



# PIDATO PENGUKUHAN GURU BESAR



**Prof. Dr. Lufsyi Mahmudin, S.Si., M.Si.**

**NANOMATERIAL DALAM  
PENGEMBANGAN BIOSENSOR  
SURFACE PLASMON RESONANCE (SPR)**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS TADULAKO**



**NANOMATERIAL DALAM PENGEMBANGAN BIOSENSOR  
SURFACE PLASMON RESONANCE (SPR)**



**Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar  
dalam Ranting Ilmu Nanomaterial  
pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

**Disampaikan dalam Sidang Terbuka Senat Akademik  
Universitas Tadulako  
Tanggal 02 Desember 2024**

**Oleh:  
Prof. Dr. Lufsyi Mahmudin, S.Si., M.Si.**

**UNIVERSITAS TADULAKO  
PALU  
2024**

**Bismillahirrahmanirrahim.**

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh, Selamat Pagi dan Salam Sejahtera bagi kita semua.

Yang terhormat,

- ❖ Ketua dan Segenap Anggota Senat Universitas Tadulako
- ❖ Ketua dan Segenap Anggota Dewan Guru Besar Universitas Tadulako
- ❖ Rektor dan Para Wakil Rektor Universitas Tadulako
- ❖ Para Dekan, Direktur Pascasarjana, Kepala Lembaga, Kepala Biro, di lingkungan Universitas Tadulako
- ❖ Ketua dan Segenap Anggota Senat FMIPA Universitas Tadulako
- ❖ Para Wakil Dekan, Ketua/Sekretaris Jurusan, Koordinator Program Studi dan Kepala Laboratorium di lingkungan FMIPA Universitas Tadulako
- ❖ Segenap sivitas akademika dan staf kependidikan FMIPA Universitas Tadulako
- ❖ Segenap tamu undangan, sanak keluarga, handai taulan dan hadirin yang berbahagia.

Alhamdulillahirobbil'alamin. Marilah kita panjatkan puji dan syukur kehadiran Allah Subhanahuwata'ala yang telah melimpahkan karunia kesehatan dan kesempatan kepada kita semua sehingga pada siang ini kita dapat berkumpul di Aula baru Fakultas Kedokteran untuk menghadiri acara pengukuhan ini. Pada pidato pengukuhan saya sebagai Guru Besar dalam ranting ilmu nanomaterial pada Fakultas MIPA, izinkan saya memilih judul "**Nanomaterial dan Perkembangannya dalam Biosensor Surface Plasmon Resonance (SPR)**". Topik yang saya angkat tersebut didasarkan atas penelitian dalam bidang Fisika Material fungsional di Laboratorium Fisika Material dan Instrumentasi Program Studi Fisika FMIPA UNTAD yang kami tekuni selama hampir satu dasawarsa ini.

***Rektor, Ketua Senat dan hadirin yang saya hormati,***

Nanomaterial merupakan material yang menarik karena memiliki sifat yang berbeda dengan benda makroskopik (makromaterial) meskipun komposisi kimianya sama, sehingga nanomaterial banyak dimanfaatkan dalam teknologi untuk berbagai aplikasi. Karena aplikasinya yang luas di hampir semua bidang, maka nanomaterial berdiri unik dan bagi banyak peneliti menjadi area penelitian prioritas utama. Teknologi nanomaterial meningkat dengan pertumbuhan eksponensial di banyak bidang dan diprediksi memiliki perkembangan masa depan yang kuat. Transformasi gaya hidup yang signifikan telah dicapai dengan kemajuan penelitian dan aplikasi dari nanomaterial. Nanomaterial juga memiliki peran yang besar dalam mendukung tercapainya tujuan pembangunan berkelanjutan, yang merupakan suatu rencana aksi global dan terdiri dari tujuh belas program untuk

digalakkan sebagai bagian dari agenda atau visi dalam mencapai pembangunan yang berkelanjutan di tahun 2030. Banyak pihak dan institusi dari segala bidang berkontribusi untuk mewujudkan program SDGs tersebut, dalam rangka membuat keadaan bumi dan makhluk hidup menjadi lebih baik lagi. Dari tujuh belas program, ada beberapa di antaranya yang dapat diwujudkan dan didukung dengan adanya nanoteknologi, utamanya melalui nanomaterial.

**Rektor, Ketua Senat dan hadirin yang saya hormati,**

Dalam dua dekade terakhir, aktivitas riset dan pengembangan sistem biosensor berkembang dengan pesat dan mengarah pada penggunaannya dalam kehidupan sehari-hari, seperti dalam kedokteran dan pemantauan lingkungan. Biosensor adalah suatu devais atau perangkat analitik yang memanfaatkan molekul-molekul makhluk hidup dan/atau meniru cara kerjanya. Fungsi utama biosensor adalah untuk memantau dan memberikan informasi tentang proses biologis, seperti interaksi biomolekuler (protein-protein, protein-ligan dan lain lain). Hal ini membuat penelitian tentang biosensor sangat diperlukan dalam upaya untuk lebih memahami mekanisme biologis fundamental. Biosensor dapat pula digunakan untuk mengukur konsentrasi zat dalam campuran untuk mengetahui peningkatan atau penurunan tingkat biomolekul tertentu (*biomarker*), sehingga biosensor akan dapat mengkarakterisasi banyak penyakit yang memanifestasikan peranan penting biosensor dalam diagnosa medis (Homola dan Piliarik, 2006). Aplikasi lain biosensor misalnya untuk menjamin keamanan makanan, untuk mendeteksi analit biologi dan kimia, untuk mengkarakterisasi antibodi (Yakes *dkk.*, 2011) dan mendeteksi kerusakan pada DNA (Labuda *dkk.*, 2009).

Secara umum, biosensor terdiri atas dua komponen, yaitu biomolekul yang merupakan elemen pengenalan sangat spesifik dan transduser yang mengubah kejadian pengenalan molekul menjadi sinyal yang terukur. Transduksi sinyal dapat dilakukan dengan elektroda, serat optik, elektrokimia, *quartz crystal microbalance* (QCM), absorpsi optik, fluoresensi, *surface plasmon resonance* (SPR) dan beberapa transduser lainnya. Dalam biosensor, biomolekul (ligan) seperti enzim, antibodi, oligonukleotida, mikroorganisme, peptida, sel akan diimobilisasi pada substrat padat dan digunakan untuk mendeteksi keberadaan analit, seperti substrat enzimatik, antigen, oligonukleotida dan sebagainya (Yamamichi *dkk.*, 2011). Kebutuhan biosensor sebagai perangkat analitik yang mampu merespon secara selektif terhadap sampel analit semakin meningkat dan salah satu jenis biosensor yang sedang berkembang selama beberapa dekade terakhir adalah biosensor optik. Transduser optik memiliki karakteristik yang bervariasi seperti absorpsi sinar yang sederhana, flourosensi, luminisensi biologi/kimia, pemantulan dan indeks bias. Biosensor optik memiliki kecepatan respon, sensitivitas dan selektivitas, serta

penampakan yang menarik termasuk kesesuaian miniatur komponen yang sederhana. Biosensor optik dapat memberikan alternatif yang kuat dan biaya yang rendah serta pengoperasiannya yang mudah untuk analisis konvensional, karena kemampuan penginderaan jauh dan pengenalan multi analit.

**Rektor, Ketua Senat dan hadirin yang saya hormati,**

Salah satu jenis sensor optik yang memanfaatkan gelombang *surface plasmon polariton* (SPP) adalah biosensor berbasis *surface plasmon resonance* (SPR). Pemanfaatan SPR sebagai biosensor menunjukkan hasil yang sangat menjanjikan terutama untuk mempelajari interaksi biomolekuler dalam bidang keilmuan biologi molekuler. Karena teknik SPR adalah suatu teknik deteksi yang sangat cepat, *non-destructive*, dan sangat sensitiv maka penggunaannya sebagai sensor sangatlah potensial terutama untuk mempelajari interaksi biomolekuler diantaranya untuk mengukur konsentrasi biomolekul, ketebalan, dan data ikatan kinetik untuk *analyte* biologi tertentu seperti *antigen/antibody*, *ligand/receptor*, reaksi protein, dan hibridisasi DNA (Choi *dkk.*, 2011).

Diantara *platform* instrumen SPR sebagai *biosensor* yang tersedia, metode yang sering digunakan adalah variasi sudut gelombang datang dimana reflektansi gelombang diamati sebagai fungsi sudut datang. Sementara itu material aktif pembangkit SPP dipilih logam emas maupun perak dan material uji yang dipakai adalah material dielektrik berbasis biomolekuler yang terdiri dari elemen-elemen *biorecognition* dan *analyte*. Pendekatan tersebut dikenal telah menghasilkan fenomena yang sangat sensitiv dan secara khusus instrumentasinya juga telah tersedia secara komersial dengan resolusi sudut sebesar  $0,001^\circ$  (Jablan *dkk.*, 2011). Namun demikian prosedur yang sudah ada tersebut masih memiliki kelemahan yaitu adanya kesulitan untuk mendeteksi secara langsung biomolekul khususnya molekul-molekul yang berukuran kecil dengan perubahan indeks bias yang singkat dan tak spesifik (Xinglong *dkk.*, 2005). Untuk mengatasi hal tersebut maka beberapa metode deteksi SPR biosensor telah dikembangkan diantaranya adalah metode penguatan sinyal SPR menggunakan penambahan nanopartikel koloid emas pada molekul target (He *dkk.*, 2000).

Selain metode tersebut di atas beberapa peneliti juga fokus pada modifikasi lapisan logam dengan ligan yang tertempel untuk menaikkan akumulasi selektiv molekul target. Namun demikian terdapat beberapa kesulitan yang ditemukan yaitu optimasi immobilisasi ligan untuk efisiensi pengukuran biosensor SPR. Pengembangan lebih lanjut adalah penambahan lapisan reaktif atau modifikasi permukaan sensor yang mensyaratkan ketergantungan pada objek dan jenis target yang akan diuji. Berdasarkan pengembangan penelitian tersebut, maka dapat digunakan suatu material baru sebagai bahan aktif biosensors SPR

untuk mendeteksi molekul target tanpa prosedur imobilisasi *ligan* yaitu menggunakan nanopartikel perak.

**Rektor, Ketua Senat dan hadirin yang saya hormati,**

Seiring dengan perkembangan teknologi, kebutuhan akan sensor yang memiliki efektifitas dan sensitivitas tinggi ternyata belum sepenuhnya diperoleh dari model sensor berbasis SPR konvensional. Lompatan besar terjadi ketika sistem rekayasa material telah mampu dilakukan sedemikian rupa sehingga dapat dihasilkan sistem dengan ukuran yang sangat kecil dalam orde nanometer sehingga menjadikan material ini (nanopartikel) memiliki sifat yang sangat berbeda secara fisis baik sifat elektronik maupun sifat optik. Respon terhadap penelitian materi berskala nano, membawa gagasan mengenai salah satu metode yang diyakini dapat digunakan untuk mengembangkan sensor berbasis SPR, yaitu dengan penambahan struktur dalam skala nano yang dirancang sedemikian rupa sehingga dapat menjalankan fungsi optik tertentu (Wahbeh, 2011). Berdasarkan fenomena penambahan nanopartikel yang mampu merekayasa parameter deteksi SPR, maka ide peningkatan kinerja SPR dengan penambahan nanopartikel kemudian dikemukakan dalam penelitian ini dan nanopartikel dipilih dari golongan logam mulia terutama untuk mendeteksi interaksi molekul dalam konsentrasi rendah (Agata *dkk.*, 2010).

Dalam analisis biosensor SPR konvensional, kinerja biosensor ditentukan oleh SPP yang tereksitasi pada lapisan tipis logam dan merambat sepanjang permukaan. Namun, penambahan struktur nanopartikel logam memungkinkan terjadinya kopling yang kuat antara cahaya datang dengan osilasi plasma elektron dalam struktur nanologam (Berglind *dkk.*, 2010). Mekanisme tersebut akan memperkuat sinyal karena kemampuannya merambatkan gelombang secara serempak.

Penelitian tentang penambahan nanopartikel logam di atas lapisan tipis telah dilakukan oleh Singh *dkk.* (2009). Singh *dkk.* melaporkan bahwa keberadaan nanopartikel logam dapat menggeser kurva ATR sebesar  $1,037^\circ$  dibandingkan dengan SPR konvensional yang hanya menggeser kurva ATR sebesar  $0,716^\circ$  dalam eksperimen deteksi BSA (bovine serum albumin). Wu dan Wang (2009) juga mengembangkan teknik peningkatan sensitivitas sensing biomolekul menggunakan nanopartikel yang tertanam dalam matriks  $\text{SiO}_2$  (Wu dan Wang, 2009). Selain hal tersebut, nanopartikel dipilih karena kemampuan mengikat bahan sangat tinggi mengingat luasan permukaan yang berinteraksi dengan bahan sangat luas jika dibandingkan dengan fase *bulk*-nya. Dengan kemampuan absorpsi bahan yang sangat tinggi, maka mobilitas analit juga dapat ditekan, sehingga akurasi dan sensitivitas biosensor dapat ditingkatkan.

Penambahan struktur nanopartikel logam pula yang menarik minat kami untuk turut berkontribusi pada pengembangan biosensor SPR. Obyek yang menjadi kajian kami hanyalah satu di antara ribuan atau bahkan jutaan atau milyaran obyek kajian. Kami bersama tim kami baru berhasil mengembangkan nanopartikel perak dengan memperhatikan sifat opriknya (Mahmudin dkk, 2015), pengaruh penstabil dan temperatus sintesisnya (Mahmudin dkk, 2016), pengaruh variasi konsentrasi zat pereduksinya (Mahmudin dkk, 2019), pengaruh zat penstabilnya (Mahmudin dkk, 2021) dan terakhir bagaimana pengembangan biosensor SPR berbasis Nanopartikel perak ini diaplikasikan dalam mendeteksi bakteri (Mahmudin dkk, 2024).

**Rektor, Ketua Senat dan hadirin yang saya hormati,**

Pemilihan nanopartikel perak sebagai material aktif biosensor SPR dikarenakan beberapa keunggulan yang dimilikinya ketika digunakan untuk deteksi dan pemisahan sejumlah kecil biomolekuler yaitu memiliki dispersibilitas yang bagus, proses pengikatan yang cepat dan efektif, dan memiliki daya tarik yang reversibel dan terkontrol. Nanopartikel perak merupakan material yang paling penting dalam plasmonik. Material ini menawarkan banyak keuntungan dibandingkan logam lainnya seperti Au, Cu, Li, dan Al yang dikenal untuk menunjang *surface plasmon* pada daerah cahaya tampak (UV-Vis) dan inframerah dekat (NIR) (Le Ru dkk., 2008). Dalam plasmonik, penting untuk memilih logam yang tepat untuk menunjang *surface plasmon* kuat pada panjang gelombang resonansi yang diinginkan (Lal dkk., 2007). Nanopartikel perak dapat menunjang *surface plasmon* di seluruh spektrum dari 300 nm sampai 1200 nm. Kemampuan nanopartikel logam untuk menunjang *surface plasmon* bergantung pada fungsi dielektrik  $\epsilon$ , yang meliputi bagian real ( $\epsilon_r$ ) dan bagian imajiner ( $\epsilon_i$ ), yang keduanya bervariasi dengan panjang gelombang eksitasi ( $\lambda$ ). Fungsi dielektrik material mencerminkan interaksi yang unik antara elektron dan cahaya.

Sebagai penutup dalam pidato ini dapat kami simpulkan bahwa penambahan nanomaterial dalam hal ini nanopartikel perak dapat menambah sensitivitas biosensor SPR. Hasil pengamatan fenomena SPR memperlihatkan terjadinya pergeseran sudut SPR ketika lapisan tipis perak sebagai bahan aktif sensor dilapisi dengan nanopartikel perak. Penambahan lapisan nanopartikel perak pada bahan aktif sensor juga mempertajam nilai reflektansi. Pergeseran sudut SPR dan penajaman nilai reflektansi disebabkan oleh perubahan konstanta gelombang *surface plasmon*, yang menjadi suatu acuan bahwa fenomena SPR dengan modifikasi permukaan sensing menggunakan lapisan tambahan nanopartikel perak dapat menambah sensitivitasnya.

**Rektor, Ketua Senat dan hadirin yang saya hormati,**

Mengakhiri pidato ini, izinkan saya menyampaikan terima kasih dan penghargaan kepada institusi, guru-guru, kolega, teman-teman,

dan keluarga yang saya cintai dan banggakan yang telah banyak membantu di sepanjang perjalanan karier akademik saya. Pertama-tama, saya berterima kasih kepada Pemerintah Republik Indonesia melalui Menteri Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Republik Indonesia atas amanah jabatan fungsional Guru Besar dalam rumpun ilmu nanomaterial yang diberikan kepada saya. Terima kasih yang sangat besar saya sampaikan kepada Prof. Dr. Ir. Amar, S.T, M.T. IPU. Asean Eng., selaku Rektor Universitas Tadulako dan Bapak/ibu Wakil Rektor yang selalu memberikan kemudahan-kemudahan dalam urusan Fakultas MIPA serta telah banyak membantu dalam proses pengusulan Guru Besar saya. Terima kasih atas kerjasamanya yang sangat baik kepada Bapak-Bapak Dekan, Direktur Pasca, Kepala Lembaga di lingkungan UNTAD, Ibu Kabiro Keuangan dan Umum dan rekan-rekan lain di Kepegawaian UNTAD, saya mengucapkan terima kasih atas dukungan dan bantuan selama proses kenaikan jabatan saya ini.

Apresiasi yang tulus kami sampaikan kepada Prof. Dr. H. Djayani Nurdin, S.E., M.Si dan Muhammad Iqbal ST. MT selaku Ketua dan Sekretaris Senat Universitas Tadulako serta seluruh anggota Senat Universitas Tadulako. Ungkapan yang sama juga kepada Prof. Dr. Ir. Fathurrahman, MP, dan Prof. Dr. Rosmala Nur selaku Ketua dan Sekretaris Dewan Guru Besar juga sebagai Ketua dan Sekretaris Komite Integritas Akademik Universitas Tadulako serta seluruh anggota Dewan Guru Besar dan Komite Integritas Akademik Universitas Tadulako.

Saya juga mengucapkan penghargaan dan terima kasih yang setulusnya kepada para Wakil Dekan, Ketua/Sekretaris dan para anggota Senat fakultas, para Ketua/Sekretaris Jurusan, Koordinator Program Studi dan Kepala Laboratorium dalam lingkungan Fakultas MIPA beserta kepada rekan-rekan dosen seluruh Fakultas MIPA yang tidak saya sebutkan satu persatu telah tanpa henti berdoa dan berikhtiar yang luar biasa sehingga fakultas ini unggul dalam berbagai bidang. Penghargaan dan terima kasih yang sama saya sampaikan kepada Kabag Umum beserta rekan-rekan Tenaga Kependidikan Fakultas MIPA, terutama urusan kepegawaian yang telah banyak membantu dalam proses kenaikan jabatan saya ini.

Terima kasih yang sangat besar saya sampaikan kepada Prof. Ir. Darmawati Darwis, S.Si., M.Si., Ph.D., sebagai kolega dan sebagai Dekan FMIPA 2019 – 2023 atas segala dorongan dan motivasinya dalam meningkatkan karir sampai ke jenjang profesor. Terima kasih yang sama kami sampaikan kepada Para dekan sebelumnya, Prof. Dr. M. Rusydi H., MSi. dan Drs. Abdullah MT.

Terima kasih yang tak berhingga kami sampaikan kepada guru peneliti dan kolega saya, Prof. Edi Suharyadi bersama ES-Clubnya atas segala dukungannya dalam mempersiapkan persyaratan pengajuan Guru Besar saya. Kepada keluarga Besar ES-Club di Laboratorium Fisika Material dan Elektronik, Departemen Fisika FMIPA UGM,

teristimewa mbak Emy, terima kasih atas suportnya. Terima kasih kepada para kolega peneliti yang terus menerus berdiskusi memimpikan inovasi-inovasi baru dalam penelitian.

Saya bersyukur menjadi bagian dari Universitas Gadjah Mada dalam pendidikan saya mulai S1 sampai dengan S3, sehingga dapat belajar dan berkembang bersama dosen-dosen saya di departemen Fisika FMIPA UGM. Kepada pembimbing S1 saya, Prof. Dr. Muslim (alm) dan Dra. Zahara Muslim, M.Sc., Pembimbing S2 saya Prof. Dr. Kamsul Abraha (alm) dan Prof. Agung Bambang Setio Utomo serta Pembimbing S3 saya Prof. Dr. Kamsul Abraha (alm), Prof. Agung Bambang Setio Utomo serta Prof. Edi Suharyadi. Kepada Prof. Kuwat Triyana, terima kasih atas diskusinya semenjak saya mahasiswa S2 sampai saat ini.

Tidak ada ungkapan terima kasih yang cukup untuk guru-guru saya di SD Negeri Talaga, Kecamatan Dampelas, Kabupaten Donggala, SMP Negeri Sabang dan SMA Negeri 2 Palu. Sebagian besar di antara mereka telah kembali ke haribaan-Nya, tetapi inspirasi, penyemangat dan fondasi pengetahuan yang mereka berikan tidak akan pernah saya lupakan.

Saya juga menyampaikan kebanggan dan rasa terima kasih yang setulusnya kepada para rekan sejawat di Program Studi Fisika. Terima kasih atas kebersamaannya dan dukungannya selama ini. Kepada para mahasiswa Program Studi Fisika sebagai generasi penerus dan sumber inspirasi, terutama kepada bimbingan saya selama ini. Terima kasih kepada Rafiqah Wulandari, bapak doakan semoga selalu sukses.

Doa istimewa saya panjatkan kepada Allah Subhanahuwata'ala untuk Bapak/Ibu mertua, yakni Bapak Abdin P. Maila (alm) dan Ibu Zenab Bahetam (almh) yang pada saat hidupnya tiada henti-hentinya mendoakan dan memberikan kami semangat. Kami sekeluarga juga berterima kasih atas dukungan Adik Ipar kami, Bapak Irvan dan ibu Siti Ramlah.

Saya sangat beruntung dilahirkan di sebuah keluarga yang sangat sederhana. Almarhum Papa dan Mama saya adalah guru kami yang pertama. Almarhum Papa Mahmudin Lahasang mengajari semua anak-anaknya untuk hidup jujur, kedisiplinan, penghargaan terhadap waktu, rasa ingin tahu, dan fokus. Mama saya Mukina Parutu mengajari kami kasih sayang, keteguhan hati, optimisme, dan pantang menyerah. Dengan susah payah dan seadanya, Papa dan Mama sudah berhasil menyekolahkan kami, memberi dasar penghidupan, dan menikahkan saya dan adik-adik saya: Asdir Mahmudin & Nurasiah, Lutfiah Mahmudin, Amar Sakti & Suriani, Hidayat & Fadliah. Kepada Papa dan Mama saya persembahkan seluruh karya-karya saya ini.

Saya merasa diberkati oleh Allah Subhanahuwata'ala telah dipertemukan dengan istri saya Syamsiar Maila. Dia adalah pendidik terbaik dalam keluarga kecil kami, tiang rumah tangga kami, dan

pendukung utama karier saya. Terima kasih selama ini telah mendampingi dalam suka dan duka, dengan penuh pengertian, pengorbanan dan dorongan selama hampir 20 tahun bersama. Kasih sayangnya tidak berhenti menyejukkan rumah tangga kami, beserta putra-putri kami: Nursyamsa Salsabila Lufsyi, Habiburrahman Lufsyi, serta Ibaddhiyaulhaq Lufsyi. Sumber inspirasi, ayah doakan semoga apa yang menjadi cita cita kalian akan tercapai.

Ucapan terima kasih dan penghargaan kepada semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, atas dukungan moril dan materil serta kerjasama yang baik selama ini sehingga saya dapat mengemban jabatan Guru Besar. Sungguh suatu kehormatan bagi saya dan keluarga atas penghargaan ini. Saya sangat menyadari bahwa penganugrahan ini hanya bi idznillah semata. Mudah mudahan penghargaan ini bisa memicu saya untuk berkarya lebih baik lagi di masa mendatang. Akhirnya saya mengucapkan terima kasih kepada hadirin sekalian atas perhatian dan pasrtisipasinya selama mengikuti acara ini, mohon maaf atas segala kekurangan saya.

***Rektor, Ketua Senat dan hadirin yang saya hormati,***

Sebelum saya akhiri, mari kita luangkan waktu dan tundukkan kepala sejenak untuk mengenang kembali guru guru kita masing-masing dan mendoakan mereka semoga ilmu yang telah mereka ajarkan kepada kita menjadi amal jariyah bagi mereka.

**Wabillahi taufiq walhidayah. Wassalamu'alaikum warohmatullohi wabarokatuh.**

## DAFTAR PUSTAKA

- Agata, R. D., Corradini, R., Ferretti, C., Zanolì, L., Gatti, M., Marchelli, R., dan Spoto, G. (2010). Ultrasensitive detection of non-amplified genomic DNA by nanoparticle-enhanced surface plasmon resonance imaging. *Biosensors and Bioelectronics*, 25(9), 2095–2100.
- Berglind, E., Thylen, L., dan Liu, L. (2010). Plasmonic/metallic passive waveguides and waveguide components for photonic dense integrated circuits: a feasibility study based on microwave engineering. *Optoelectronics, IET*, 4(1), 1-16.
- Choi, S. H., Kim, Y. L., dan Byun, K. M. (2011). Graphene-on-silver substrates for sensitive surface plasmon resonance imaging biosensors. *Optics express*, 19(2), 458-466.
- He, L., Musick, M. D., Nicewarner, S. R., Salinas, F. G., Benkovic, S. J., Natan, M. J., dan Keating, C. D. (2000). Colloidal Au-enhanced surface plasmon resonance for ultrasensitive detection of DNA hybridization. *Journal of the American Chemical Society*, 122(38), 9071-9077.
- Homola, J., dan Piliarik, M. (2006). Surface plasmon resonance (SPR) sensors. In *Surface plasmon resonance based sensors* (pp. 45-67). Springer Berlin Heidelberg.
- Jablan, M., Buljan, H., dan Soljačić, M. (2009). Plasmonics in graphene at infrared frequencies. *Phys. Rev. B*, 80(24), 245435.
- Labuda, J., Ovádeková, R., dan Galandová, J. (2009). DNA-based biosensor for the detection of strong damage to DNA by the quinazoline derivative as a potential anticancer agent. *Microchimica Acta*, 164(3-4), 371-377.
- Lal, S., Link, S., dan Halas, N. J. (2007). Nano-optics from sensing to waveguiding. *Nature photonics*, 1(11), 641-648.
- Le Ru, E., dan Etchegoin, P. (2008). *Principles of Surface-Enhanced Raman Spectroscopy: and related plasmonic effects*. Elsevier.
- Mahmudin, L., Darwis, D., Suharyadi, E., Utomo, A. B. S., & Abraha, K. (2021). The effect of the concentration of the stabilizer in the formation of a silver nanoparticle on the phenomenon of Surface Plasmon Resonance (SPR) as an active material for biosensor. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1763, No. 1, p. 012064). IOP Publishing.
- Mahmudin, L., Suharyadi, E., Utomo, A. B. S., dan Abraha, K. (2015). Optical Properties of Silver Nanoparticles for Surface Plasmon Resonance (SPR)-Based Biosensor Applications. *Journal of Modern Physics*, 6(08), 1071.

- Mahmudin, L., Suharyadi, E., Utomo, A. B. S., dan Abraha, K. (2016). Influence of stabilizing agent and synthesis temperature on the optical properties of silver nanoparticles as active materials in surface plasmon resonance (SPR) biosensor. In *The 3rd International Conference on Advanced Materials Science and Technology (ICAMST 2015)* (Vol. 1725, No. 1, p. 020041). AIP Publishing.
- Mahmudin, L., Ulum, M. S., Farhamsa, D., Suharyadi, E., Utomo, A. B. S., & Abraha, K. (2019, June). The effect of variation of reducing agent concentration on optical properties of silver nanoparticles as active materials in surface plasmon resonance (SPR) biosensor. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1242, No. 1, p. 012027). IOP Publishing.
- Mahmudin, L., Wulandani, R., Riswan, M., Sari, E. K., Jayanti, P. D., Ulum, M. S., ... & Suharyadi, E. (2024). Silver nanoparticles-based localized surface plasmon resonance biosensor for *Escherichia coli* detection. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 311, 123985.
- Singh, N. K., Alqudami, A., Annapoorni, S., Sharma, V., dan Muralidhar, K. (2009). Enhanced bio-molecular sensing capability of LSPR, SPR-ATR coupled technique. *American Institute of Physics ICTOPON CP*, 1147.
- Wahbeh, M. (2011). Discrete-Dipole-Approximation (DDA) Study of The Plasmon Resonance In Single And Coupled Spherical Silver Nanoparticles In Various Configurations, *Thesis*, Concordia University.
- Wu, B., dan Wang, Q. K. (2009). Investigation of highly sensitive surface plasmon resonance biosensors with Au nanoparticles embedded dielectric film using rigorous coupled wave analysis. *Optica Applicata*, 39(1), 31..
- Xinglong, Y., Dingxin, W., Xing, W., Xiang, D., Wei, L., dan Xinsheng, Z. (2005). A surface plasmon resonance imaging interferometry for protein micro-array detection. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 108(1), 765-771.
- Yakes, B. J., DeGrasse, S. L., Poli, M., dan Deeds, J. R. (2011). Antibody characterization and immunoassays for palytoxin using an SPR biosensor. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 400(9), 2865-2869.
- Yamamichi, J., Ojima, T., Yurugi, K., dan Iida, M. (2011). Single-step , label-free quantification of antibody in human serum for clinical applications based on localized surface plasmon resonance. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, 1-7. Elsevier Inc.