

ILHAM AHMAD
ANDI RIDWAN MAKKULAWU
NURLAELI FATTAH



NANOTEKNOLOGI dan APLIKASINYA DALAM PRODUKSI PERTANIAN DAN PANGAN



NANOTEKNOLOGI dan APLIKASINYA DALAM PRODUKSI PERTANIAN DAN PANGAN

Nanoteknologi adalah ilmu dan rekayasa dalam menciptakan material, struktur fungsional, maupun piranti alam skala nanometer. Material berukuran nanometer memiliki sejumlah sifat kimia dan fisika yang lebih unggul dari material berukuran besar (bulk). Disamping itu material dengan ukuran nanometer memiliki sifat yang kaya karena menghasilkan sifat yang tidak dimiliki oleh material ukuran besar. Sejumlah sifat tersebut dapat diubah-ubah dengan melalui pengontrolan ukuran material, pengaturan komposisi kimiawi, modifikasi permukaan, dan pengontrolan interaksi antar partikel. Material nanopartikel adalah material-material buatan manusia yang berskala nano yaitu lebih kecil dari 100 nm, termasuk di dalamnya adalah nanodot atau quantum dot, nanowire dan carbon nanotube.

Nanoteknologi merupakan sebuah teknologi pada material berskala nanometer (nm) yakni berkisar antara 1-100 nm. Kata nano diambil dari bahasa Yunani yaitu "nanos" yang berarti kecil (Fauza, et.al.,2021). Dalam skala nanometer, sebuah material akan memperlihatkan sifat-sifat fisika, biologi, maupun kimia yang berbeda jika dibandingkan dengan material yang berukuran bulk. Dalam hal ini, rekayasa nanomaterial berperan penting pada aplikasi nanoteknologi yang dapat menghasilkan nanomaterial berperforma kerja lebih sensitif dibandingkan dengan material yang berukuran bulk karena reaktivitas nanomaterialnya semakin tinggi disebabkan oleh luas permukaan spesifiknya semakin besar.

Sistem pertanian yang efektif dan berkelanjutan sangat dibutuhkan untuk menghadapi bencana kelaparan di dunia di masa yang akan datang. Perkembangan populasi penduduk dunia yang sangat pesat, perubahan iklim, pencemaran lingkungan dan terus naiknya permintaan akan energi dan air telah mendorong peningkatan produksi pangan dunia serta perbaikan sistem distribusinya. Sistem yang ada pada saat ini banyak mengandalkan pupuk konvensional, pestisida, air dan energi yang sangat besar, tetapi tidak sebanding hasil pertanian yang didapatkan. Oleh karena itu, diperlukan sistem pertanian baru yang dapat menghasilkan capaian produksi pangan yang jauh lebih besar dari sistem pertanian konvensional. Berdasarkan pantauan hasil riset pada saat ini, nanoteknologi merupakan sistem yang menjanjikan dalam meningkatkan hasil pertanian untuk keamanan pangan di masa yang akan datang.



0858 5343 1992
eurekamediaaksara@gmail.com
Jl. Banjaran RT.20 RW.10
Bojongsari - Purbalingga 53362



NANOTEKNOLOGI DAN APLIKASINYA DALAM PRODUKSI PERTANIAN DAN PANGAN

**Ilham Ahmad
Andi Ridwan Makkulawu
Nurlaeli Fattah**



PENERBIT CV.EUREKA MEDIA AKSARA

**NANOTEKNOLOGI DAN APLIKASINYA DALAM
PRODUKSI PERTANIAN DAN PANGAN**

Penulis : Ilham Ahmad
Andi Ridwan Makkulawu
Nurlaeli Fattah

Desain Sampul : Eri Setiawan

Tata Letak : Rizki Rose Mardiana

ISBN : 978-623-151-611-4

No. HKI : EC00202391015

Diterbitkan oleh : **EUREKA MEDIA AKSARA, OKTOBER 2023**
ANGGOTA IKAPI JAWA TENGAH
NO. 225/JTE/2021

Redaksi:

Jalan Banjaran, Desa Banjaran RT 20 RW 10 Kecamatan Bojongsari
Kabupaten Purbalingga Telp. 0858-5343-1992

Surel : eurekaediaaksara@gmail.com

Cetakan Pertama : 2023

All right reserved

Hak Cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh
isi buku ini dalam bentuk apapun dan dengan cara apapun,
termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman
lainnya tanpa seizin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kepada Tuhan yang Maha Esa, karena atas berkat dan karuniaNya tim penulis dapat menyelesaikan sebuah buku yang berjudul “Nanoteknologi dan Aplikasinya dalam Produksi Pertanian dan Pangan”. Buku ini ditulis dengan tujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang teknologi nano dan aplikasinya dalam bidang agroindustri dan pangan. Pengetahuan tentang teknologi nano dan aplikasinya dalam bidang agroindustri dan pangan ini dibutuhkan oleh banyak kalangan dari akademisi, peneliti, pelaku usaha dan berbagai kalangan industri pertanian.

Buku ini disusun dengan sistematis untuk memudahkan pembaca dalam memahami isi buku. Penulis berharap buku ini dapat menjadi sumber informasi yang bermanfaat bagi para peneliti, pengambil kebijakan, dan pihak yang tertarik untuk mempelajari tentang teknologi nano dan aplikasinya dalam bidang agroindustri dan pangan. Selain itu, buku ini juga diharapkan dapat memberikan manfaat dan menjadi kontribusi positif dalam pengembangan produksi pertanian dan pangan yang lebih efisien, produktif, dan berkelanjutan.

Penulis mengakui bahwa buku ini belum mencapai kesempurnaan, sehingga tim penulis siap menerima kritik dan saran yang membangun guna meningkatkan pendidikan dan ilmu pengetahuan di masa depan. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan menjadi berkah bagi penulis.

Terima kasih.
September, 2023

Tim Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
BAB 1 NANOSAINS DAN NANOTEKNOLOGI	1
A. Pengantar Skala Nano	1
B. Sifat Nanopartikel dan Efek Ukuran.....	3
C. Aplikasi Nanoteknologi	7
D. Nanosains dan Nanoteknologi: Pandangan ke Masa Depan.....	20
BAB 2 NANOTEKNOLOGI DALAM KEMASAN MAKANAN	24
A. Bahan Nano yang Digunakan dalam Pengembangan Nanokomposit Polimer	24
B. Partikel.....	26
C. Fibers.....	27
D. Bahan Berlapis.....	29
BAB 3 APLIKASI NANOKOMPOSIT DALAM KEMASAN MAKANAN.....	34
A. Peningkatan Penghalang, Mekanik, dan Sifat Termal.....	34
B. Kemasan Makanan Aktif.....	42
BAB 4 DAMPAK NANOTEKNOLOGI PADA KEMASAN MAKANAN TERHADAP LINGKUNGAN.....	53
A. Dampak Nanoteknologi Terhadap Kesehatan Manusia.....	53
B. Peraturan Nanoteknologi di Sektor Makanan.....	57
BAB 5 APLIKASI NANOTEKNOLOGI DALAM PRODUKSI PERTANIAN DAN PANGAN	68
A. Pendahuluan	68
B. Teknik Nanoenkapsulasi untuk Makanan dan Pertanian	69
C. Sensor Nano di Bidang Makanan dan Pertanian.....	86

D. Nanoteknologi untuk Remediasi	
Lingkungan.....	90
DAFTAR PUSTAKA	94
TENTANG PENULIS	111

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1	Prefix untuk Sistem Satuan Internasional (SI)	1
Tabel 3. 1	Perbaikan yang dicapai dalam sifat mekanik, penghalang, dan termal dari beberapa contoh nanokomposit polimer sesuai polimernya.....	35

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Atom yang Berbeda Sejajar dalam Penggaris Panjang 1 nm: 3,5 Atom Emas, 4 Atom Besi, dan 6,67 Atom Nitrogen	2
Gambar 1. 2	Ukuran Objek dan Organisme Alami yang Berbeda	3
Gambar 1. 3	Variasi Titik Leleh Partikel Emas yang Diaglomerasi sebagai Fungsi Jari-Jari	5
Gambar 1. 4	Representasi Lift Ruang Angkasa yang Dirancang untuk Membawa Kargo dari Permukaan Bumi ke Luar Angkasa	8
Gambar 1. 5	Prinsip Penggunaan Nanokapsul untuk Pengobatan Kanker.....	10
Gambar 1. 6	Representasi Robot Mikro yang Bekerja Mirip dengan Antibodi dalam Proses Penyembuhan Kita	11
Gambar 1. 7	Film Plastik (Durethan) yang Mengandung Silikat Bertindak sebagai Penghalang Oksigen. Sebelum Mencapai Tujuan Mereka, Molekul O ₂ Harus Pergi Jauh di Sekitar Nanopartikel	13
Gambar 1. 8	Monitor Layar Warna Fleksibel yang Dikembangkan oleh LG. Philips.....	14
Gambar 1. 9	Sistem Transmisi Khas Mobil Hibrida. (Mobil Hibrida Menjadi Lebih Umum, Terutama karena Kemampuan Mereka untuk Mengurangi Emisi Karbon Dioksida (CO ₂)).....	17
Gambar 1. 10	Prinsip Operasi Proses Desalinasi Air	18
Gambar 1. 11	Kain Anti Bau yang Terbuat dari Nanopartikel Bambu	21
Gambar 1. 12	Berbagai Bagian Sepeda yang Diproduksi dengan CNT: (a) Garpu, (b) Setang, dan (c) Roda Rantai.....	21

Gambar 1. 13	Nano-Semproa yang Dibuat Oleh Para Ilmuwan IBM.....	22
Gambar 3. 1	Gambar TEM (Transmission Electron Microscope) dari struktur nanokomposit yang dibentuk oleh nanopartikel bentonit yang diselangi dalam matriks polimer, bersama dengan simulasi komputer tentang besarnya fluks (dalam skala warna pelangi) dan garis aliran yang terkait dengan molekul gas yang menyebar	40
Gambar 4. 1	Karakterisasi Resiko.....	59
Gambar 5. 1	Keuntungan Pupuk Nano Dibandingkan dengan Pupuk Curah.....	84
Gambar 5. 2	Representasi Skematik dari Fungsi Sensor Nano.....	88

BAB

1

NANOSAINS DAN NANOTEKNOLOGI

A. Pengantar Skala Nano

Istilah nano memiliki asal-usul etimologis dalam bahasa Yunani, dan berarti kerdil. Istilah ini menunjukkan bahwa dimensi fisik berada pada urutan sepersejuta meter (10^{-9} m atau nanometer). Rentang ini dalam bahasa sehari-hari disebut skala nanometrik atau hanya skala nano. Dengan konvensi, dimensi antara 1 dan 100 nm diterima sebagai milik skala nano. Berdasarkan Tabel 1.1 kita dapat memahami konteks skala nano dalam kaitannya dengan skala lain dari sistem internasional (SI). Atom hidrogen, misalnya, memiliki diameter 0,074 nm. Dengan demikian, sebuah kubus dengan tepi 1 nm dapat berisi sekitar 2500 atom. Sirkuit terpadu terkecil yang diketahui saat ini memiliki dimensi lateral 250 nm dan mengandung 10^6 atom dalam ketebalan lapisan atom. Meliputi jari-jari kovalen (bola kaku) atom emas, besi, dan nitrogen masing-masing sebesar 0,144, 0,125, dan 0,075 nm, jumlah yang berbeda untuk setiap jenis atom dapat disejajarkan pada penggaris panjang 1 nm (Gambar 1.1).

Tabel 1. 1 Prefix untuk Sistem Satuan Internasional (SI)

Faktor	Prefix	Simbol
10^{-24}	yocto	y
10^{-21}	zepto	z
10^{-18}	atto	a
10^{-15}	femto	f
10^{-12}	pico	P

BAB 2

NANOTEKNOLOGI DALAM KEMASAN MAKANAN

Nanoteknologi adalah desain, karakterisasi, produksi, dan aplikasi sistem pada skala nanometer, dan pada dasarnya terdiri dari pengembangan nanoinstruments, komponen nanoelektronik, sistem nanobiologis, dan bahan nanoengineered. Kisaran ukuran yang disukai adalah dari 100 nm ke tingkat atom karena pada tingkat ini sifat-sifat bahan dapat bervariasi menarik dibandingkan dengan yang pada skala yang lebih besar. Rasio luas permukaan-volume materi meningkat secara dramatis, meningkatkan reaktivitas permukaan kimia dan juga efek mekanika kuantum menjadi relevan. Manfaat bekerja pada ukuran nanometrik beragam dan para ilmuwan dan insinyur telah memanfaatkannya di berbagai bidang di antaranya katalisis, obat-obatan, pengiriman obat, optik dan elektronik, dan baru-baru ini di sektor makanan termasuk aplikasi kemasan makanan. Peningkatan penghalang gas dan kelembaban bahan kemasan dengan menggunakan nanofiller, kemasan cerdas berdasarkan nanosensor, dan film polimer nanokomposit antibakteri dan anti-jamur baru adalah beberapa contoh bagaimana nanoteknologi dapat membantu meningkatkan keamanan dan kualitas makanan melalui kemasan. Aspek utama mengenai masalah ini akan dibahas dalam bab ini.

A. Bahan Nano yang Digunakan dalam Pengembangan Nanokomposit Polimer

Nanokomposit didefinisikan sebagai komposit di mana setidaknya satu fase memiliki satu atau lebih dimensi urutan nanometer, sedangkan nanokomposit polimer terdiri dari

BAB 3

APLIKASI NANOKOMPOSIT DALAM KEMASAN MAKANAN

A. Peningkatan Penghalang, Mekanik, dan Sifat Termal

Secara tradisional, bahan polimer telah diisi dengan beragam senyawa anorganik dalam konsentrasi besar (>20%) sebagai cara daur ulang limbah dan / atau mengurangi biaya produksi. Namun, praktik ini memberikan kelemahan serius pada komposit yang dihasilkan, seperti kenaikan berat, kerapuhan, dan opasitas, sambil mendorong kemampuan proses yang lebih buruk dan tingkat keausan yang lebih tinggi di fasilitas pemrosesan (Tjong, 2006). Ini berubah pada tahun 1986, ketika para peneliti Toyota berhasil mensintesis nanokomposit nilon-6 / montmorillonit melalui polimerisasi in situ (Rhim et al., 2013), dan melaporkan peningkatan besar dalam sifat termal, mekanik, dan penghalang mereka, sehubungan dengan polimer yang rapi, dengan hanya sejumlah kecil pemuatan tanah liat (<5%). Penemuan ini, antara lain, memfokuskan upaya para ilmuwan menuju pengembangan bahan hibrida analog baru, dan menuju studi tentang potensi prop- erties dan aplikasi mereka (Rhim dan Ng, 2007). Saat ini, buah dari penelitian itu, mereka dikenal untuk mencapai peningkatan dramatis dalam dampak dan kekuatan tarik, modulus Young, deformasi saat pecah, transisi kaca, dan suhu distorsi panas, stabilitas termal dan dimensi, permeabilitas air dan gas (oksigen, karbon dioksida), ketahanan gores dan abrasi, tahan api, konduktivitas listrik dan ionik, sudut kontak, ketahanan oksidasi dan pelarut, daur ulang, dan biodegradabilitas, tanpa mengganggu kepadatan, aliran leleh, dan karakteristik optiknya. Di antara

BAB

4

DAMPAK NANOTEKNOLOGI PADA KEMASAN MAKANAN TERHADAP LINGKUNGAN

A. Dampak Nanoteknologi Terhadap Kesehatan Manusia

Manfaat nanoteknologi dijelaskan secara luas; namun, efek atau dampak toksikologi potensial terhadap lingkungan belum jelas. Rantai produksi pangan menggunakan nanoteknologi dalam produktivitas pertanian melalui penggunaan produk pertanian yang difungsikan secara nano untuk meningkatkan produktivitas; nanoteknologi juga digunakan sebagai alat diagnostik untuk deteksi penyakit dan menciptakan teknik pemantauan baru pada tahap awal produksi pangan. Nanoteknologi juga diterapkan untuk pemurnian air dan pembersihan mesin produksi tanah dan makanan (Bouwmeester et al., 2009). Di antara banyak aplikasi lain yang mungkin, nanoteknologi dalam rantai makanan juga mencakup sensor nano untuk diagnosis makanan yang dapat mendeteksi mikroorganisme atau kontaminan kimia pada tingkat rendah, dan bahan pengemas. NP diterapkan dalam kemasan makanan untuk meningkatkan sifat fungsional bahan, sebagai sensor nano untuk memantau keamanan dan kualitas makanan, atau untuk mengembangkan bahan aktif. Dalam hal ini, kontaminasi tidak langsung dari makanan kemasan dapat terjadi melalui migrasi NP. Aplikasi dan masalah peraturan yang terkait dengan NP yang tergabung dalam bahan kemasan makanan telah ditinjau secara mendalam. NP juga dapat digunakan langsung dalam makanan yang difungsikan sebagai aditif atau suplemen makanan yang dapat meningkatkan bioavailabilitasnya dibandingkan dengan formulasi konvensional (Bouwmeester et

BAB 5

APLIKASI NANOTEKNOLOGI DALAM PRODUKSI PERTANIAN DAN PANGAN

A. Pendahuluan

Pangan dan pertanian cenderung menjadi dua sektor terpenting yang terkait dengan keberlanjutan dan pembangunan ekonomi suatu negara, terutama bagi pertumbuhan negara-negara berkembang (A.K. Srivastava et al., 2018). Saat ini, terdapat permintaan dan kebutuhan untuk meningkatkan produksi pangan yang sehat dan aman untuk memenuhi kebutuhan penduduk. Diperkirakan bahwa dalam 30 tahun ke depan, produktivitas tanaman pangan harus meningkat dari 60% menjadi 100% untuk memenuhi kebutuhan global (J.P. Giraldo et al., 2019). Sehubungan dengan hal tersebut, diperlukan teknologi baru yang memungkinkan untuk meningkatkan hasil panen dalam waktu yang lebih singkat, sekaligus memastikan keamanan pangan melalui pemantauan dan deteksi bahaya pangan seperti bahan tambahan, residu kimia, atau patogen. Selain itu, kerugian ekonomi yang besar di bidang pertanian terkait dengan stres tanaman yang berasal dari kondisi lingkungan dan tanah termasuk kekeringan, gelombang panas, kelembaban, salinitas, dan nutrisi yang tersedia (S.-Y. Kwak et al., 2017).

Sebagai alternatif, nanoteknologi adalah ilmu revolusioner dan interdisipliner yang dapat berkontribusi pada inovasi teknis di bidang pertanian dan pangan serta membantu mengatasi tantangan yang disebutkan di atas. Teknologi ini dapat meningkatkan produksi pertanian dengan meningkatkan asupan nutrisi dengan pupuk nano, deteksi dini dan pengobatan

DAFTAR PUSTAKA

- A. Cherpinski, M. Gozutok, H. Sasmazel, S. Torres-Giner, J. Lagaron, Electrospun oxygen scavenging films of poly(3-hydroxybutyrate) containing palladium nanoparticles for active packaging applications, *Nanomaterials* 8 (7) (2018) 469.
- A. Faridi Esfanjani, S.M. Jafari, Biopolymer nano-particles and natural nano-carriers for nanoencapsulation of phenolic compounds, *Colloids Surf. B Biointerfaces* 146 (2016) 532543.
- A. Servin, W. Elmer, A. Mukherjee, R. De la Torre-Roche, H. Hamdi, J.C. White, et al., A review of the use of engineered nanomaterials to suppress plant disease and enhance crop yield, *J. Nanopart. Res.* 17 (2) (2015) 92.
- A.C. Karaca, N. Low, M. Nickerson, Potential use of plant proteins in the microencapsulation of lipophilic materials in foods, *Trends Food Sci. Technol.* 42 (2015) 512.
- A.K. Srivastava, A. Dev, S. Karmakar, Nanosensors and nanobiosensors in food and agriculture, *Environ. Chem. Lett.* 16 (1) (2018) 161182.
- Abargues, R., Rodriguez-Canto, P.J., Albert, S., Suarez, I., Martínez Pastor, J.P., 2014. Plasmonic optical sensors printed from Ag-PVA nanoinks. *Journal of Materials Chemistry* 2, 908e915.
- Arunvisut, S., Phummanee, S., Somwangthanaroj, A., 2007. Effect of clay on mechanical and gas barrier properties of blown film LDPE/clay nanocomposites. *Journal of Applied Polymer Science* 106 (4), 2210e2217.
- Aryou Emamifar, 2011. Applications of antimicrobial polymer nanocomposites in food packaging. In: *Advances in Nanocomposite Technology*. Abbass Hashim. InTech, ISBN 978-953-307-347-7. <https://doi.org/10.5772/18343>. Available from: <http://www.intechopen.com/books/advances-in->

[nanocomposite](#) technology/applications-of-antimicrobial-polymer-nanocomposites-in-food-packaging.

[Ayers A. Ceramics of the world: From 4000 BC to the present. Abrams; 1992. ISBN-10: 0810931753, ISBN-13: 978e0810931756.](#)

Barba, A., Beltran, V., Feliu, C., García, J., Gines, F., Sanchez, E., Sanz, V., 2002. Materias primas para la fabricacion de soportes de baldosas cerámicas, 2a ed. Instituto de Tecnología Cerámica, Castello de la Plana, Spain.

[Barmer DJ, Freestone IC. An investigation of the origin of the colour of the *Lycurgus cup* by analytical transmission electron microscopy. Archaeometry 1990;32:33e45.](#)

Barreca, D., Comini, E., Ferrucci, A.P., Gasparotto, A., Maccato, C., Maragno, C., Sberveglieri, G.E., Tondello, G., 2007. First example of ZnO-TiO₂ nanocomposites by chemical vapor deposition: structure, morphology, composition, and gas sensing performances. Chemistry of Materials 19, 5642e5649.

Binks P. The challenges facing nanotechnology, interviewed by R. Williams, Ockham's razor. www.abc.net.au/rn/science/ockham/stories/s1304778.htm; 2005.

Bouwmeester, H., Dekkers, S., Noordam, M., Hagens, W., Bulder, A., de Heer, C., 2009. Review of health safety aspects of nanotechnologies in food production. Regulatory Toxicology and Pharmacology 53, 52e62. Byun, Y., Whiteside, S., Cooksey, K., Darby, D., Dawson, P.L., 2011. R-Tocopherol-loaded polycaprolactone (PCL) nanoparticles as a heat-activated oxygen scavenger. Journal of Agricultural and Food Chemistry 59, 1428e1431.

[Brittain WH. Laboratory notebook of December 24, 1947. Press Release. New York: Bell Telephone Laboratories; 1948.](#)

- C. Hellmann, A. Greiner, J.H. Wendorff, Design of pheromone releasing nanofibers for plant protection, *Polym. Adv. Technol.* 22 (4) (2011) 407413.
- C. Qian, E.A. Decker, H. Xiao, D.J. McClements, Nanoemulsion delivery systems: influence of carrier oil on β -carotene bioaccessibility, *Food Chem.* 135 (2012) 14401447.
- C.P. Earnest, M.K. Hammar, M. Munsey, C.R. Miku, R.M. David, J.A. Bralley, et al., Microencapsulated food as a functional delivery vehicle for omega-3 fatty acids, a pilot study, *J. Int. Soc. Sports Nutr.* 6 (2009) 12.

[Cao G. Nanostructures and nanomaterials: Synthesis, properties and applications. 1st ed. Singapore: Imperial College Press; 2004. ISBN-10: 1860944809, ISBN-13: 978e1860944802, 1st ed.](#)

- Chang, J.H., Mun, M.K., Kim, J.C., 2007. Synthesis and characterization of poly(butylene terephthalate)/ mica nanocomposite fibers via in situ interlayer polymerization. *Journal of Applied Polymer Science* 106 (2), 1248e1255.
- Che, Y., Zang, L., 2009. Enhanced fluorescence sensing of amine vapor based on ultrathin nanofibers. *Chemical Communications* 34, 5106e5108.
- Chen, G., Yoon, J.S., 2005. Nanocomposites of poly[(butylene succinate) e co e (butylene adipate)] (PBSA) and twice e functionalized organoclay. *Polymer International* 54 (6), 939e945.
- Cho, J.W., Paul, D.R., 2001. Nylon 6 nanocomposites by melt compounding. *Polymer* 42 (3), 1083e1094.
- Choudalakis, G., Gotsis, A.D., 2009. Permeability of polymer/clay nanocomposites: a review. *European Polymer Journal* 45 (4), 967e984.
- Chowdhury, S.R., 2008. Some important aspects in designing high molecular weight poly (L e lactic acid) e clay nanocomposites with desired properties. *Polymer International* 57 (12), 1326e1332.

- Cioffi, N., Torsi, L., Ditaranto, N., Tantillo, G., Ghibelli, L., Sabbatini, L., Bleve-Zacheo, T., D'Alessio, M., Zambonin, P.G., Traversa, E., 2005. Nanoparticles/polymer composites with antifungal and bacteriostatic properties. *Chemistry of Materials* 17, 5255e5262.
- Collins PG, Avouris P. Nanotubes for electronics. *Sci Am* 2000;62(283):69. <http://dx.doi.org/10.1038/scientificamerican1200-62>.
- Comini, E., Faglia, G., Sberveglieri, G., Calestani, D., Zanotti, L., Zha, M., 2005. Tin oxide nanobelts electrical and sensing properties. *Sensors and Actuators B* 111, 2e6.
- Cuberes MT, Schlitter RR, Gimzewski JK. Room-temperature repositioning of individual C60 molecules at Cu steps: Operation of a molecular counting device. *Appl Phys Lett* 1996;69:3016e8. <http://dx.doi.org/10.1063/1.116824>.
- Cushen, M., Kerry, J., Morris, M., Cruz e Romero, M., Cummins, E., 2012. Nanotechnologies in the food industry e recent developments, risks and regulation. *Trends in Food Science and Technology* 24 (1), 30e46.
- D. Davidson, F.X. Gu, Materials for sustained and controlled release of nutrients and molecules to support plant growth, *J. Agric. Food Chem.* 60 (4) (2012) 870876.
- D.E. Giammar, C.J. Maus, L. Xie, Effects of particle size and crystalline phase on lead adsorption to titanium dioxide nanoparticles, *Environ. Eng. Sci.* 24 (1) (2007) 8595.
- D.J. McClements, Nanoscale nutrient delivery systems for food applications: improving bioactive dispersibility, stability, and bioavailability, *J. Food Sci.* 80 (7) (2015) N1602N1611.
- D.J. McClements, Protein-stabilized emulsions, *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 9 (2004) 305313.
- Dallas, P., Sharma, V.K., Zboril, R., 2011. Silver polymeric nanoparticles as advanced antimicrobial agents:

classification, synthetic paths, applications, and perspectives. *Advances in Colloid and Interface Science* 166 (1e2), 119e135.

[Daniel M-C, Astruc D. Gold nanoparticles: assembly, supramolecular chemistry, quantum-size related properties, and applications towards biology, catalysis and nanotechnology. *Chem Rev* 2004;104:293e346.](#)

Dash, S., Swain, S.K., 2013. Synthesis of thermal and chemical resistant oxygen barrier starch with reinforcement of nano silicon carbide. *Carbohydrate Polymers* 97 (2), 758e763.

Dean, K., Yu, L., 2005. Biodegradable protein e nanocomposites. In: Smith, R. (Ed.), *Biodegradable Polymers for Industrial Applications*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Dean, K.M., Pas, S.J., Yu, L., Ammala, A., Hill, A.J., Wu, D.Y., 2009. Formation of highly oriented biodegradable polybutylene succinate adipate nanocomposites: effects of cation structures on morphology, free volume, and properties. *Journal of Applied Polymer Science* 113 (6), 3716e3724.

Du, M., Guo, B., Jia, D., 2010. Newly emerging applications of halloysite nanotubes: a review. *Polymer International* 59 (5), 574e582.

Duncan, T.V., 2011. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of Colloid and Interface Science* 363 (1), 1e24.

F. Flores-Céspedes, G.P. Martínez-Domínguez, M. Villafranca-Sánchez, M. Fernández-Pérez, Preparation and characterization of azadirachtin alginate biosorbent-based formulations: water release kinetics and photodegradation study, *J. Agric. Food Chem.* 63 (2015) 83918398.

F. Tamjidi, M. Shahedi, J. Varshosaz, A. Nsirpour, Nanostructured lipid carriers (NIC): a potential delivery system for bioactive food molecules, *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 19 (2013) 2943.

- Falla, W.R., Mulski, M., Cussler, E.L., 1996. Estimating diffusion through flake filled membranes. *Journal of Membrane Science* 119 (1), 129e138.
- Faraday M. The Bakerian lecture: Experimental relations of gold (and other metals) to light. *Philos Trans R Soc Lond* 1857;147:145e81. <http://dx.doi.org/10.1098/rstl.1857.0011>.
- Feldman, D., 2013. Polymer nanocomposite barriers. *Journal of Macromolecular Science Part A: Pure and Applied Chemistry* 50 (4), 441e448.
- Forbes Nanotech Report. Online Journal. www.forbes-nanotech.net. Site não existe mais.
- Frounchi, M., Dourbash, A., 2009. Oxygen barrier properties of poly(ethylene terephthalate) nanocomposite films. *Macromolecular Materials and Engineering* 294 (1), 68e74.
- G. Xu, S. Zhang, Q. Zhang, L. Gong, H. Dai, Y. Lin, Magnetic functionalized electrospun nanofibers for magnetically controlled ultrasensitive label-free electrochemiluminescent immune detection of aflatoxin B1, *Sensors Actuators B Chem.* 222 (2016) 707713.
- G.H. Shin, J.T. Kim, H.J. Park, Recent developments in nanoformulations of lipophilic functional foods, *Trends Food Sci. Technol.* 46 (1) (2015) 144157.
- Goettler, L.A., 2005. Overview of property development in layered silicate polymer nanocomposites. *Proceedings of the 63th Annual Technical Conference of Society of Plastics Engineers* 1980e1982.
- Golebiewski, J., Rozanski, A., Dzwonkowski, J., Galeski, A., 2008. Low density polyethylene montmorillonite nanocomposites for film blowing. *European Polymer Journal* 44 (2), 270e286.
- H. Ribeiro, H. Schuchmann, R. Engel, E. Walz, K. Briviba, V. Nedovic, et al., Encapsulation of carotenoids, in: N.J. Zuidam, V. Nedovic (Eds.), *Encapsulation Technologies for Active*

Food Ingredients and Food Processing, Springer Science, New York, 2010, pp. 211252. Chapter 8.

H.I. Gomes, C. Dias-Ferreira, A.B. Ribeiro, Electrokinetic remediation of organochlorines in soil: enhancement techniques and integration with other remediation technologies, *Chemosphere* 87 (10) (2012) 10771090.

Haruta Masatake. Size- and support-dependency in the catalysis of gold. *Catal Today* April 25, 1997;36(1):153e66. ISSN: 0920-5861. [http://dx.doi.org/10.1016/S0920-5861\(96\)00208-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0920-5861(96)00208-8).

Hasan, M.M., Zhou, Y., Mahfuz, H., Jeelani, S., 2006. Effect of SiO₂ nanoparticle on thermal and tensile behavior of nylon e 6. *Materials Science and Engineering A* 429 (1 e 2), 181e188.

Hasegawa, N., Kawasumi, M., Kato, M., Usuki, A., Okada, A., 1998. Preparation and mechanical properties of polypropylene e clay hybrids using a maleic anhydride e modified polypropylene oligomer. *Journal of Applied Polymer Science* 67 (1), 87e92.

Hatzigrigoriou, N.B., Papaspyrides, C.D., 2011. Nanotechnology in plastic food-contact materials. *Journal of Applied Polymer Science* 122, 3720e3739.

[Hornyak GL, Tibbals HF, Dutta J, Moore JJ. Introduction to nanoscience and nanotechnology. Taylor and Francis Group, LLC; 2009. December 22, 2008. ISBN- 10: 1420047795, ISBN-13: 978e1420047790.](#)

Huskic, M., Zigon, M., 2007. PMMA/MMT nanocomposites prepared by one ————— e step in situ intercalative solution polymerization. *European Polymer Journal* 43 (12), 4891e4897.

Images of nanoparticles were kindly provided by Prof. Dr. Chad A. Mirkin. Department of chemistry and international institute for nanotechnology Northwestern University.

J. Liu, Y. Tan, H. Zhou, J.L. Muriel Mundo, D.J. McClements, Protection of anthocyanin-rich extract from pH-induced color

changes using water-in-oil-in-water emulsions, *J. Food Eng.* 254 (2019) 19.

J.P. Giraldo, H. Wu, G.M. Newkirk, S. Kruss, Nanobiotechnology approaches for engineering smart plants, *Nat. Nanotechnol.* 14 (June) (2019) 541553.

[Johnston Roy L. Atomic and molecular clusters. Series: Master's series in physics and astronomy. 1st ed. CRC Press; June 15, 2002. ISBN-10: 0748409319. ISBN-13: 978e0748409310.](#)

[Jortner J. Cluster size effects. Zeitschrift für Physik D Atoms. Mol Clust 1992;24\(3\): 247e75.](#)

Ke, Z., Yongping, B., 2005. Improve the gas barrier property of PET film with montmorillonite by in situ interlayer polymerization. *Materials Letters* 59 (27), 3348e3351.

Kiliaris, P., Papaspyrides, C.D., 2010. Polymer/layered silicate (clay) nanocomposites: an overview of flame retardancy. *Progress in Polymer Science (Oxford)* 35 (7), 902e958.

Kim, S.W., Cha, S.H., 2014. Thermal, mechanical, and gas barrier properties of ethylene e vinyl alcohol copolymer e based nanocomposites for food packaging films: effects of nanoclay loading. *Journal of Applied Polymer Science* 131 (11).

Kojima, Y., Usuki, A., Kawasumi, M., Okada, A., Fukushima, Y., Kurauchi, T., Kamigaito, O., 1993. Mechanical properties of nylon 6 e clay hybrid. *Journal of Materials Research* 8 (5), 1185e1189.

Kumar, P., Sandeep, K.P., Alavi, S., Truong, V.D., 2011. A review of experimental and modeling techniques to determine properties of biopolymer e based nanocomposites. *Journal of Food Science* 76 (1), 2e14.

Kumari, A., Yadav, S., 2014. Nanotechnology in agri-food sector. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 54, 975e984.

[Kurokawa Y, Hosoya Y. Surface 1996;34\(2\):100e6 \[in Japanese\].](#)

- L.G. Go´mez-Mascaraque, C. Soler, A. Lopez-Rubio, Stability and bioaccessibility of EGCG within edible micro-hydrogels. Chitosan vs. gelatin, a comparative study, *Food Hydrocoll.* 61 (2016) 128138.
- Lee, S.-K., Sheridan, M., Mills, A., 2005. Novel UV-activated colorimetric oxygen indicator. *Chemistry of Materials* 17, 2744e2751.
- Lee, S.R., Park, H.M., Lim, H., Kang, T., Li, X., Cho, W.J., Ha, C.S., 2002. Microstructure, tensile properties, and biodegradability of aliphatic polyester/clay nanocomposites. *Polymer* 43 (8), 2495e2500.
- Li, Y., Zhang, Y., Yan, B., 2014. Nanotoxicity overview: nano-threat to susceptible populations. *International Journal of Molecular Sciences* 15, 3671e3697.
- Lopez Serrano, A., Munoz Olivas, R., Sanz Landaluze, J., Camara, C., 2014. Nanoparticles: a global vision. Characterization, separation, and quantification methods. Potential Environmental and health impact. *Analytical Methods* 6, 38e56.
- Lopez-Carballo, G., Higuera, L., Gavara, R., Hernandez-Munoz, P., Hernandez-Munoz, P., 2013. Silver ions release from antibacterial chitosan films containing in situ generated silver nanoparticles. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61, 260e267.
- Luechinger, N.A., Loher, S., Athanassiou, E.K., Grass, R.N., Stark, W.F., 2007. Highly sensitive optical detection of humidity on polymer/metal nanoparticle hybrid films. *Langmuir* 23, 3473e3477.
- M.C. DeRosa, C. Monreal, M. Schnitzer, R. Walsh, Y. Sultan, Nanotechnology in fertilizers, *Nat. Nanotechnol.* 5 (2) (2010) 91.
- Manias, E., Polyzos, G., Nakajima, H., Heidecker, M.J., 2007. Fundamentals of polymer nanocomposite technology. In:

Wilkie, C., Morgan, A. (Eds.), Flame Retardant Polymer Nanocomposites. Wiley e Interscience, Hoboken, NJ, USA.

[Mansoori GA, Fauzi Soelaiman TA. Nanotechnology e an introduction for the standards community. J ASTM Int 2005;2\(6\):JA13110.](#)

Matsui I. Nanoparticles for electronic device applications: A brief review. J Chem Eng Jpn 01/2005;38(8):535e46. <http://dx.doi.org/10.1252/jcej.38.535>.

[Miller JC, Serrato RM, Represas-Cardenas JM, Kundahl G. The handbook of nanotechnology business, policy, and intellectual property law. 1st ed. October 19, 2004. ISBN-10: 0471666955, ISBN-13: 978e0471666950.](#)

Mills, A., Hazafy, D., 2009. Nanocrystalline SnO₂-based, UVB-activated, colourimetric oxygen indicator. Sensors and Actuators B 136, 344e349.

Minelli, M., Giacinti Baschetti, M., Doghieri, F., 2011. A comprehensive model for mass transport properties in nanocomposites. Journal of Membrane Science 381 (1e2), 10e20.

[Minoli D. Nanotechnology applications to telecommunications and networking. Wiley- Interscience. 1st ed. John Wiley and Sons, Inc.; October 28, 2005. ISBN-10: 0471716391, ISBN-13: 978e0471716396.](#)

Mirzadeh, A., Kokabi, M., 2007. The effect of composition and draw-down ratio on morphology and oxygen permeability of polypropylene nanocomposite blown films. European Polymer Journal 43 (9), 3757e3765.

[Moore GE. Cramming more components onto an integrated circuit. Electronics April 19, 1965;38.](#)

N.B. Leonard, Stability testing of nutraceuticals and functional foods, Handbook of Nutraceuticals and Functional Foods, CRC Press, 2000.

- N.J. Taylor, C.M. Fauquet, Microparticle bombardment as a tool in plant science and agricultural biotechnology, *DNA Cell Biol.* 21 (12) (2002) 963977.
- Naffakh, M., Díez e Pascual, A.M., Marco, C., Ellis, G.J., Gomez e Fatou, M.A., 2013. Opportunities and challenges in the use of inorganic fullerene e like nanoparticles to produce advanced polymer nanocomposites. *Progress in Polymer Science* 38 (8), 1163e1231.
- Nam, P.H., Maiti, P., Okamoto, M., Kotaka, T., Nakayama, T., Takada, M., Ohshima, M., Usuki, A., Hasegawa, N., Okamoto, H., 2002. Foam processing and cellular structure of polypropylene/clay nanocomposites. *Polymer Engineering and Science* 42 (9), 1907e1918.
- Nel, A., Madler, L., Xia, T., M€adler, L., Li, N., 2006. Toxic potential of materials at the nanolevel. *Science* 311, 622e627.
- Nemmar, A., Hoet, P.H.M., Vanquickenborne, B., Dinsdale, D., Thomeer, M., Vanbilloen, H., Hoylaerts, M.F., Mortelmans, L., Nemery, B., 2002. Passage of inhaled particles into the blood circulation in humans. *Circulation* 105, 411e414.
- Nicolosi, V., Chhowalla, M., Kanatzidis, M.G., Strano, M.S., Coleman, J.N., 2013. Liquid exfoliation of layered materials. *Science* 340 (6139), 1226419.
- Nielsen, L.E., 1967. Models for the permeability of filled polymer systems. *Journal of Macromolecular Science (Chemistry)* A1 (5), 929e942.
- Oberdorster, G., Oberd € orster, E., Oberd € orster, J., 2005. Nanotoxicology: an emerging discipline evolving € from studies of ultrafine particles. *Environmental Health Perspectives* 113, 823e839.
- P. Robert, R. Carlsson, N. Romero, L. Masson, Stability of spray-dried encapsulated carotenoid pigments from *rosa mosqueta* (*Rosa rubiginosa*) oleoresin, *J. Am. Oil Chem. Soc.* 80 (2003) 11151120.

- Pandey, S., Goswami, G.K., Nanda, K.K., 2013. Green synthesis of polysaccharide/gold nanoparticle nanocomposite: an efficient ammonia sensor. *Carbohydrate Polymers* 94, 229e234.
- Paul, D.R., Robeson, L.M., 2008. Polymer nanotechnology: nanocomposites. *Polymer* 49 (15), 3187e3204.
- Pavlidou, S., Papaspyrides, C.D., 2008. A review on polymer-layered silicate nanocomposites. *Progress in Polymer Science (Oxford)* 33 (12), 1119e1198.
- Peeterbroeck, S., Alexandre, M., Jerome, R., Dubois, P., 2005. Poly(ethylene ^ e co e vinyl acetate)/clay nanocomposites: effect of clay nature and organic modifiers on morphology, mechanical and thermal properties. *Polymer Degradation and Stability* 90 (2), 288e294.
- Pimtong-Ngam, Y., Jiemsirilers, S., Supothina, S., 2007. Preparation of tungsten oxide/tin oxide nanocomposites and their ethylene sensing characteristics. *Sensors and Actuators A* 139, 7e11.
- R. Bisotto-de-Oliveira, B.C. De Jorge, I. Roggia, J. Sant'Ana, C.N. Pereira, Nanofibers as a vehicle for the synthetic attractant Trimedlure to be used for *Ceratitidis capitata* wied: (Diptera, Tethritidae) capture, *J. Res. Updat. Polym. Sci.* 3 (1) (2014) 4047.
- R. Damasceno, I. Roggia, C. Pereira, E. de Sa', Rhizobia survival in seeds coated with polyvinyl alcohol (PVA) electrospun nanofibres, *Can. J. Microbiol.* 59 (11) (2013) 716719.
- R. Pe'rez-Masia', J. Lagaron, A. Lopez-Rubio, Morphology and stability of edible lycopene-containing micro- and nanocapsules produced through electrospaying and spray drying, *Food Bioprocess. Technol.* 8 (2015) 459470.
- Ranjan, S., Dasgupta, N., Chakraborty, A.R., Samuel, S.M., Ramalingam, C., Shanker, R., Kumar, A., 2014. Nanoscience and nanotechnologies in food industries: opportunities and

research trends. *Journal of Nanoparticle Research* 16 (2464), 1e23.

[Ratner M, Ratner D. Nanotechnology: A gentle introduction to the next big idea. 1st ed. Prentice Hall; November 18, 2002. ISBN-10: 0131014005, ISBN-13: 978e0131014008.](#)

Ravishankar Rai, V., Jamuna Bai, A., 2011. In: Mendez-Vilas, A. (Ed.), *Nanoparticles and Their Potential Application as Antimicrobials in: Science against Microbial Pathogens: Communicating Current Research and Technological Advances*, ed. 2011, vol. 1. Badajoz: Formatex Research Center, pp. 197e209.

[Reicher HH. Aurum potabile oder gold tinstur. Breslau \(Leipzig\); 1718.](#)

Rhim, J.W., Ng, P.K.W., 2007. Natural biopolymer e based nanocomposite films for packaging applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 47 (4), 411e433.

Rhim, J.W., Park, H.M., Ha, C.S., 2013. Bio e nanocomposites for food packaging applications. *Progress in Polymer Science* 38 (10e11), 1629e1652.

Rodríguez, F.J., Galotto, M.J., Guarda, A., Bruna, J.E., 2012. Modification of cellulose acetate films using nanofillers based on organoclays. *Journal of Food Engineering* 110 (2), 262e268.

[Roduner E. Nanoscopic materials: Size-dependent phenomena. 1st ed. Royal Society of Chemistry; August 29, 2006. ISBN-10: 085404857X, ISBN-13: 978e0854048571.](#)

Rothemund P.W.K. Folding dna to create nanoscale shapes and patterns. *Nature* 2006; 440:297e302. [http://dx.doi.org/10.1038/nature04586.](http://dx.doi.org/10.1038/nature04586)

S. Khaledian, M. Nikkhah, M. Shams-bakhsh, S. Hoseinzadeh, A sensitive biosensor based on gold nanoparticles to detect *Ralstonia solanacearum* in soil, *J. Gen. Plant Pathol.* 83 (4) (2017) 231239.

- S. Parthasarathi, S.P. Muthukumar, C. Anandharamakrishnan, The influence of droplet size on the stability, in vivo digestion, and oral bioavailability of vitamin E emulsions, *Food Funct.* 7 (2016) 22942302.
- S. Ranjan, N. Dasgupta, A. Chakraborty, S. Melvin Samuel, C. Ramalingam, R. Shanker, et al., Nanoscience and nanotechnologies in food industries: opportunities and research trends, *J. Nanopart. Res.* 16 (2014) 123.
- S. Sen, Y. Pathak, *Nanotechnology in Nutraceuticals: Production to Consumption*, Taylor & Francis Group LLC, Boca Raton, FL, 2016, ISBN: 9781498721882.
- S.K. Verma, A.K. Das, S. Gantait, V. Kumar, E. Gurel, Applications of carbon nanomaterials in the plant system: a perspective view on the pros and cons, *Sci. Total Environ.* 667 (2019) 485499.
- S.-Y. Kwak, M.H. Wong, T.T.S. Lew, G. Bisker, M.A. Lee, A. Kaplan, et al., Nanosensor technology applied to living plant systems, *Annu. Rev. Anal. Chem.* 10 (1) (2017) 113140
- Sanchez e García, M.D., Gimenez, E., Lagaron, J.M., 2008. Morphology and barrier properties of nanobio-composites of poly(3 e hydroxybutyrate) and layered silicates. *Journal of Applied Polymer Science* 108 (5), 2787e2801.
- Shi, X., Gan, Z., 2007. Preparation and characterization of poly(propylene carbonate)/montmorillonite nanocomposites by solution intercalation. *European Polymer Journal* 43 (12), 4852e4858.
- Shina Ray, S., 2009. Visualisation of nanoclay dispersion in polymer matrix by high resolution electron microscopy combined with electron tomography. *Macromolecular Materials and Engineering* 294 (4), 281e286.
- Silvestre, C., Duraccio, D., Cimmino, S., 2011. Food packaging based on polymer nanomaterials. *Progress in Polymer Science (Oxford)* 36 (12), 1766e1782.

- Sorrentino, A., Gorrasi, G., Vittoria, V., 2007. Potential perspectives of bio e nanocomposites for food packaging applications. *Trends in Food Science and Technology* 18 (2), 84e95.
- Sozer, N., Kokina, J.L., 2012. The applications of nanotechnology. In: Pico, Y. (Ed.), *Chemical Analysis of Food: Techniques and Applications*. Elsevier, USA, pp. 145e176.
- Swain, S.K., Priyadarshini, P.P., Patra, S.K., 2012. Soy protein/clay bionanocomposites as ideal packaging materials. *Polymer e Plastics Technology and Engineering* 51 (12), 1282e1287.
- Szentkuti, L., 1997. Light microscopical observations on luminally administered dyes, dextrans, nanospheres and microspheres in the pre-epithelial mucus gel layer of the rat distal colon. *Journal of Controlled Release* 46, 233e242.
- T. Nietzel, M. Elsa'sser, C. Ruberti, J. Steinbeck, J.M. Ugalde, P. Fuchs, et al., The fluorescent protein sensor roGFP2-Orp1 monitors in vivo H₂O₂ and thiol redox integration and elucidates intracellular H₂O₂ dynamics during elicitor-induced oxidative burst in *Arabidopsis*, *New Phytol.* 221 (3) (2019) 16491664.
- Tjong, S.C., 2006. Structural and mechanical properties of polymer nanocomposites. *Materials Science and Engineering R: Reports* 53 (3e4), 73e197.
- Trlica, J., Kalendova, A., Malac, Z., Simonik, J., Pospisil, L., 2001. PVC/clay nanocomposites. In: *Proceedings of the 59th Annual Technical Conference of Society of Plastics Engineers*, pp. 2162e2165.
- Usui Y, Aoki K, Narita N, Murakami N, Nakamura I, Nakamura K, et al. Carbon nano- tubes with high bone-tissue compatibility and bone-formation acceleration effects. *Small* 2008;4(2):240e6. <http://dx.doi.org/10.1002/sml.200700670>.
- Uthirakumar, P., Nahm, K.S., Hahn, Y.B., Lee, Y.S., 2004. Preparation of polystyrene/montmorillonite nanocomposites using a new radical initiator e

montmorillonite hybrid via in situ intercalative polymerization. *European Polymer Journal* 40 (11), 2437e2444.

V.K. Gupta, R. Kumar, A. Nayak, T.A. Saleh, M.A. Barakat, Adsorptive removal of dyes from aqueous solution onto carbon nanotubes: a review, *Adv. Colloid Interface Sci.* 193194 (2013) 2434.

V.P. Scagion, L.A. Mercante, K.Y. Sakamoto, J.E. Oliveira, F.J. Fonseca, L.H.C. Mattoso, et al., An electronic tongue based on conducting electrospun nanofibers for detecting tetracycline in milk samples, *RSC Adv.* 6 (105) (2016) 103740103746.

Von Bultzingslowen, C., McEvoy, A.K., McDonagh, C., MacCraith, B.D., Klimant, I., Krause, C., Wolfbeis, O.S., 2002. Solegel based optical carbon dioxide sensor employing dual luminophore referencing for application in food packaging technology. *Analyst* 127, 1478e1483.

Wagner FE, Haslbeck S, Stievano L, Calogero S, Pankhurst QA, Martinek K-P. *Nature* 2000;407:691e2. <http://dx.doi.org/10.1038/35037661> [Before striking gold in gold- ruby glass].

[Whitesides GM. The art of building small. In: Understanding nanotechnology. New York: Scientific American, Time-Warner Book Group; 2002.](#)

Xiao, L., Green, A.N.M., Haque, S.A., Mills, A., Durrant, J.R., 2004. Light-driven oxygen scavenging by titania/polymer nanocomposite films. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 162, 253e259.

Xu, Y., Zhou, J., Hanna, M.A., 2005. Melt e intercalated starch acetate nanocomposite foams as affected by type of organoclay. *Cereal Chemistry* 82 (1), 105e110.

Y. Wu, H. Pang, Y. Liu, X. Wang, S. Yu, D. Fu, et al., Environmental remediation of heavy metal ions by novel-nanomaterials: a review, *Environ. Pollut.* 246 (2019) 608620.

- Y. Zhu, B. Yang, S. Chen, J. Du, Polymer vesicles: mechanism, preparation, application, and responsive behaviour, *Prog. Polym. Sci.* 64 (2017) 122.
- Y.D. Livney, Nanostructured delivery systems in food: latest developments and potential future directions, *Curr. Opin. Food Sci.* 3 (2015) 125135.
- Yei, D.R., Kuo, S.W., Fu, H.K., Chang, F.C., 2005. Enhanced thermal properties of PS nanocomposites formed from montmorillonite treated with a surfactant/cyclodextrin inclusion complex. *Polymer* 46 (3), 741e750.
- Yuan, Q., Jiang, W., An, L., Christiansen, J.D., Li, R.K.Y., 2005. Competing effect between filled glass bead and induced β crystal on the tensile properties of polypropylene/glass bead blends. *Journal of Applied Polymer Science* 96 (5), 1729e1733.
- Z. Fu, X. Zhou, D. Xing, Rapid colorimetric gene-sensing of food pathogenic bacteria using biomodificationfree gold nanoparticle, *Sensors Actuators B Chem.* 182 (2013) 633641.
- Z. Zhang, R. Zhang, D.J. McClements, Encapsulation of β -carotene in alginate-based hydrogel beads: Impact on physicochemical stability and bioaccessibility, *Food Hydrocolloids* 61 (2016) 110.
- Zenkiewicz, M., Richert, J., Rozański, A., 2010. Effect of blow moulding ratio on barrier properties of pol-ylactide nanocomposite films. *Polymer Testing* 29 (2), 251e257.
- Zhong, Y., Janes, D., Zheng, Y., Hetzer, M., De Kee, D., 2007. Mechanical and oxygen barrier properties of organoclay e polyethylene nanocomposite films. *Polymer Engineering and Science* 47 (7), 1101e1107.
- Zhou, R.J., Burkhart, T., 2011. Polypropylene/SiO₂ nanocomposites filled with different nanosilicas: thermal and mechanical properties, morphology and interphase characterization. *Journal of Materials Science* 46 (5), 1228e1238.

TENTANG PENULIS

Ilham Ahmad



Penulis lahir di Rappang tanggal 07 Npember 1975. Penulis adalah dosen pada Program Studi Agroindustri Politeknik Pertanian Negeri Pangkajene Kepulauan. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Hasanuddin Makassar dan menyelesaikan pendidikan S2 pada program studi Teknik dan Manajemen Industri Institut Teknologi Bandung. Saat ini, penulis sedang menempuh pendidikan S3 di program Pascasarjana Ilmu Pertanian Universitas Hasanuddin Makassar. Selain sebagai dosen, penulis juga adalah kepala laboratotium Perancangan Agroindustri di Program studi Agroindustri Politeknik Pertanian Negeri Pangkajene Kepulauan. Penulis menekuni bidang Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat yang terkait dengan keteknikan, teknologi proses dan sistem-sistem pertanian serta manajemen agroindustri.

Andi Ridwan Makkulawu



Penulis lahir di Sengkang Kabupaten Wajo tanggal 26 Juni 1975. Penulis adalah dosen pada Program Studi Agroindustri, Politeknik Pertanian Negeri Pangkajene Kepulauan. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Teknologi Industri Pada Universitas Muslim Indonesia dan melanjutkan S2 pada program studi Perencanaan dan Pengembangan Wilayah dan S2 pada Program studi marine life science Hokkaido University dan melanjutkan S3 pada Hokkaido University dengan program studi yang sama. Penulis menekuni bidang Penelitian dan bidang rekayasa sistem, sistem penunjang keputusan dan komputasi.

Nurleili Fattah



Dosen pada Program Studi Pengolahan dan Penyimpanan Hasil Perikanan, Politeknik Pertanian Negeri Pangkajene Kepulauan.



REPUBLIK INDONESIA
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC00202391015, 9 Oktober 2023

Pencipta

Nama : **Ihham Ahmad, Andi Ridwan Makkulawu dkk**
Alamat : Jl. Arief Rahman Hakim No. 92 Makassar,
Tallo, Makassar, Sulawesi Selatan, 90217

Kewarganegaraan : Indonesia

Pemegang Hak Cipta

Nama : **Ihham Ahmad, Andi Ridwan Makkulawu dkk**
Alamat : Jl. Arief Rahman Hakim No. 92 Makassar,
Tallo, Makassar, Sulawesi Selatan, 90217

Kewarganegaraan : Indonesia

Jenis Ciptaan : **Buku**

Judul Ciptaan : **Nanoteknologi Dan Aplikasinya Dalam Produksi Pertanian Dan Pangan**

Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia : 6 Oktober 2023, di Purbalingga

Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama hidup Pencipta dan terus berlangsung selama 70 (tujuh puluh) tahun setelah Pencipta meninggal dunia, terhitung mulai tanggal 1 Januari tahun berikutnya.

Nomor pencatatan : 000523970

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.

Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.

a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA
Direktur Hak Cipta dan Desain Industri



Anggoro Dasananto
NIP. 196412081991031002

Disclaimer:

Dalam hal pemohon memberikan keterangan tidak sesuai dengan surat pernyataan, Menteri berwenang untuk mencabut surat pencatatan permohonan.