

**OPTIMASI DIMENSI DAN ASPEK RASIO NANOROD EMAS
TERHADAP PERFORMA SENSOR KREATININ BERBASIS
LOCALIZED SURFACE PLASMON RESONANCE MELALUI SIMULASI
MENGUNAKAN *FINITE DIFFERENCE TIME DOMAIN***

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh Gelar Sarjana Sains
Program Studi Fisika Kelompok Bidang Kajian Fisika Material



Disusun oleh:

Ahmad Ihsan Nur Solehudin

2009742

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
2025**

**OPTIMASI DIMENSI DAN ASPEK RASIO NANOROD EMAS
TERHADAP PERFORMA SENSOR KREATININ BERBASIS
LOCALIZED SURFACE PLASMON RESONANCE MELALUI SIMULASI
MENGUNAKAN FINITE DIFFERENCE TIME DOMAIN**

Oleh
Ahmad Ihsan Nur Solehudin
2009742

Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan pada Fakultas Pendidikan Bahasa dan Seni

© Ahmad Ihsan Nur Solehudin
Universitas Pendidikan Indonesia
Mei 2025

Hak Cipta dilindungi undang-undang.
Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian,
dengan dicetak ulang, difoto kopi, atau cara lainnya tanpa ijin dari penulis.

LEMBAR PENGESAHAN

Ahmad Ihsan Nur Solehudin

OPTIMASI DIMENSI DAN ASPEK RASIO NANOROD EMAS TERHADAP
PERFORMA SENSOR KREATININ BERBASIS *LOCALIZED SURFACE*
PLASMON RESONANCE MELALUI SIMULASI MENGGUNAKAN *FINITE*
DIFFERENCE TIME DOMAIN

Disetujui dan disahkan oleh:

Pembimbing 1,



Prof. Dr. Lilik Hasanah, M.Si.

NIP. 197706162001122002

Pembimbing 2,



Dr. Ahmad Aminudin, M.Si.

NIP. 197211122008121001

Mengetahui

Ketua Program Studi Fisika,



Prof. Dr. Endi Suhendi, M.Si.

NIP. 197905012003121001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi berjudul "Optimasi Dimensi Dan Aspek Rasio *Nanorod Emas* Terhadap Performa Sensor Kreatinin Berbasis *Localized Surface Plasmon Resonance* Melalui Simulasi Menggunakan *Finite Difference Time Domain*" beserta seluruh isinya adalah hasil karya saya sendiri. Saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara yang melanggar etika ilmiah yang berlaku dalam masyarakat akademik. Saya bersedia menanggung risiko atau sanksi apabila di masa depan terbukti adanya pelanggaran etika ilmiah atau klaim dari pihak lain terkait keaslian karya ini.

Bandung, 23 Januari 2025



Ahmad Ihsan Nur Solehudin

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'alam, segala puji bagi Allah SWT tuhan semesta alam dan kesempurnaan hanya milik Allah SWT, shalawat dan salam tercurah kepada Nabi Muhammad SAW. Puji serta syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada saya sehingga saya diberikan kesempatan untuk menyelesaikan skripsi saya yang berjudul “Optimasi Dimensi Dan Aspek Rasio *Nanorod Emas* Terhadap Performa Sensor Kreatinin Berbasis *Localized Surface Plasmon Resonance* Melalui Simulasi Menggunakan *Finite Difference Time Domain*”. Penulisan skripsi ini dimaksudkan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Program Studi Fisika Kelompok Bidang Kajian Fisika Material.

Penulisan skripsi ini berhasil karena dukungan dan bimbingan dari banyak pihak. Oleh karena itu, pantas bagi penulis untuk diberi penghargaan yang tinggi. Selain itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua yang telah terlibat langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari adanya kelemahan dan kekurangan dalam skripsi ini. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak untuk meningkatkan kualitasnya. Semoga skripsi ini memberikan manfaat bagi semua pembaca yang tertarik.

Bandung, 23 Januari 2025



Ahmad Ihsan Nur Solehudin

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Tersusunnya skripsi ini berkat partisipasi dukungan dan arahan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Lilik Hasanah, M.Si., dan Dr. Ahmad Aminudin, M.Si., selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan arahan dan solusi selama proses penyusunan skripsi. Serta selalu memberi dukungan selama pengerjaan skripsi.
2. Prof. Dr. Endi Suhendi, S.Si., M.Si. selaku ketua Program Studi Fisika Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Pendidikan Indonesia.
3. Chandra Wulandari, M.T. selaku asisten penelitian yang selalu memberi saran dan solusi selama penyusunan skripsi.
4. Kedua orang tua, yaitu Bapak Otang Solihin, Ibu Tati Rohaeni serta Kakak saya Yuli Yulaeha dan Adik saya Marwah Amalia Nur Khasanah yang senantiasa menjadi motivasi terbesar, serta setia memberikan dukungan moril dan materil selama penulis studi jenjang strata 1 dan selama penyusunan skripsi sehingga dapat berjalan dengan lancar.
5. Nathania Juniar Harefa yang telah memberikan dukungan, motivasi dan membantu selama penulis menjadi Mahasiswa
6. Baitul Yuswa yakni: Sandi, Hizba, Ikhsan, Bagas, Sofia, Ridzki, Azzara, Sarifudin, Apendi, Genta, dan Fadhlhan yang selalu memberikan dukungan serta motivasi selama penulis menjadi Mahasiswa.
7. Bintang, Silva, Aghisna dan teman – teman penelitian, yang selalu memberikan dukungan dan bantuan selama penelitian.
8. Teman – teman Fisika C 2020;
9. Seluruh dosen dan karyawan Program Studi Fisika Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Pendidikan

Indonesia yang telah memberikan ilmu dan membantu urusan akademik.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna karena keterbatasan kemampuan dan pengalaman yang dimiliki. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang Membangun demi kesempurnaan pada penulisan ini. Penulis berharap karya ini dapat memperkaya ilmu pengetahuan dan manfaat bagi kita semua, Aamiin.

Bandung, 23 Januari 2025

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ahmad Ihsan Nur Solehudin', with a stylized, cursive script.

Ahmad Ihsan Nur Solehudin

ABSTRAK

Pada organ ginjal manusia memiliki fungsi yang sangat vital. Jika ginjal mengalami kerusakan, proses penyaringan cairan limbah dalam tubuh akan terganggu dan dapat menimbulkan berbagai gangguan kesehatan. Salah satu tanda kerusakan ginjal adalah ditemukannya protein kreatinin dalam urin, karena pada kondisi normal, protein ini seharusnya dapat disaring oleh ginjal. Kehadiran kreatinin di dalam urin mengindikasikan adanya gangguan pada fungsi ginjal. Penggunaan *Localized Surface Plasmon Resonance* (LSPR) dalam bidang sensor untuk mendeteksi protein kreatinin dalam urin merupakan inovasi terbaru dalam bidang medis. Dengan menggunakan simulasi FDTD, memodifikasi dimensi yang mencakup diameter (ketebalan) dan panjang nanopartikel emas nanorods (AuNP) divariasikan untuk mendapatkan nilai sensitivitas LSPR agar lebih optimal. Dalam beberapa penelitian, material emas diketahui sebagai material yang paling sensitif untuk aplikasi LSPR. Variasi geometri nanopartikel emas (AuNP) berbentuk nanorods akan mempengaruhi sensitivitas dan sifat optiknya. Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan ukuran LSPR yang optimal. Parameter dimensi nanorods di variasikan dengan aspek rasio sekitar 3. Ukuran dimensi nanorods (AuNP) bervariasi dari diameter 30 – 70 nm, dengan panjang 90, 120, 160, 180, 210 nm. Performa LSPR AuNP dengan ukuran optimal dibandingkan dengan LSPR pada Au@SiNP berbentuk nanorods. Kurva absorpsi mengalami pergeseran menuju panjang gelombang yang lebih besar. Efek ini kemudian dianalisis untuk menentukan geometri optimum dari nanopartikel emas nanorods. Hasil pada penelitian ini menunjukkan LSPR AuNP nanorods memiliki performa yang optimal pada ukuran dimensi yang mencakup panjang 160 nm dan diameter 50 nm dengan sensitivitas 2,10714 nm/RIU, dan dengan membandingkannya dengan LSPR Au@SiNP nanorods didapat bahwa performa LSPR Au@SNP lebih baik dengan sensitivitas 9,78571 nm/RIU. Optimasi geometri AuNP berbentuk nanorods dalam penelitian ini diharapkan mampu secara signifikan dapat meningkatkan kinerja sensor berbasis LSPR dalam mendeteksi kreatinin.

Kata kunci: LSPR, Kreatinin, FDTD, Sensitivitas

ABSTRACT

The human kidney is an organ with a highly vital function. If the kidneys are damaged, the process of filtering waste fluids in the body will be disrupted and may cause various health problems. One sign of kidney damage is the presence of creatinine protein in urine, as under normal conditions, this protein should be filtered by the kidneys. The presence of creatinine in the urine indicates impaired kidney function. The use of Localized Surface Plasmon Resonance (LSPR) in sensor technology to detect creatinine protein in urine is a recent innovation in the medical field. By using Finite-Difference Time-Domain (FDTD) simulations, the diameter and length of gold nanorods (AuNP) are varied to achieve optimal LSPR sensitivity. In several studies, gold has been identified as the most sensitive material for LSPR applications. The variation in the geometry of gold nanoparticles (AuNP) in the form of nanorods will influence their sensitivity and optical properties. The purpose of this research is to obtain the optimal LSPR size. The parameters of the diameter and length of nanorods are varied with an aspect ratio of 3. The diameters and lengths of the nanorods (AuNP) vary from diameters of 30–70 nm, with lengths of 90, 120, 160, 180, and 210 nm. The performance of the LSPR AuNP with optimal dimensions is compared to the LSPR performance of Au@SiNP nanorods. The absorption curve shifts towards a larger wavelength. This effect is then analyzed to determine the optimal geometry of the gold nanorod nanoparticles. The results of this study show that LSPR AuNP nanorods exhibit optimal performance at a length of 160 nm and a diameter of 50 nm, with a sensitivity of 2.10714 nm/RIU. When compared with the LSPR performance of Au@SiNP nanorods, it was found that Au@SiNP LSPR exhibited better performance with a sensitivity of 9.78571 nm/RIU. The optimization of nanorod-shaped AuNP geometry in this study is expected to significantly improve the performance of LSPR-based sensors for detecting creatinine.

Keywords: LSPR, Creatinine, FDTD, Sensitivity

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Penelitian	1
1.2 Rumusan Masalah Penelitian	3
1.3 Batasan Masalah Penelitian	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II.....	6
KAJIAN PUSTAKA	6
2.1 <i>Localized Surface Plasmon Resonance (LSPR)</i>	6
2.2 Biosensor Berbasis <i>Localized Surface Plasmon Resonance</i>	10
2.3 Ketergantungan Indeks Bias LSPR.....	11
2.4 Indeks Bias Kreatinin.....	12
2.5 Perangkat Lunak	14
BAB III.....	17
METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Alur Penelitian	18
3.2 Metode <i>Finite-Difference Time-Domain (FDTD)</i>	19
3.3 Desain dan Simulasi.....	20
3.4 Rancangan Sistem Simulasi	21
3.5 Prosedur Pengolahan dan Analisis Data	23
3.5.1 Metode Analisis Pengaruh Dimensi nanorod Emas terhadap performa optik pada sensor berbasis LSPR untuk deteksi kreatinin.....	23
3.5.2 Metode Analisis Pengaruh Aspek rasio nanorod Emas terhadap performa optik pada sensor berbasis LSPR untuk deteksi Kreatinin.....	24
3.5.3 Metode Analisis Pengaruh pelapisan struktur partikel nanorod Emas dengan material Silikon terhadap performa optik pada sensor berbasis LSPR untuk deteksi kreatinin	24
BAB IV.....	25

HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Pengaruh Dimensi nanorod Emas terhadap performa optik pada sensor berbasis LSPR untuk deteksi kreatinin	25
4.2 Pengaruh Aspek Rasio nanorod Emas terhadap performa optik pada sensor berbasis LSPR untuk deteksi kreatinin	28
4.3 Pengaruh pelapisan struktur partikel nanorods Emas dengan material silikon terhadap performa optik pada sensor berbasis LSPR untuk deteksi Kreatinin	35
BAB V	36
PENUTUP.....	36
DAFTAR PUSTAKA.....	38
LAMPIRAN.....	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi extinction LSPR (a) Skema resonansi plasmon permukaan terlokalisasi. (b) Panjang gelombang resonansi plasmon permukaan terlokalisasi (Cao dkk., 2014a).....	7
Gambar 2. 2 Grafik konsentrasi kreatinin terhadap indeks bias sampel darah (Daher dkk., 2022).	13
Gambar 3. 1 Diagram alur penelitian.	18
Gambar 3. 2 Representasi Yee Cell (Loubani dkk., t.t.).	19
Gambar 3. 3 (a) Desain nanorods nanopartikel emas (AuNP) (b) Inti emas dilapisi dengan cangkang silikon (Au@SiNPs).....	21
Gambar 3. 4 (a) Monitor pada simulasi Lumerical FDTD (b) Pengaturan pada simulasi Lumerical FDTD.....	22
Gambar 3. 5 Grafik pergeseran puncak LSPR ($\Delta\lambda$) (Pellas dkk., 2020).....	23
Gambar 3. 6 Grafik puncak LSPR untuk menentukan nilai sensitivitas LSPR ($\Delta\lambda$) (Mahmood dkk., 2021).....	25
Gambar 4. 1 Absorpsi nanorods AuNP dengan AR 4 di latar belakang indeks bias 1,33.....	25
Gambar 4. 2 Absorpsi nanorods AuNP dengan AR sekitar 3 di latar belakang indeks bias 2,56.	26
Gambar 4. 3 Grafik absorpsi yang disimulasikan pada dua indeks bias yang berbeda dengan diameter 40 nm konstan dan variasi panjang (a) $l = 40$ nm. (b) $l = 80$ nm. (c) $l = 120$ nm. (d) $l = 160$ nm. (e) $l = 200$ nm.	27
Gambar 4. 4 Grafik absorpsi nanorods AuNP di latar belakang indeks bias 1,33 dengan AR sekitar 3.	29
Gambar 4. 5 Absorpsi Variasi AR Gold Nanorods dengan indeks bias 2,56	30
Gambar 4. 6 Grafik absorpsi yang disimulasikan pada dua indeks bias yang berbeda dengan (a) $l = 90$ nm dan $d = 30$ nm. (b) $l = 120$ nm dan $d = 40$ nm. (c) $l = 160$ nm dan $d = 50$ nm. (d) $l = 180$ nm dan $d = 60$ nm. (e) $l = 210$ nm dan $d = 70$ nm.....	31
Gambar 4. 7 Absorpsi LSPR dari AuNP nanorods pada $d = 50$ nm dan $l = 160$ nm dengan variasi indeks bias kreatinin	33
Gambar 4. 8 Grafik plot puncak LSPR nanorods emas vs indeks bias kreatinin ..	34
Gambar 4. 9 Absorpsi LSPR Au@SiNP nanorod dengan variasi indeks bias kreatinin.....	35

Gambar 4. 10 Grafik plot puncak LSPR Au@SiNP Nanorods vs indeks bias kreatinin.....	36
---	----

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Indeks bias sampel darah pada setiap konsentrasi kreatinin (Daher dkk., 2022).	13
Tabel 4. 1 T Pergeseran puncak LSPR disetiap variasi ukuran nanorods AuNP dengan AR 4.....	28
Tabel 4. 2 Pergeseran puncak LSPR disetiap variasi ukuran Nanorods emas dengan AR sekitar 3.	32
Tabel 4. 3 Puncak LSPR nanorods AuNP $d = 50$ nm, $l = 160$ nm disetiap indeks bias.	34
Tabel 4. 4 Puncak LSPR Au@SiNP nanorods $d = 60$ nm, $l = 180$ nm disetiap indeks bias.	36

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, S., Shaikh, N., Pathak, N., Sonawane, A., Pandey, V., & Maratkar, S. (2019). An overview of sensitivity and selectivity of biosensors for environmental applications. Dalam *Tools, Techniques and Protocols for Monitoring Environmental Contaminants* (hlm. 53–73). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814679-8.00003-0>
- Alagiri, M., Rameshkumar, P., & Pandikumar, A. (2017). Gold nanorod-based electrochemical sensing of small biomolecules: A review. Dalam *Microchimica Acta* (Vol. 184, Nomor 9, hlm. 3069–3092). Springer-Verlag Wien. <https://doi.org/10.1007/s00604-017-2418-6>
- Aly, A. H., Mohamed, D., A. Mohaseb, M., El-Gawaad, N. S. A., & Trabelsi, Y. (2020). Biophotonic sensor for the detection of creatinine concentration in blood serum based on 1D photonic crystal. *RSC Advances*, 10(53), 31765–31772. <https://doi.org/10.1039/d0ra05448h>
- Arroyo, V. (2013). Acute kidney injury (AKI) in cirrhosis: Should we change current definition and diagnostic criteria of renal failure in cirrhosis? Dalam *Journal of Hepatology* (Vol. 59, Nomor 3, hlm. 415–417). <https://doi.org/10.1016/j.jhep.2013.05.035>
- Balsara, D. S., & Simpson, J. J. (2020). Making a Synthesis of FDTD and DGTD Schemes for Computational Electromagnetics. *IEEE Journal on Multiscale and Multiphysics Computational Techniques*, 5, 99–118. <https://doi.org/10.1109/JMMCT.2020.3001910>
- Bansal, A., Sekhon, J. S., & Verma, S. S. (2014). Scattering Efficiency and LSPR Tunability of Bimetallic Ag, Au, and Cu Nanoparticles. *Plasmonics*, 9(1), 143–150. <https://doi.org/10.1007/s11468-013-9607-x>
- Barcelos, R. P., Stefanello, S. T., Mauriz, J. L., González-Gallego, J., & Soares, F. A. A. (2016). Send Orders for Reprints to reprints@benthamscience.ae Creatine and the Liver: Metabolism and Possible Interactions. Dalam *Reviews in Medicinal Chemistry* (Vol. 16).
- Baxmann, A. C., Ahmed, M. S., Marques, N. C., Menon, V. B., Pereira, A. B., Kirsztajn, G. M., & Heilberg, I. P. (2008). Influence of muscle mass and physical activity on serum and urinary creatinine and serum cystatin C. *Clinical Journal of the American Society of Nephrology*, 3(2), 348–354. <https://doi.org/10.2215/CJN.02870707>
- Bonilla, D. A., Kreider, R. B., Stout, J. R., Forero, D. A., Kerksick, C. M., Roberts, M. D., & Rawson, E. S. (2021). Metabolic basis of creatine in health and disease: A bioinformatics-assisted review. Dalam *Nutrients* (Vol. 13, Nomor 4). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nu13041238>
- Bousiakou, L. G., Gebavi, H., Mikac, L., Karapetis, S., & Ivanda, M. (2019). Surface enhanced Raman spectroscopy for molecular identification- A review on surface plasmon resonance (SPR) and localised surface plasmon resonance (LSPR) in

- optical nanobiosensing. Dalam *Croatia Chemical Acta* (Vol. 92, Nomor 4, hlm. 479–494). Croatian Chemical Society. <https://doi.org/10.5562/cca3558>
- Burrows, N. D., Harvey, S., Idesis, F. A., & Murphy, C. J. (2017). Understanding the Seed-Mediated Growth of Gold Nanorods through a Fractional Factorial Design of Experiments. *Langmuir*, 33(8), 1891–1907. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.6b03606>
- Cao, J., Sun, T., & Grattan, K. T. V. (2014a). Gold nanorod-based localized surface plasmon resonance biosensors: A review. Dalam *Sensors and Actuators, B: Chemical* (Vol. 195, hlm. 332–351). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2014.01.056>
- Cao, J., Sun, T., & Grattan, K. T. V. (2014b). Gold nanorod-based localized surface plasmon resonance biosensors: A review. Dalam *Sensors and Actuators, B: Chemical* (Vol. 195, hlm. 332–351). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2014.01.056>
- Cottat, M., Thioune, N., Gabudean, A. M., Lidgi-Guigui, N., Focsan, M., Astilean, S., & Lamy de la Chapelle, M. (2013). Localized Surface Plasmon Resonance (LSPR) Biosensor for the Protein Detection. *Plasmonics*, 8(2), 699–704. <https://doi.org/10.1007/s11468-012-9460-3>
- Daher, M. G., Trabelsi, Y., Panda, A., Gevorgyan, A. H., Abohassan, K. M., Smirani, L. K., Altahan, B. R., & Rashed, A. N. Z. (2022). Design of a Highly Sensitive Detector Using a Ternary Photonic Crystal (PC) Based on Titanium Nitride Sandwiched between Si and SiO₂ for the Creatinine Concentration Detection in the Blood Serum. *Optics*, 3(4), 447–461. <https://doi.org/10.3390/opt3040038>
- Da, M. M., Barreto, C., & Lara, D. E. (t.t.). *PREVENTICO-TACKLING CHRONIC KIDNEY DISEASE USING WEARABLE BIOSENSORS: MARKET AND COMMERCIALIZATION*.
- Gaitonde, D. Y., Cook, D. L., Rivera, I. M., & Eisenhower, D. D. (2017). *Chronic kidney disease affects 47 million people in the Chronic Kidney Disease: Detection and Evaluation* (Vol. 96). www.aafp.org/afp.
- Ghader, A., Majles Ara, M. H., Mohajer, S., & Divsalar, A. (2018). Investigation of nonlinear optical behavior of creatinine for measuring its concentration in blood plasma. *Optik*, 158, 231–236. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2017.12.063>
- Hegde, H. R., Chidangil, S., & Sinha, R. K. (2022). Refractive index sensitivity of Au nanostructures in solution and on the substrate. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 33(7), 4011–4024. <https://doi.org/10.1007/s10854-021-07593-9>
- Holland, R., Cable, V. P., & Wilson, L. C. (1991). 28 I zyxwv Finite-Volume Time-Domain (FVTD) Techniques for EM Scattering. Dalam *IEEE TRANSACTIONS ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY* (Vol. 33, Nomor 4).
- Ibrahim, M. S. S., Esmail, M. S. M., Tarek, M., Soliman, A. A., Hameed, M. F. O., & Obayya, S. S. A. (2023). Terahertz photonic crystal fiber for sensing the creatinine level in the blood. *Optical and Quantum Electronics*, 55(9).

- <https://doi.org/10.1007/s11082-023-04966-8>
- Jadhav, R. B., Patil, T., & Tiwari, A. P. (2024). Trends in sensing of creatinine by electrochemical and optical biosensors. Dalam *Applied Surface Science Advances* (Vol. 19). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2023.100567>
- Kalantar-Zadeh, K., Jafar, T. H., Nitsch, D., Neuen, B. L., & Perkovic, V. (2021). Chronic kidney disease. Dalam *The Lancet* (Vol. 398, Nomor 10302, hlm. 786–802). Elsevier B.V. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)00519-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)00519-5)
- Karnwal, A., Kumar Sachan, R. S., Devgon, I., Devgon, J., Pant, G., Panchpuri, M., Ahmad, A., Alshammari, M. B., Hossain, K., & Kumar, G. (2024). Gold Nanoparticles in Nanobiotechnology: From Synthesis to Biosensing Applications. Dalam *ACS Omega* (Vol. 9, Nomor 28, hlm. 29966–29982). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c10352>
- Khalil, A., Abdalrahim, & M., & Professor, A. (2014). *Knowledge, attitudes, and practices towards prevention and early detection of chronic kidney disease*.
- Khan, A. K., Rashid, R., Murtaza, G., & Zahra, A. (2014). Gold nanoparticles: Synthesis and applications in drug delivery. Dalam *Tropical Journal of Pharmaceutical Research* (Vol. 13, Nomor 7, hlm. 1169–1177). University of Benin. <https://doi.org/10.4314/tjpr.v13i7.23>
- Kus-liśkiewicz, M., Fickers, P., & Ben Tahar, I. (2021). Biocompatibility and cytotoxicity of gold nanoparticles: Recent advances in methodologies and regulations. Dalam *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 22, Nomor 20). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ijms222010952>
- Li, S., Sun, H., Lu, X., & Li, X. (2014). Three-dimensional Modeling of Transient Electromagnetic Responses of Water-bearing Structures in Front of a Tunnel Face. *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 19(1), 13–32. <https://doi.org/10.2113/jeeg19.1.13>
- Li, X., Zheng, S., & Wu, G. (2020). Amino acid metabolism in the kidneys: Nutritional and physiological significance. Dalam *Advances in Experimental Medicine and Biology* (Vol. 1265, hlm. 71–95). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-45328-2_5
- Loiseau, A., Asila, V., Boitel-Aullen, G., Lam, M., Salmain, M., & Boujday, S. (2019). Silver-based plasmonic nanoparticles for and their use in biosensing. Dalam *Biosensors* (Vol. 9, Nomor 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/bios9020078>
- Loubani, A., Harid, N., & Griffths, H. (t.t.). *Analysis of UHF sensor response to EM waves excited by surface discharge in air using FDTD simulation 1*.
- Mahmood, H. Z., Jilani, A., Farooq, S., Javed, Y., Jamil, Y., Iqbal, J., Ullah, S., & Wageh, S. (2021). Plasmon-based label-free biosensor using gold nanosphere for dengue detection. *Crystals*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/cryst11111340>
- Mayer, K. M., & Hafner, J. H. (2011). Localized surface plasmon resonance sensors. Dalam *Chemical Reviews* (Vol. 111, Nomor 6, hlm. 3828–3857). <https://doi.org/10.1021/cr100313v>
- Naresh, V., & Lee, N. (2021). A review on biosensors and recent development of

- nanostructured materials-enabled biosensors. Dalam *Sensors (Switzerland)* (Vol. 21, Nomor 4, hlm. 1–35). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s21041109>
- Omar, Z., & Talukder, M. A. (2019). Sensitivity Analysis of Gold Nanorod Biosensors for Single Molecule Detection. *Plasmonics*, 14(6), 1611–1619. <https://doi.org/10.1007/s11468-019-00946-5>
- Patel, S. S., Molnar, M. Z., Tayek, J. A., Ix, J. H., Noori, N., Benner, D., Heymsfield, S., Kopple, J. D., Kovesdy, C. P., & Kalantar-Zadeh, K. (2013). Serum creatinine as a marker of muscle mass in chronic kidney disease: Results of a cross-sectional study and review of literature. Dalam *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle* (Vol. 4, Nomor 1, hlm. 19–29). Wiley Online Library. <https://doi.org/10.1007/s13539-012-0079-1>
- Pellas, V., Hu, D., Mazouzi, Y., Mimoun, Y., Blanchard, J., Guibert, C., Salmain, M., & Boujday, S. (2020). Gold Nanorods for LSPR Biosensing: Synthesis, Coating by Silica, and Bioanalytical Applications. Dalam *Biosensors* (Vol. 10, Nomor 10). MDPI. <https://doi.org/10.3390/BIOS10100146>
- Pereira-Silva, P., Meira, D. I., Costa-Barbosa, A., Costa, D., Rodrigues, M. S., Borges, J., Machado, A. V., Cavaleiro, A., Sampaio, P., & Vaz, F. (2022). Immobilization of Streptavidin on a Plasmonic Au-TiO₂ Thin Film towards an LSPR Biosensing Platform. *Nanomaterials*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/nano12091526>
- Pham, A. T. T., Wallace, A., Zhang, X., Tohl, D., Fu, H., Chuah, C., Reynolds, K. J., Ramsey, C., & Tang, Y. (2021). Optical-based biosensors and their portable healthcare devices for detecting and monitoring biomarkers in body fluids. Dalam *Diagnostics* (Vol. 11, Nomor 7). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/diagnostics11071285>
- Pundir, C. S., Kumar, P., & Jaiwal, R. (2019). Biosensing methods for determination of creatinine: A review. Dalam *Biosensors and Bioelectronics* (Vol. 126, hlm. 707–724). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2018.11.031>
- Samsuri, N. D., Mukhtar, W. M., Abdul Rashid, A. R., Ahmad Dasuki, K., & Awangku Yussuf, A. A. R. H. (2017). Synthesis methods of gold nanoparticles for Localized Surface Plasmon Resonance (LSPR) sensor applications. *EPJ Web of Conferences*, 162. <https://doi.org/10.1051/epjconf/201716201002>
- Sekhon, J. S., & Verma, S. S. (2011). Optimal Dimensions of Gold Nanorod for Plasmonic Nanosensors. *Plasmonics*, 6(1), 163–169. <https://doi.org/10.1007/s11468-010-9182-3>
- Stone, J., Jackson, S., & Wright, D. (2011). Biological applications of gold nanorods. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Nanomedicine and Nanobiotechnology*, 3(1), 100–109. <https://doi.org/10.1002/wnan.120>
- Sun, L., Chen, P., & Lin, L. (2016). Enhanced Molecular Spectroscopy via Localized Surface Plasmon Resonance. Dalam *Applications of Molecular Spectroscopy to Current Research in the Chemical and Biological Sciences*. InTech. <https://doi.org/10.5772/64380>
- Tira, C., Tira, D., Simon, T., & Astilean, S. (2014). Finite-Difference Time-Domain

- (FDTD) design of gold nanoparticle chains with specific surface plasmon resonance. *Journal of Molecular Structure*, 1072(1), 137–143. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2014.04.086>
- Wang, R., Ji, X., Huang, Z., Xue, Y., Wang, D., & Yang, W. (2016). Citrate-Regulated Surface Morphology of SiO₂@Au Particles to Control the Surface Plasmonic Properties. *Journal of Physical Chemistry C*, 120(1), 377–385. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5b10454>
- Webster, A. C., Nagler, E. V., Morton, R. L., & Masson, P. (2017). Chronic Kidney Disease. Dalam *The Lancet* (Vol. 389, Nomor 10075, hlm. 1238–1252). Lancet Publishing Group. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)32064-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)32064-5)
- Wu, W. C., & Tracy, J. B. (2015). Large-scale silica overcoating of gold nanorods with tunable shell thicknesses. *Chemistry of Materials*, 27(8), 2888–2894. <https://doi.org/10.1021/cm504764v>
- Yan, M. T., Chao, C. Ter, & Lin, S. H. (2021). Chronic kidney disease: Strategies to retard progression. Dalam *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 22, Nomor 18). MDPI. <https://doi.org/10.3390/ijms221810084>
- Zapata Herrera, M., Aizpurua, J., Kazansky, A. K., & Borisov, A. G. (2016). Plasmon Response and Electron Dynamics in Charged Metallic Nanoparticles. *Langmuir*, 32(11), 2829–2840. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.6b00112>
- Zeng, Z., Liu, Y., & Wei, J. (2016). Recent advances in surface-enhanced raman spectroscopy (SERS): Finite-difference time-domain (FDTD) method for SERS and sensing applications. Dalam *TrAC - Trends in Analytical Chemistry* (Vol. 75, hlm. 162–173). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2015.06.009>