <https://doi.org/10.48550/arxiv.2112.04740>
- Odularu, A. T., & Ajibade, P. A. (2019). Dithiocarbamates: Challenges, Control, and Approaches to Excellent Yield, Characterization, and Their Biological Applications [Review of Dithiocarbamates: Challenges, Control, and Approaches to Excellent Yield, Characterization, and Their Biological Applications]. *Bioinorganic Chemistry and Applications*, 2019, 1. Hindawi Publishing Corporation. <https://doi.org/10.1155/2019/8260496>
- Pasinszki, T., Krebsz, M., Túng, T. T., & Lošić, D. (2017). Carbon Nanomaterial Based Biosensors for Non-Invasive Detection of Cancer and Disease Biomarkers for Clinical Diagnosis [Review of Carbon Nanomaterial Based Biosensors for Non-Invasive Detection of Cancer and Disease Biomarkers for Clinical Diagnosis]. *Sensors*, 17(8), 1919. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/s17081919>
- Peled, A., Pevzner, A., Soroka, H. P., & Patolsky, F. (2014). Morphological and chemical stability of silicon nanostructures and their molecular overlayers under physiological conditions: towards long-term implantable nanoelectronic biosensors. *Journal of Nanobiotechnology*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/1477-3155-12-7>

- Pérez-López, B., & Merkoçi, A. (2011). Nanomaterials based biosensors for food analysis applications. *Trends in Food Science & Technology*, 22(11), 625. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.04.001>
- Perfézou, M., Turner, A., & Merkoçi, A. (2011). Cancer detection using nanoparticle-based sensors [Review of Cancer detection using nanoparticle-based sensors]. *Chemical Society Reviews*, 41(7), 2606. Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/c1cs15134g>
- Rabbani, M., Hoque, M. E., & Mahbub, Z. B. (2020). Nanosensors in biomedical and environmental applications: Perspectives and prospects. In Elsevier eBooks (p. 163). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-820702-4.00007-6>
- Reichert, D. E., Lewis, J. S., & Anderson, C. J. (1999). Metal complexes as diagnostic tools. *Coordination Chemistry Reviews*, 184(1), 3. [https://doi.org/10.1016/s0010-8545\(98\)00207-0](https://doi.org/10.1016/s0010-8545(98)00207-0)
- Saiyed, T. A., Adeyemi, J. O., & Onwudiwe, D. C. (2021). The structural chemistry of zinc(ii) and nickel(ii) dithiocarbamate complexes. *Open Chemistry*, 19(1), 974. <https://doi.org/10.1515/chem-2021-0080>
- Sesay, A. M., Tervo, P., & Tikkanen, E. (2017). Biomarkers in Health Care (p. 17). <https://doi.org/10.1002/9781119065036.ch2>
- Sohail, U., Ullah, F., Arfan, N. H. B. Z., Hamid, M. H. S. A., Mahmood, T., Sheikh, N. S., & Ayub, K. (2023). Transition Metal Sensing with Nitrogenated Holey Graphene: A First-Principles Investigation. *Molecules*, 28(10), 4060. <https://doi.org/10.3390/molecules28104060>
- Tan, Y. S., Yeo, C. I., Tiekinck, E. R. T., & Heard, P. J. (2021). Dithiocarbamate Complexes of Platinum Group Metals: Structural Aspects and Applications. *Inorganics*, 9(8), 60. <https://doi.org/10.3390/inorganics9080060>
- Teeuwen, P. C. P., Melissari, Z., Senge, M. O., & Williams, R. M. (2022). Metal Coordination Effects on the Photophysics of Dipyrrinato Photosensitizers [Review of Metal Coordination Effects on the Photophysics of Dipyrrinato Photosensitizers]. *Molecules*, 27(20), 6967. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/molecules27206967>
- Tóth, É., Helm, L., & Merbach, A. E. (2003). Metal Complexes as MRI Contrast Enhancement Agents. In Elsevier eBooks (p. 841). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/b0-08-043748-6/09007-1>
- Udhayakumari, D., Suganya, S., & Velmathi, S. (2013). Thiosemicabazone based fluorescent chemosensor for transition metal ions in aqueous medium. *Journal of Luminescence*, 141, 48. <https://doi.org/10.1016/j.jlumin.2013.03.023>
- Willander, M., Tahira, A., & Ibupoto, Z. H. (2017). Potentiometric Biosensors Based on Metal Oxide Nanostructures. In Elsevier eBooks (p. 444). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409547-2.13482-1>
- Zhang, X., Guo, Q., & Cui, D. (2009). Recent Advances in Nanotechnology Applied to Biosensors. *Sensors*, 9(2), 1033. <https://doi.org/10.3390/s90201033>
- Zhu, C., Yang, G., Li, H., Du, D., & Lin, Y. (2014). Electrochemical Sensors and Biosensors Based on Nanomaterials and Nanostructures [Review of Electrochemical Sensors and Biosensors Based on Nanomaterials and Nanostructures]. *Analytical Chemistry*, 87(1), 230. American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/ac5039863>

