

## **Pengembangan Teknologi Mikroenkapsulasi Bakteri Probiotik dan Manfaatnya untuk Kesehatan**

*(TECHNOLOGY DEVELOPMENT OF PROBIOTIC BACTERIA  
MICROENCAPSULATION AND IT BENEFIT FOR HEALTHY)*

**Raden Haryo Bimo Setiarto\*<sup>1,2</sup>, Harsi Dewantari Kusumaningrum<sup>2</sup>,  
Betty Sri Laksmi Jenie<sup>2</sup>, Tatik Khusniati<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Laboratorium Mikrobiologi Pangan, Bidang Mikrobiologi,  
Pusat Penelitian Biologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)  
Jln Raya Jakarta-Bogor Km 46, Kawasan CSC Cibinong, Jawa Barat, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Ilmu Pangan, Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan,  
Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Jawa Barat, Indonesia

\* Email: haryobimo88@gmail.com

### **ABSTRACT**

Probiotic based products are associated with many health benefits. However, the main problem is the low survival of these probiotic in food products as well as in gastrointestinal tract. Providing probiotics with a physical barrier is an efficient approach to maintain microorganisms and to deliver them into the gut. Microencapsulation is one of the most efficient methods, and it has been under consideration and investigation by some researcher. Generally, the success of this technology is depend on the quality of the wall material, probiotic strain, the core release form and the encapsulation method. Therefore, in this review, some relevant microencapsulation aspects, such as the capsule, wall material, core release forms, encapsulation methods will be briefly discussed. In this sense, microencapsulation has gained an increasing interest, since it has been demonstrated that it could protect the destruction of bacteria not only during its production process but also during its delivery into gastrointestinal tract, as well as it function as a protective effects during storage.

Keywords: probiotic; microencapsulation; lactic acid bacteria; protection

### **ABSTRAK**

Produk berbasis probiotik banyak dikaitkan dengan manfaat kesehatan. Permasalahannya sintasan hidup probiotik ini masih rendah dalam produk pangan dan di saluran pencernaan. Penyajian probiotik dengan pelindung fisik merupakan pendekatan yang efisien untuk mempertahankan kehidupan mikroorganisme dan juga mengantarkannya sampai ke dalam usus. Mikroenkapsulasi adalah salah satu metode yang paling efisien, dan telah mendapat pertimbangan serta penelitian khusus oleh beberapa peneliti. Keberhasilan teknologi ini secara umum karena pilihan yang tepat dari bahan mikroenkapsulan, strain probiotik, mekanisme pelepasan probiotik dan metode enkapsulasi. Dalam review ini dibahas beberapa aspek kriteria mikroenkapsulasi seperti material probiotik, bahan mikroenkapsulan, karakteristik pelepasan probiotik, metode mikroenkapsulasi. Minat penelitian terhadap teknologi mikroenkapsulasi terus meningkat, karena dapat melindungi bakteri probiotik tidak hanya selama proses produksinya tetapi juga selama pengirimannya ke dalam saluran pencernaan di samping memberikan efek perlindungan selama penyimpanan.

Kata-kata kunci: probiotik; mikroenkapsulasi; bakteri asam laktat; perlindungan

## PENDAHULUAN

Probiotik didefinisikan sebagai mikroorganisme hidup yang bermanfaat bagi kesehatan manusia jika berada dalam jumlah yang cukup dengan meningkatkan keseimbangan mikroba di dalam saluran pencernaan (Sanders 1998). Sintasan probiotik sangat penting karena memberikan efek yang menguntungkan bagi kesehatan manusia. Jumlah probiotik diharapkan stabil selama penyimpanan dan pengolahan produk agar tetap bermanfaat saat dikonsumsi. Jumlah minimum sel probiotik ( $\text{cfu g}^{-1}$ ) dalam produk pangan pada saat konsumsi penting untuk memberi efek kesehatan yang menguntungkan (preventif maupun terapeutik). Probiotik disarankan berada dalam indeks *minimum of bio-value* (MBV) atau jumlah minimal sel probiotik (Mortazavian *et al.*, 2007). Menurut rekomendasi *International Dairy Federation* (IDF), indeks ini harus di atas  $10^7$   $\text{cfu g}^{-1}$ . Terlepas dari indeks MBV, asupan harian dari setiap produk makanan juga ditentukan untuk efektivitas probiotik. Jumlah minimum dari indeks yang terakhir telah direkomendasikan sebagai asupan harian sekitar  $10^9$  sel per hari (Mortazavian *et al.*, 2007). Badan Pengawasan Obat dan Makanan, Amerika Serikat merekomendasikan jumlah minimum probiotik yaitu sebesar  $10^6$  CFU/mL (Bhadoria dan Mahapatra, 2011).

Berbagai laporan menunjukkan terjadinya penurunan sintasan probiotik yang hidup dalam produk yang mengandung sel probiotik bebas tanpa enkapsulasi. Sultana *et al.* (2000) melaporkan bahwa viabilitas probiotik tanpa enkapsulasi mengalami penurunan sebesar 1 log CFU/mL selama delapan minggu penyimpanan dingin. Jumlah probiotik tanpa enkapsulasi juga menurun sebesar 1-5 log CFU/mL setelah melewati kondisi asam (pH 2) dan konsentrasi garam empedu 2% sebagai simulasi kondisi lambung dan usus halus pada saluran pencernaan (Sultana *et al.*, 2000). Ketersediaan probiotik dengan pelindung fisik sangat diperlukan untuk mempertahankan kehidupan probiotik dan melawan kondisi lingkungan yang buruk (Kailasapathy 2006). Salah satu teknik untuk mempertahankan sintasan probiotik selama pengolahan hingga mencapai sistem pencernaan adalah mikroen-kapsulasi.

Mikroenkapsulasi probiotik adalah suatu proses untuk menahan sel probiotik dengan suatu membran enkapsulasi baik dalam bentuk

suspensi, emulsi maupun dispersi untuk menghambat pengurangan sel bakteri selama proses berlangsung (Sultana *et al.* 2000). Mikroenkapsulasi yang efisien akan meningkatkan sintasan probiotik terhadap kondisi asam-enzimatik-empedu pada saluran pencernaan. Mortazavian *et al.* (2007) melaporkan bahwa keuntungan mikroenkapsulasi probiotik adalah meningkatkan viabilitas dan stabilitas probiotik serta membantu memperbaiki sifat sensorik produk. Teknologi mikroenkapsulasi probiotik harus memenuhi beberapa kriteria di antaranya jenis strain probiotik (*core*), bahan mikroenkapsulan (*coating*), mekanisme dan karakteristik pelepasan probiotik (*release*) serta metode mikroenkapsulasi yang tepat (Burgain *et al.*, 2011). Polimer mikroenkapsulan bertindak sebagai film pelindung yang mengisolasi probiotik dari berbagai kondisi lingkungan maupun proses yang tidak memadai sehingga probiotik dapat dilepaskan di kolon pada waktu yang ideal (Suave 2006). Mekanisme utama yang terlibat dalam pelepasan probiotik adalah difusi, penggunaan pelarut (disolusi), degradasi (rupture) oleh pH, suhu, enzim dan tekanan. Kombinasi lebih dari satu mekanisme pelepasan juga sangat lazim untuk diaplikasikan (Ding dan Shah, 2007).

Mikroorganisme probiotik yang paling banyak digunakan adalah strain *Lactobacillus* dan *Bifidobacteria* (Solanki *et al.*, 2013). *Lactobacillus acidophilus* dan *L. plantarum* termasuk bakteri probiotik yang mampu melewati berbagai hambatan hingga ke usus dalam keadaan hidup seperti asam lambung, enzim pencernaan, dan garam empedu (Arief *et al.*, 2010; Sulistiani *et al.*, 2018). Bakteri probiotik tersebut memproduksi berbagai zat metabolit, seperti asam organik, hidrogen peroksida, bakteriosin yang dapat menghambat pertumbuhan bakteri patogen (Arief *et al.*, 2014). *L. acidophilus* dan *L. plantarum* mempunyai ketahanan terhadap asam lambung artifisial dengan pH 2,5 selama tiga jam dan bakteriosin yang dihasilkan tetap aktif pada pH 3 sampai pH 10 (Astawan *et al.*, 2011, Sulistiani *et al.*, 2018). Keberadaan asam laktat yang dihasilkan, bakteri ini mampu meningkatkan efisiensi penyerapan kalsium, besi, dan fosfor (Arief *et al.*, 2015). Dalam review ini dibahas beberapa aspek mikroenkapsulasi probiotik yang relevan, seperti strain bakteri probiotik (*core*), bahan mikroenkapsulan (*coating*), mekanisme pelepasan probiotik (*release*), metode enkapsulasi dan manfaat probiotik untuk kesehatan.

**Strain Bakteri Probiotik**

Bhadoria dan Mahapatra (2011) menyatakan bahwa probiotik memiliki beberapa kriteria yang harus dipenuhi, antara lain :1) Bersifat non patogenik dan mewakili mikrobiota normal pada usus inangnya, serta masih aktif pada kondisi asam lambung dan konsentrasi garam empedu yang tinggi dalam usus halus; 2) Dapat tumbuh dan bermetabolisme dengan cepat serta terdapat dalam jumlah tinggi dalam usus halus; 3) Mampu mengkolonisasi pada beberapa bagian saluran usus inangnya; 4) Dapat memproduksi asam-asam organik secara efisien dan memiliki sifat antimikrob terhadap patogen; 5) Mudah diproduksi, mampu tumbuh dalam sistem produksi skala besar, dan hidup selama kondisi penyimpanan. Spesies mikrob yang umum digunakan sebagai probiotik disajikan pada Tabel 1.

Perbedaan antara bakteri asam laktat yang termasuk probiotik dengan bakteri asam laktat yang bukan probiotik adalah bakteri probiotik unggul dalam penyerapan nutrisi dan sisi penempelan pada sel epitel usus serta kemampuannya dalam menstimulasi sistem imunitas dan mengubah aktivitas metabolisme mikrob dalam saluran pencernaan (Sulistiani 2018). Mekanisme kerja probiotik dalam membentuk proteksi terhadap bakteri patogen adalah menempel dan membuat kolonisasi pada usus, yang dapat menekan pertumbuhan atau invasi epitel oleh bakteri patogen (Antarini 2011). Menurut Susanti *et al.* (2007) sebagian besar

bakteri asam laktat tidak hanya tumbuh lebih lambat pada pH rendah, tetapi mungkin juga mengalami kerusakan dan hilangnya viabilitas jika selnya berada pada kondisi pH rendah. Kondisi asam dapat mengakibatkan kerusakan membran dan lepasnya komponen intraseluler yang dapat menyebabkan kematian. Bakteri yang tahan asam memiliki ketahanan yang lebih besar terhadap kerusakan membran akibat penurunan pH ekstraseluler dibandingkan dengan bakteri yang tidak tahan terhadap asam. Garam empedu berpengaruh terhadap permeabilitas sel bakteri. Sel bakteri asam laktat yang tahan terhadap garam empedu, bila diinkubasi pada larutan *oxgal* masih terjadi pertumbuhan dan tidak mengalami lisis, namun mengalami peningkatan kebocoran materi intraseluler. Pada bakteri yang tidak tahan garam empedu perubahan permeabilitas sel dan kebocoran materi intaseluler lebih besar sehingga sel mati karena lisis (Sulistiani 2018).

**Bahan Mikroenkapsulan**

Secara umum kapsul dapat diklasifikasikan menurut ukurannya: makro-kapsul (di atas 5.000  $\mu\text{m}$ ), mikrokapsul (0,2 hingga 5.000  $\mu\text{m}$ ) dan nanokapsul (di bawah 0,2  $\mu\text{m}$ ). Berbagai jenis material enkapsulat dapat ditemukan dalam bentuk tipe reservoir dan tipe matriks. Enkapsulat tipe reservoir memiliki cangkang di sekitar bahan inti dan inilah sebabnya ia juga bisa disebut kapsul. Dalam kasus enkapsulat tipe matriks, bahan inti terdispersi pada bahan

Tabel 1. Spesies mikrob yang digunakan sebagai probiotik (Burgain *et al.*, 2011)

Bakteri Asam Laktat			Bukan spesies BAL
<i>Lactobacillus</i>	<i>Bifidobacterium</i>	Spesies lainnya	
<i>L. acidophilus</i>	<i>B. adolescentis</i>	<i>Enterococcus faecalis</i>	<i>Bacillus cereus</i> var. <i>toyoi</i>
<i>L. casei</i>	<i>B. animalis</i>	<i>Enterococcus faecium</i>	<i>Escheherechia coli</i> Nissle 1917
<i>L. amylovirus</i>	<i>B. bifidum</i>	<i>Lactococcus lactis</i>	<i>Propionibacterium freudenreichi</i>
<i>L. delbrueckii subsp bulgaricus</i>	<i>B. breve</i>	<i>Leuconostoc mesenteroides</i>	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
<i>L. gallinarum</i>	<i>B. infantis</i>	<i>Pediococcus acidolactici</i>	<i>Saccharomyces boulardi</i>
<i>L. gasseri</i>	<i>B. lactis</i>	<i>Streptococcus thermophilus</i>	
<i>L. johnsonii</i>	<i>B. longum</i>	<i>Sporolactobacillus inulinus</i>	
<i>L. paracasei</i>			
<i>L. plantarum</i>			
<i>L. reuteri</i>			
<i>L. rhamnosus</i>			

enkapsulan dan juga dapat ditemukan di permukaan. Kombinasi dari kedua jenis enkapsulat ini memberikan jenis kapsul ketiga: matriks dengan komponen bahan inti dilindungi oleh lapisan mantel (*coating*) (Zuidam dan Shimoni, 2010). Enkapsulasi memberikan struktur yang meningkatkan sifat fungsional dan sistem yang inovatif untuk produk probiotik. Teknologi enkapsulasi sel probiotik berevolusi dari teknologi kultur sel terimobilisasi yang digunakan dalam industri bioteknologi (Champagne dan Fustier, 2007; Zuidam dan Shimoni, 2010). Beberapa teknologi dapat diterapkan untuk enkapsulasi probiotik dan masing-masing menyediakan mikrokapsul dengan karakteristik yang berbeda dalam hal ukuran partikel dan jenis kapsul (Gambar 1). Sebagai contoh, emulsifikasi memungkinkan produksi berbagai ukuran partikel yang luas dari 0,2 hingga 5000  $\mu\text{m}$  sedangkan, ekstrusi memberikan ukuran kisaran yang lebih kecil tetapi tidak memberikan partikel di bawah 300  $\mu\text{m}$ . Pada Gambar 1 disajikan berbagai jenis partikel yang diperoleh (tipe matriks maupun reservoir) oleh masing-masing metode.

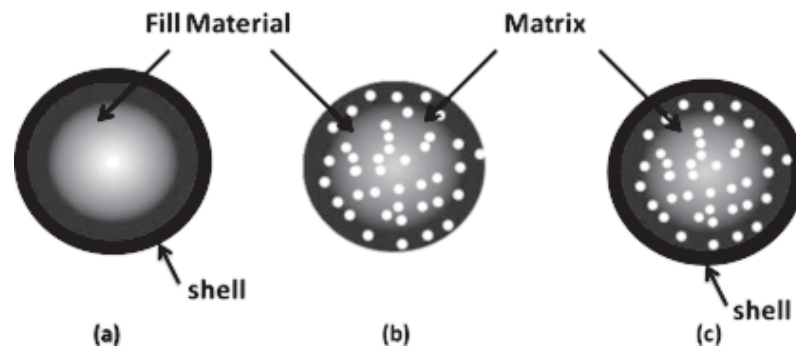
Bahan mikroenkapsulan probiotik yang ideal harus memiliki karakteristik sebagai berikut: stabil dan tidak reaktif dengan bakteri probiotik; kemampuan untuk menyegel dan mempertahankan probiotik di dalam struktur mikrokapsul; fleksibilitas dan memiliki kemampuan untuk memberikan perlindungan maksimum terhadap bakteri probiotik dalam kondisi buruk; dapat diterima secara sensorik dan ekonomis (Gharsallaoui *et al.*, 2007; Nazzaro *et al.*, 2012). Menurut Fávares-Trindade *et al.* (2008), bahan mikroenkapsulan dapat dipilih dari berbagai polimer alam dan sintetis, di antaranya a) Karbohidrat: pati, pati termodifikasi, dekstrin, pektin, sukrosa, selulosa, kitosan, mucin, gum

arab, alginate, karboksi metil selulose, karagenan; b) Lipid: lilin, parafin, monogliserida dan digliserida, minyak dan lemak terhidrogenasi; c) Bahan anorganik: selulose asetat phtalate, kalsium sulfat dan silikat; d) Protein: susu, gluten, kasein, gelatin, whey, albumin.

### Karakteristik Pelepasan Probiotik Terenkapsulasi

Teknik mikroenkapsulasi harus memungkinkan probiotik untuk diisolasi dari lingkungan eksternal sampai dilepaskan ke lokasi target pelepasan yang diinginkan (Gouin 2004). Difusi terjadi ketika tingkat pelepasan probiotik diatur oleh sifat fisikokimia dinding maupun membran sel probiotik dan beberapa sifat fisikokimia bahan mikroenkapsulan. Pada mekanisme difusi, bahan mikroenkapsulan mengikat air sehingga menyebabkan bahan mengembang dan meningkatkan porositas membran mikroenkapsulan sehingga sel probiotik dapat terlepas (Ding dan Shah, 2008). Disolusi adalah pelepasan probiotik akibat penggunaan pelarut tertentu yang sesuai dengan viskositas dan sifat kelarutan bahan mikroenkapsulan (Azeredo 2005). Mekanisme rupture (degradasi) pada pelepasan prebiotik sangat dipengaruhi oleh interaksi bahan mikroenkapsulan pada paparan pH, enzim, suhu dan tekanan pada waktu tertentu. Faktor yang memengaruhi pelepasan probiotik dari bahan mikroenkapsulan adalah interaksi antara bahan mikroenkapsulan dan bakteri probiotik, viabilitas probiotik, rasio antara probiotik dan bahan mikroenkapsulan, ukuran partikel dan tingkat viskositas bahan mikroenkapsulan (Ding dan Shah, 2007).

Dalam pengujian pelepasan probiotik terenkapsulasi, sangat penting untuk memeriksa dua kondisi yaitu harus dipastikan bahwa



Gambar 1. Representasi skematik sistem enkapsulasi: (a) Tipe Reservoir, (b) Tipe Matriks, dan (c) Tipe Matriks Berlapis (Sumber: Burgain *et al.* 2011)

Tabel 2. Matriks mikroenkapsulan yang diproduksi dengan teknik *spray drying* yang berbeda

Bakteri probiotik	Bahan mikroenkapsulan	Kondisi spray drying	Referensi
<i>Bifidobacterium PL1</i>	Modified waxy maize starch	Ti = 100°C, To = 45°C	O'Riordan <i>et al.</i> (2001)
<i>L. acidophilus La-05</i>	Cellulose acetate phthalate	Ti = 130°C, To = 75°C	Fávaro-Tindale dan Grosso (2008)
<i>B. lactis Bb-12</i>	Whey protein isolate (10% w/w), Milk fat	Ti = 160°C, To = 80°C	Picot dan Lacroix (2003)
<i>B. breve R070</i>	Skim milk (20% w/v)	Ti = 140°C,	Corcoran <i>et al.</i> (2004)
<i>B. longum R023</i>	Polydextrose (20% w/v)	To = 85–90 °C	
<i>Lactobacillus rhamnosus GG</i>	Inulin (20% w/v)		
<i>L. rhamnosus E800</i>	Skim milk (10%) + polydextrose (10% w/v)		
<i>L. salivaris UCC 500</i>	Skim milk (10% w/v) + inulin (10% w/v)		
	Raftilose® P9 and Synergy1 Raftiline® GR and HP		
<i>B. longum B6</i>	Gelatin (10%)	Ti = 100°C,	Hsiao <i>et al.</i> (2004)
<i>B. infantis CCRC 14633</i>	Soluble starch (10%)	To = 50°C	
	Skim milk (10%)		
	Arabic gum (10%)		
<i>L. rhamnosus GG</i>	Skim milk (20% w/v)	Ti = 140°C,	Ananta <i>et al.</i> (2005)
	Polydextrose (20% w/v)	To = 70–100°C	
	Inulin (20% w/v)		
	Raftilose® P95 (20 w/v %)		
<i>Lactobacillus kéfir CIDCA 8321 dan 8348</i>	Skim milk (11% w/v)	Ti = 160°C,	Golowczyk <i>et al.</i> (2010)
	Skim milk + sucrose (2% w/v)	To = 70°C	
	Skim milk + monosodium glutamate (1.25% w/v)		
	Skim milk + fructooligosaccharides (2% w/v)		
<i>L. rhamnosus GG</i>	Whey protein isolate (32.7% w/w) + maltodextrine (65.3% w/w)	Ti = 160°C,	Ying <i>et al.</i> (2010)
	Whey protein isolate (32.7% w/w) + maltodextrine (32.7% w/w) + glucose (32.7% w/w)	To = 65°C	
	Whey protein isolate (32.7% w/w) + inulin (65.3% w/w)		
	Whey protein isolate (32.7% w/w) + inulin (32.7% w/w) + glucose(32.7% w/w)		
<i>Bifidobacterium BB-12</i>	Skim milk (20% w/v)	Ti = 150°C,	Fritzen-Freire <i>et al.</i> (2012)
	Skim milk (10% w/v) + inulin (10% w/v)	To = 55°C	
	Skim milk (10% w/v) + Orafiti® Synergy1 (10% w/v)		
	Skim milk (10% w/v) + oligofructose		
<i>L. casei</i>	Skim milk (20% w/v)	Ti = 170°C,	Paéz <i>et al.</i> (2012)
<i>L. paracasei</i>		To = 85°C	
<i>L. acidophilus</i>			
<i>L. plantarum</i>			

material enkapsulan probiotik bersifat resisten di dalam media yang mensimulasikan cairan lambung, dan kemudian memastikan bahwa probiotik terenkapsulasi dapat dilepaskan dalam media yang mensimulasikan cairan usus (Gbassi dan Vandamme, 2012). Model eksperimental yang mensimulasikan saluran pencernaan telah mengevaluasi toleransi probiotik terhadap media asam, empedu dan enzim. Umumnya ada dua jenis model eksperimental, yang dikenal dengan nama model konvensional dan model dinamis. Model dinamis berbeda dari model konvensional karena semi-otomatis. Model konvensional mensimulasikan kondisi di lambung maupun usus. Simulasi model konvensional terdiri dari reaktor tunggal (wadah kaca) yang mengandung cairan lambung simulasi atau cairan usus simulasi. Model dinamis terdiri dari serangkaian reaktor dengan volume masing-masing untuk lambung dan usus, dalam hal ini suhu dipertahankan pada 37° C dan pH secara otomatis dikontrol untuk mempertahankan nilai pH lambung dan usus. Semua reaktor terus menerus di-aduk, dan media kultur steril diumpungkan ke reaktor lambung oleh pompa peristaltik yang secara berurutan memasok reaktor usus (Gbassi dan Vandamme., 2012).

Menurut Rosen (2006), pelepasan probiotik dari bahan mikroenkapsulan dapat terjadi ketika enzim seperti amilase, protease dan lipase menghidrolisis pati, protein maupun lipid. Ketika kontak dengan pelarut, bahan mikroenkapsulan dapat larut sepenuhnya, sehingga dengan cepat dapat melepaskan probiotik ke lokasi target (Frascareli *et al.* 2012). Pelepasan probiotik dari bahan mikroenkapsulan dapat terjadi karena perubahan pH sehingga menghasilkan perubahan dalam kelarutan bahan mikroenkapsulan yang memungkinkan pelepasan probiotik. Mikroorganisme probiotik dapat dimikroenkapsulasi untuk menahan pH asam lambung dan hanya dilepaskan dalam kondisi pH alkalin di usus (Toldrá dan Reig, 2011). Perubahan suhu juga dapat mendorong pelepasan probiotik dari bahan mikroenkapsulannya. Ada dua konsep yang berbeda yaitu: a) pelepasan suhu-sensitif, disediakan untuk bahan yang dapat mengembang atau runtuh ketika suhu kritis tercapai, dan b) pelepasan yang dipicu fusi, yang melibatkan peleburan bahan mikroenkapsulan karena kenaikan suhu (Park dan Maga, 2006). Pelepasan probiotik karena pengaruh tekanan terjadi ketika tekanan diterapkan ke dinding mikroenkapsulan (Wong *et al.*, 2009).

### **Teknik Mikroenkapsulasi Probiotik**

Sebelum memilih salah satu teknologi mikroenkapsulasi menurut Zuidam dan Shimoni (2010) industri harus memperhitungkan beberapa aspek berikut: (a) Kondisi viabilitas probiotik; (b) Kondisi pengolahan pangan yang digunakan; (c) Kondisi penyimpanan dari produk pangan probiotik terenkapsulasi sebelum digunakan konsumen; (d) Ukuran dan densitas partikel yang dibutuhkan untuk formulasi dalam produk pangan; (e) Mekanisme pemicu dan pelepasan probiotik terenkapsulasi; (f) Biaya produksi. Pemilihan metode yang paling sesuai tergantung pada jenis strain probiotik, aplikasi untuk mikrokapsul, ukuran partikel yang dibutuhkan, sifat fisik dan kimia probiotik dan dinding, mekanisme pelepasan yang diperlukan, skala produksi dan biaya (Suave 2006). Beberapa metode enkapsulasi probiotik adalah ekstrusi, emulsi, *fluid bed*, enkapsulasi protein *rennet-gel*, *spray drying*, *freeze drying*, sistem hibridisasi, *Impinging aerosol technology*, *electrospinning*.

### **Teknik Ekstrusi**

Teknik ekstrusi adalah metode yang paling populer karena sederhana, mudah dilakukan, biaya rendah dan kondisi formulasi lembut yang menjamin viabilitas sel menjadi lebih tinggi (Krasaekoopt *et al.* 2003). Teknik ini melibatkan persiapan larutan hidrokoloid, penambahan mikroorganisme, dan ekstrusi suspensi sel melalui jarum syringe. Tetesan tersebut diteteskan ke larutan pengeras (Heidebach *et al.* 2012). Jika pembentukan tetesan terjadi dengan cara yang terkendali (bertentangan dengan penyemprotan) teknik ini dikenal dengan istilah *prilling*. Hal ini dilakukan dengan pulsasi jet atau getaran nosel. Penggunaan koaksial-aliran atau medan elektrostatis adalah teknik umum lainnya untuk membentuk butiran kecil. Bidang elektrostatis diaplikasikan sehingga gaya elektrostatis akan mengganggu permukaan cairan pada ujung jarum, membentuk aliran tetesan kecil yang bermuatan. Metode ini tidak memerlukan pelarut organik dan mudah mengendalikan ukuran manik-manik dengan memvariasikan potensi aplikasi. Produksi massal manik-manik dapat dicapai dengan sistem multi-nosel atau menggunakan cakram yang berputar. Proses lainnya adalah ekstrusi sentrifugal yang terdiri dari sebuah proses koekstrusi. Teknik ini menggunakan nosel

dengan lubang konsentris yang terletak di lingkaran luar silinder putar. Bahan inti dipompa melalui lubang dalam dan bahan cangkang cair melalui lubang luar. Saat sistem berputar, batang yang diekstrusi pecah menjadi tetesan yang membentuk kapsul (Kailasapathy 2002).

### Teknik Emulsi

Dalam teknik ini, fase terputus-putus (suspensi polimer sel) ditambahkan ke sejumlah besar minyak (fase kontinyu). Campuran dihomogenisasi untuk membentuk emulsi air dalam minyak. Setelah emulsi air dalam minyak terbentuk, polimer yang larut dalam air tidak dapat dipulihkan (*cross-linked*) untuk membentuk partikel dalam fase minyak (Heidebach *et al.* 2012). Manik-manik tersebut kemudian dipanen dengan filtrasi. Ukuran manik-manik dikontrol dengan kecepatan agitasi, dan dapat bervariasi antara 25  $\mu\text{m}$  dan 2 mm. Untuk aplikasi di bidang pangan, minyak nabati digunakan sebagai fase kontinu. Beberapa penelitian telah menggunakan minyak parafin putih dan minyak mineral putih. Emulsi juga ditambahkan untuk membentuk emulsi yang lebih baik, karena pengemulsi menurunkan tegangan permukaan, menghasilkan partikel yang lebih kecil (Krasaekoopt *et al.* 2003).

### Fluid Bed

Dalam proses ini, suspensi sel disemprotkan dan dikeringkan pada pembawa *inert* menggunakan sistem *fluid bed* berbasis Wurster. Keuntungan dari proses ini adalah kontrol total atas suhu dan biaya sebanding yang lebih rendah. Kelemahannya adalah teknologi ini sulit dikuasai dan memiliki durasi yang relatif lebih lama. Sebelum mengering, dibutuhkan kultur probiotik terenkapsulasi dalam bahan pendukung seperti susu skim kalsium alginat atau lemak (Buch *et al.* 2009). Stummer *et al.* (2010) menggunakan natrium alginat, hidroksipropil metil selulosa, dan polivinilpirolidon sebagai polimer yang larut dalam air, dan gliserol serta gliseril triasetat sebagai plastisizer. Teknik *fluidized bed* mudah untuk dilakukan *scale up*. Alasan ini yang membuat teknik ini sebagai salah satu teknologi enkapsulasi yang paling banyak diterapkan secara komersial terhadap probiotik. Beberapa perusahaan telah mengembangkan produk yang menggunakan Probiocap® dan Duaolac® (Burgain *et al.* 2011). Hal ini dapat diadaptasi untuk memberi lapisan *multilayer* juga. Champagne *et al.* (2010)

menggunakan metode ini dengan menerapkan lapisan dengan dua lemak berbeda.

### Enkapsulasi Protein Rennet-Gel

Mikrokapsul dapat diproduksi dengan menggunakan enzim yang layak diaplikasikan dalam bahan pangan (*rennet*) dan larutan protein susu berair. *Rennet* adalah kompleks enzim proteolitik, yang mampu membelah molekul  $\beta$ -kasein, yang menghasilkan agregasi kasein pada *misel*. (Heidebach *et al.* 2009). Ikatan silang non-kovalen kemudian terbentuk secara progresif antara rantai misel flokulasi untuk membentuk gel akhir di atas suhu 18°C (Bansal *et al.* 2007). Mikrokapsul ini layak diaplikasikan pada bakteri probiotik, tanpa kehilangan sel yang signifikan selama proses enkapsulasi. Kelangsungan hidup sel yang dapat dienkapsulasi mungkin dapat dijelaskan dengan nilai pH lokal yang lebih tinggi di dalam matriks protein kapsul yang disebabkan oleh kapasitas buffer protein. Senyawa ini dapat melindungi sel selama inkubasi di bawah kondisi simulasi lambung pada pH rendah. Selanjutnya, protein ini mengurangi kelayakan untuk mengendalikan ukuran kapsul menjadi mikrokapsul, yang sangat penting berkaitan dengan dampak sensorik partikel pada produk akhir. Untuk semua alasan itu, teknik ini nampaknya menjadi pendekatan yang cocok untuk aplikasi probiotik yang lebih efektif dalam bahan pangan.

### Kering Beku (Freeze Drying)

Pengeringan beku telah digunakan untuk memproduksi serbuk probiotik selama beberapa dekade, namun kombinasi pengeringan beku dan enkapsulasi merupakan konsep yang relatif baru. Prosesnya didasarkan pada sublimasi, terjadi dalam tiga fase; pembekuan, primer, dan pengeringan sekunder. Biasanya, sel pertama dibekukan dan kemudian dikeringkan dengan sublimasi di bawah vakum tinggi (Santivarangkna *et al.*, 2007). Seperti kondisi pengolahannya yang terkait dengan pengeringan beku lebih ringan daripada pengeringan semprot, tingkat kelangsungan hidup probiotik yang lebih tinggi biasanya dapat dicapai (Wang *et al.*, 2004). Dalam teknik ini, pelarut dibekukan dan dikeluarkan melalui sublimasi (Solanki *et al.*, 2013). Pembekuan menyebabkan kerusakan pada membran sel karena pembentukan kristal dan menyebabkan kondisi stres dengan osmolaritas tinggi. Berbagai pelindung telah ditambahkan ke media pengeringan sebelum pengeringan beku untuk melindungi kelangsungan

hidup probiotik selama dehidrasi, seperti susu bubuk skim, protein *whey*, glukosa, maltodekstrin, dan trehalosa. Krioprotektan dapat ditambahkan ke media sebelum fermentasi untuk membantu adaptasi dari probiotik ke lingkungan (Basholli-Salih *et al.* 2014; Capela *et al.* 2006). Mekanisme krioprotektan adalah mengurangi perbedaan osmotik antara internal dan lingkungan eksternal (Kets *et al.* 1996).

### **Kering Semprot (*Spray Drying*)**

Pengeringan semprot (*spray drying*) adalah metode mikroenkapsulasi yang paling umum digunakan dalam industri makanan karena bersifat ekonomis dan fleksibel. Konsumsi energi pengeringan semprot adalah 6-10 kali lebih rendah dibandingkan dengan pengeringan beku dan menghasilkan produk yang berkualitas. Prosesnya melibatkan dispersi bahan inti, membentuk emulsi atau dispersi, diikuti homogenisasi cairan, dan kemudian atomisasi campuran ke dalam ruang pengeringan. Hal ini menyebabkan penguapan pelarut. Penting untuk digarisbawahi bahwa dalam teknik ini, umpan produk, aliran gas, dan suhu harus dikendalikan. Keuntungan dasar dari proses ini adalah dapat dioperasikan secara terus menerus. Kelemahannya adalah suhu tinggi yang digunakan dalam proses mungkin tidak sesuai untuk mengenkapsulasi kultur bakteri probiotik. Pada titik ini, suhu keluaran lebih besar dari 85-90 °C sehingga dapat mematikan untuk bakteri probiotik. Terlihat bahwa pada kondisi suhu *inlet* yang sama, laju umpan *inlet* yang lebih tinggi memiliki suhu keluaran yang lebih rendah dan tingkat kelangsungan hidup yang meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa kelangsungan hidup sel paling banyak terjadi tergantung pada suhu luaran. Kerusakan panas membran sel adalah salah satu kerusakan target yang paling rentan selama pengeringan semprot. Suhu tinggi selama pengeringan semprot menyebabkan pori-pori seluler dari intraseluler sel mengalami kebocoran (Anekella dan Orsat, 2013). Namun, penyesuaian dan kontrol yang tepat terhadap kondisi pemrosesan seperti *inlet* dan suhu luaran dapat mencapai kultur bakteri enkapsulasi yang layak dengan distribusi ukuran partikel yang diinginkan. Faktor lain yang memengaruhi viabilitas probiotik semprot kering adalah jenis regangan dan toleransi terhadap kondisi stres, pembawa, suhu pengeringan dan waktu paparan terhadap panas (sebelum proses pengeringan

semprot) dan aktivitas air serta kondisi penyimpanan (setelah proses pengeringan semprot).

### **Kombinasi *Freeze* dan *Spray Drying***

Metode kombinasi *freeze* dan *spray drying* menggabungkan langkah-langkah pemrosesan yang biasa dilakukan untuk pengeringan beku dan pengeringan semprot. Sel probiotik berada dalam larutan yang dikabutkan menjadi fase uap dingin dari cairan kriogenik seperti nitrogen cair. Langkah ini menghasilkan dispersi tetesan beku. Butiran beku kemudian dikeringkan dalam pengering beku (Amin *et al.* 2013). Teknik ini menghadirkan berbagai kelebihan, seperti memberi ukuran terkontrol dan luas permukaan spesifik yang lebih tinggi dari kapsul hasil pengeringan semprot. Selain itu, kapsul dapat dilapisi oleh *shell* tambahan dengan menggunakan metode manik-manik fluida untuk memberikan perlindungan terhadap kondisi lingkungan yang merugikan (Semyonov *et al.*, 2010). Namun, proses ini juga memiliki beberapa kekurangan termasuk penggunaan energi tinggi, waktu proses yang panjang dan biayanya 30-50 kali lebih mahal dari pengeringan semprot (Zuidam dan Shimoni, 2010).

Semyonov *et al.* (2010) menggunakan dinding matriks berupa maltodekstrin yaitu suatu polisakarida yang berkontribusi dalam mengurangi mobilitas sel pada fase glass. Komponen matriks lainnya adalah disakarida dan trehalosa, yang bertindak sebagai eksipien pelindung, yang mampu memperbaiki viabilitas sel selama pembekuan (krioprotektan), pengeringan beku, dan juga selama penyimpanan bakteri kering. Trehalose diketahui menciptakan ikatan hidrogen dengan protein dan kelompok kepala kutub lipida pada membran sel sehingga mampu mencegah kerusakan struktural selama dehidrasi. Semyonov *et al.* (2010) membuktikan bahwa kombinasi *Freeze* dan *Spray Drying* adalah proses yang tepat untuk menghasilkan mikrokapsul kering dengan *Lactobacillus paracasei*. Partikel ini mampu mempertahankan viabilitas tinggi selama tahap penyemprotan, pembekuan, dan pengeringan.

### ***Ultrasonic Vacuum Spray Dryer***

Suatu teknik yang didasarkan pada pengeringan semprot yang meminimalkan tegangan termal dan oksidatif selama proses pengeringan telah dikembangkan. Sistem ini menggunakan



*nosel* ultrasonik, suhu rendah dan atmosfer vakum di ruang kering. Semyonov *et al.* (2011) melaporkan bahwa campuran maltodekstrin dan trehalosa dipilih sebagai bahan matriks, karena seperti yang ditunjukkan sebelumnya, komponen ini dapat meningkatkan kelangsungan hidup dengan mempertahankan integritas membran sel probiotik selama pengeringan dan penyimpanan serta mempromosikan efek menstabilkan protein bakteri. Hasilnya menunjukkan bahwa kombinasi protein dan karbohidrat berkontribusi terhadap retensi viabilitas tinggi setelah pengeringan semprot dan perpanjangan tingkat ketahanan hidup bakteri probiotik selama penyimpanan.

### Sistem Hibridisasi

Sistem hibridisasi adalah teknik mikroenkapsulasi kering, terdiri dari rotor berputar berkecepatan tinggi dengan enam bilah, *stator*, dan sirkuit resirkulasi serbuk. Campuran serbuk (partikel induk dan tamu) yang ditempatkan di kapal yang dikenai impaksi tinggi dalam aliran udara yang dihasilkan oleh pisau yang berputar dengan kecepatan tinggi. Selama proses, partikel membentuk campuran yang dipesan dengan menyematkan atau memfilmkan partikel tamu ke permukaan partikel inang. Sistem hibridisasi menghasilkan hasil mikrokapsul tinggi dan meminimalkan kerusakan bakteri akibat panas dengan menggunakan sistem pendingin yang mempertahankan suhu di bawah 30°C (Takafumi *et al.*, 1993). Beberapa zat prebiotik telah diuji dengan teknik ini seperti sorbitol, manitol, laktulosa, xilitol, inulin, fruktooligosakarida, dan rafinosa. Hasilnya menunjukkan bahwa mikroenkapsulasi ganda dengan hibridisasi berguna untuk memberi efek probiotik secara efektif bagi manusia (Ann *et al.*, 2007).

### Impinging Aerosol Technology

Teknologi ini menggunakan dua aerosol terpisah. Satu dengan suspensi mikroba dalam larutan alginat dan yang lainnya dengan kalsium klorida. Campuran alginat disuntikkan dari atas silinder, sementara itu kalsium klorida disuntikkan dari bagian pangkal. Teknologi ini menghasilkan *alginate microbeads* dengan rata-rata diameter kurang dari 40 µm (Sohail *et al.*, 2011). Karena tidak ada panas atau pelarut yang digunakan, teknologi aerosol yang menyimpannya sangat cocok untuk mengenkapsulasi bahan pelarut panas dan bahan pelarut sensitif. Selain itu, teknik ini memiliki kapasitas

produksi dalam jumlah besar dan mikroba bisa dikering semprotkan atau dikering bekukan. Sohail *et al.* (2011) menunjukkan bahwa mikroba yang diperoleh dengan menabrak teknologi aerosol dan manik-manik makro yang diekstrusi (diameter sekitar 2 mm) mampu menawarkan perlindungan serupa terhadap *Lactobacillus rhamnosus* GG dalam studi ketahanannya atas asam lambung dan empedu.

### Electrospinning

Penggunaan gabungan dua teknik yaitu *electrospray* dan *spinning* dibuat dengan teknik yang sangat serbaguna yang disebut *electrospinning*. Dalam teknik ini, medan listrik tinggi diterapkan pada cairan yang mungkin berupa lelehan atau larutan yang keluar dari ujung *die*, yang bertindak sebagai salah satu elektroda. Hal ini menyebabkan deformasi tetesan dan akhirnya terjadi pengusiran jet bermuatan dari ujung menuju elektroda *counter* yang mengarah ke pembentukan serat kontinu. Kelebihan teknik *electrospinning* adalah produksi serat atau kapsul yang sangat tipis dengan urutan beberapa nanometer dengan luas permukaan yang besar. Selain itu, kemungkinan produksi berskala besar dikombinasikan dengan kesederhanaan proses membuat teknik ini sangat menarik untuk berbagai aplikasi (Agarwal *et al.*, 2008). Dalam hal ini, enkapsulasi bakteri probiotik telah dilakukan melalui *electrospinning* menggunakan matriks berbasis protein (konsentrat protein *whey*) dan matriks berbasis karbohidrat (*pullulan*). Peningkatan konsentrasi *whey* protein telah membuktikan peningkatan yang lebih besar dalam kelangsungan hidup sel bila dibandingkan dengan struktur *pullulan* (López-Rubio *et al.*, 2012).

## PEMBAHASAN

Probiotik dapat menghasilkan efek menguntungkan bagi kesehatan jika terdapat dalam jumlah yang cukup di usus. Probiotik telah digunakan untuk mengatur konsentrasi glukosa. Mikroorganisme probiotik diketahui memiliki efek kesehatan dalam mengurangi kadar kolesterol (Bhatia *et al.*, 2012) dan imunomodulasi (Kumar *et al.*, 2011). Penelitian Bhatia *et al.*, (2013) menggunakan *Lactobacillus* (LB10) terenkapsulasi yang diisolasi dari susu kerbau dan bakteri probiotik komersial dari *LeeBiotic Capsule* (LCap) telah menunjukkan

bahwa probiotik terenkapsulasi memiliki khasiat yang lebih baik sebagai agen antidiabetes dibandingkan probiotik yang tidak terenkapsulasi. Mikropartikel disiapkan dengan menggunakan teknologi ekstrusi. Pada kelompok yang diberi bakteri probiotik (LB10) dan (LCap) tidak terenkapsulasi menunjukkan penurunan kadar glukosa yang diamati adalah 37,85% dan 36,50%. Sementara itu kelompok yang menerima bakteri probiotik LB10 terenkapsulasi dan probiotik komersial terenkapsulasi mampu menurunkan kadar glukosa sebesar 41,84% dan 40,97%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bakteri probiotik yang dienkapsulasi dengan teknik ekstrusi mampu menurunkan kadar glukosa menjadi normal dalam waktu 14 hari. Glibenklamid mengurangi kadar glukosa dalam tujuh hari. Namun, obat ini menciptakan kondisi hipoglikemik. Hasil ini menunjukkan bahwa teknologi mikroenkapsulasi meningkatkan sintasan probiotik dalam kondisi saluran pencernaan dan menghasilkan zat yang signifikan untuk menurunkan kadar glukosa darah total.

Probiotik mampu mengkonversi asam linoleat (LA) menjadi asam linoleat terkonjugasi (CLA). Asam lemak ini telah terbukti memiliki aktivitas antihiper-kolesterolemia (Schlegel *et al.*, 2012). Hasil yang diperoleh Bhatia *et al.*, (2012), menunjukkan bahwa *Lactobacillus sp.* terenkapsulasi dan tidak terenkapsulasi (diisolasi dari susu kerbau) dan juga obat (Atorvastatin) mampu mengurangi kadar kolesterol. Mikropartikel dikembangkan dengan menggunakan proses ekstrusi. Persentase penurunan kadar kolesterol oleh probiotik terenkapsulasi tidak berbeda nyata dengan yang diperoleh dalam pengobatan Atorvastatin pada tikus. Menurut Bhatia *et al.* (2012), hasil ini karena bakteri yang dienkapsulasi membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mengerahkan efeknya karena dilepaskan dengan cara yang lebih lambat namun tetap dipertahankan daripada bakteri yang tidak terenkapsulasi.

Teknik enkapsulasi probiotik telah diterapkan pada berbagai produk pangan seperti yogurt, susu, es krim, keju, dodol sirsak, sari buah nanas, minuman serbuk buah jambu biji, selai salak (Purnasari *et al.*, 2015; Ningtyas *et al.*, 2015; Jati *et al.*, 2015). Seleksi ini sekarang berkembang menjadi jus buah, kue dan cokelat. Pengakuan aplikasi baru dengan matriks makanan dapat berinteraksi dengan probiotik yang dikemas membutuhkan penelitian lebih

lanjut. Perusahaan yang menggunakan teknik enkapsulasi probiotik dalam proses produksinya membutuhkan keahlian lebih lanjut untuk dapat memperkirakan aplikasi komersial yang paling menjanjikan. Dua kandidat probiotik (*L. plantarum* BSL dan *L. plantarum* 2C12) dienkapsulasi menggunakan 3% natrium alginat dan minyak kedelai ditambah Tween 80 0,2% untuk pembuatan produk selai salak probiotik (Purnasari *et al.*, 2015). Hasil penelitian menunjukkan bahwa mikroenkapsulasi kedua isolat *L. plantarum* dengan teknik emulsi menghasilkan viabilitas yang tinggi (11 Log CFU g<sup>-1</sup>). Probiotik terenkapsulasi pada produk selai salak memperlihatkan viabilitas yang masih baik selama penyimpanan empat minggu dibandingkan dengan sel bebas yang sudah mengalami kematian pada penyimpanan dua minggu (Purnasari *et al.*, 2015).

Ningtyas *et al.* (2015) melaporkan bahwa strain *L. plantarum* 2C12 dan *L. plantarum* BSL (1%) dalam sari buah jambu biji dimikroenkapsulasi dengan teknik pengeringan semprot menggunakan beberapa jenis bahan enkapsulan, meliputi maltodekstrin, kombinasi maltodekstrin dengan bahan enkapsulan lain seperti gum arab, inulin, dan galaktooligosakarida (GOS), dengan perbandingan 5:1. Hasil ini mengusulkan pengembangan produk probiotik serbuk jambu biji menggunakan maltodekstrin atau maltodekstrin dan GOS dengan teknik mikroenkapsulasi pengering semprot.

Jati *et al.* (2015) melaporkan bahwa mikroenkapsulasi dengan teknik emulsi menggunakan natrium alginat dan minyak kedelai dilakukan terhadap dua galur probiotik yaitu *L. acidophilus* 2B4 dan *L. rhamnosus* R23 untuk pembuatan dodol sirsak probiotik. Mikroenkapsulasi dengan teknik emulsi menghasilkan sintasan yang tinggi (95-96%) pada kedua galur probiotik *Lactobacillus sp.* Mikroenkapsulasi dapat memperbaiki sintasan probiotik secara signifikan selama pemaparan panas (60, 65, dan 70°C, selama 20 menit), pH rendah (pH 2) dan garam empedu (0,5%). Kedua galur probiotik terenkapsulasi yang diaplikasikan dalam dodol sirsak juga lebih stabil selama penyimpanan dodol sirsak dalam jumlah yang diperlukan (6 Log CFU g<sup>-1</sup>) masing-masing selama tiga dan dua minggu dibandingkan kontrol (dodol sirsak dengan penambahan

probiotik bebas) yang hanya bertahan selama kurang dari satu minggu (4,3 Log CFU g<sup>-1</sup> untuk *L. acidophilus* 2B4 dan 2,5 Log CFU g<sup>-1</sup> untuk *L. rhamnosus* R23).

Proses dan tantangan kedepan dalam pengembangan teknik mikroenkapsulasi probiotik harus ditingkatkan, dimodifikasi dan diadaptasi. Banyak tantangan yang harus dihadapi untuk mengembangkan teknik mikroenkapsulasi ini di antaranya mengembangkan peralatan mikroenkapsulasi, menjelaskan prosedur mikroenkapsulasi, memilih bahan non-toksik untuk enkapsulasi probiotik, mengembangkan kapsul maupun manik-manik dari polimer yang disesuaikan dengan pH saluran pencernaan, menentukan mekanisme probiotik rilis dari kapsul atau manik-manik, melakukan penelitian *in vitro* dan *in vivo* dan menilai biaya mikroenkapsulasi (Martin *et al.*, 2015).

Tantangan dan prospek pengembangan peralatan mengacu pada manik-manik atau ukuran kapsul, yang sangat penting dan harus dikontrol dengan hati-hati. Kapsul kecil atau manik-manik di bawah kondisi yang terkendali tidak memengaruhi tekstur produk makanan (De Prisco dan Mauriello, 2016). Sebagian besar prosedur teknik enkapsulasi probiotik dilaporkan melibatkan teknologi emulsifikasi dan teknologi ekstrusi (gelasi ionotropik). Dalam teknologi emulsifikasi, emulsifier atau surfaktan yang ditambahkan dalam minyak sayur digunakan untuk mempromosikan kapsul. Teknik ini mungkin tidak cocok untuk pengembangan produk makanan karena minyak sisa dalam bahan yang dikapsulkan merugikan tekstur dan karakteristik organoleptik, dan mungkin tidak cocok untuk pengembangan produk susu rendah lemak. Minyak sisa, pengemulsi, dan surfaktan dalam bahan yang dikapsulkan dapat menjadi racun bagi sel probiotik dan dapat berinteraksi dengan komponen makanan. Kapsul yang dihasilkan dianggap tidak seragam. Ini dapat memengaruhi tekstur rasa makanan dan karena itu tidak cocok untuk dimasukkan ke dalam makanan. Kebutuhan penelitian harus mengarah pada pengembangan mikrokapsul hanya menggunakan gel berair tanpa menggunakan emulsifier, surfaktan atau minyak. Dalam hal penanganan kondisi dan persyaratan keamanan, ekstrusi tampaknya lebih baik untuk enkapsulasi probiotik. Namun, ekstrusi menghadapi tantangan produksi manik-manik berskala besar (Rajam *et al.*, 2012).

Tantangan lain dalam pengembangan

enkapsulasi probiotik adalah menentukan karakteristik fisikokimia bahan mikroenkapsulasi untuk memprediksi mekanisme disintegrasi atau pelepasan bakteri probiotik dalam berbagai kondisi pH dan salinitas serta interaksi mereka dengan sel probiotik atau komponen lain yang ada di saluran pencernaan (Rajam *et al.*, 2015). Teknik enkapsulasi probiotik menjadi penting dalam memberikan strain probiotik yang layak untuk konsumen. Tantangan terakhir adalah meminimalkan biaya teknik enkapsulasi probiotik. Pengembangan produk membutuhkan waktu dan sumber daya keuangan, fase mikroenkapsulasi probiotik menambah biaya tambahan untuk pengolahan makanan. Komponen biaya dapat sangat bervariasi tergantung pada teknik yang digunakan dan volume produk. Enkapsulasi menggunakan polimer alami seperti polisakarida dan protein harganya mahal dan protein susu lebih mahal daripada karbohidrat. Teknik emulsifikasi lebih mahal karena membutuhkan bahan baku tambahan seperti minyak dan pengemulsi untuk menstabilkan kapsul (Solanki *et al.*, 2013). Teknik enkapsulasi probiotik memiliki potensi besar untuk masa depan jika tantangan yang diidentifikasi diselesaikan oleh para ilmuwan dan industrialis.

Teknologi pengeringan semprot, di masa yang akan datang merupakan teknologi yang paling efektif diaplikasikan dalam enkapsulasi probiotik karena ekonomis, memiliki laju produksi tinggi, menghasilkan mikrokapsul berukuran kecil dengan kapasitas retensi tinggi dalam memerangkap probiotik. Pati resisten berpotensi digunakan kedepannya sebagai bahan mikroenkapsulan probiotik karena diketahui memiliki sifat ketahanan panas yang baik dan resistensi yang tinggi pada kondisi pH asam lambung, enzim pencernaan serta garam empedu sesuai dengan simulasi saluran pencernaan. Pati resisten juga memiliki viskositas yang rendah dan tingkat kelarutan yang tinggi sehingga mudah diaplikasikan dalam formulasi produk pangan.

## SIMPULAN

Teknologi mikroenkapsulasi probiotik harus memenuhi beberapa kriteria yaitu strain bakteri probiotik (*core*), bahan mikroenkapsulan (*coating*), mekanisme dan karakteristik pelepasan inti (*release*) serta metode mikroenkapsulasi yang tepat. Bakteri probiotik berasal dari genus *Lac-*

*tobacillus sp.*, *Streptococcus sp.*, *Bifidobacterium sp.*, *Enterococcus sp.*, *Saccharomyces sp.* memiliki sifat tahan asam lambung dan sekresi garam empedu, mampu bersaing dengan bakteri patogen dan mampu hidup bertahan dalam saluran pencernaan. Bakteri probiotik berperan penting dalam kesehatan dengan berperan sebagai antihiperqlikemia, antihiperkolesterolemia, imunomodulator, dan antitumor. Bahan mikroenkapsulan yang banyak digunakan untuk enkapsulasi probiotik adalah malto-dekstrin, pati dan gum arab karena mudah larut dalam air, viskositas rendah, mudah berikatan dengan dinding sel bakteri probiotik, berperan sebagai kryoprotektan, tahan panas sehingga mampu memberikan perlindungan pada bakteri probiotik selama proses pengolahan maupun di dalam saluran pencernaan. Mekanisme pelepasan probiotik dari bahan mikroenkapsulan dapat terjadi ketika enzim amilase, protease dan lipase menghidrolisis pati, protein maupun lipid. Ketika kontak dengan pelarut, bahan mikroenkapsulan dapat larut sepenuhnya karena pengaruh pH, sehingga dengan cepat dapat melepaskan probiotik ke lokasi target.

### SARAN

Untuk penelitian selanjutnya perlu dikaji pemanfaatan pati resisten dari bahan umbi-umbian maupun serealia sebagai bahan baku mikroenkapsulan bakteri probiotik kering semprot. Pati resisten memiliki sifat tahan panas dan tahan beku, sehingga diharapkan mampu melindungi dan menjaga stabilitas maupun viabilitas bakteri probiotik selama penyimpanan.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada Kemenristekdikti yang telah berkenan membiayai penulisan karya tulis ilmiah ini melalui skema pembiayaan Beasiswa Pascasarjana Sumber Daya Manusia IPTEK Kemenristekdikti.

### DAFTAR PUSTAKA

Agarwal S, Wendorff JH, Greiner A. 2008. Use of electrospinning technique for biomedical applications. *Polymer* 49: 5603–5621.

- Amin T, Thakur M, Jain SC. 2013. Microencapsulation the future of probiotic cultures. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences* 3: 35–43.
- Ananta, Volkert M, Knorr D. 2005. Cellular injuries and storage stability of spraydried *Lactobacillus rhamnosus* GG. *International Dairy Journal* 15: 399–409.
- Anekella K, Orsat V. 2013. Optimization of microencapsulation of probiotics in raspberry juice by spray drying. *LWT — Food Science and Technology* 50: 17–24.
- Ann EY, Kim Y, Oh S, Imm JY, Park DJ, Han KS. 2007. Microencapsulation of *Lactobacillus acidophilus* ATCC 43121 with prebiotic substrates using a hybridisation system. *International Journal of Food Science and Technology* 42: 411–419.
- Antarini AAN. 2011. Sinbiotik antara prebiotik dan probiotik. *J Ilmu Gizi* 2(2): 148-155.
- Arief II, Jenie BSL, Astawan M, Witarto AB. 2010. Efektivitas probiotik *Lactobacillus plantarum* 2C12 dan *Lactobacillus acidophilus* 2B4 sebagai pencegah diare pada tikus percobaan. *Media Peternakan* 33(3): 137-143.
- Arief II, Wulandari Z, Aditia EL, Baihaqi M, Noraimah, Hendrawan. 2014. Physicochemical and microbiological properties of fermented lamb sausages using probiotic *Lactobacillus plantarum* IIA-2C12 as starter culture. *Proc Environ Sci* 20: 352-356.
- Arief II, Jenie BSL, Astawan M, Fujiyama K, Witarto AB. 2015. Identification and probiotic characteristics of lactic acid bacteria isolated from Indonesian local beef. *Asian J Anim Sci* 9(1): 25-36.
- Astawan M, Wresdiyanti T, Arief II, Febiyanti D. 2011. Potency of indigenous probiotic lactic acid bacteria as anti-diarrheal agent and immunomodulator. *J Food Technol Ind (Indonesia)* 22: 11-16.
- Azeredo HMC. 2005. Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. *Alimentos e Nutrição* 16(1): 89-97.
- Bansal N, Fox PF, McSweeney PLH. 2007. Aggregation of rennet-altered casein micelles at low temperatures. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55: 3120–3126.

- Basholli-Saliu M, Mueller M, Salar-Behzadi S, Unger FM, Viernstein H. 2014. Effect of lyoprotectants on  $\alpha$ -glucosidase activity and viability of *Bifidobacterium infantis* after freeze-drying and storage in milk and low pH juices. *LWT - Food Science and Technology* 57: 276–282.
- Bhadoria PBS, Mahapatra SC. 2011. Prospects, technological aspects and limitations of probiotics a worldwide review. *European J of Food Research & Review* 1(2): 23-42.
- Bhatia A, Rana P, Sharma A, Singla R, Randhawa MK. 2012. Preparation, characterization and hypocholesterolemic effect of sodium alginate encapsulated lab isolate. *Journal of Microbiology and Biotechnology Research* 2: 741–746.
- Bhatia A, Sharma A, Sood A, Singla R. 2013. Hypoglycemic effect of encapsulated CLA producing probiotic isolate: An in vivo study. *Journal of Microbiology and Biotechnology Research* 3: 157–161.
- Buch K, Penning M, Wächtersbach E, Maskos M, Langguth P. 2009. Investigation of various shellac grades: Additional analysis for identity. *Drug Development and Industrial Pharmacy* 35: 694–703.
- Burgain J, Gaiani C, Linder M, Scher J. 2011. Encapsulation of probiotic living cells: From laboratory scale to industrial applications. *Journal of Food Engineering* 104: 467–483.
- Capela P, Hay TK, Shah NP. 2006. Effect of cryoprotectants, prebiotics and microencapsulation on survival of probiotic organisms in yoghurt and freeze — dried yoghurt. *Food Research International* 39: 203–211.
- Champagne CP, Fustier P. 2007. Microencapsulation for the improved delivery of bioactive compounds into foods. *Food Biotechnology* 18: 184–190.
- Champagne CP, Raymond Y, Tompkins TA. 2010. The determination of viable counts in probiotic cultures microencapsulated by spray-coating. *Food Microbiology* 27: 1104–1111.
- Corcoran BM, Ross RP, Fitzgerald GF, Stanton C. 2004. Comparative survival of probiotic lactobacilli spray-dried in the presence of prebiotic substances. *Journal of Applied Microbiology* 96: 1024–1039.
- Dianawati D, Mishra V, Shah NP. 2013. Stability of microencapsulated *Lactobacillus acidophilus* and *Lactococcus lactis ssp. cremoris* during storage at room temperature at low aw. *Food Research International* 50: 259–265.
- De Prisco A, Mauriello G. 2016. Probiotication of foods: A focus on microencapsulation tool. *Trends in Food Science & Technology* 48: 27-39.
- Ding WK, Shah NP. 2007. Acid, bile, and heat tolerance of free and microencapsulated probiotic bacteria. *Journal of Food Science* 72 (9): M446–M450.
- Ding WK, Shah NP. 2008. Survival of free and microencapsulated probiotic bacteria in orange and apple juices. *Int Food Res J* 15: 219-232.
- Fávaro-Trindade CS. 2008. Revisão: microencapsulação de ingredientes alimentícios. *Brazilian Journal of Food Technology* 11(2): 103-112.
- Frascareli EC. 2012. Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying. *Food and Bioprocess Processing* 90(3): 413-424.
- Fritzen-Freire CB, Prudêncio ES, Amboni RDMC, Pinto SS, Negrão-Murakami AN, Murakami FS. 2012. Microencapsulation of Bifidobacteria by spray drying in the presence of probiotics. *Food Research International* 45: 306–312.
- Gbassi GK, Vandamme T. 2012. Probiotic Encapsulation Technology: From Microencapsulation to Release into the Gut. *Pharmaceutics* 4: 149-163.
- Gharsallaoui A. 2007. Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: an overview. *Food Research International* 40 (9): 1107-1121.
- Golowczyc MA, Gerez CL, Silva J, Abraham AG, De Antoni GL, Teixeira P. 2010. Survival of spray-dried *Lactobacillus kefir* is affected by different protectants and storage conditions. *Biotechnology Letters* 33: 681–686.
- Gouin S. 2004. Microencapsulation: Industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in Food Science and Technology* 15: 330–347.

- Heidebach T, Först P, Kulozik U. 2012. Microencapsulation of probiotic cells for food applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 52: 291–311.
- Hsiao HC, Lian WC, Chou CC. 2004. Effect of packaging conditions and temperature on viability of microencapsulated bifidobacteria during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 84: 134–139.
- Jati AUP, Jenie BSL, Suliantari. 2015. Mikroenkapsulasi *Lactobacillus Sp.* dengan Teknik Emulsi dan Aplikasinya pada Dodol Sirsak. *J. Teknol. dan Industri Pangan* 26(2): 135-143.
- Kailasapathy K. 2002. Microencapsulation of probiotic bacteria: Technology and potential applications. *Current Issues in Intestinal Microbiology* 3: 39–48.
- Kailasapathy K. 2006. Survival of free and encapsulated probiotic bacteria and their effect on the sensory properties of yogurt. *Lebensmittelwissenschaft und-Technologie* 39: 1221–1227.
- Kets EW, Teunissen PJM, De Bont JAM. 1996. Effect of compatible solutes on survival of lactic acid bacteria subjected to drying. *Applied and Environmental Microbiology* 62: 259–261.
- Krasaekoopt W, Bhandari B, Deeth H. 2003. Evaluation of encapsulation techniques of probiotics for yoghurt. *International Dairy Journal* 13: 3–13.
- Kumar R, Arora D, Bhatia A. 2011. Therapeutic potential of bioconverted conjugated linoleic acid in drug induced immunosuppressed and infective organism induced Plasmodium berghei. *International Journal of Pharmaceutical Sciences* 3: 212–214.
- López-Rubio A, Sanchez E, Wilkanowicz S, Sanz Y, Lagaron JM. 2012. Electrospinning as a useful technique for the encapsulation of living *Bifidobacteria* in food hydrocolloids. *Food Hydrocolloids* 28: 159–167.
- Malmö C, La Stora A, Mauriello G. 2013. Microencapsulation of *Lactobacillus reuteri* DSM 17938 cell coated in alginate beads with chitosan by spray drying to use as a probiotic cell in a chocolate soufflé. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 795–805.
- Martin JM, Lara-Villoslada F, Ruiz MA, Morales ME. 2015. Microencapsulation of bacteria: A review of different technologies and their impact on the probiotic effects. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 27: 15–25.
- Mortazavian A, Razavi SH, Ehsani MR, Sohrabvandi S. 2007. Principles and methods of microencapsulation of probiotic microorganisms. *Iranian Journal of Biotechnology* 5: 1–18.
- Nazzaro F. 2012. Microencapsulation in food science and biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology* 23(2): 182-186.
- Ningtyas R, Jenie BSL, Nuraida L. 2015. Mikroenkapsulasi *Lactobacillus plantarum* dengan Berbagai Enkapsulan Pada Pengeringan Semprot Jus Jambu Biji. *J. Teknol. dan Industri Pangan* 26(2): 163-170.
- O’Riordan K, Andrews D, Buckle K, Conway P. 2001. Evaluation of microencapsulation of a *Bifidobacterium* strain with starch as an approach to prolonging viability during storage. *Journal of Applied Microbiology* 91; 1059–1066.
- Paéz R, Lavari L, Vinderola G, Audero G, Cuatrin A, Zaritzky N. 2012. Effect of heat treatment and spray drying on lactobacilli viability and resistance to simulated gastrointestinal digestion. *Food Research International* 48: 748–754.
- Park D, Maga JA. 2006. Identification of key volatiles responsible for odour quality differences in popped popcorn of selected hybrids. *Food Chemistry* 99(3): 538-545.
- Picinin De Castro-Cislaghi FP, Dos Reis E Silva C, Fritzen-Freire CB, Goulart-Lorenz J, Sant’Anna ES. 2012. *Bifidobacterium Bb-12* microencapsulated by spray drying with whey: Survival under simulated gastrointestinal conditions, tolerance to NaCl, and viability during storage. *Journal of Food Engineering* 113: 186–193.
- Picot A, Lacroix C. 2004. Encapsulation of bifidobacteria in whey protein-based microcapsules and survival in simulated gastrointestinal conditions and in yogurt. *International Dairy Journal* 14: 505–515.

- Purnasari N, Jenie BSL, Nuraida L. 2015. Karakteristik Mikrokapsul *Lactobacillus plantarum* dan Stabilitasnya Dalam Produk Selai Salak. *J Teknol dan Industri Pangan* 26(1): 90-99.
- Rajam R, Anandharamakrishnan C. 2015. Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* (MTCC 5422) with fructooligosaccharide as wall material by spray drying. *LWT - Food Science and Technology* 60: 773-780.
- Rajam R, Karthik P, Parthasarathi S, Joseph GS, Anandharamakrishnan C. 2012. Effect of whey protein e alginate wall systems on survival of microencapsulated *Lactobacillus plantarum* in simulated gastrointestinal conditions. *Journal of Functional Foods* 4(4): 891-898.
- Rosen RM. 2006. *Delivery system handbook for personal care and cosmetic products. Technology, applications and formulations*. New York: William Andrew.
- Sanders ME. 1998. Overview of functional foods: Emphasis on probiotic bacteria. *International Dairy Journal* 8: 341-347.
- Santivarangkna C, Kulozik U, Foerst P. 2007. Alternative drying processes for the industrial preservation of lactic acid starter cultures. *Biotechnology Progress* 23: 302-315.
- Schlegel G, Ringseis R, Windisch W, Schwarz FJ, Eder K. 2012. *Journal of Dairy Science* 95: 3905-3918.
- Semyonov D, Ramon O, Kaplun Z, Levin-Brener L, Gurevich N, Shimoni E. 2010. Microencapsulation of *Lactobacillus paracasei* by spray freeze drying. *Food Research International* 43: 193-202.
- Semyonov D, Ramon O, Shimoni E. 2011. Using ultrasonic vacuum spray dryer to produce highly viable dry probiotics. *LWT-Food Science and Technology* 44: 1844-1852.
- Sohail A, Turner MS, Prabawati EK, Coombes AGA, Bhandari B. 2012. Evaluation of *Lactobacillus rhamnosus* GG and *Lactobacillus acidophilus* NCFM encapsulated using a novel impinging aerosol method in fruit food products. *International Journal of Food Microbiology* 15: 162-166.
- Solanki HK, Pawar DD, Shah DA, Prajapati VD, Jani GK, Mulla AM. 2013. Development of microencapsulation delivery system for long-term preservation of probiotics as biotherapeutics agent. *BioMed Research International* 1-21.
- Stummer S, Salar-Behzadi S, Unger FM, Oelzant S, Penning M, Viernstein H. 2010. Application of shellac for the development of probiotic formulations. *Food Research International* 43: 1312-1320.
- Suave J. 2006. Microencapsulação: inovação em diferentes áreas. *Revista Saúde e Ambiente* 7(2): 12-20.
- Sulistiani. 2018. Selection of Potential Probiotic Lactic Acid Bacteria Isolated from Palm Sap (*Borassus flabellifer* Linn.) Origin Kupang, East Nusa Tenggara. Inventing Prosperous Future through Biological Research and Tropical Biodiversity Management AIP Conf. Proc. 2002, 020059-1-020059-9; <https://doi.org/10.1063/1.505015>.
- Sultana K, Godward G, Reynolds N, Arumugaswamy R, Peiris P, Kailasapathy K. 2000. Encapsulation of probiotic bacteria with alginate-starch and evaluation of survival in simulated gastrointestinal conditions and in yoghurt. *International Journal of Food Microbiology* 62: 47-55.
- Susanti I, Kusumaningtyas RW, Illaningtyas F. 2007. Uji sifat probiotik bakteri asam laktat sebagai kandidat bahan pangan fungsional. *J Tekno. dan Industri Pangan* 18 (2): 89- 95.
- Takafumi I, Honda H, Koishi M. 1993. Drug dissolution from indomethacin-starch hybrid powders prepared by the dry impact blending method. *The Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 45: 770-774.
- Toldrá F, Reig M. 2011. Innovations for healthier processed meats. *Trends in Food Science & Technology* 22(9): 517-522.
- Vivek KB. 2013. Use of encapsulated probiotics in dairy based foods. *International Journal of Food, Agriculture and Veterinary Sciences* 3: 188-199.

- Wang YC, Yu RC, Chou CC. 2004. Viability of lactic acid bacteria and *Bifidobacteria* in fermented soymilk after drying, subsequent rehydration and storage. *International Journal of Food Microbiology* 93: 209–217.
- Wong SW. 2009. Characterising the release of flavour compounds from chewing gum through HS-SPME analysis and mathematical modeling. *Food Chemistry* 114(3): 852–858.
- Ying DY, Phoon MC, Sanguansri L, Weerakkody R, Burgar I, Augustin MA. 2010. Microencapsulated *Lactobacillus rhamnosus* GG powders: Relationship of powder physical properties to probiotic survival during storage. *Journal of Food Science*, 75: 588–595.
- Zuidam NJ, Shimoni E. 2010. *Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing*. New York. Springer.