

APLIKASI NANOTEKNOLOGI UNTUK PANGAN FUNGSIONAL MENDUKUNG DIVERSIFIKASI PANGAN 1)

Shannora Yuliasari²⁾, Hamdan ²⁾, Syafrial³⁾

²⁾Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Bengkulu

Jalan Irian Km 6,5 Bengkulu 38119

³⁾Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Jambi

ABSTRAK

Nanoteknologi merupakan ilmu yang mempelajari karakterisasi dan manipulasi bahan biologi dan mikrobiologi yang berukuran lebih kecil dari 100 nanometer. Dewasa ini, aplikasi nanoteknologi dalam produk pangan secara signifikan berkontribusi terhadap pengantaran senyawa bioaktif, mengenkapsulasi dan melindungi senyawa antioksidan, karena nanoteknologi dapat meningkatkan bioavailabilitas bahan aktif, mengendalikan pelepasan bahan aktif, melindungi dari reaksi kimi sehingga mengurangi dampaknya terhadap sifat sensori produk. Material nano dalam produk pangan dapat disiapkan dengan dua metode pendekatan yang berbeda, yaitu metode energi tinggi dan metode energi rendah. Metode energi tinggi menggunakan alat mekanis seperti homogenisasi tekanan tinggi, *microfluidizer*, dan sonikator, yang dapat menghasilkan energi untuk menghancurkan molekul komponen pangan menjadi material nano. Metode energi tinggi biasa digunakan untuk menyiapkan nanoemulsi dalam industri makanan dan minuman karena pemanfaatannya sudah mapan dibandingkan penggunaan emulsi konvensional. Metode energi rendah didasarkan pada pembentukan material nano secara spontan pada sistem pengemulsi, air, dan minyak di bawah kondisi lingkungan tertentu, dengan metode seperti emulsifikasi spontan. Makalah ini bertujuan untuk memberikan tinjauan (review) beberapa hasil penelitian mengenai aplikasi nanoteknologi dalam produk pangan untuk meningkatkan sifat fungsionalnya dan mendukung program diversifikasi pangan.

Kata kunci : nanoteknologi, nanoemulsi, pangan fungsional, diversifikasi pangan.

PENDAHULUAN

Keterbukaan pasar Indonesia akibat kesepakatan Masyarakat Ekonomi Asean (MEA), makin memperluas peluang masuknya produk pangan dari mancanegara. Untuk mengantisipasi hal tersebut, maka teknologi pengolahan dalam negeri tidak hanya dituntut untuk berkinerja baik, tetapi juga harus memiliki daya saing yang tinggi untuk merebut pasar domestik. Keberadaan nanoteknologi memicu pengembangan produk baru. Aplikasi nanoteknologi untuk pertanian dan pangan diharapkan dapat meningkatkan kuantitas dan kualitas produk pertanian dan pangan, sekaligus menciptakan pertanian presisi (*precision farming*) dimana input pertanian hanya diberikan sesuai kebutuhan untuk efisiensi biaya produksi. Hal ini akan mendukung upaya pencapaian swasembada pangan dan pengembangan produk lokal yang berdaya saing tinggi.

Teknologi pascapanen dan pengolahan pangan terus dioptimalkan untuk menghasilkan produk yang berdaya saing tinggi. Nanoteknologi dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan sifat baru atau memperbaiki sifat fisik, kimia dan keamanan pangan, seperti tekstur, rasa, warna, kelarutan, stabilitas, umur simpan, kandungan gizi (fortifikasi mikronutrien), penyerapan dan ketersediaan biologis (bioavailabilitas) zat gizi/senyawa bioaktif (Hoerudin & Harimurti, 2014).

Nanoteknologi juga banyak dikembangkan untuk meningkatkan kualitas pangan fungsional. Senyawa bioaktif sebagian besar memiliki sifat lipofilik (larut dalam lemak) dan

kelarutan dalam air rendah. Kelarutan yang rendah mengakibatkan penyerapan yang rendah pada sistem pencernaan dan ketersediaannya yang rendah dalam tubuh (Joye, *et al.* 2014). Dengan nanoteknologi, hal tersebut dapat diatasi dengan melakukan enkapsulasi senyawa bioaktif tersebut dengan bahan larut air dan mengatur pelepasannya dalam sistem pencernaan (Silva, *et al.*, 2012).

Penelitian dan pengembangan aplikasi nanoteknologi di bidang pertanian dan pangan saat ini semakin berkembang pesat, terutama di negara maju dan berkembang, seperti USA, Inggris, Australia, Korea, China, Thailand, Malaysia, dan Vietnam. Di Indonesia, nanoteknologi bisa dikatakan masih dalam tahap pengembangan dan aplikasinya masih belum banyak dilakukan. Di saat yang bersamaan, Indonesia memiliki potensi kekayaan alam pertanian dan pangan yang melimpah, namun sumber daya tersebut masih belum banyak diberikan nilai tambah sehingga belum dapat dijadikan sebagai penentu daya saing bangsa. Makalah ini bertujuan untuk memberikan tinjauan (review) beberapa hasil penelitian mengenai aplikasi nanoteknologi dalam produk pangan untuk meningkatkan sifat fungsionalnya dan mendukung program diversifikasi pangan.

Pengertian Nanoteknologi

Nanoteknologi didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari proses dan karakterisasi suatu bahan atau struktur yang berukuran lebih kecil dari 100 nanometer, termasuk juga fenomena unik dan sifat fungsional baru yang akan timbul (Chaudhry, *et al.*, 2008; Quintanilla-Carvajal, *et al.*, 2010). Secara matematis, 1 nm sama dengan 1 per 1.000.000.000 meter. Beberapa sistem pangan dan pertanian dapat memanfaatkan nanoteknologi untuk meningkatkan karakteristik dan sifat fungsional pangan, deteksi patogen atau kontaminan, dan *delivery system* bahan pangan fungsional. Nanoteknologi memungkinkan para ilmuwan untuk mengukur, mengontrol, dan memanipulasi materi pada skala nano untuk mengubah sifat dan fungsi dengan cara yang menguntungkan.

Ukuran partikel kecil menghasilkan luas permukaan yang lebih besar sehingga berpotensi untuk meningkatkan kelarutan, penyerapan dan ketersediaan biologis (bioavailabilitas) senyawa aktif, serta pelepasan yang terkontrol (Sekhon, 2010). Ukuran partikel yang kecil tersebut menghasilkan sifat fisikokimia baru, seperti luas permukaan, reaktivitas dan warna, yang sangat berbeda dibandingkan material pada ukuran konvensional (Pérez-Esteve, *et al.*, 2013). Sifat baru dan unik tersebut membuka peluang yang besar bagi pengembangan aplikasi dan produk inovatif di berbagai bidang karena dapat menghemat bahan baku, mempercepat dan mengefisienkan proses, serta meningkatkan presisi dan akurasi.

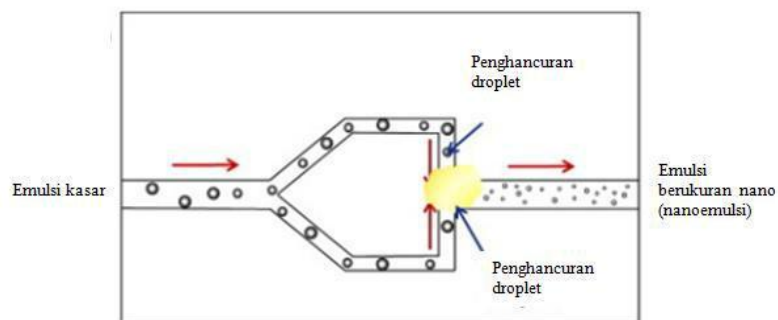
Pendekatan Metode Penyiapan Material Nano

Material nano dalam produk pangan dapat disiapkan dengan dua metode pendekatan yang berbeda, yaitu metode energi tinggi dan metode energi rendah. Metode energi tinggi menggunakan alat mekanis seperti homogenisasi tekanan tinggi, *microfluidizer*, dan sonikator, yang dapat menghasilkan energi untuk menghancurkan molekul komponen pangan menjadi material nano (Kentish, *et al.*, 2008; Sekhon, 2010). Metode energi tinggi biasa digunakan untuk menyiapkan material nano dalam bentuk emulsi (nanoemulsi) yang dapat diaplikasikan ke dalam makanan dan minuman untuk memperbaiki sifat emulsi konvensional. Metode energi rendah didasarkan pada pembentukan partikel nano secara spontan pada sistem pengemulsi, air, dan minyak di bawah kondisi lingkungan tertentu, dengan metode seperti emulsifikasi spontan (Yang, *et al.*, 2012)

Dalam industri pangan, nanoemulsi biasanya diproduksi menggunakan metode energi tinggi, seperti *microfluidization*, homogenisasi tekanan tinggi (*high pressure homogenizer*), dan sonikasi. Metode ini menghasilkan kekuatan mekanis yang menyebabkan pemisahan fase minyak menjadi droplet kecil yang terdispersi dalam fase air (Kentish, *et al.*, 2008). *Microfluidizer* pada prinsipnya membagi emulsi yang mengalir melalui saluran menjadi dua aliran, melewati setiap aliran melalui saluran halus yang terpisah, dan kemudian mengarahkan dua aliran satu sama lain dalam sebuah ruang interaksi (Gambar 1).

Nanoemulsi dengan *microfluidization* dan homogenisasi tekanan tinggi disiapkan dengan cara yang hampir sama. Emulsi kasar yang terdiri dari minyak, air dan

pengemulsi dilewatkan melalui katup yang di dalamnya terdapat kombinasi tenaga penghancuran yang besar yang menyebabkan droplet besar dihancurkan menjadi droplet kecil (Yang, *et al.*, 2012). Sejumlah studi sebelumnya telah menunjukkan bahwa *microfluidization* sangat efisien dalam menciptakan nanoemulsi untuk bahan pangan, dan telah mengidentifikasi beberapa faktor utama yang mempengaruhi efisiensi homogenisasi, termasuk tegangan antarmuka minyak dan air, rasio minyak dan air, viskositas, serta jenis dan konsentrasi emulsifier (Qian & McClements, 2011).



Gambar 1. Skema aliran emulsi dalam *microfluidizer* (Yang, *et al.*, 2012).

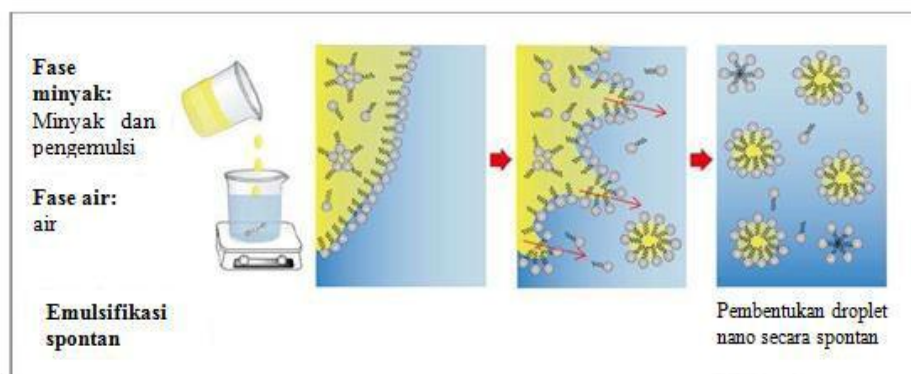
Ukuran minimum dari droplet yang dihasilkan tergantung pada berbagai faktor, antara lain jenis dan kondisi operasi homogenizer (intensitas energi, waktu, dan suhu), komposisi sampel (jenis minyak, emulsifier, dan konsentrasi masing-masing bahan dalam sampel), sifat fisikokimia seperti tegangan antarmuka dan viskositas. Konsentrasi dan distribusi ukuran partikel droplet minyak dalam nanoemulsi dapat dikendalikan dengan mengatur komposisi emulsifier yang digunakan untuk menstabilkan sistem (Yuan, *et al.*, 2008).

Teknik lain penyiapan material nano dengan metode energi tinggi adalah ultrasonikasi. Ultrasonikasi merupakan teknik pemberian gelombang ultrasonik. Gelombang ultrasonik merupakan rambatan energi dan momentum mekanik, sehingga membutuhkan medium untuk merambat sebagai interaksi dengan molekul. Gelombang ultrasonik memiliki frekuensi melebihi batas pendengaran manusia, yaitu di atas 20 kHz. Ultrasonikasi dengan intensitas tinggi dapat menginduksi secara fisik dan kimia. Efek fisik dari ultrasonikasi intensitas tinggi salah satunya adalah emulsifikasi. Terdapat dua mekanisme pada proses emulsifikasi dengan ultrasonikasi. Pertama, penerapan medan akustik menghasilkan gelombang pada ruang antarmuka (interfasial) yang mengakibatkan pergerakan fase minyak ke dalam fase cair dalam bentuk droplet. Kedua, penerapan gelombang ultrasonik menyebabkan kenaikan tekanan dalam cairan, akibatnya terjadi pemecahan droplet minyak menjadi berukuran lebih kecil dan terdispersi dalam fase cair (Kentish, *et al.*, 2008).

Ada beberapa keterbatasan dalam menggunakan metode energi tinggi untuk menghasilkan material nano, seperti membutuhkan peralatan mahal dan biaya operasi tinggi, kebutuhan daya tinggi, potensi kerusakan peralatan, dan kesulitan dalam memproduksi droplet yang sangat halus dari beberapa jenis bahan pangan (misalnya, minyak yang sangat kental). Material nano juga dapat diproduksi menggunakan berbagai metode energi rendah, seperti metode fase inversi dan metode emulsifikasi spontan (McClements, *et al.*, 2011). Metode energi rendah didasarkan pada pembentukan droplet minyak secara spontan pada sistem pengemulsi, minyak, dan air di bawah kondisi lingkungan tertentu (komposisi, suhu, dan pengadukan), yang kemudian terjebak dalam keadaan metastabil (Rao & McClements, 2010).

Dalam metode emulsifikasi spontan, pada awalnya sistem emulsi terdiri dari fase organik (minyak dan pelarut organik) serta fase cair (air dan emulsifier hidrofilik). Ketika fase cair ditambahkan ke fase organik, maka pelarut organik akan bergerak meninggalkan fase minyak menuju fase cair, sehingga menyebabkan ukuran droplet minyak mengecil (Gambar 2). Pembentukan emulsi terjadi secara spontan setelah campuran minyak dan pengemulsi dimasukkan ke dalam fase air (Yang, *et al.*, 2012). Pelarut organik yang terdapat dalam sistem emulsi tersebut dihilangkan dengan penguapan. Perbandingan antara fase

organik dan fase cair berpengaruh terhadap ukuran droplet emulsi yang dihasilkan (Tan & Nakajima 2005; Lee dan McClements, 2010).



Gambar 2. Skema metode emulsifikasi spontan (Yang, *et al.*, 2012).

Pendekatan energi rendah mungkin memiliki keunggulan dibandingkan pendekatan energi tinggi untuk aplikasi tertentu dalam industri makanan dan minuman, karena lebih efektif dalam memproduksi droplet yang sangat halus, membutuhkan peralatan yang lebih sederhana dan biaya energi lebih rendah, serta lebih mudah untuk diterapkan. Di sisi lain, metode energi rendah memiliki kelemahan, yaitu keterbatasan pada jenis minyak dan pengemulsi yang dapat digunakan untuk membentuk nanoemulsi yang stabil, dan jumlah pengemulsi yang digunakan relatif tinggi (Yang, *et al.*, 2012).

Peranan Aplikasi Nanoteknologi dalam Bidang Pangan

Banyak zat gizi mikro atau senyawa bioaktif yang tidak dapat diaplikasikan secara langsung dalam bentuk murni ke dalam produk pangan karena sifat fisik, kimia, dan biologinya (McClement, 2014). Beberapa zat gizi mikro dan senyawa bioaktif tersebut mempunyai kelarutan rendah dalam air ataupun minyak. Zat gizi mikro tersebut mudah mengalami perubahan sifat fisik dan kimia selama persiapan, proses pengolahan pangan, penyimpanan, dan pengangkutan. Beberapa zat gizi mikro atau senyawa bioaktif akan menghasilkan flavor yang tidak dikehendaki (*off-flavor*) sehingga produk pangan menjadi kurang disukai. Beberapa zat gizi mikro lainnya dapat berinteraksi dengan komponen pangan yang lain sehingga akan mengurangi bioaktivitas dan stabilitas produk. Oleh karena, zat gizi mikro atau senyawa bioaktif tersebut perlu dilindungi (Joye, *et al.*, 2014).

Penerapan nanoteknologi dalam bidang pangan telah dicoba untuk memperbaiki rasa, warna, flavor, tekstur, dan konsistensi bahan pangan, meningkatkan daya serap dan bioavailabilitas zat gizi (Chaudry, *et al.*, 2008). Sebagai contoh aplikasi nanoteknologi adalah teknologi emulsifikasi dengan droplet emulsi berukuran 1–100nm (nanoemulsi). Nanoemulsifikasi berkontribusi meningkatkan dispersibilitas senyawa bioaktif dalam larutan, meminimalkan kecenderungan pemisahan fase air dan lemak, melindungi senyawa bioaktif dari interaksi dengan komponen bahan pangan lain, menjaga sifat fungsional senyawa bioaktif, meningkatkan stabilitas selama pengolahan dan penyimpanan, meminimalkan dampak pada sifat organoleptik pangan, serta untuk meningkatkan penyerapan dan bioavailabilitas senyawa bioaktif (Donsi *et al.* 2011).

Pengembangan produk pangan dengan nanoteknologi juga dapat memperbaiki sifat fungsional ingredien pangan. Aplikasi nanoteknologi dilakukan melalui pengembangan media pembawanya (*carrier*) menjadi berukuran nano. Media pembawa yang berukuran nano dapat memperbaiki tingkat absorpsinya, sehingga berpotensi membawa zat gizi mikro seperti vitamin dan mineral untuk diedarkan ke seluruh tubuh (Morris, 2007).

Aplikasi nanoetknologi dalam proses pengolahan pangan dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu (1) Ingredien pangan berukuran nano sebagai media pembawa zat gizi mikro yang berukuran nano dan berfungsi untuk mempercepat penyerapan zat gizi, (2) Senyawa bioaktif berukuran nano yang dienkapsulasi dan bermanfaat untuk mencegah off-flavor, menghambat degradasi fisik dan kimia, serta meningkatkan bioavailabilitas, dan (3)

aditif pangan berukuran nano sebagai antimikroba dan bahan aktif pada kemasan cerdas (Weiss, *et al.*, 2006).

Perkembangan Penelitian dan Pengembangan Nanoteknologi dalam Bidang Pangan di Indonesia

Penelitian dan pengembangan nanoteknologi di sejumlah institusi pemerintah dan swasta di Indonesia sudah mulai dirintis sejak awal tahun 2000-an. Di antara institusi-institusi tersebut antara lain, LIPI, BPPT, BATAN, ITB, UGM, UI, IPB, dan Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian (Balitbangtan). Hasil studi menunjukkan bahwa program-program litbang nanoteknologi di Indonesia banyak terfokus pada pengembangan material nano berbasis bahan anorganik. Pada tahun 2013, Balitbangtan telah membangun laboratorium nanoteknologi yang dilengkapi peralatan riset yang memadai dan tergolong terlengkap di Indonesia untuk bidang ilmu hayati. Kegiatan litbang nanoteknologi di Balitbangtan difokuskan pada bidang pertanian dan pangan (Hoerudin dan Irawan, 2015).

Nanoteknologi dapat diaplikasikan pada penanganan segar, pengolahan, pengawetan dan peningkatan sifat fungsional pangan. Aplikasi nanoteknologi pada penanganan produk pertanian segar dapat mempertahankan mutu fisik (kesegaran) dan mutu kimia dari produk tersebut (Hoerudin dan Irawan, 2015). Produk *nano edible coating* banyak dikembangkan dan diaplikasikan pada permukaan buah segar untuk mempertahankan mutu dan umur simpannya. *Edible coating* adalah lapisan tipis yang dapat dikonsumsi yang digunakan pada makanan dengan cara pembungkusan, pencelupan, atau penyemprotan untuk memberikan penahan yang selektif terhadap perpindahan gas, uap air dan bahan terlarut serta perlindungan terhadap kerusakan mekanis. Hasil penelitian Nabifarkhani *et al.*, (2015) menunjukkan bahwa aplikasi aktif *nano composite coating* yang terbuat dari kitosan 1%, selulosa 1% dan minyak atsiri 1% dapat mempertahankan kandungan total padatan terlarut, antosianin dan total gula buah cherry dibandingkan perlakuan kontrol. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa aplikasi aktif *nano composite coating* dapat memperpanjang umur simpan, menghasilkan penampakan yang lebih baik dan mencegah pertumbuhan jamur. Dilaporkan pula bahwa aplikasi coating nanopartikel kitosan yang berukuran 85-112 nm pada buah stroberi dapat mempertahankan kesegaran, mutu organoleptik dan mengurangi kehilangan berat hingga 20-30 hari penyimpanan pada suhu $5 \pm 1^\circ\text{C}$ dan kelembaban relatif $70 \pm 5\%$. Sedangkan pada perlakuan tanpa coating (kontrol) penurunan mutu organoleptik stroberi sudah teramati sejak hari ke-2 pada kondisi penyimpanan yang sama (Hajirasouliha, *et al.*, 2012).

Pada tahap pengolahan pangan telah ditemukan inovasi proses nano-restrukturasasi bahan pangan alami yang memungkinkan produksi pangan dengan kadar lemak lebih rendah, namun tetap memiliki cita rasa yang enak seperti aslinya. Contohnya yaitu es krim, mayonnaise atau spread (panganolesan) dengan kadar lemak rendah, akan tetapi memiliki tekstur *creamy* seperti produk dengan kadar lemak tinggi (Chaudhry & Castle 2011). Pada industri pangan, nanoemulsi telah diaplikasikan untuk membuat produk es krim rendah lemak tanpa mempengaruhi cita rasanya (Silva, *et al.*, 2012). Yuliani *et al.*, (2012) telah mengembangkan produk spread untuk roti dan biskuit yang terbuat dari nanoemulsi lemak kakao (cocoa butter). Dalam bentuk nanoemulsi, lemak kakao yang dibutuhkan lebih rendah untuk menghasilkan spread dengan sifat organoleptik yang sama. Penggunaan lemak kakao dalam bentuk nanoemulsi dapat menghasilkan spread rendah lemak (reduced fat spread) yang lebih sehat.

Banyak zat gizi dan senyawa bioaktif memiliki kelarutan dalam air yang rendah serta sensitif terhadap oksigen, cahaya, panas, dan atau pH, sehingga mudah mengalami kerusakan pada saat pengolahan, penyimpanan, transportasi dan atau pencernaan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, sistem penghantar berstruktur nano dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kelarutan, stabilitas maupun penyerapan zat gizi dan senyawa bioaktif (Pérez-Esteve *et al.*, 2013). Sebagai contoh, pengembangan nanoemulsi dan nanoenkapsulat vitamin A untuk bahan fortifikasi atau pengayaan gizi pangan (Yuliani, *et al.*, 2014) dan nanoemulsi minyak sawit merah yang diperkaya β -karoten sebagai ingredien pangan fungsional (Yuliasari, *et al.*, 2014).

Di bidang pangan, nanoteknologi paling banyak dan paling cepat perkembangan aplikasinya yaitu untuk kemasan pangan. Sistem pengemasan untuk masa yang akan datang

dituntut mampu menutup pori-pori kecil pada kemasan dan memiliki respon yang baik terhadap lingkungan seperti perubahan suhu, udara dan kelembaban. Selain itu tren kemasan masa depan adalah *biodegradable* dan memiliki kemampuan antimikroba. Penyisipan material nano di dalam polimer kemasan (*nanopackaging*) dapat dijadikan alternatif bahan pengemas dan diharapkan dapat meningkatkan nilai tambah produk pangan.

Penyisipan material nano ke dalam polimer plastik telah mendorong berkembangnya bahan-bahan kemasan pangan inovatif yang secara umum dapat digolongkan ke dalam empat kategori, yaitu (1) nanokomposit polimer dengan kandungan nanopartikel hingga 5% dan menghasilkan karakteristik yang lebih baik dalam hal fleksibilitas, daya tahan, stabilitas terhadap suhu dan atau kelembaban, serta perpindahan/migrasi gas, (2) kemasan "aktif" berubahan polimer yang mengandung material nano yang bersifat antimikroba, (3) nano-coating "aktif" untuk menjaga higienitas permukaan bahan atau pun kontak pangan dan nano-coating hidrofobik sehingga permukaan bahan/kemasan memiliki daya bersih mandiri (*self-cleaning surfaces*), dan (4) kemasan "pintar" yang didalamnya terdapat nano-(bio)sensor untuk memonitor dan melaporkan kondisi pangan dan atau kondisi atmosfer didalam kemasan dan nano-barcode untuk mengetahui keautentikan/keotentikan pangan (Chaudhry & Castle 2011; Chaudhry, *et al.*, 2008).

Saat ini pengembangan kemasan pangan hasil nanoteknologi memiliki potensi manfaat yang sangat luas. Beberapa manfaat tersebut diantaranya untuk mengendalikan proses pematangan buah, mempertahankan kesegaran dan keamanan daging, deteksi kontaminan/pathogen pangan, dan deteksi kadaluarsa pangan (Chaudhry & Castle 2011; Pérez-Esteve, *et al.*, 2013). Balitbangtan juga telah mengembangkannya kemasan aktif antimikroba yang disisipi enkapsulat ekstrak bawang putih atau nanopartikel zinc oxides serta kemasan ramah lingkungan yang diperkuat nano-serat selulosa (Hoerudin & Irawan, 2015).

Keamanan produk pangan dengan nanoteknologi

Saat ini terdapat sejumlah isu terkait keamanan produk nanoteknologi. Persepsi masyarakat terhadap produk pangan dengan nanoteknologi melibatkan material anorganik yang berukuran nano dimasukkan ke dalam produk pangan dan akhirnya akan masuk ke dalam tubuh manusia. Menurut Hoerudin & Irawan (2015), berdasarkan karakteristiknya, risiko keamanan pangan produk nanoteknologi dapat dibagi dalam tiga kategori, yaitu (1) risiko rendah, dimana produk pangan/kemasan pangan mengandung nanopartikel/nanostruktur (alami) yang dapat tercerna dan tidak biopersistent (terakumulasi di dalam tubuh), (2) risiko sedang, dimana produk pangan/kemasan pangan mengandung bahan aktif/tambahan pangan yang disalut sistem penghantar berukuran nano yang dapat menembus saluran pencernaan serta meningkatkan penyerapan dan bioavailabilitas (dalam hal ini peningkatan penyerapan bahan aktif/bahan tambahan pangan dan bahan penyalutnya belum tentu memberikan manfaat untuk kesehatan, bahkan mungkin sebaliknya), dan (3) risiko tinggi, dimana produk pangan/kemasan pangan mengandung nano partikel tidak terlarut, tidak tercerna dan berpotensi biopersistent, seperti nanopartikel logam dan logam oksida. Pada kelompok risiko tinggi tersebut, konsumen atau lingkungan sangat berpotensi terpapar nanopartikel yang sifat toksisitasnya hingga saat ini belum banyak diketahui. Kurangnya pengetahuan mengenai hal tersebut akan menimbulkan kesulitan dalam menilai tingkat asupan pangan yang aman.

Komponen bahan pangan berukuran nano juga terdapat pada pangan secara alamiah. Sebagai contoh, protein sebagai β -laktoglobulin alam yang terdapat dalam susu sapi memiliki ukuran sekitar 3,6 nm. Proses denaturalisasi dapat menyebabkan protein tersebut membentuk struktur yang lebih besar sehingga membentuk jejaring gel (Cushen *et al.*, 2012). Yogurt merupakan salah satu contoh produk akhir dari proses tersebut dan merupakan contoh pangan produk nanoteknologi yang aman dikonsumsi (Pérez-Esteve *et al.*, 2013).

DAFTAR PUSTAKA

- Chaudhry, Q & Castle, L 2011, 'Food applications of nanotechnologies: An overview of opportunities and challenges for developing countries', *Trends in Food Science & Technology*, vol. 22, no. 11, pp. 595-603
- Chaudhry, Q, Scotter, M, Blackburn, J, Ross, B, Boxall, A, Castle, L, Aitken, R & Watkins, R 2008, 'Applications and implications of nanotechnologies for the food sector', *Food Additives and Contaminants*, vol. 25, no. 3, pp. 241-58.
- Cushen, M, Keery, J, Morris, M, Cruz-Romero, M & Cummins, E 2012, 'Nanotechnologies in the food industry-Recent developments, risks and regulation', *Trends in Food Science & Technology*, vol. 24, pp. 30-46.
- Donsi F, Sessa M, Mediounic H, Mgaidic A, Ferrari G. 2011. Encapsulation of bioactive compounds in nanoemulsion based delivery systems. *Proc. Food Sci.* 1: 1666-1671.
- Hajirasouliha, M, Jannesari, M, Najafabadi, FS & Hashemi, M 2012, 'Effect of novel chitosan nano-particle coating on postharvest qualities of strawberry', in *Proceedings of the 4th International Conference on Nanostructures*, Kish Island, I.R. Iran, pp. 840-2.
- Hoerudin & Harimurti, N 2014, 'Nanoformulations for enhancing bioavailability and biological activities of curcumin', in O Rostiana (ed.), *Proceeding of International Seminar on Spice, Medicinal and Aromatic Plants*, Jakarta
- Hoerudin, Irawan, B. 2015. *Prospek nanoteknologi dalam membangun ketahanan pangan*. Pasandaran, et al. (Editor). *Memperkuat Kemampuan Swasembada Pangan*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. 382 hal. ISBN 978-602-344-085-6.
- Joye, I. J., Davidov-Pardo, G., McClements, D.J. 2014. Nanotechnology for increased micronutrient bioavailability. *Trends in Food Science & Technology* xx (2014) 1e15
- Kentish S *et al.* 2008. The use of ultrasonics for nanoemulsion preparation. *Innov. Food Sci. and Emerg. Technol.* 9: 170-175.
- Lee SJ, McClements DJ. 2010. Fabrication of protein -stabilized nanoemulsions using a combined homogenization and amphiphilic solvent dissolution/evaporation approach. *J. Food Hyd.* 24: 560-569. doi:10.1016/j.foodhyd.2010.02.002.
- McClements, D. J. (2014). *Nanoparticle- and microparticle-based delivery systems: Encapsulation, protection and release of active components*. Boca Raton, FL: CRC Press
- McClements, D. J. 2011. Edible nanoemulsions: fabrication, properties, and functional performance. *Soft Matter*. Rao, J. dan McClements, D.J. 2012. Lemon oil solubilization in mixed surfactant solutions: Rationalizing microemulsion & nanoemulsion formation. *Food Hydrocolloids* 26, 268-276.
- Moris, V. 2007. *Nanotechnology and Food*. IUFest Scientific Information Bulletin. 1-7.
- Nabifarkhani, N, Sharifani, M, Daraei Garmakhany, A, Ganji Moghadam, E & Shakeri, A 2015, 'Effect of nano-composite and Thyme oil (*Tymus Vulgaris* L) coating on fruit quality of sweet cherry (Takdaneh Cv) during storage period', *Food Science & Nutrition*, vol. 3, no. 4, pp. 349-54.

- Pérez-Esteve, E, Bernardos, A, Martínez-Máñez, R & Barat, JM 2013, 'Nanotechnology in the development of novel functional foods or their package. An overview based in patent analysis', *Recent Patents on Food, Nutrition & Agriculture*, vol. 5, pp. 35-43.
- Quintanilla-Carvajal, M, Camacho-Díaz, B, Meraz-Torres, L, Chanona-Pérez, J, Alamilla-Beltrán, L, Jimenéz -Aparicio, A & Gutiérrez -López, G 2010, 'Nanoencapsulation: A New Trend in Food Engineering Processing', *Food Engineering Reviews*, vol. 2, no. 1, pp. 39-50.
- Rao J, McClements DJ. 2010. Lemon oil solubilization in mixed surfactant solutions: Rationalizing microemulsion and nanoemulsion formation. *Food Hyd.* 26: 268-276.
- Sekhon BS. 2010. Food nanotechnology – an overview. *Nanotechnology, Sci. and App.* 3: 1–15.
- Silva, H, Cerqueira, M & Vicente, A 2012, 'Nanoemulsions for food applications: development and characterization', *Food and Bioprocess Technology*, vol. 5, pp. 854-67.
- Tan CP, Nakajima M. 2005. β -Carotene nanodispersions: preparation, characterization and stability evaluation. *Food Chemistry* 92, 661–671. doi: 10.1080/02652040500100329
- Weiss, J., Takhistov, P., dan McClements, J. 2006. Functional material in food nanotechnology. *Journal of Food Science*, Vol 71, No. 9, 107-116.
- Yang, Y., Marshall-Breton, C., Leser, M.E., Sher, A.A., McClements, D.J., 2012. Fabrication of ultra-fine Edible emulsions: Comparison of high-energy and low-energy homogenization methods, *Food Hydrocolloids* 29 (2); 398 – 406. [doi:10.1016/j.foodhyd.2012.04.009](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.04.009)
- Yuan Y, Gao Y, Zhao J, Mao L. 2008. Characterization and stability evaluation of β -carotene nanoemulsions prepared by high pressure homogenization under various emulsifying conditions. *J. Food Res.* 41: 61–68. doi:10.1016/j.foodres.2007.09.006.
- Yuliani, S, Harimurti, N, Nurdjannah, N & Herawati, H 2012, Teknologi nanoemulsi lemak kakao (cocoa butter) sebagai bahan spread kaya antioksidan untuk roti dan biskuit, Laporan Akhir Kegiatan Penelitian Insentif Peningkatan Kemampuan Peneliti dan Perekayasa, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Bogor.
- Yuliani, S, Hoerudin, Harimurti, N, Iriani, ES, Agustinisari, I, Permana, AW, Dewandari, KT, Juniawati, , Munarso, SJ, Widaningrum, H, M, Hasan, ZH, Haliza, W, Suryanegara, L, Wahyudiono, Mulyani, ES, Lestina, P, Irvandy, A, Triyono, M, Haerani, C & Suryadi, RI 2014, Pengembangan nanoteknologi untuk pangan fungsional, nutrasetikal dan kemasan, Laporan Akhir Tahun Penelitian DIPA, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Bogor.
- Yuliasari S, Fardiaz D, Andarwulan N, Yuliani S. 2014. Karakteristik nanoemulsi minyak sawit merah diperkaya β -karoten. *J. Littri.* 20 (3): 111-121.