

PENGEMBANGAN SISTEM PENGEMASAN CERDAS BERBASIS NANOSENSOR: KUALITAS PANGAN DAN OBAT-OBATAN

Amanda Cahyani¹, Nabila Syifa Firdaus², Nor Latifah³

Universitas Muhammadiyah Banjarmasin, Indonesia

Email¹²³: amandacahyani21@gmail.com , nabilasf@gmail.com , nor_latifah@umbjm.ac.id

Informasi	Abstract
Volume : 2 Nomor : 6 Bulan : Juni Tahun : 2025 E-ISSN : 3062-9624	<i>Nanosensor-based smart packaging is a leading innovation in ensuring the quality and safety of food and drug products. This technology combines nanomaterials with advanced sensory systems to monitor the condition of products in real-time throughout the supply chain. The system allows for early detection of changes in temperature, humidity, pH, decay gases, and microorganisms, and provides accurate information on product quality. The nanosensors used have advantages in high sensitivity, selectivity, and stability. Despite facing technical challenges such as integration into packaging materials and production sustainability, the development of synthesis methods and fabrication technologies continues to overcome these constraints. The implementation of this smart packaging system has proven to be effective in extending shelf life, improving safety, and reducing product waste. Thus, nanosensors in smart packaging promise sustainable future solutions for the food and pharmaceutical industries.</i> Keywords : Smart packaging, nanosensors, nanotechnology, food quality, drug safety

Abstrak

Pengemasan cerdas berbasis nanosensor merupakan inovasi terdepan dalam menjamin kualitas dan keamanan produk pangan serta obat-obatan. Teknologi ini menggabungkan nanomaterial dengan sistem sensorik canggih untuk memantau kondisi produk secara real-time sepanjang rantai pasok. Sistem ini memungkinkan deteksi dini terhadap perubahan suhu, kelembaban, pH, gas pembusukan, dan mikroorganisme, serta memberikan informasi akurat mengenai kualitas produk. Nanosensor yang digunakan memiliki keunggulan dalam sensitivitas, selektivitas, dan stabilitas tinggi. Meskipun menghadapi tantangan teknis seperti integrasi ke dalam bahan kemasan dan keberlanjutan produksi, pengembangan metode sintesis dan teknologi fabrikasi terus dilakukan untuk mengatasi kendala tersebut. Penerapan sistem pengemasan cerdas ini terbukti efektif dalam memperpanjang umur simpan, meningkatkan keamanan, serta mengurangi limbah produk. Dengan demikian, nanosensor dalam pengemasan cerdas menjanjikan solusi masa depan yang berkelanjutan bagi industri pangan dan farmasi.

Kata Kunci : Pengemasan cerdas, nanosensor, nanoteknologi, kualitas pangan, keamanan obat

A. PENDAHULUAN

Konvergensi nanoteknologi dan teknologi sensor telah memunculkan paradigma baru dalam pemantauan kualitas dan keamanan produk pangan dan farmasi, yang dikenal sebagai sistem pengemasan cerdas berbasis nanosens. Sistem ini menjanjikan kemampuan untuk mengatasi tantangan signifikan yang dihadapi oleh industri makanan dan farmasi, termasuk meningkatnya kekhawatiran tentang kontaminasi, permintaan akan produk berkualitas tinggi, dan kebutuhan untuk meminimalkan dampak lingkungan (Albu et al., 2025). Kemasan cerdas, sebagai teknologi yang berkembang pesat, menawarkan lebih dari sekadar fungsi wadah pelindung; mereka berfungsi sebagai media komunikasi langsung dengan konsumen, memberikan informasi real-time tentang kondisi produk selama penyimpanan dan pengangkutan (Amalia et al., 2021). Pentingnya keamanan pangan semakin meningkat di kalangan konsumen dan dalam industri makanan yang kompetitif (Pal et al., 2021). Sistem pengemasan cerdas memainkan peran penting dalam memantau dan melaporkan kualitas makanan melalui indikator dan sensor (Hribar et al., 2018).

Sistem pengemasan cerdas berbasis nanosensor mewakili perpaduan antara kemajuan ilmu material, teknik sensor, dan bioteknologi, yang memungkinkan pengembangan solusi inovatif untuk pemantauan kualitas produk yang akurat, real-time, dan non-destruktif. Sistem pengemasan cerdas telah muncul sebagai pendekatan inovatif untuk meningkatkan fungsi kemasan tradisional dengan memasukkan kemampuan pemantauan berkelanjutan terhadap kualitas makanan di seluruh rantai pasokan, yang berpotensi mengurangi penyakit bawaan makanan dan pemborosan makanan (Doderio et al., 2021). Sistem pengemasan cerdas dapat menjembatani kesenjangan ini karena mereka mampu memantau dan menampilkan status kualitas dari titik pembuatan hingga pelanggan (Muller & Schmid, 2019). Nanosensor, sebagai komponen inti dari sistem ini, menawarkan sensitivitas, selektivitas, dan stabilitas yang tak tertandingi, memungkinkan deteksi dan kuantifikasi berbagai analit dengan presisi tinggi (Manoj et al., 2021). Penerapan nanomaterial fungsional sebagai alat katalitik, platform imobilisasi, atau label optik atau elektroaktif telah terbukti meningkatkan kinerja bio-sensing, yang bermanifestasi dalam peningkatan sensitivitas, stabilitas, dan selektivitas. Nanomaterial seperti tabung nano karbon, nanopartikel logam, nanowire, nanokomposit, dan material nanostruktur semakin berperan dalam desain sistem penginderaan dan bio-sensing dengan minat untuk aplikasi dalam analisis makanan.

Sistem pengemasan cerdas menggunakan biosensor dan sensor gas, bersama dengan indikator mikroba, kesegaran, dan waktu-suhu, sedangkan sistem pengemasan aktif

menggunakan penyerap kelembaban, bau, dan gas, bersama dengan agen antioksidan dan antimikroba untuk menjaga kualitas makanan nabati dan memperpanjang umur simpannya (Panou et al., 2025). Dalam industri farmasi, nanosensor dapat digunakan untuk memantau stabilitas obat, mendeteksi pemalsuan, dan memverifikasi integritas kemasan, sehingga memastikan bahwa pasien menerima obat yang aman dan efektif (Jafarzadeh et al., 2024). Konsep HACCP mengintegrasikan prinsip-prinsip mikrobiologi makanan, pengendalian kualitas, dan penilaian risiko untuk mencapai tingkat keamanan tertinggi, yang memerlukan penilaian pengendalian kualitas bahan mentah, sistem pemrosesan, lingkungan, personel, dan sistem penyimpanan dan distribusi (Fauzi & Rahayu, 2022). Untuk memenuhi persyaratan peraturan dan memenuhi harapan pelanggan, industri makanan telah menerapkan strategi pengendalian kualitas yang ketat, yang mencakup analisis bahaya dan titik kendali kritis dan berbagai metode pengujian analitis.

Pengembangan sistem pengemasan cerdas berbasis nanosensor memerlukan pemahaman mendalam tentang prinsip-prinsip yang mendasari nanoteknologi, teknik sensor, dan ilmu material. Nanomaterial menawarkan sifat unik seperti luas permukaan yang tinggi, efek kuantum, dan konduktivitas listrik yang sangat baik, yang menjadikannya ideal untuk aplikasi penginderaan. Penggunaan nanomaterial untuk konstruksi sistem immuno-sensing telah terbukti menjadi pilihan yang efisien dan efektif untuk mewujudkan penginderaan selektif terhadap pestisida/herbisida (Kumar et al., 2020). Biosensor, yang menggabungkan elemen pengenalan biologis dengan transduser, memberikan cara yang sangat selektif dan sensitif untuk mendeteksi analit tertentu.

Saat diperkecil ke skala nano, sebagian besar material menunjukkan sifat baru yang tidak dapat diekstrapolasi dari perilaku massalnya. Dalam beberapa tahun terakhir, berbagai metode deteksi spesifik telah dikembangkan, misalnya, menggunakan agen biologis seperti enzim atau antibodi, yang dikenal karena spesifisitasnya yang tinggi. Namun, senyawa ini memiliki kelemahan tertentu, seperti stabilitas rendah dan biaya tinggi (Limthin et al., 2021).

B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kualitatif dengan pendekatan studi pustaka (library research). Nanosensor dan nanobiosensor dibuat dengan menggunakan berbagai reseptor biologis dan material nanostruktur melalui perancangan sistem terintegrasi (Manoj et al., 2021). Perkembangan nanosensor dan nanobiosensor menawarkan sensitivitas, stabilitas, dan selektivitas yang ditingkatkan dalam penginderaan dan analisis.

Metode penelitian yang digunakan dalam pengembangan sistem pengemasan cerdas berbasis nanosensor sangat bergantung pada sifat spesifik dari aplikasi yang dituju dan tujuan penelitian.

Secara umum, penelitian ini melibatkan kombinasi pendekatan eksperimen, pemodelan, dan simulasi untuk merancang, membuat, dan menguji kinerja nanosensor dan sistem pengemasan cerdas. Diskusi mendalam tentang metode yang digunakan untuk mensintesis dan mengarakterisasi nanomaterial, memfungsikan permukaan sensor, dan mengintegrasikan sensor ke dalam bahan pengemasan sangat penting. Investigasi dan validasi dilakukan melalui pengujian yang dipercepat dan studi umur simpan waktu nyata untuk memastikan stabilitas jangka panjang dan kinerja sistem pengemasan cerdas. Penting untuk menyoroti metode analitis yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem pengemasan cerdas dalam hal sensitivitas, selektivitas, waktu respons, dan akurasi. Selain itu, penelitian harus mencakup analisis statistik dan optimasi untuk memvalidasi hasil eksperimen dan memastikan keandalan dan robustnya sistem pengemasan cerdas.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Prinsip kerja dan peran nanosensor dalam sistem pengemasan cerdas untuk memantau kualitas dan keamanan produk pangan serta obat-obatan

Nanosensor adalah perangkat berukuran nano yang dirancang untuk mendeteksi dan mengukur kuantitas fisik, kimia, atau biologis dan mengubah informasi itu menjadi sinyal yang dapat dianalisis dan diinterpretasikan. Nanosensor memiliki beberapa keunggulan dibandingkan sensor tradisional, termasuk ukuran kecil, sensitivitas tinggi, waktu respons cepat, dan kemampuan untuk mengukur beberapa parameter secara bersamaan (Wang & Duncan, 2016). Dalam konteks sistem pengemasan cerdas, nanosensor dapat diintegrasikan ke dalam bahan pengemasan untuk memantau berbagai indikator kualitas dan keamanan produk pangan dan obat-obatan, seperti suhu, kelembaban, pH, keberadaan mikroorganisme patogen, dan konsentrasi gas tertentu.

Nanosensor mengubah kuantitas fisik, kimia, atau biologis menjadi sinyal yang dapat diukur (Manoj et al., 2021). Dalam konteks pengemasan cerdas, nanosensor dapat dimasukkan ke dalam bahan pengemasan untuk memantau secara waktu nyata berbagai indikator yang terkait dengan kualitas dan keamanan produk pangan dan obat-obatan.

Transduser ini dapat berupa perangkat elektronik, optik, atau mekanis yang menghasilkan sinyal yang proporsional dengan konsentrasi analit.

Nanosensor dapat diklasifikasikan menjadi berbagai jenis berdasarkan mekanisme penginderaan dan material yang digunakan. Nanosensor kimia dirancang untuk mendeteksi dan mengukur konsentrasi bahan kimia tertentu, seperti gas, ion, atau molekul organik. Nanosensor ini menggunakan berbagai prinsip penginderaan, termasuk perubahan konduktivitas listrik, fungsi kerja, atau sifat optik material penginderaan saat terpapar analit target. Nanosensor optik bergantung pada interaksi antara cahaya dan material nano untuk mendeteksi dan mengukur perubahan dalam lingkungan sekitar. Nanomaterial, seperti nanotube karbon, nanopartikel logam, nanowire, nanokomposit, dan material nanostruktur, memainkan peran yang semakin meningkat dalam perancangan sistem penginderaan dan bio-sensing dengan minat untuk aplikasi dalam analisis makanan . Prinsip kerja nanosensor meliputi:

1. Perubahan sifat listrik: Beberapa nanosensor didasarkan pada perubahan sifat listrik dari material penginderaan saat terpapar analit target.
2. Perubahan optik: Nanosensor optik menggunakan interaksi antara cahaya dan nanomaterial untuk mendeteksi dan mengukur perubahan dalam lingkungan sekitar .
3. Perubahan massa: Nanosensor yang didasarkan pada perubahan massa menggunakan resonansi mekanis nanomaterial untuk mendeteksi dan mengukur perubahan massa karena adsorpsi analit target .

Jenis-jenis nanosensor yang digunakan dalam sistem pengemasan cerdas untuk kualitas pangan dan obat-obatan:

1. Sensor suhu

Sensor suhu digunakan untuk memantau suhu produk pangan dan obat-obatan selama penyimpanan dan transportasi.

2. Sensor gas

Sensor gas dapat mendeteksi keberadaan gas tertentu, seperti etilen, amonia, dan karbon dioksida, yang dapat mengindikasikan pembusukan atau kerusakan produk pangan .

3. Sensor pH

Sensor pH digunakan untuk memantau keasaman atau alkalinitas produk pangan dan obat-obatan.

Macam-macam tantangan teknis dan ilmiah yang dihadapi dalam pengembangan sistem pengemasan cerdas berbasis nanosensor, serta bagaimana solusi yang ditawarkan untuk mengatasinya

Pengembangan sistem pengemasan cerdas berbasis nanosensor menghadirkan beberapa tantangan teknis dan ilmiah yang harus diatasi untuk memastikan keberhasilan dan efektivitasnya. Salah satu tantangan utama adalah sintesis dan karakterisasi nanomaterial dengan sifat-sifat yang tepat untuk aplikasi penginderaan. Nanomaterial harus memiliki sensitivitas tinggi, selektivitas, dan stabilitas untuk mendeteksi dan mengukur analit target secara akurat dan andal. Tantangan lain adalah integrasi nanosensor ke dalam bahan pengemasan tanpa memengaruhi integritas struktural dan fungsionalnya. Nanosensor harus dilindungi dari faktor lingkungan, seperti kelembaban, suhu, dan radiasi UV, yang dapat menurunkan kinerjanya.

Selain itu, respons sensor harus spesifik untuk analit target dan tidak terpengaruh oleh adanya zat lain dalam matriks sampel. Terakhir, keberlanjutan dan skalabilitas produksi nanosensor dan sistem pengemasan cerdas merupakan pertimbangan penting untuk komersialisasi yang luas. Beberapa solusi yang ditawarkan untuk mengatasi tantangan ini meliputi:

1. Pengembangan metode sintesis baru untuk menghasilkan nanomaterial dengan sifat-sifat yang terkontrol.
2. Penggunaan teknik enkapsulasi dan fungsionalisasi permukaan untuk meningkatkan stabilitas dan selektivitas nanosensor.
3. Integrasi nanosensor ke dalam bahan pengemasan menggunakan teknik pencetakan dan pelapisan canggih.
4. Pengembangan algoritma dan model perangkat lunak untuk mengoreksi pergeseran dasar dan meningkatkan akurasi pembacaan sensor.
5. Penerapan pendekatan manufaktur yang berkelanjutan dan hemat biaya untuk produksi nanosensor dan sistem pengemasan cerdas.

Selain itu, teknologi pembuatan kemasan pintar merupakan teknologi baru yang berkembang dan memiliki berbagai fungsi, antara lain sebagai media komunikasi secara langsung terhadap konsumen sehingga dapat digunakan untuk memonitor kondisi produk dengan memberikan informasi kualitas produk selama penyimpanan dan pengangkutan (Amalia et al., 2021). Penerapan kemasan pintar dapat dilakukan salah satunya dengan cara membuat label indikator, dan bertujuan untuk digunakan sebagai indikator visual untuk mendeteksi kerusakan pangan.

Pengembangan sistem pengemasan cerdas berbasis nanosensor menjanjikan untuk meningkatkan kualitas dan keamanan produk pangan dan obat-obatan. Sistem ini memungkinkan pemantauan indikator kualitas dan keamanan secara waktu nyata, memungkinkan identifikasi dini potensi masalah dan tindakan korektif. Ke depan, kemasan cerdas diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pengurangan limbah makanan, peningkatan keamanan pangan, dan peningkatan kepuasan konsumen (Jafarzadeh et al.). Untuk mengatasi masalah ini, nanoteknologi muncul untuk meningkatkan kualitas dan keamanan produk akhir (Pateiro et al., 2021). Komponen nano juga telah menunjukkan sifat antimikroba dan membatasi aktivitas pertumbuhan mikroba patogen dan pembusuk (Kumar et al., 2021). Nanosensor menawarkan metode yang menjanjikan untuk pemantauan kualitas dan keamanan produk pangan dan farmasi. Sifat nanopartikel perak berdampak positif terhadap kinerja material ini yang berkaitan dengan peranannya untuk dapat digunakan dalam berbagai bidang kehidupan (Rahayu et al., 2021). Perkembangan aplikasi nanoteknologi dan nanosains pada material berukuran kecil atau nanopartikel telah menjadi sorotan utama, karena nanopartikel memiliki sifat katalis yang baik.

Efektivitas sistem pengemasan cerdas berbasis nanosensor dalam meningkatkan keamanan dan umur simpan produk dibandingkan dengan metode pengemasan konvensional

Sistem pengemasan cerdas berbasis nanosensor menawarkan beberapa keunggulan dibandingkan metode pengemasan konvensional dalam hal meningkatkan keamanan dan umur simpan produk. Pertama, nanosensor dapat memantau berbagai indikator kualitas dan keamanan secara waktu nyata, seperti suhu, kelembaban, pH, keberadaan gas tertentu, dan pertumbuhan mikroba. Informasi ini dapat digunakan untuk mendeteksi potensi masalah sejak dini dan mengambil tindakan korektif, seperti membuang produk yang rusak atau menyesuaikan kondisi penyimpanan. Kedua, nanosensor dapat memberikan informasi yang

lebih akurat dan andal daripada metode pengujian tradisional, seperti inspeksi visual atau pengujian laboratorium. Hal ini karena nanosensor dapat mendeteksi perubahan kecil dalam komposisi atau kondisi produk yang mungkin tidak terlihat oleh mata telanjang atau terdeteksi oleh metode lain. Ketiga, sistem pengemasan cerdas dapat berkomunikasi dengan konsumen dan pemangku kepentingan lainnya, memberikan informasi tentang kualitas dan keamanan produk. Informasi ini dapat digunakan untuk membangun kepercayaan konsumen dan mengurangi limbah makanan.

Nanoteknologi memiliki aplikasi yang luas di berbagai bidang, termasuk pertanian, kedokteran, dan pengolahan makanan (Mohana et al., 2020). Di bidang pertanian, nanoteknologi digunakan untuk perbaikan tanah, pemantauan tanaman, dan pengiriman nutrisi yang ditargetkan (Ali et al., 2021). Dalam kedokteran, nanoteknologi digunakan untuk pengiriman obat yang ditargetkan, pencitraan diagnostik, dan terapi gen. Dalam pengolahan makanan, nanoteknologi digunakan untuk meningkatkan keamanan pangan, meningkatkan umur simpan, dan meningkatkan kualitas nutrisi (Elizabeth et al., 2022). Nanopartikel dapat digunakan sebagai pembawa pestisida, yang melepaskan bahan aktif secara bertahap untuk mengurangi konsumsi keseluruhan. Nanomaterial tertentu bersifat biokompatibel dan tidak berdampak negatif pada kesehatan manusia, sekaligus meningkatkan umur simpan makanan.

Berbagai aplikasi nanoteknologi telah muncul di sektor pertanian pangan, seperti nanosensor, perangkat pelacak, pengiriman komponen yang ditargetkan, keamanan pangan, dan pengemasan cerdas. Nanomaterial, seperti tabung nano karbon, nanopartikel logam, nanowires, nanokomposit, dan material nanostruktur, memainkan peran yang semakin meningkat dalam desain sistem penginderaan dan bio penginderaan dengan minat untuk aplikasi dalam analisis makanan.

D. KESIMPULAN

Pengembangan sistem pengemasan cerdas berbasis nanosensor memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan kualitas dan keamanan produk pangan dan obat-obatan. Inovasi ini menggabungkan kemajuan dalam bidang nanoteknologi, sensor, dan ilmu material untuk menciptakan solusi pemantauan kondisi produk secara real-time dan non-destruktif sepanjang rantai pasok. Nanosensor memungkinkan deteksi presisi tinggi terhadap parameter penting seperti suhu, pH, kelembaban, gas pembusukan, serta kontaminan biologis dan kimia. Keunggulan utama nanosensor terletak pada sensitivitas, selektivitas, ukuran yang

sangat kecil, dan kemampuan respons cepat terhadap perubahan lingkungan, menjadikannya jauh lebih unggul dibandingkan metode pengemasan konvensional.

Meskipun menghadapi tantangan teknis seperti sintesis nanomaterial dengan sifat ideal, integrasi ke dalam bahan kemasan, serta isu keberlanjutan produksi, berbagai pendekatan telah berhasil dikembangkan untuk mengatasi hambatan tersebut. Pendekatan tersebut meliputi penggunaan metode sintesis nanomaterial yang lebih presisi, teknik fungsionalisasi dan enkapsulasi untuk meningkatkan stabilitas sensor, serta integrasi sistem sensor melalui teknologi pencetakan canggih.

Secara keseluruhan, sistem pengemasan cerdas ini tidak hanya mampu memperpanjang umur simpan dan menjaga stabilitas produk, tetapi juga berperan penting dalam pengurangan limbah pangan dan obat akibat kerusakan yang tidak terdeteksi. Selain itu, keberadaan indikator visual dan komunikasi informasi langsung kepada konsumen turut memperkuat kepercayaan terhadap kualitas produk. Dengan terus berkembangnya teknologi nanomaterial dan sensor, sistem pengemasan cerdas berbasis nanosensor diharapkan menjadi solusi masa depan yang efisien, berkelanjutan, dan dapat diandalkan dalam menjawab kebutuhan industri pangan dan farmasi yang semakin kompleks.

E. DAFTAR PUSTAKA

- Albu, C., Chira, A., Radu, G. L., & Eremia, S. A. V. (2025). Advances in Cost-Effective Chemosensors for Sustainable Monitoring in Food Safety and Processing. *Chemosensors*, 13(3), 113. <https://doi.org/10.3390/chemosensors13030113>
- Amalia, B., Mailisa, T., Karima, R., & Herman, S. (2021). KARAKTERISASI LABEL KOLORIMETRIK DARI KARAGENAN/NANOFIBER SELULOSA DAN EKSTRAK UBI UNGU UNTUK INDIKATOR KERUSAKAN PANGAN. *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 43(2), 66. <https://doi.org/10.24817/jkk.v43i2.7133>
- Dodero, A., Escher, A., Bertucci, S., Castellano, M., & Lova, P. (2021). Intelligent Packaging for Real-Time Monitoring of Food-Quality: Current and Future Developments. *Applied Sciences*, 11(8), 3532. <https://doi.org/10.3390/app11083532>
- Fauzi, L. F., & Rahayu, W. M. (2022). Evaluasi Proses Produksi Kecap Manis Berdasarkan Analisis Bahaya dan Analisis CPPB pada Pabrik Kecap X. *Jurnal Teknologi Pangan Dan Hasil Pertanian*, 17(2), 17. <https://doi.org/10.26623/jtphp.v17i2.4939>
- Hribar, J., Požrl, T., & Vidrih, R. (2018). Novel technologies in fruit and vegetable processing. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 10(1), 112. <https://doi.org/10.17508/cjfst.2018.10.1.14>
- Jafarzadeh, S., Yıldız, Z., Yıldız, P., Strachowski, P., Forough, M., Esmaeili, Y., Naebe, M., & Abdollahi, M. (2024). Advanced technologies in biodegradable packaging using intelligent sensing to fight food waste. *International Journal of Biological Macromolecules*, 261, 129647. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129647>

- Kumar, V., Vaid, K., Bansal, S. A., & Kim, K. (2020). Nanomaterial-based immunosensors for ultrasensitive detection of pesticides/herbicides: Current status and perspectives [Review of Nanomaterial-based immunosensors for ultrasensitive detection of pesticides/herbicides: Current status and perspectives]. *Biosensors and Bioelectronics*, 165, 112382. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2020.112382>
- Kuswandi, B., Futra, D., & Heng, L. Y. (2017). Nanosensors for the Detection of Food Contaminants. In Elsevier eBooks (p. 307). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811942-6.00015-7>
- Limthin, D., Leepheng, P., Klamchuen, A., & Phromyothin, D. (2021). Enhancement of Electrochemical Detection of Gluten with Surface Modification Based on Molecularly Imprinted Polymers Combined with Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles. *Polymers*, 14(1), 91. <https://doi.org/10.3390/polym14010091>
- Manoj, D., Shanmugasundaram, S., & Anandharamakrishnan, C. (2021). Nanosensing and nanobiosensing: Concepts, methods, and applications for quality evaluation of liquid foods. *Food Control*, 126, 108017. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108017>
- Muller, P. A., & Schmid, M. (2019). Intelligent Packaging in the Food Sector: A Brief Overview [Review of Intelligent Packaging in the Food Sector: A Brief Overview]. *Foods*, 8(1), 16. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/foods8010016>
- Pal, M., Bulcha, M. R., Banu, M. G., & Lema, A. G. (2021). Emerging Role of Biosensors for Detection of Foodborne Pathogens. *American Journal of Microbiological Research*, 9(3), 92. <https://doi.org/10.12691/ajmr-9-3-4>
- Panou, A., Lazaridis, D. G., & Karabagias, I. K. (2025). Application of Smart Packaging on the Preservation of Different Types of Perishable Fruits. *Foods*, 14(11), 1878. <https://doi.org/10.3390/foods14111878>
- Pateiro, M., Gómez, B., Munekata, P. E. S., Barba, F. J., Putnik, P., Kovačević, D. B., & Lorenzo, J. M. (2021). Nanoencapsulation of Promising Bioactive Compounds to Improve Their Absorption, Stability, Functionality and the Appearance of the Final Food Products [Review of Nanoencapsulation of Promising Bioactive Compounds to Improve Their Absorption, Stability, Functionality and the Appearance of the Final Food Products]. *Molecules*, 26(6), 1547. Multidisciplinary Digital Publishing Institute. <https://doi.org/10.3390/molecules26061547>
- Wang, Y., & Duncan, T. V. (2016). Nanoscale sensors for assuring the safety of food products [Review of Nanoscale sensors for assuring the safety of food products]. *Current Opinion in Biotechnology*, 44, 74. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.10.005>
- Manoj, D., Shanmugasundaram, S., & Anandharamakrishnan, C. (2021). Nanosensing and nanobiosensing: Concepts, methods, and applications for quality evaluation of liquid foods. *Food Control*, 126, 108017. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108017>
- Wang, Y., & Duncan, T. V. (2016). Nanoscale sensors for assuring the safety of food products [Review of Nanoscale sensors for assuring the safety of food products]. *Current Opinion in Biotechnology*, 44, 74. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.10.005>