PENERAPAN NANOTEKNOLOGI DALAM INDUSTRI PANGAN DAN PENGEMBANGAN REGULASINYA

(NANOTECHNOLOGY APPLICATIONS IN FOOD INDUSTRY AND DEVELOPMENT OF ITS REGULATION)

Agus Sudibyo [1] dan Djumarman [2]

[1] Balai Besar Industri Agro (BBIA), [2] Badan Penelitian dan Pengembangan Industri
Jl. Ir. H. Juanda 11 Bogor
asdibyo_as@yahoo.co.id

ABSTRAK

Tinjauan ilmiah tentang penerapan nanoteknologi dalam industri pangan dan pengembangan regulasinya disusun untuk membahas potensi penerapan nanoteknologi dan ilmu nano pada berbagai industri pengolahan pangan (ingredien pangan, bahan tambahan pangan, pembawa untuk penambahan zat gizi/suplemen), kemasan pangan sebagai bahan yang kontak langsung dengan pangan, penginderaan dan keamanan pangan, pembersihan dan sanitasi pangan, dan bahkan produk pangan nano ini telah siap dijumpai di beberapa negara. Isu potensi keamanan pangan terhadap konsumen dan risiko dari produk pangan nano telah menjadi bahan perdebatan yang hangat sehingga perlu adanya klarifikasi. Sejumlah ketidakpastian dan adanya jurang pemisah yang berkaitan dengan aspek regulasi pangan nano telah didiskusikan pula.

Kata kunci : nanoteknologi, ilmu nano, penerapan, industri pangan, regulasi

ABSTRACT

A review on current nanotechnology applications in food industry and development of its regulations was prepared to discuss the application of nanotechnology and nanoscience in food processing industry (food ingredients, additives, carriers for nutrients/supplements), food packaging directly contact to the food material, sensor and food safety, cleaning and food sanitation which have already available in the market of some countries. An intensive debate on some consumer safety issues and risk of nanofood products is still going on and needs a clarification. A number of uncertainties and gaps in relevant regulatory framework have also been discussed.

Keywords *: nanotechnology, nanoscience, application, food industry, regulation*

I. PENDAHULUAN

Nanoteknologi oleh IFST (2006) dan Morris (2007) didefinisikan sebagai suatu design, produksi dan penerapan dari struktur, peralatan dan sistem melalui pengendalian bentuk dan ukuran material pada skala nanometer (10^{-9} m); atau kreasi dan penggunaan material, peralatan dan sistem yang mengeksploitasi peningkatan karakteristik dari struktur dan sifat-sifat bahan pada rentang ukuran nanometer, yaitu dalam ukuran antara 1 sampai dengan 100 m^{-9} (DEST, 2003). Bahkan nanoteknologi boleh dikatakan merupakan pengembangan konsep gabungan antara keberadaan material pada versi skala nano dengan golongan material yang baru sama sekali (NNCO, 2006).

National Nanotechnology Initiative atau NNI (2006) menyebutkan bahwa nanoteknologi (*nanotechnology*) mengandung pengertian suatu material pada ukuran dimensi 1-100 nanometer, yang memungkinkan diterapkannya fenomena baru yang unik serta mencakup ilmu skala nano, rekayasa dan teknologi sehingga nanoteknologi dapat mencakup pencitraan (*imaging*), pengukuran (*measurement*), permodelan (*modelling*), dan penyederhanaan (*manipulating*) bahan dalam skala panjang.

Sementara itu ilmu nano (*nanoscience*) oleh IFST (2006) didefinisikan sebagai studi fenomena dan manipulasi material pada tingkat skala atom, molekuler dan makromolekuler; dimana karakteristik material tersebut berbeda dengan material

yang mempunyai ukuran lebih besar. Lebih lanjut Chau *et al.* (2007) menyatakan bahwa ilmu nano dan nanoteknologi pada prinsipnya mempunyai pengertian yang sama, yaitu mengandung pengertian dan manipulasi dari bahan pada skala atom, molekuler dan makromolekuler.

Dalam nanoteknologi dan ilmu nano, menurut Oberdoster *et al.* (2005), makin besar luas permukaan area setiap massa bahan, dibandingkan dengan ukuran partikel yang lebih besar dari pada partikel yang berukuran nano dan berasal dari partikel kimia yang sama akan semakin aktif secara biologi.

Pasar produk hasil nanoteknologi dan ilmu nano, khususnya untuk produk pangan, menurut hasil studi Kaiser (2004) diperkirakan akan terus meningkat dengan nilai 2,6 milyar dolar Amerika Serikat pada tahun 2004 menjadi 20,4 milyar dolar Amerika Serikat pada tahun 2010. Pasar terbesar untuk produk pangan nano ini pada tahun 2010 berada di wilayah Asia dengan China menduduki peringkat pertama karena penduduknya yang besar. Saat ini Amerika Serikat merupakan pasar terbesar untuk produk nanoteknologi, yaitu tiga kali lebih besar dari pasar di Asia Timur dan Eropa (El Amin, 2006 a).

Tidak adanya intervensi dari pihak pemerintah untuk pengaturan produk nanoteknologi, khususnya produk pangan nano (*nano foods*) yang telah ada dan beredar di pasar, mengakibatkan tidak terdapatnya definisi yang jelas, terjadinya debat publik tentang keamanan pangan dan pengaturan pangan yang tepat. Hal ini dapat mengurangi manfaat potensial nanoteknologi pada industri pangan (Chau *et al.*, 2007). *The Institute of Food Science and Technology* (IFST) telah mengingatkan adanya kekurangan dalam pengaturan hal-hal yang berpotensi menimbulkan dampak pada pengembangan nanoteknologi dalam pangan dan kemasannya (IFST, 2006). Persepsi publik atau masyarakat terhadap produk nanoteknologi juga sangat penting dan perlu diperhatikan (Macoumbrie, 2006; *Royal Society and Royal Academy of Engineering*, 2004). Oleh karena itu, sikap publik terhadap nanoteknologi sebaiknya perlu ditanggapi pada sejak tahap awal pengembangan teknologi tersebut (Renn dan Roco, 2006; Roco, 2003).

Nanoteknologi saat ini merupakan salah satu kunci teknologi untuk masa mendatang dan mempunyai potensi besar untuk memunculkan produk-produk baru dengan berbagai keunggulan dan manfaatnya (Siegrist *et al.*, 2007). Di sisi lain, informasi yang berkaitan dengan risiko penanganan bahan/material nano masih terbatas dan beberapa laporan dari diskusi ilmiah bahkan mengindikasikan adanya kemungkinan partikel nano berpotensi menimbulkan risiko keamanan dan kesehatan (ETC Group, 2005 b). Oleh karena itu tulisan ini akan membahas potensi penerapan nanoteknologi dalam industri pangan, isu keamanan dan risiko dari produk nanoteknologi serta pengembangan regulasi produk pangan nano.

II. POTENSI PENERAPAN TEKNOLOGI NANO DALAM INDUSTRI PANGAN

Menurut Chau *et al.* (2007), kemajuan yang dicapai dari penemuan baru dalam nanoteknologi telah mulai dirasakan dampaknya terhadap industri pangan dan industri terkaitnya. Hal ini menimbulkan dampak penting terhadap isu keamanan pangan dari produk pangan baru hasil sintesis molekuler dan ingrediennya yang mengandung bahan partikel nano, terutama produk *nutraceuticals* dan pangan fungsional yang digunakan untuk mengantarkan senyawa bioaktif dalam pangan fungsional tersebut. Disamping itu, dampak nanoteknologi dalam industri pangan saat ini menjadi lebih nyata dibandingkan beberapa tahun yang lalu karena banyaknya konferensi/seminar dengan topik dan isu tentang "pangan yang aman dan lebih baik" disertai adanya pemberitaan di media massa, sehingga banyak perusahaan besar industri pangan melakukan kegiatan penelitian dan pengembangan produk pangan nano dengan tujuan untuk memperbaiki keberadaan produk yang sudah ada dan pengembangan produk pangan baru dalam rangka mempertahankan dominasi pasar (Joseph dan Morrison, 2006).

1. Penerapannya Dalam Pengolahan Pangan

Penerapan nanoteknologi dalam industri pangan dapat dikatakan relatif baru, tetapi penerapannya diperkirakan akan tumbuh dan berkembang cepat dalam beberapa tahun mendatang. Sebagai contoh, beberapa perusahaan industri pangan besar

dilaporkan telah secara aktif mengeksplorasi potensi nanoteknologi untuk digunakan dalam pengembangan produk pangan baru dan pengemasan pangan (Harper, 2006).

Penerapan nanoteknologi dalam industri pangan telah dicoba untuk memperbaiki rasa, warna, flavor, tekstur, dan konsistensi bahan pangan; meningkatkan daya serap (absorpsi) dan bioavaibilitas dari zat gizi dan suplemen yang sehat, memperbaiki sifat-sifat mekanis, hambatan dan antimikroba dari bahan pengemas ; dan mengembangkan sensor nano untuk deteksi kontaminan dan bakteri patogen; serta untuk memperbaiki kemamputelusuran (*traceability*) dan pemantauan kondisi bahan pangan selama penyimpanan dan transportasi (Chaudhry *et al*., 2008).

Lebih lanjut Chaudhry *et al*. (2008) menyatakan bahwa penerapan nanoteknologi yang saat ini sudah diketahui dan diproyeksikan akan berkembang pada sektor industri pangan dikelompokkan dalam beberapa kategori utama sebagai berikut : (a) Kelompok ingredien yang telah diproses dan diformulasi menjadi struktur nano ; (b) Kelompok material yang berukuran nano yang dienkapsulasi atau bahan aditif partikel nano hasil rekayasa yang digunakan dalam bahan pangan ; (c) Kelompok material nano yang telah digabung untuk dikembangkan menjadi bahan pengemas pangan yang lebih baik dan (d) Kelompok peralatan yang berbasis material dan nanoteknologi, misalnya alat filtrasi nano, alat pengolah air nano, dan penginderaan nano untuk tujuan keamanan pangan dan kemamputelusuran.

Penerapan nanoteknologi dalam proses pengolahan pangan yang cukup menarik adalah penambahan kapsul nano pada bahan pangan yang dapat pecah dan larut dengan bantuan alat *microwave* pada frekuensi yang berbeda-beda, sehingga dapat menimbulkan sifat interaktif pada pangan dan minuman sesuai dengan flavor dan warna yang dikehendaki (ETC Group, 2005 b). Contoh lainnya, penerapan nanoteknologi dalam pengolahan dan pemurnian air yang difokuskan pada proses membran, *biofouling* dan desinfeksi ; pengembangan formulasi skala nano dari tanaman herbal tradisional yang berbeda-beda dengan cara mereduksi herbal tersebut menjadi produk tepung atau emulsi dalam skala nano (El Amin, 2005 b) ; serta pengembangan katalis untuk pemurnian minyak goreng yang terbuat dari bahan keramik nano yang dapat menghambat proses polimerisasi minyak goreng dan mengurangi terjadinya bau yang tidak diinginkan (Oil Fresh, 2005).

Dalam pengolahan pangan, beberapa metode menggunakan enzim atau immobilisasi enzim guna mengubah komponen pangan dengan tujuan untuk memperbaiki flavor, nilai gizi dan karakteristik lainnya telah banyak diketahui. Immobilisasi enzim dalam bentuk partikel nano dapat membantu proses dispersi bahan pangan melalui matriks pangan dan memperkuat aktifitasnya. Dalam hal ini, partikel-partikel nano silikon dioksida dengan gugus aldehida yang reaktif dikonstruksi dan membentuk ikatan kovalen terhadap enzim lipase triasil gliserol. Partikel-partikel ini selanjutnya secara efektif akan menghidrolisis minyak nabati sehingga sangat menentukan sifat stabilitas yang baik, kemampuan beradaptasi, dan kemampuan penggunaan kembali enzim (Bai *et al*., 2006).

Penerapan nanoteknologi dalam industri pengolahan pangan dapat mencakup pada sistem pengiriman partikulat nano (misalnya : *micelles*, liposom, emulsi nano, partikel biopolimerik dan *cubosom*), keamanan pangan dan *biosecurity* (misal : sensor nano), dan toksisitas nano (Chen *et al*., 2006 ; HSE, 2006 ; IFST, 2006 ; Maynard, 2006).

Salah satu contoh penerapan nanoteknologi untuk memproduksi pangan adalah dalam pengembangan pangan fungsional (Sanguansri dan Augustin, 2006). Lingkup pemanfaatan dan penggunaan nanoteknologi untuk pangan cukup meningkat dalam perancangan ingredien pangan fungsional seperti flavor pangan dan antioksidan (Imafidon dan Spanier, 1994). Secara umum, perancangan ingredien pangan bertujuan untuk memperbaiki kemampuan fungsional ingredien tersebut dalam sistem pangan, yaitu meminimisasi konsentrasi yang dibutuhkan.

Menurut Morris (2007), pengembangan produk pangan nano dalam bentuk *nutraceuticals* dan suplemen pangan dengan cara memperbaiki sifat fungsional ingredien pangan, dapat dilakukan melalui pengembangan media pembawanya (*carrier*) menjadi berukuran nano. Bahan yang berukuran nano ini dapat memperbaiki tingkat absorpsinya, sehingga akhirnya bahan tersebut berpotensi dapat membawa

bahan-bahan seperti vitamin, fitokimia, gizi dan mineral untuk diedarkan ke seluruh tubuh. Adanya kemampuan fungsional ingredien tersebut, akan menyebabkan peningkatan keterpaduan dalam proses pengembangan matriks pangan atau *food matrix* (Haruyama, 2003).

Contoh produk ingredien pangan yang telah dikembangkan secara komersial dengan penerapan nanoteknologi adalah partikulat nano likopen (*lycopene*), dan karotenoid sintetis yang telah dipatenkan oleh BASF US Patent No. US 5968251. Penambahan *lycopene* sintetis yang larut dalam air pada minuman tidak hanya memberikan warna yang lebih baik , tetapi juga bermanfaat bagi kesehatan. Misalnya *additives lycopene* sintetis yang dikombinasi dengan vitamin E dilaporkan dapat menghambat pertumbuhan kanker prostat pada tikus (Limpens *et al*., 2006).

Penerapan nanoteknologi pada industri pengolahan pangan dan suplemen gizi umumnya dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu : (1) Ingredien pangan berstruktur nano dengan sifat pengantar zat gizi (*micelle, liposome*) yang merupakan pembawa suplemen berukuran sangat kecil dan bermanfaat untuk memperbaiki tekstur, rasa dan juga mempercepat penyerapan zat gizi ; (2) Ingredien pangan dan aditif pangan nano yang dienkapsulasi dengan manfaat untuk sulih rasa, pencegahan terhadap degradasi dan meningkatkan bioavailibilitas. Teknologi ini sering dipakai pada industri biskuit dan rerotian ; dan (3) Aditif pangan yang telah direkayasa dalam bentuk partikel nano yang bermanfaat untuk meningkatkan bioavailibilitas, antimikroba dan juga sebagai kemasan yang bersifat cerdas (*smart*), aktif dan *intelligent* (Weiss *et al*., 2006).

2. Penerapannya Dalam Kemasan Pangan

Penerapan nanoteknologi dalam kemasan pangan terutama ditujukan untuk memperbaiki karakteristik dari bahan pengemas pangan, seperti : kekuatannya, sifat menghambat, sifat antimikroba, dan sifat kestabilan terhadap suhu yang dikembangkan dari bahan komposit nano. Pengembangan dan peleburan partikel nano tanah liat (*clay*) ke dalam etilen-vinil alkohol kopolimer dan poli-asam laktat biopolimer telah berhasil ditemukan dan dikembangkan untuk meningkatkan daya hambat terhadap oksigen (Doyle, 2006).

Dengan bantuan mikroskop elektron sebagai alat bantu analisis dapat ditunjukkan bahwa terdapat adhesi yang kuat antara partikel nano tanah liat dan matriks polimer serta terdapat lapisan tanah liat yang mudah terkelupas yang memperkuat faktor pembelitan sehingga dengan cara demikian akan menghambat difusi gas melalui membran komposit. Dengan demikian, jenis pengemas ini dapat berfungsi untuk memperpanjang umur simpan produk pangan (Lagaron *et al*., 2005).

Modifikasi material untuk pengemas pangan dari bahan komposit nano polimer silikat dilaporkan juga dapat memperbaiki sifat-sifat untuk menghambat gas, daya tarik mekanis dan kestabilan terhadap panas (Dong *et al*., 2006; Holley, 2005).

Penambahan bahan komposit nano atau partikel nano (misalnya titanium oksida, perak oksida, silikon dioksida, dan tanah liat nano) ke dalam bahan pengemas pangan dapat menjamin perlindungan pangan yang lebih baik dengan cara memperbaiki sifat penetrasi gas dari kertas perak, deodorisasi, peningkatan sifat-sifat penghambatan, pemblokiran sinar UV, perbaikan sifat mekanis dan ketahanan panas. Begitu pula pengembangan bahan komposit nano yang terbuat dari nilon, yang permukaannya dapat bertindak sebagai anti bakteri dan anti jamur sehingga dapat menghambat aliran oksigen dan gas CO_2 yang biasa digunakan dalam mengendalikan keamanan pangan, misalnya botol plastik PET (poli-etilen-tetraphtalat) multi lapis untuk mengemas bir dan minuman alkohol lainnya yang berfungsi guna menjaga kesegaran produk dan mencegah bau yang harum ke luar dari botol tersebut (Sherman, 2005).

Menurut Chaudhry *et al*. (2008), komposit polimer yang telah dilebur dan digabung dengan partikel-partikel nano dari tanah liat (*clay*) merupakan salah satu dari beberapa jenis komposit nano yang muncul di pasar sebagai jawaban untuk memperbaiki bahan pengemas pangan. Tanah liat nano pun mempunyai struktur lapisan nano alami (*natural*) yang mampu menahan merembesnya gas dan menyediakan adanya perbaikan kemampuan yang substansial terhadap sifat penghambatan gas dari komposit nano tersebut (Ke dan Yongping, 2005).

Beberapa perbaikan kemampuan tersebut telah menimbulkan ide pengembangan

komposit polimer tanah liat nano yang berpotensi untuk digunakan dalam berbagai bidang penerapan kemasaan pangan, misalnya untuk pengemasan daging olahan, keju, produk *confectionery*, serealia, seperti halnya diterapkan juga dalam pelapisan ekstrusi untuk jus buah-buahan dan produk susu; atau pada proses koekstrusi (*coextrusion*) pada pembotolan bir dan minuman berkarbonat (Akbari *et al.*, 2006).

Ada pula polimer komposit nano yang digabung dengan logam atau partikel-partikel nano metal oksida yang telah dikembangkan sebagai bahan pengemas antimikroba yang bersifat aktif, tahan terhadap abrasi, menyerap sinar ultra violet (UV) dan daya tank. Contohnya bahan polimer nano yang digabung dengan titanium oksida dan digunakan sebagai penyerap sinar UV sehingga mampu mencegah terjadinya kerusakan pangan dalam wadah plastik oleh sinar UV tersebut seperti : poli-stiren (PS), poli-etilen (PE), dan poli-vinil-chlorida (PVC). Bahan metal nano dan metal oksida lain yang biasa digunakan adalah logam perak (Ag), emas (Au), seng oksida (ZnO), silika oksida (SiO_2), Titanium dioksida (TiO_2), Aluminium oksida atau alumina (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3, Fe_3O_4). Sedangkan partikel nano semi konduktor yang digunakan bersama polimer sebagai komposit nano adalah logam Cadmium tellurida dan Gallium arsenida (Garland, 2004).

Berdasarkan sifat aktivitas antimikroba partikel perak nano, maka sejumlah perusahaan telah mengembangkan bahan pengemas yang kontak dengan dengan bahan pangan dan mengklaim dapat memperpanjang daya awet bahan pangan dengan menghambat pertumbuhan mikroorganisme.

3. Penerapannya Untuk Penginderaan (Sensor) dan Keamanan Pangan

Penerapan nanoteknologi untuk tujuan penginderaan (sensor) dan keamanan pangan yang cukup mendapat perhatian para ilmuwan dan industri adalah pengembangan peralatan penginderaan yang terbuat dari partikel silikon ultra kecil dan dilapisi protein *cantilever-nano* untuk mendeteksi secara cepat adanya virus, bakteri dan mikroba patogen lainnya. Apabila pada alat penginderaan tersebut terdapat kontaminan yang berasal dari kotaminasi virus, bakteri atau mikroba patogen lainnya; maka akibat adanya perubahan massa yang sedikit saja dapat menyebabkan *cantilever-nano* bervibrasi pada frekuensi yang berbeda sehingga adanya kontaminan dapat segera dideteksi (Li *et al.*, 2004).

Keberhasilan terhadap perbaikan teknologi biosensor pun kini telah dimanfaatkan penerapannya untuk mendeteksi keberadaan gas dalam kemasan produk pangan dan sebagai alat untuk mengukur integritas bahan pengemas, senyawa-senyawa volatil yang dilepaskan selama terjadinya kerusakan dan kebusukan pangan, serta keberadaan bakteri patogen atau toksin dalam produk pangan. Beberapa jenis alat sensor tersebut dapat digabungkan ke dalam pengemas untuk memberi sinyal atau tanda yang ditujukan untuk konsumen, produsen, dan distributor dalam rangka menjaga statusnya sebagai penjamin keamanan pangan. Alat tersebut dapat juga digunakan untuk mendeteksi bakteri patogen di pabrik pengolahan pangan.

Pengembangan teknologi biosensor-nano pun akahir-akhir ini juga telah banyak dibahas oleh Baeumner (2004), Cheng *et al.* (2006), Helmke dan Minenck (2006). Banyak pula hasil penelitian dalam beberapa tahun terakhir ini yang telah menjelaskan beberapa metode yang digunakaan untuk mendeteksi bakteri, virus, toksin dan senyawa organik berdasarkan penerapan nanoteknologi dan peralatan yang digunakannya. Beberapa di antaranya sangat berhubungan dengan pengolahan dan keamanan pangan (Doyle, 2006). Sebagai contoh, *Immunosensing* dari bakteri *Staphylococcus Enterotoksin* B (SEB) pada susu dapat dilakukan dengan menggunakan senyawa poli-dimetil-siloksan (PDMS) berbentuk kepingan yang diperkuat dan didukung oleh lapisan membran fluida berlapis dua. Antibodi yang menuju SEB menyerang melalui membran fluida berlapis dua membentuk suatu biosensor dengan limit deteksi hingga 0,5 nanogram per mililiter (Dong *et al.*, 2006).

Dengan strategi yang sama untuk menjamin keamanan pangan, para peneliti di Uni Eropa yang tergabung dalam "*Good Food Project*" telah mengembangkan suatu alat penginderaan nano yang mudah dibawa atau *portable nanosensor* untuk mendeteksi bahan kimia, bakteri patogen, dan toksin dalam bahan pangan. Proyek ini juga

mengembangkan suatu alat yang menggunakan *biochip* DNA untuk mendeteksi bakteri patogen. Ini merupakan suatu teknik yang dapat diterapkan juga untuk menentukan keberadaan berbagai macam bakteri yang membahayakan pada bahan pangan daging, ikan atau jamur yang menyerang pada buah-buahan.

III. ISU KEAMANAN DAN RISIKO PRODUK TEKNOLOGI NANO

Isu keamanan dan risiko dari produk hasil penerapan nanoteknologi telah mengundang atau membangkitkan keprihatinan dan menjadi bahan peredebatan. Hal ini dapat disebabkan karena beberapa hal pokok.

Pertama, material nano (seperti karbon berongga nano, perak, silika, titanium dioksida, dan seng oksida) memiliki sifat-sifat yang tidak ada pada bahan berskala makro dan diperkirakan bahan nano tersebut dapat menimbulkan permasalahan dan risiko keamanan yang tidak diperkirakan sebelumnya (Chau *et al.*, 2006). Material dalam bentuk partikel-partikel nano juga telah diketahui mempunyai permukaan area yang lebih luas sehingga secara substansial menunjukkan sifat fisiko-kimia dan biologis yang berbeda dibandingkan dengan bentuk aslinya (Chaudhry *et al.*, 2008).

Kedua, potensi pengaruh partikel nano dalam jalur saluran pencernaan gastrointestinal belum banyak diketahui secara rinci, sehingga penerapan nanoteknologi dalam bidang pangan memunculkan perlunya perhatian bahwa penyaluran (*ingestion*) bahan ingredien dan aditif berukuran nano melalui pangan dan minuman dapat mengakibatkan bahaya tertentu terhadap kesehatan konsumen yang mengkonsumsinya (Chaudhry *et al.*, 2008).

Studi Chen dan Mikecz (2005) secara *in vitro* pada kultur sel epithelial tubuh manusia menggunakan partikel nano SiO_2 yang dilabel *fluorescense*, menunjukkan bahwa partikel-partikel yang berukuran lebih kecil dari pada 70 nm dapat masuk ke dalam inti sel. Hasil studi juga menemukan adanya akumulasi protein di dalam inti sel dan mengindikasikan adanya perusakan atau pelemahan replikasi dan transkripsi dari DNA. Meskipun SiO_2 yang biasa digunakan sebagai aditif pada makanan dan kemasan pangan, tidak diketahui apakah masuk melalui jalur gastrointestinal bersama-sama bahan pangan lainnya akan mengakibatkan pengaruh yang sama secara *in vivo*.

Investigasi terhadap kemungkinan terdapatnya hubungan antara partikel mikro dan nano serta terjadinya gejala gangguan fungsional saluran gastrointestinal yang semakin buruk pada individu (terjadinya penyakit iritasi pada saluran usus atau penyakit *Crohn*) menimbulkan adanya pertanyaan apakah keberadaan bahan makanan mikro dan partikel nano dapat juga mendatangkan reaksi yang menyebabkan inflamasi pada saluran usus manusia (Lomer *et al.*, 2001).

Hasil studi awal yang difokuskan pada partikulat mikro oleh Powell *et al.* (2000) menunjukkan dan mengindikasikan bahwa dalam posisi sendiri, partikel tersebut tidak menstimulasi adanya iritasi pada saluran usus, namun partikel-partikel tersebut datang dan kontak serta mengabsorpsi unsur-unsur luminal seperti ion kalsium dan lipopolisakarida. Sebaliknya hasil studi oleh Powell *et al.* (2000) juga menunjukkan bahwa partikel mikro kalsium-lipopolisakarida yang terkonjugasi dan teraktivasi baik pada sel-sel inti tunggal darah dan saluran intestinal *phagocytes*, keduanya resisten terhadap stimulasi (Ashwood *et al.*, 1999).

Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa partikel-partikel nano kemungkinan dapat menjadi pemicu terjadinya inflamasi pada penderita penyakit *Crohn* dan iritasi pada saluran pencernaan (Lomer *et al.*, 2002). Tetapi sebaliknya, dari hasil penelitian terakhir dinyatakan bahwa pengurangan partikel mikro yang masuk pada penderita penyakit *Crohn* tidak berpengaruh terhadap penyakit tersebut (Lomer, 2005). Oleh karena itu, meskipun terdapat fakta yang jelas, percobaan awal itu menentukan ada atau tidaknya hubungan antara terjadinya gangguan fungsi saluran khusus gastrointestinal dan terjadinya gangguan yang semakin buruk dari penyakit, maka perlu dilakukan penelitian lebih jauh dan lebih rinci tentang hal tersebut.

Tahapan dimana partikel nano masuk ke dalam tubuh manusia, tempat terjadinya penetrasi dan kemungkinan terjadinya akumulasi dan translokasi partikel-partikel nano di dalam tubuh manusia juga dapat menentukan potensi risiko dari material berskala nano (Oberdo"rster, 2001; Oberdo"rster *et al.*, 2005). Oleh karena itu, untuk keperluan kajian atau asesmen

toksisitas nano, beberapa kriteria perlu ditetapkan, misalnya : (1) Kajian paparan dan partikel nano di dalam tubuh, (2) Toksikologi partikel-partikel nano, (3) Dapat mengekstrapolasikan toksisitas partikel nano menggunakan keberadaan *database* toksikologi, (4) Keadaan lingkungan dan biologi, transpor, persistensi dan transformasi partikel nano, dan (5) Kemampuan daur ulang serta kemampuan daya dukung keseluruhan partikel-partikel nano (Dreher, 2004).

Menurut Doyle (2006), kajian risiko dari penggunaan material nano memerlukan penanganan yang khusus karena terbatasnya konklusi dan rekomendasi dari hasil penelitian yang dipublikasikan. Dengan demikian, kerangka kerja awal perlu dikembangkan untuk membantu menentukan penelitian apa yang benar-benar dibutuhkan, bagaimana penelitian dapat diintegrasikan, dan bagaimana hasil informasi dari penelitian itu dapat digabungkan menjadi suatu keputusan yang berkaitan dengan keamanannya (Morgan, 2005).

Ketiga, masih sedikitnya informasi secara ilmiah yang kuat tentang potensi bahaya yang dapat ditimbulkan dari partikel nano dan risiko yang mungkin dialami konsumen yang diakibatkan oleh adanya partikel, material dan peralatan yang baru sama sekali. Dengan kata lain, dampak kesehatan yang diakibatkan oleh partikel-partikel nano pada tubuh (toksisitas nano) tergantung pada sifat-sifat partikel nano sendiri, misalnya ukuran partikel, massa partikel, komposisi kimia, sifat permukaan bahan, dan bagaimana partikel-partikel nano dalam bentuk individu membentuk agregat (Nel *et al.*, 2006; Oberdorster *et al.*, 2005).

Keempat, adanya laporan tentang penarikan produk yang dibuat menggunakan nanoteknologi, seperti produk "*Magic Nano*" yaitu pembersih yang bertutup keramik untuk menghilangkan debu. Berdasarkan laporan 110 konsumennya di Eropa, diketahui telah terjadi gangguan jalannya pernafasan sehingga memerlukan perawatan di rumah sakit. Akibatnya produk ini ditarik oleh perusahaannya pada tahun 2006 (ETC Group, 2006). Lebih lanjut ETC Group (2006) menyatakan bahwa partikel-partikel nano berukuran 50 dan 70 nm dapat masuk ke dalam sel dan saluran pernafasan, sedangkan partikel yang berukuran 30 nm dapat menerobos hambatan hingga dapat mencapai pada darah dan otak. Selanjutnya partikel-partikel tersebut mengalami translokasi dari sistem pernafasan menuju ke sistem sirkulasi darah, dan didistribusikan ke seluruh tubuh, kemudian partikel itu akan diambil ke dalam hati, limpa, sumsum tulang, jantung, otak dan organ-organ lainnya (Kryling *et al.*, 2002; Oberdorster *et al.*, 2002; Oberdorster *et al.*, 2005).

Beberapa hasil penelitian lain menunjukkan bahwa paparan untuk jangka panjang terhadap lingkungan yang mengandung partikel nano dari karbon dapat menyebabkan terjadinya peradangan pada paru-paru serta terjadinya difusi dari saluran pernafasan ke sekitar sistem pembuluh darah, sehingga akan menimbulkan gangguan pada pembuluh darah (Brown *et al.*, 2000; Nemmar *et al.*, 2002). Kemungkinan besar dosis yang tinggi dari agregat rongga-rongga nano dan keberadaan residu metal (seperti besi dan nikel) menimbulkan toksisitas *artificial*. Dengan demikian, dapat disarankan bahwa partikel-partikel nano perlu diperlakukan sebagai hal yang baru dan merupakan material yang berpotensi membahayakan (IFST, 2006).

Dalam industri pengolahan pangan, banyak percobaan telah dilakukan di pabrik untuk membuat produk pangan dari bahan berukuran mikro atau nano, baik dengan pendekatan *top-down*, seperti dengan cara penggilingan (*grinding*) maupun *bottom-up* misalnya dengan cara penggabungan atau agregrasi bahan. Secara umum sifat-sifat fisiko-kimia bahan pangan tersebut, yaitu ukuran dan distribusi partikel, kondisi aglomerasi bahan, bentuk, struktur kristal, pengisian permukaan, komposisi kimia, area permukaan dan porositas, semuanya mungkin penting untuk diperhatikan berkaitan dengan pengaruh toksik bahan nano dalam industri pengolahan pangan (Oberdorster *et al.*, 2005). Hal ini disebabkan karena hingga saat ini pengaruh partikel nano terhadap keamanan masih menyisakan suatu pertanyaan apakah sifat-sifat fisiko-kimia material yang unik akan memunculkan kecelakaan dengan mekanisme baru dan menimbulkan bahaya yang tidak diduga sebelumnya (Chau *et al.*, 2007).

IV. PENGEMBANGAN REGULASI PRODUK PANGAN NANO

Hampir dapat dipastikan bahwa penerapan nanoteknologi dalam industri pangan akan tumbuh dengan cepat seiring dengan permintaan masyarakat konsumen terhadap

produk-produk berbasis nanoteknologi. Namun hingga saat ini belum ada satupun regulasi sebagai persyaratan untuk melabel produk pangan yang berisikan partikel-partikel nano dan tidak ada peraturan standarnya untuk memenuhi kebutuhan konsumen terhadap produk pangan nano tersebut. Padahal di pasar, berbagai produk pangan dengan menggunakan istilah yang berbeda-beda seperti "pangan nano" (*nanofood*) atau "pangan ultra baik" (*ultrafine food*), telah mulai banyak digunakan dan diperdagangkan.

Di antara produsen produk-produk berbasis nanoteknologi, industri yang berbasis di Amerika Serikat (USA) merupakan perusahaan yang paling banyak menghasilkan produk berteknologi nano, yaitu ada 126 perusahaan, lalu diikuti negara-negara Asia 42 perusahaan, Eropa 35 perusahaan, dan di negara-negara lainnya 7 perusahaan (Chau *et al.*, 2007). Di beberapa pasar Asia, produk ini sering menggunakan istilah "teknologi nano" dan konsep "berukuran kecil/mikro" dengan tujuan untuk mempromosikan produknya dengan mengklaim bahwa ingredien yang sangat kecil dapat diserap secara lebih mudah serta dengan fungsi baru sama sekali. Sedangkan kebanyakan produk lainnya tidak dapat membuktikan klaimnya pada fungsi dan ukurannya berdasarkan data ilmiah.

Berdasarkan definisi nanoteknologi yang sudah ada, yaitu definisi nano dari *National Nanotechnology Initiatives* (NNI) di Amerika Serikat yang diadopsi oleh *Food and Drug Administration* (FDA) secara eksplisit dan relatif disebutkan, bahwa material nano adalah partikel yang rentang ukurannya berskala 1-100 nm. Namun, perlu digarisbawahi bahwa definisi tersebut tidak dirancang khusus untuk tujuan di bidang pangan, jadi hanya bersifat umum. Dengan demikian, definisi tersebut mengingatkan kita bahwa nomenklaturnya lebih imaginatif daripada regulasinya, sehingga rentang ukuran partikel yang rasional perlu dipertimbangkan dalam mendefinisikan "pangan nano" (Chau *et al.*, 2007).

Konsumen di negara Eropa akhir-akhir ini kelihatannya mulai lebih menyadari terhadap penerapan nanoteknologi dalam bidang pangan (IFST, 2006). Beberapa perusahaan industri pengolah pangan telah mengklaim menggunakan nanoteknologi dalam proses produksi pangannya. Namun banyak pula perusahaan industri pangan di Asia (seperti China, Taiwan, Hongkong) cenderung menggunakan istilah-istilah di atas untuk lebih menekankan pada keuntungan penggunaan komponen-komponen nano untuk tujuan pemasaran dan alasan komersial. Sebagai contoh, produk yang mengklaim dibuat dari bahan partikel nano seperti "pangan nano" (*nanofood*) atau "pangan ultra baik" (*ultrafine food*) di pasar Taiwan, tang menyatakan memiliki kelebihan fungsi fisiologis, telah diperingatkan oleh Departemen Kesehatan Taiwan sebagai suatu pelanggaran terhadap regulasi pelabelan pangan dan periklanan (Chau *et al.*, 2007). Lembaga internasional seperti the *Institute of Food Science and Technology* sendiri telah mengingatkan adanya kekosongan dalam pengaturan tentang hal tersebut berkenaan dengan dampak pengembangan nanoteknologi dalam bidang pangan dan pengemasan pangan (IFST, 2006).

Untuk menghindari bahaya yang tidak diinginkan, maka diperlukan sekali suatu lembaga yang secara substantif dapat mengatur tentang definisi dan standar "pangan nano" termasuk pengaturan labelingnya serta kajian keamanan partikel-partikel nano yang digunakan dalam berbagai penerapan produk pangan. Oleh karena itu, menurut Chau *et al* (2007), ada beberapa kriteria yang perlu diperhatikan dalam pengembangan standar, definisi, tindakan pengendalian/ pencegahan dan peraturan (regulasi) untuk produk pangan nano seperti yang tersaji pada Tabel 1.

Guna mengisi kekosongan dalam peraturan dan dapat menyediakan suatu pedoman bagi industri pangan, maka pembuat peraturan dan perundang-undangan dan pemerintah perlu membahas secara hati-hati dengan pihak para pemangku kepentingan tentang kemungkinan diberlakukannya suatu peraturan yang mengatur secara spesifik penggunaan nanoteknologi dalam produk pangan. Untuk pengembangan peraturan tersebut dapat digunakan rekomendasi yang disarankan oleh Chau *et al.* (2007) seperti yangcantum pada Tabel 2.

Proses pengembangan peraturan untuk pangan nano dapat diawali dengan : (1) Penggunaan *data-base* hasil penelitian dan pengembangan untuk mengkaji

penerapan teknologi nano pada bidang pangan dan pertanian, (2) Pemilihan atau seleksi terhadap produk-produk khusus untuk dikaji dan diidentifikasi terhadap risiko dan keuntungannya, dan (3) Memperhitungkan untuk memisahkan sistem perturan yang tepat dan sistem pemerintahan yang tidak mengatur bagi penerapan nanoteknologi dalam bidang pangan. Berdasarkan pernyataan atau bukti ilmiah yang ada saat ini, maka perdebatan mengenai keuntungan dan risiko dari nanoteknologi dalam industri pangan akan terus berlanjut dan berkembang serta akan berakhir lama. Meskipun hingga saat ini belum tersedia kesimpulan ilmiah berdasarkan hasil penelitian tentang hal-hal yang tidak diinginkan dari nanoteknologi, namun sangat bijak apabila diambil azas preventif dan perlu dipertimbangkan masak-masak tentang cara pengendalian pengaturannya sebagai pendekatan yang proaktif sampai ada bukti yang jelas. Oleh karena itu, regulasi tentang penggunaan nanoteknologi dalam sistem pangan memerlukan manajemen yang baik, guna mengurangi risiko potensi pengaruh yang merugikan dari nanoteknologi dan perlindungan terhadap masyarakat.

Tercampurnya informasi tentang potensi yang membahayakan dan menguntungkan dari nanoteknologi, perlu dipertimbangkan dalam proses formulasi regulasi sehingga dapat diperoleh

Tabel 1. Kriteria yang diperlukan untuk mengembangkan Standar, Definisi, Tindakan Pencegahan dan Pengaturan untuk produk pangan nano

No.	Kriteria	Hal-hal pokok yang perlu diperhatikan
1.	Rentang ukuran partikel dan pengukurannya	- Berapa batas (*limit*) ukuran produk pangan nano ? - Bagaimana cara menentukan bahan yang "benar-benar nano" dan "advanced material" dengan sifat-sifat yang baru atau fungsi yang baru pada ukuran yang kecil ? - Jenis alat apa dan metode pengukuran yang bagaimana yang dipakai agar dapat digunakan untuk menganalisis ukuran partikel ? - Apakah cara pengukuran ukuran partikel dilakukan pada saat awal bahan mentah, bahan setengah jadi, produk akhir, atau pada setiap tahapan selama proses pengolahan
2.	Sifat-sifat Fisik dan Kimia	- Apakah bahan pangan termasuk dalam kategori yang bersifat aman atau GRAS (*Generally Recognized As Safe*), bahan alami yang secara umum telah banyak dikonsumsi, atau merupakan bahan/senyawa buatan ? - Apakah bahan pangan berskala nano dicernakan (*digesting*) dalam bentuk monomer-monomer, yang akan diserap dan dimetabolisasi pada jalur yang sama/identik dibandingkan dengan bentuk yang lebih besar ? - Apakah bahan berskala nano berada dalam kondisi sebagai partikel tunggal (individu), berpelintir seperti tali (*twist*), atau bergerombol (*agregat*) ? - Pertimbangkan kaitannya dengan sifat-sifat bahan mentah, bahan berskala nano, termasuk kelarutan, kapasitas penyerapan air, tekstur, massa, luas permukaan area bahan dan konsentrasi/kepekatannya ; - Penentuan sifat-sifat mekanis, thermal, kestabilan pH bahan berskala nano.
3.	Pengolahan/Prosesing	- Bahan berskala nano disiapkan dengan pendekatan proses dari atas ke bawah (*top-down*) melalui proses penggilingan (grinding) atau dari bawah ke atas (*bottom-up*) melalui proses sintesis. - Karena mempunyai luas permukaan dan kapasitas adsorpsi partikel-partikel nano yang tinggi, apakah bahan nano tersebut meninggalkan senyawa residu yang membahayakan setelah mengalami proses pengolahan ?
4.	Berkenaan dengan keamanan	- Perhatikan potensi dampak yang dapat ditimbulkan bahan berskala nano terhadap kesehatan dan lingkungan, meskipun bahan yang sejenis berukuran makro dan mikro telah disetujui aman digunakan. - Apakah bahan/material berskala nano tersebut telah dimodifikasi secara kimiawi atau tidak ? - Apakah bahan/material berskala nano tersebut diperlakukan sebagai bahan yang baru sama sekali atau tidak ? - Perhatikan potensi terhadap risiko dari toksisitas, persistensi, bioakumulasi, dan translokasi bahan/ material nano dalam tubuh manusia; - Metode mana dan alat yang bagaimana yang harus digunakan untuk memantau (*monitor*) dan untuk mengkaji keamanan dan toksisitas dari bahan berskala nano ?

Tabel 2. Daftar Rekomendasi yang bisa digunakan dalam Pengembangan Regulasi Produk pangan Nano

No.	Hal-hal pokok yang perlu diperhatikan
1.	Pertimbangkan kriteria yang diperlukan untuk pengaturan produk pangan nano seperti : rentang ukuran partikel, cara/metode pengukuran, cara pengolahan, sifat-sifat fisik dan kimia serta keamanannya.
2.	Aturlah pengaturan produk "pangan nano" dan produk pangan yang mengandung partikel-partikel nano yang dalam bentuk lebih besarnya telah diizinkan/diperbolehkan sebagai bahan pangan nano, misalnya : pangan baru sama sekali (*novel food*), ingredien, atau aditif.
3.	Beberapa istilah yang digunakan dalam produk pangan nano perlu dipertimbangkan, misalnya "pangan berukuran mikron" (*mikronized food*), "pangan ultra baik" (*ultrafine food*) atau "pangan nano" (*nanofood*). Untuk istilah pangan berukuran mikron, rentang ukuran partikel yang agak lebar (misalnya hingga ukuran beberapa mikron) dapat dipertimbangkannya.
4.	Batas (limit) atas ukuran partikel untuk pangan nano dan pangan ultra baik tidak boleh lebih dari nilai sekitar 100 nm, tergantung dari jenis pangannya.
5.	Tidak hanya difokuskan pada ukurannya saja, tetapi juga perlu dipertimbangkan pula kaitannya dengan perubahan terhadap bioaktivitas, sifat-sifat fisiko-kimia, dan fungsi dari bahan berskala nano dalam hubungannya dengan menurunnya ukuran bahan.
6.	Bagi produk-produk pangan nano ke dalam kategori berbeda, seperti : cair (*liquid*), tepung (*powder*), aerosol, suspensi (*suspension*), emulsi, dan liposom dengan tujuan untuk pengklasifikasian, manajemen dan analisis yang tepat.
7.	Persyaratan labelling pangan nano untuk mengidentifikasi keberadaan bahan/material nano pada produk dan sediakan kemungkinan rentang ukuran partikelnya serta informasi keamanan yang relevan.
8.	Lakukan penelitian untuk mengetahui pandangan/pendapat seluruh masyarakat dan efeknya terhadap produk pangan yang dibuat dengan teknologi nano.
9.	Penyaringan (*screening*) toksisitas nano harus mencakup karaktersasi fisiko-kimia material nano, pengujian secara *in vitro* untuk seluler dan nonseluler, serta studi secara *in vivo* pada hewan.
10.	Kajian keamanan pangan atau studi toksisitas nano harus dipersyaratkan untuk bahan/material berskala nano yang secara kimia telah dimodifikasi.
11.	Bahan/material berskala nano yang tidak dijumpai di alam sebaiknya diperlakukan sebagai bahan/senyawa baru dan harus ditangani secara lebih hati-hati (misal : tindakan pencegahan/pengendalian, studi toksisitas nano, peralatan pelindung untuk personil dan monitoring terhadap kesehatannya.
12.	Potensi toksisitas untuk setiap material partikulat nano individu perlu dipertimbangkan berdasarkan kasus demi kasus (*case by case basis*).
13.	Kajian keamanan dan studi toksisitas nano sebaiknya dipersyaratkan bagi bahan berskala nano yang disiapkan melalui pendekatan secara sintesis dari bawah ke atas (bottom-up), khususnya untuk bahan yang ukurannya mendekati atau lebih kecil dari 100 nm, kecuali bila dalam bentuk ukuran besarnya terbukti aman untuk dikonsumsi.
14.	Kajian risiko harus mencakup potensi terlepasnya partikel-partikel nano yang hasil produksi pabrik/manufakturinggnya dari bahan pengemas ke dalam bahan pangan.
15.	Ditujukan untuk mengatasi adanya jurang pemisah atau "gap" peraturan tentang keberadaan pangan dan kesehatan yang berhubungan dengan kerangka kerja pengaturan agar dapat mengendalikan penggunaan ingredien dalam bentuk hasil buatan pabrik, partikel-partikel nano bebas pada produk yang dikonsumsi konsumen.
16.	Protokol laboratorium untuk penanganan bahan berskala nano dan debu-debunya diperlukan guna melindungi pekerja-pekerja di teknologi nano dan ilmuwannya dari paparan menuju ke bahaya/risiko kesehatan dalam pekerjaannya. Disarankan, penanganan dimulai dengan standar prosedur higiene, termasuk pemakaian sarung tangan, pakaian pelindung, dan respirator yang sangat efisien untuk memindahkan partikel-partikel nano, serta bergerak maju terus sebagai informasi baru yang mudah didapat.

Sumber : Chau *et al*, 2007

gambaran penerimaan masyarakat tidak hanya berdasarkan kecermatan dari persepsi risiko publik, tetapi juga legitimasi dari masyarakat dan etika. Dalam hal ini sangat dibutuhkan kepekaan pengertian dan tanggapan yang lebih besar dari pihak industri, ilmuwan, pakar, dan regulasi yang menjangkau wilayah publik. Oleh karena itu, program penelitian terhadap masyarakat dan etika mengenai teknologi baru ini direkomendasikan perlu dilakukan dalam rangka memberi jaminan kepada masyarakat berkenaan dengan konsekuensi potensi yang tidak diinginkan, yaitu mulai dari dampak negatif terhadap manusia dan lingkungan hingga penerapannya di bidang militer yang masih dipertanyakan aspek pengawasannnya (Fisher, 2005).

Meski masih timbul pro-kontra perdebatan tentang nanoteknologi, penelitian dan pengembangan nanoteknologi untuk pangan dan pertanian akan terus berlanjut dan berkembang tanpa ada yang bisa menghentikan. Oleh karena itu, dalam rangka

memberikan jaminan keamanan pangan nano, pihak yang berwenang harus cepat bertindak dan mengantisipasi untuk mengatur produk pangan nano ini secara khusus melalui peraturan dan perundang-undangan yang ketat. Regulasi peraturan dan perundang-undangan mulai dari pendaftaran produk, kejelasan tentang status produksi, kejelasan tentang pajak, sistem pemasaran, sistem pengawasan dan lain-lain.

Penanganan masalah pangan nano ini dapat dikoordinasikan oleh beberapa instansi terkait, antara lain Departemen Pertanian, Departemen Kesehatan, Badan Pengawas Obat dan Makanan (Badan POM), Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup/Badan Pengendalian Dampak Lingkungan, Departemen Perindustrian, serta Departemen Kehutanan.

Peran Departemen Pertanian dan Departemen Kehutanan adalah mengawasi dengan ketat proses penelitian di laboratorium sampai percobaan di lapangan; Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup diminta untuk menilai dampak lingkungan; Departemen Kesehatan dan Badan POM dilibatkan dalam penelitian di proses pembuatan dan melihat dampak pada kesehatan orang yang mengkonsumsi produk pangan nano. Sedangkan Departemen Perindustrian dilibatkan untuk mengkaji ulang semua materi lapangan, melakukan kajian investigatif dan meminta masukan dari konsumen, pakar, dan pengusaha industri sebelum mengintroduksikan kelayakan suatu produk nano, sekaligus sebagai lembaga kliring independen. Artinya negara eksportir pangan nano pun harus menyerahkan data ilmiah lengkap mengenai setiap produk pangan nano ke negara Indonesia melalui Departemen Perindustrian.

Hal-hal di atas sudah cukup mendesak untuk dikerjakan karena produk pangan nano akan atau bahkan telah dikonsumsi oleh masyarakat. Semua tentunya sepakat bahwa masyarakat luas yang kenyataannya adalah konsumen juga, harus dilindungi dari segala sesuatu yang dapat merugikan mereka. Hak-hak konsumen atas jaminan keamanan pangan harus ditegakkan secara benar dan hal ini hanya dapat terjadi bila ada pengembangan regulasi produk pangan nano dan sistem yang mengaturnya dengan baik.

V. KESIMPULAN

Nanoteknologi dan ilmu nano dalam industri pangan merupakan salah satu teknologi yang penerapannya relatif baru dibandingkan pada industri-industri lainnya, tetapi diprediksi penerapannya akan berkembang dengan cepat pada beberapa tahun mendatang, terutama pada industri yang menghasilkan ingredien pangan, bahan tambahan pangan, kemasan pangan, sanitasi dan sensor pangan, serta kemampu-telusuran dan keamanan pangan.

Produk pangan hasil teknologi dan ilmu nano hingga sekarang masih menyisakan isu keamanan dan risiko yang masih perlu diteliti dan digali secara lebih mendalam dan komprehensif guna menge-tahui karakteristik sifat produk pangan nano yang sudah mulai diperdagangkan di pasar internasional dan di Indonesia.

Pemerintah sebaiknya perlu segera mengantisipasi dan mempersiapkan pengaturan produk pangan nano melalui pengembangan regulasi produk pangan nano di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

1. Akbari, Z., Gomashchi, T. And Aruojalian, A. 2006. *Potential of nanotechnology for food packaging industry*. Paper presented at "Nano Micro Technologies in Food Health Food Industries" Conference. 25-26 October 2006. Institute of Nanotechnology, Amsterdam.
2. Allianz and OECD. 2005. *Opportunities and risks of nanotechnology*. Allianz, Munich.
3. Baeumner, AJ. 2004. "Nanosensors identify pathogens in food". *Food Technol. 58* : 51-55.
4. *Occupational and Environmental Medicine, 57* : 685-691.
5. Chau, CF; Wu, SH and Yen, GC. 2007. "The development of regulations for food nanotechnology". *Trends in Food Science and Technol., 18* : 269-280.
6. Chaudhry, Q., Scotter, M., Blackburn, J., Ross, B., Boxall, A., Castle, L., Aitken, R. and Watkins, R. 2008. "Review Applications and Implications of Nanotechnologies for the Food sector" *Food Additives and Contaminants 25 (3)* : 241-258.

7. Chen, H., Weiss, J. and Shahidi, F. 2006. "Nanotechnology in nutraceuticals and functional foods". *Food Technology 603* : 30-36.
8. Cho, KH, Park, JE, Osaka, T and Park, SG. 2005. The study of antimicrobial activity and preservative effects on nanosilver ingredient". *Electrocim. Acta 51* : 956-960.
9. Donaldson, K., Stone, V., Tran, CL, Kreyling, W and Borm, PJ. 2004. "Nanotoxicology". *Occupational and Environmental Medicine 619* : 727-728.
10. Doyle, ME. 2006. *Nanotechnology : A Brief Literature Review. Food Research Institute Briefing, June 2006.* Madison, WI. University of Wiscounsin.
11. Dreher, KL. 2004. "Health and environmental impact of nanotechnology : toxicological assessment of manufactured nanoparticles". *Toxicological Sciences, 77* : 3-5.
12. Edwards, KA and Baeumner, AJ. 2006. "Liposomes in Analysis". *Talanta 68* : 1421-1431.
13. El Amin, A. 2006. *Nanotech database compiles consumer items on the market.* Http ://www.foodproductiondaily.usa.com/news/ng.asp?id. [Diakses tanggal 7 September 2008].
14. Fisher, E. 2005. "Lesson learned from ethical, legal and social implications program : planning societal implications research for the National Nanotechnology Program". *Technology in Society 27* : 321-328.
15. Garland, A. 2004. *Nanotechnology in Plastic Packaging : Commercial applications in nanotechnology.* Pira International, Leatherhead, UK : hal. 14-63.
16. Harper, T. 2006. "Nanotechnologies and Food". *Cientifica, August 2006* : 1-5.
17. Haruyama, T. 2003. "Micro-and nano-biotechnology for biosensing cellular responses". *Advance of Drug Deliv. Rev. 55* (3) : 393-401.
18. Holley, C. 2005. "Nanotechnology and packaging : secure protection for the future". *Verpackkungs-Rundschau, 56* : 53-56.
19. [HSE] Health and Safety Executive. 2006. *Review of the eduquacy of current regulatory regimes to secure effective regulation of nanoparticles created by nanotechnology.* Http ://www.hse.gov.uk/horizons/nanotech. [Diakses tanggal 7 September 2008].
20. [IFST] Institute of Science and Technology. 2006. *Nanotechnology.* Http ://www.ifst.org/uploadedfiles/cms/store/attachments/nanotechnology.pdf. [Diakses tanggal 7 September 2008].
21. Jones, RAL. 2004 b. *The future of nanotechnology.* Http ://www.physicsweb. org/ articles/ world. [Diakses tanggal 7 September 2008].
22. Joseph, T. And Morrison, M. 2006. *Nanotechnology in agriculture and Food : Nanoforum Report published in April 2006.* Nanoforum org. European nanotechnology gateway, Brussel-Belgium.
23. Kaiser, H. 2004. Nanotechnology in food and food processing worldwide – tomorrow we will design food by shaping molecules and atoms. Http ://www.hke.22.com/nanofood.html. [Diakses tanggal 7 September 2008].
24. Ke, Z. and Yongping, B. 2005. "Improve the gas barrier property of PET film with montmorillonite by in situ interlayer polymerization". *Materials Letters 59* : 3348-3351.
25. Kim, KD, Han, DN; Lee, JB and Kim, HT. 2006. "Formation and characterization of Ag-deposited TiO_2 nanoparticles by chemical reduction method". *Scripta Materialia 54* : 143-146.
26. Kreyling, WG; Semmler, M., Erbe, F., Mayer, P., Takenaka, S. And Schulz, H. 2002. „Translocation of ultrafine insoluble iridium particles from lung epithelium to extrapulmonary organs is size dependent but very low". *Journal of Toxicology and environmental Health, Part A 65* : 1513-1530.
27. Kuzma, J. and Verhage, P. 2006. *Nanotechnology in Agriculture and Food Production.* Woodrow Wilson international Center for scholars. Washington, DC.
28. Lagaron, JM, Cabedo, L., Cava, D., Feijoo, JL, Gavara, R. And Gimenez, E. 2005. "Improving packaged food quality and safety, Part 2 : nanocomposites". *Food Additiv. Contam.*, 22 : 994-998.
29. Li, N., Sioutas, C., Cho, A., Schmitz, D., Misra, C., Sempt, J., Wong, M., Froines, J. and Nel, A. 2003. "Ultrafine particulate

pollutants induce oxidative stress and mitochondrial damage". *Environmental Health Perspectives 111* : 455-460.

30. Lomer, MC; Harvey, RS; Evans, SM; Thompson, RP and Powell, JJ. 2001. "Efficacy tolerability of low microparticle diet in a double blind randomized pilot study in Croh's disease". *European Journal of Gastroenterology and Hepatology 17* : 377-384
31. Macombrie, J. 2006. "Nanotechnology : Public Concerns, reasoning and trust in government". *Public Understanding of Science, 15* : 221-241.
32. Maynard, AD. 2006. "Nanotechnology : Assesing the risk". *Nanotoday 1* : 22-33.
33. Morgan, K. 2005. "Development of a preliminary framework for informing the risk analysis and risk management of nanoparticles". *Risk Analysis 25* : 1621-1635.
34. Morris, V. 2007. "Nanotechnology and Food". *IUFoST Scientific Information Bulletin, Dec. 2007* 1-7.
35. [NNCO] National Nanotechnology Coordinator Office. 2006. *Environmental Health and safety Research Needs for Engineered Nanoscale Materials – The National Nanotechnology Initiative*. NNCO, Washington, DC.
36. Nel, A., Xia, T., Madler, L. And Li, N. 2006. "Toxic potential of materials at the nanolevel". *Science 311* : 622-627.
37. Nemmar, A., Hoet, PH, Vanquicken-borne, B., Dinsdalem, D., Thomeer, M. and Hoylaerts,MF. 2002. "Passage of inhaled particles into the blood circulation in humans". *Circulation 105* : 411-414.
38. Oberdorster, G., Oberdorster, E. and Oberdorster, J. 2005. „Nanotechnology : an emerging discipline evolving from studies of ultrafine particles". *Environmental Health Perspectives, 113* : 823-839.
39. Oberdorster, G. 2001. "Pulmonary effects inhaled ultrafine particle". *International Archives of Occupational and Environmental Health, 74* : 1-8.
40. Oberdorster, G., Maynard, A., Donaldson, K., Castranova, V., Fitzpatrick, J. and Ausman, K. 2005. "Principles for characterizing the potential human health effects from exposure to nanomaterials : elements of a screening strategy". Particle and Fibre Toxicology. Http : //www.particleandfibretoxicology.com/content/2/1/8 [Diakses tanggal 8 September 2008] 34. Paull, J. and Lyons, K. 2008. "Nano-in-food – Threat or Opportunity for Organic Food". *Proceeding 16th IFOAM Organic World Conggres*. Modena, Italy. June 16-20 2008. IFOAM, Modena – Italy.
41. Renn, O. and Roco, MC. 2006. "Nano-technology and the need for risk governance". *Journal of Nanoparticle Research. 8* : 153-191.
42. Roco, MC. 2003. "Broader societal issue of nanotechnology". *Journal of Nanoparticle Research*, 5 : 181-189.
43. Royal Society and Royal Academy of Engineering 2004. *Nanoscience and nanotechnologies : Opportunities and uncertainties*. Royal Society, London.
44. Sanguansri, P. and Augustin, MA. 2006. "Nanoscale materials development – a food industry perspective". *Trends in Food Science and Technology 17* : 547-556.
45. Siegrist, M., Cousin, ME; Kastenholz, H. and Wirk, A. 2007. „Public acceptance of nano-technology food and food packaging : the influence of affect and trust". *Science Direct Appetite 49* : 459-466.
46. Wen, HW, Decory, TR, Borejsza-Wysocki, W. and Durst, RA. 2006. "Development of neutravidin tagged-liposomal nanovesicles as universal detection reagents in bioassay". *Talanta, 68* : 1264-1272.
47. Weiss, J., Takhistov, P., and Mc Clements, DJ. 2006. "Scientific Status Summary : Functional Materials in Food nano-technology". *Journal of Food Science, 71* : R 107-R116.