

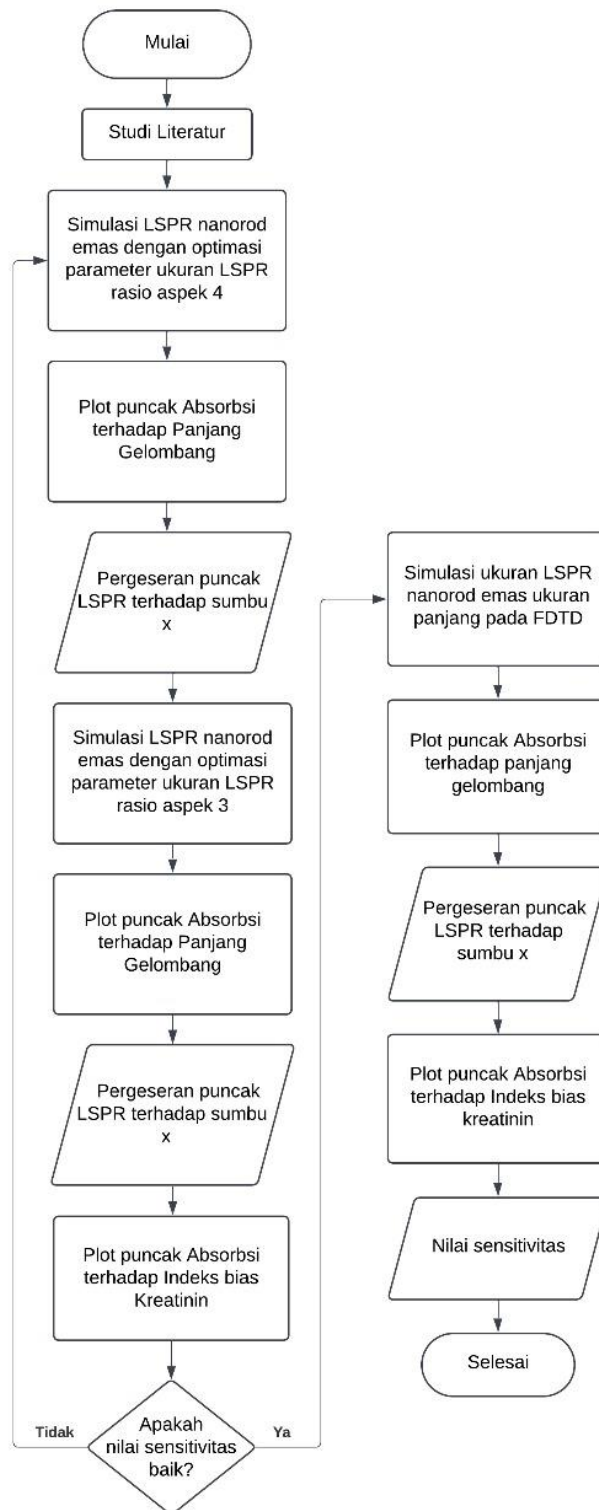
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ilmiah memerlukan metode yang sistematis untuk membimbing peneliti dalam melaksanakan langkah-langkah penelitian dan pengumpulan data. Dengan metode yang tepat, peneliti dapat menghasilkan data yang akurat dan relevan untuk mendukung analisis serta mencapai tujuan penelitian secara efektif dan efisien.

3.1 Alur Penelitian

Pada penelitian ini alur penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1 dengan tahapan pertama yaitu studi literatur untuk mengetahui LSPR dan prinsip kerja dari LSPR. Setelah itu mencari parameter apa yang dapat meningkatkan performa dari LSPR. Kemudian melakukan desain dan mensimulasikannya di indeks bias latar belakang yang berbeda dengan menggunakan FDTD untuk mendapatkan nilai absorpsi, lalu nilai absorpsi diolah untuk mendapatkan nilai sensitivitas dari LSPR. Ketika nilai sensitivitas yang paling optimal di dapatkan, dilanjutkan dengan membandingkan sensitivitas dari LSPR AuNP heksagonal dengan sensitivitas LSPR Au@SiNP heksagonal. Sebelum membandingkan kedua performa LSPR tersebut, ketebalan silikon untuk Au@SiNP dicari yang paling optimal. Setelah didapat ketebalan silikon yang optimal, Au@SiNP dibangun dengan menggunakan inti AuNP heksagonal sebelumnya. Setelah itu performa kedua LSPR tersebut dibandingkan dan didapat LSPR dengan performa yang paling optimal.



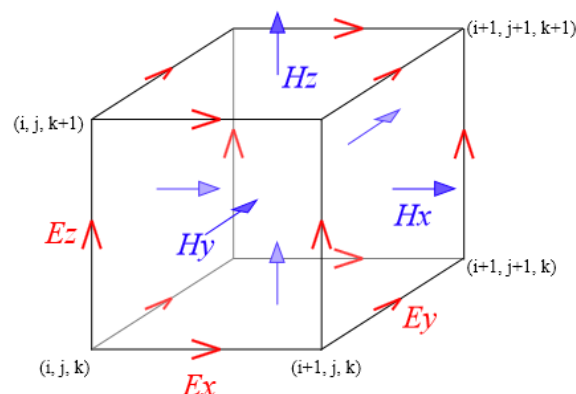
Gambar 3. 1 Diagram alur penelitian.

3.2 Metode *Finite-Difference Time-Domain* (FDTD)

Metode FDTD (*Finite-Difference Time-Domain*) adalah teknik yang sering digunakan untuk mensimulasikan sistem elektromagnetik dan fotonik dengan geometri yang kompleks. Ini adalah alat yang berharga dalam memahami fenomena elektromagnetik dan membantu dalam mengoptimalkan bentuk hamburan partikel logam. Formalisme matematika dan fisika yang mendasari algoritma FDTD dianggap sebagai dasar yang sangat penting dalam bidang ini.

FDTD adalah salah satu metode numerik yang sangat umum digunakan untuk memecahkan persamaan Maxwell dalam situasi di mana kita tidak dapat mendekatinya secara analitis, terutama pada susunan nanopartikel yang kompleks. Untuk memprediksi sifat optik pada medan dekat dan medan jauh dari nanopartikel logam, diperlukan penyelesaian satu set empat persamaan diferensial parsial yang disebut sebagai persamaan Maxwell. Persamaan ini menggambarkan komponen listrik dan magnetik dari gelombang elektromagnetik saat berinteraksi dengan muatan quasi-free yang terdapat dalam nanopartikel logam.

Gustav Mie adalah tokoh yang pertama kali berhasil mengatasi secara analitis persamaan Maxwell untuk mengkaji interaksi cahaya dengan bola logam kecil. Ia mengembangkan metode ini untuk menghitung hamburan dan koefisien absorpsi pada kasus tersebut. Meskipun solusi analitis yang tepat masih dapat ditemukan untuk beberapa nanopartikel yang memiliki simetri tertentu, namun pada umumnya, persamaan Maxwell harus dipecahkan menggunakan metode numerik.



Gambar 3. 2 Representasi Yee Cell (Loubani dkk., t.t.).

Untuk menyelidiki respons plasmonik longitudinal dan transversal dalam rangkaian nanopartikel (NPs), kita mempertimbangkan bahwa gelombang yang diterapkan polarisasinya sejajar atau tegak lurus terhadap sumbu antarpartikel seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3.2. Penelitian ini menggunakan simulasi numerik dengan

menggunakan berbagai ukuran nanopartikel untuk setiap polarisasi ini, dan hasilnya digabungkan untuk membentuk spektrum LSPR yang dapat digambarkan sebagai "tidak terpolarisasi".

Koefisien kepunahan dihitung dengan menggunakan data yang tersedia dari pemantauan daya total dan daya tersebar. Dengan mengakumulasi kontribusi dari semua bidang dalam medan total, kita mendapatkan daya yang diserap oleh struktur (Pabs). Pemantauan kedua memberikan daya tersebar oleh partikel (Pscatt) karena pada batas-batas dari sumber medan berlebar pita (TFSSF), daya yang masuk dari gelombang incident (Iincident) dikurangi. Oleh karena itu, untuk panjang gelombang tertentu (Tira dkk., 2014), kita dapat menghitung koefisien absorpsi, hamburan, dan kepunahan sebagaimana pada persamaan (3.1), (3.2) dan (3.3):

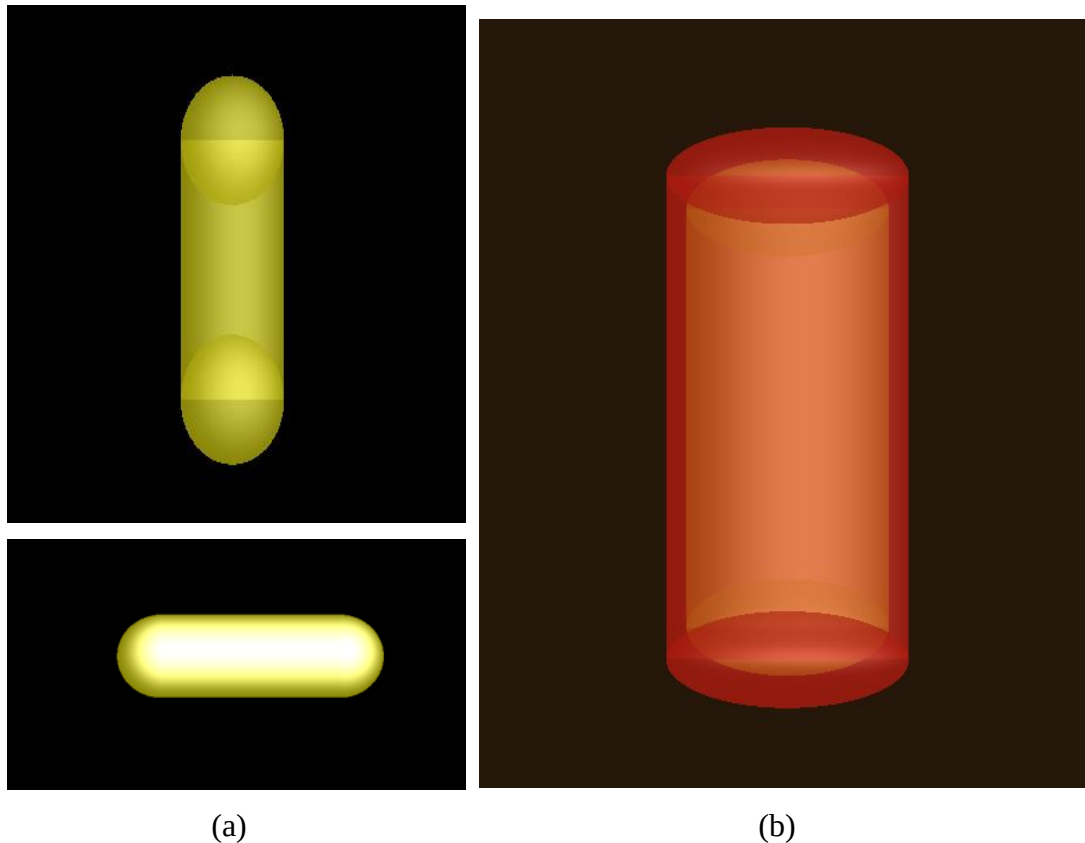
$$C_{abs} = \frac{P_{abs}}{I_{Incident}} \quad (3.1)$$

$$C_{scatt} = \frac{P_{scatt}}{I_{Incident}} \quad (3.2)$$

$$C_{ext} = C_{abs} + C_{scatt} \quad (3.3)$$

3.3 Desain dan Simulasi

Dalam penelitian ini geometri yang akan dibuat untuk LSPR adalah berbentuk nanorods sebagai geometri utama untuk menghasilkan efek *Localized Surface Plasmon Resonance* (LSPR) dengan menggunakan material emas (AuNPs). Penggunaan nanorods diharapkan dapat meningkatkan sensitivitas sensor dengan memaksimalkan interaksi antara partikel emas dan cahaya, sehingga mendukung pengembangan aplikasi sensor berbasis LSPR di bidang medis. Untuk mencapai performa LSPR yang optimal, kita akan memvariasikan parameter ukuran dan aspek rasio. Variasi ukuran dimensi yang mencakup perbandingan panjang dan diameter nanorods, yaitu 40:40, 80:40, 120:40, 160:40, dan 200:40. Kemudian, mencari aspek rasio yang memberikan hasil terbaik. Setelah menentukan aspek rasio terbaik, kemudian kembali memvariasikan ukuran panjang dan diameter dengan nilai aspek rasio yang tetap AR sekitar 3, yaitu 90:30, 120:40, 160:50, 180:60, dan 210:70. Selanjutnya, akan memvariasikan indeks bias, sementara ukuran panjang dan diameter tetap AR sekitar 3, untuk melihat pengaruhnya terhadap efek LSPR.



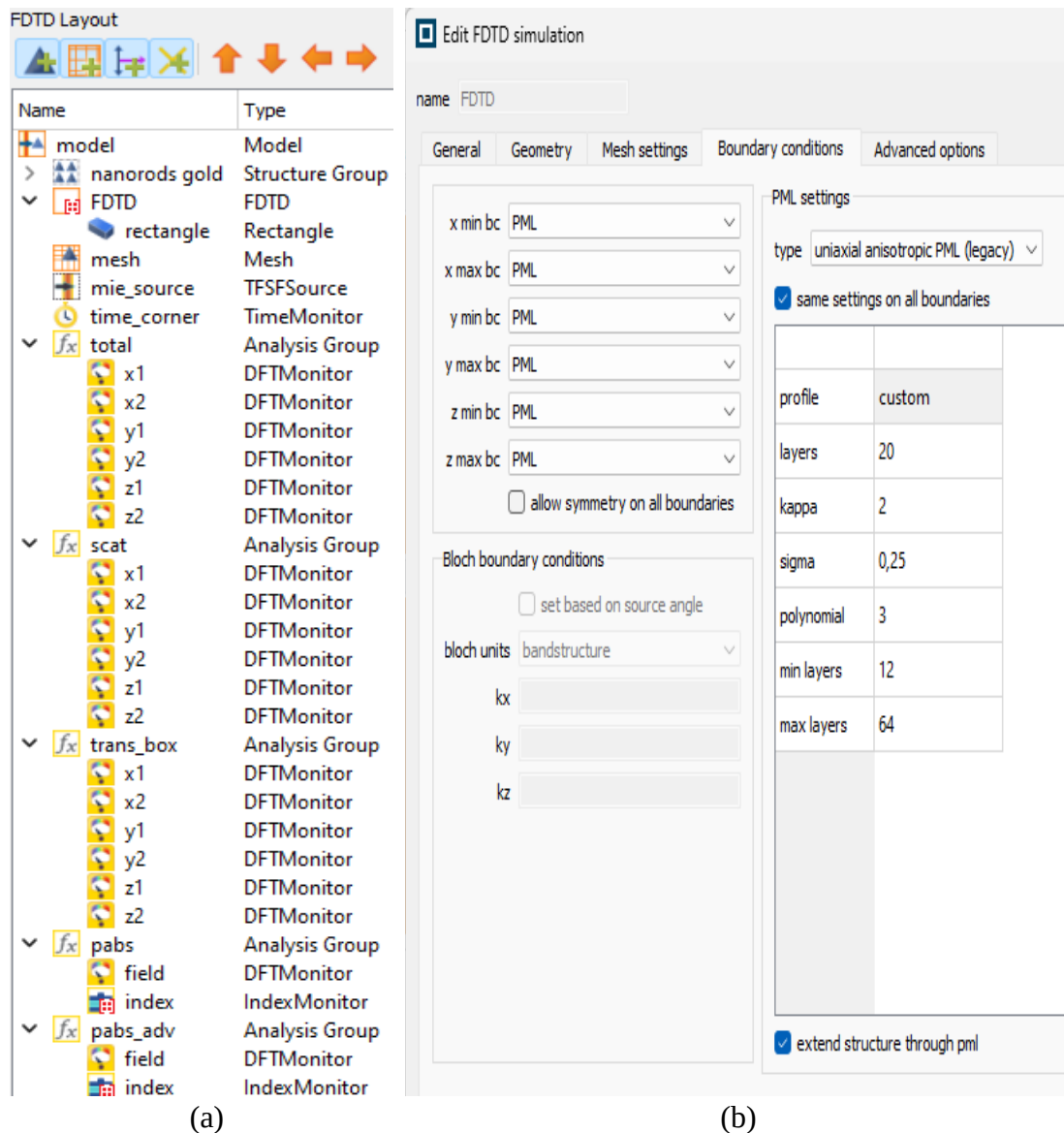
Gambar 3. 3 (a) Desain nanorods nanopartikel emas (AuNP) (b) Inti emas di lapisi dengan cangkang silikon (Au@SiNPs).

Pada Gambar 3.3 (a) menunjukkan desain nanorods dengan menggunakan material emas. (b) menunjukkan inti nanorods emas yang di lapisi dengan cangkang silikon. Memvariasikan l dan h nanopartikel LSPR dapat meningkatkan kemampuan absorpsi cahaya oleh partikel tersebut. Selain itu, pilihan material yang digunakan juga berpengaruh pada tingkat absorpsi. Partikel nanopartikel emas (AuNPs) merupakan pilihan yang tepat untuk meningkatkan sensitivitas dan selektivitas biosensor karena sifatnya yang biokompatibel, karakteristik optik dan elektronik yang bagus, serta proses produksi dan modifikasinya yang relatif mudah (Karnwal dkk., 2024). Dengan menggunakan material emas dan melakukan variasi pada ukuran LSPR, kita dapat mengoptimalkan performa LSPR ini sehingga sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan.

3.4 Rancangan Sistem Simulasi

Simulasi dilakukan menggunakan Lumerical FDTD, dengan struktur nanorod yang dibentuk dari material Au dan ukuran yang disesuaikan berdasarkan variasi yang telah ditentukan, menggunakan mesh 2. Kemudian, ditambahkan FDTD dimana berfungsi untuk menyelesaikan persamaan Maxwell dalam geometri kompleks, sehingga dapat

diperoleh solusi frekuensi. Hasilnya adalah keluaran berupa besaran seperti vektor kompleks Poynting serta transmisi atau pantulan cahaya (*Finite Difference Time Domain*) (FDTD) *Solver Introduction – Ansys Optics, n.d.*). Mesh juga ditambahkan untuk mengatur tingkat akurasi perhitungan simulasi dengan meningkatkan nilai *mesh*. Sebagai sumbernya, ditambahkan *Mie source*, diikuti dengan penambahan *time corner*, serta beberapa monitor untuk merekam data yang dihasilkan dari simulasi. Gambar (a) menunjukkan monitor apa saja yang ditambahkan seperti pada simulasi. Pada Gambar (b) menunjukkan pengaturan FDTD yang digunakan pada simulasi ini. Data disimulasikan pada rentang panjang gelombang 200 – 1200 nm Struktur material Au@Ag mesh diatur menjadi 3. Latar belakang indeks bias di setiap ukuran diubah pada bagian FDTD.



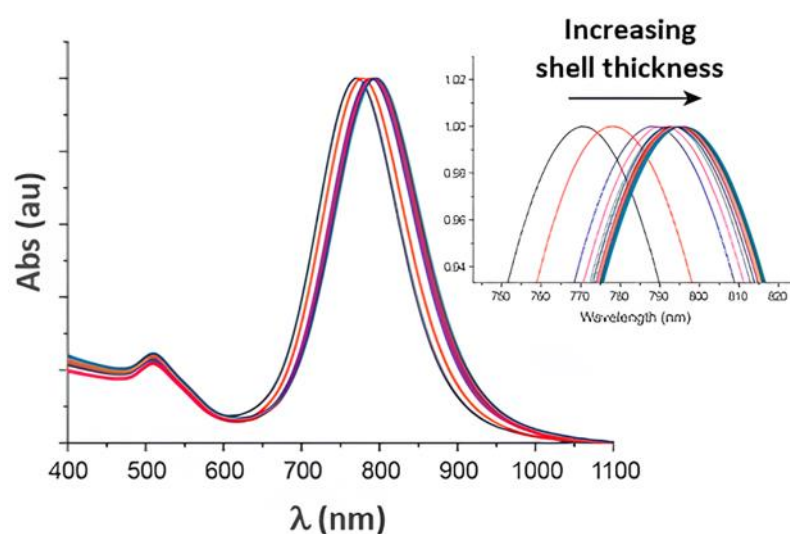
Gambar 3. 4 (a) Monitor pada simulasi Lumerical FDTD (b) Pengaturan pada simulasi Lumerical FDTD.

3.5 Prosedur Pengolahan dan Analisis Data

3.5.1 Metode Analisis Pengaruh Dimensi nanorod Emas terhadap performa optik pada sensor berbasis LSPR untuk deteksi kreatinin

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari hasil rekaman monitor yang ditempatkan di sekitar LSPR AuNP. Monitor ini merekam penyerapan pada AuNP dan menghasilkan output berupa nilai frekuensi (f) dan nilai absorpsi. Untuk mendapatkan panjang gelombang, data frekuensi (f) diubah menjadi panjang gelombang dengan memasukkan persamaan ke dalam skrip di FDTD.

Diperoleh grafik yang menunjukkan hubungan antara panjang gelombang dan absorpsi. Grafik tersebut kemudian dianalisis dengan menghitung pergeseran puncak ($\Delta\lambda$) kurva terhadap sumbu x. Gambar 3.5.1 menunjukkan pergeseran puncak LSPR yang terjadi dalam penelitian yang dilakukan oleh Pellas dan rekan-rekannya. Selisih ($\Delta\lambda$) kurva terhadap sumbu x ini digunakan sebagai parameter awal untuk menentukan performa optimum LSPR. Dari variasi ukuran AuNP nanorod pada indeks bias latar belakang yang berbeda, nilai absorpsi diperoleh melalui proses yang telah dijelaskan sebelumnya. Dengan membuat grafik absorpsi terhadap panjang gelombang, pergeseran puncak ($\Delta\lambda$) kurva terhadap sumbu x dapat diketahui. Nilai $\Delta\lambda$ tertinggi menunjukkan sensitivitas yang tinggi serta performa yang optimal.



Gambar 3. 5 Grafik pergeseran puncak LSPR ($\Delta\lambda$) (Pellas dkk., 2020).

Langkah berikutnya adalah menentukan nilai l yang optimal dengan menjadikan salah satu parameter sebagai konstan. Ketebalan AuNP nanorod

dijadikan konstan dengan menggunakan ukuran yang paling optimal yang diperoleh dari langkah sebelumnya. Proses pengambilan data absorpsi dilakukan dengan cara yang sama seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Untuk menentukan ukuran yang paling optimal, prosesnya juga serupa, yaitu dengan menganalisis pergeseran puncak ($\Delta\lambda$) terhadap sumbu x. Sensitivitas menunjukkan performa LSPR, dan nilai sensitivitas diperoleh dengan membuat grafik pergeseran puncak ($\Delta\lambda$) kurva absorpsi terhadap indeks bias latar belakang. Dari grafik tersebut, kemiringan yang diperoleh menggambarkan nilai sensitivitas dari LSPR AuNP nanorod.

3.5.2 Metode Analisis Pengaruh Aspek rasio nanorod Emas terhadap performa optik pada sensor berbasis LSPR untuk deteksi Kreatinin

Perubahan material dilakukan dengan menambahkan lapisan cangkang silikon pada LSPR AuNP nanorod yang telah dikembangkan sebelumnya. Perbandingan performa LSPR antara AuNP dengan Au@SiNP dilakukan dengan membandingkan sensitivitas kedua material tersebut. Menggunakan inti AuNP dengan ukuran optimal yang diperoleh dari hasil sebelumnya, lapisan silikon ditambahkan dengan ketebalan yang optimal.

Sebelum itu, untuk menghasilkan LSPR Au@SiNP dengan ukuran optimal, dilakukan variasi ketebalan lapisan silikon, variasi ketebal, untuk mengamati pergeseran panjang gelombang ($\Delta\lambda$) pada LSPR Au@SiNP, dilakukan proses sama seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Langkah selanjutnya adalah menghitung sensitivitas dengan metode yang serupa, kemudian membandingkan nilai sensitivitas LSPR AuNP nanorod dengan LSPR Au@SiNP.

3.5.3 Metode Analisis Pengaruh pelapisan struktur partikel nanorod Emas dengan material Silikon terhadap performa optik pada sensor berbasis LSPR untuk deteksi kreatinin

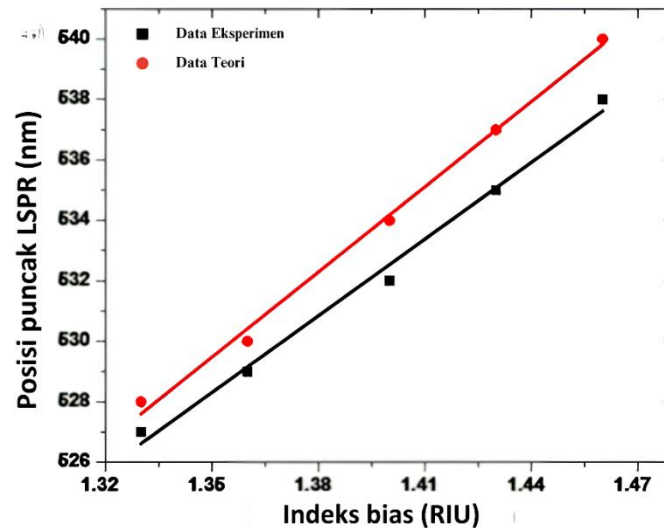
Performa LSPR dapat dinilai melalui tingkat sensitivitasnya, semakin besar nilai sensitivitas, semakin optimal pula performa dari LSPR. Sensitivitas ini ditentukan dengan mengukur pergeseran posisi puncak (λ) LSPR terhadap setiap satuan perubahan indeks bias (RIU) (Hegde dkk., 2022). Dengan mengamati pergeseran posisi puncak ($\Delta\lambda$) LSPR pada berbagai nilai indeks bias latar belakang, kita dapat menentukan nilai sensitivitas LSPR. Sensitivitas LSPR diperoleh dari perubahan posisi puncak LSPR per satuan perubahan indeks bias:

$$S = \frac{\lambda_{LSPR}}{n} \quad (2.33)$$

Dengan persamaan kemiringan:

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (2.34)$$

Yang mana mengukur perubahan dalam y per unit perubahan dalam x. Maka dengan membuat grafik λ puncak LSPR terhadap perubahan indeks bias maka didapatkan nilai sensitivitas dari kemiringan kurvanya.



Gambar 3. 6 Grafik puncak LSPR untuk menentukan nilai sensitivitas LSPR ($\Delta\lambda$) (Mahmood dkk., 2021).

Untuk mendapatkan nilai sensitivitas LSPR dapat dilakukan dengan mengukur kemiringan grafik λ puncak LSPR terhadap Indeks bias. $\Delta\lambda$ LSPR didapatkan dengan cara memvariasikan latar belakang indeks bias menggunakan rentang indeks bias yang telah diperoleh dari indeks bias di setiap konsentrasi sampel darah.