

MIKROENKAPSULASI: PENDEKATAN STRATEGIS UNTUK FORTIFIKASI PANGAN

Sri Yuliani

Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pascapanen Pertanian
Jl. Tentara Pelajar No. 12, Bogor 16114
Telepon: 0251-832762; Fax: 0251-8350920
Email: s.yuliani@gmail.com

ABSTRAK

Risiko kekurangan zat gizi mikro dihadapi oleh hampir sepertiga penduduk dunia baik di negara maju maupun di negara yang belum berkembang. Masalah ini mengancam kesehatan masyarakat yang berdampak pada menurunnya kualitas sosio-ekonomi suatu kelompok masyarakat seperti rendahnya kecerdasan dan produktivitas kerja. Fortifikasi merupakan pendekatan yang menjanjikan untuk meningkatkan status gizi/kesehatan masyarakat melalui penambahan zat gizi mikro ke dalam makanan yang biasa dikonsumsi oleh masyarakat target. Dalam aplikasinya, kestabilan fortifikan dan kualitas sensoris pangan fortifikasi merupakan masalah teknis yang memerlukan pemecahan komprehensif. Mikroenkapsulasi memberikan solusi yang strategis untuk masalah tersebut. Teknologi ini mampu memberikan perlindungan bahan aktif seperti flavour, vitamin, mineral, mikroba dan bahan aktif lainnya dari pengaruh lingkungan yang merugikan selama proses pengolahan, penyimpanan, distribusi dan konsumsi. Karena bahan aktif terisolasi oleh suatu sistem matriks (bahan pengkapsul), teknologi ini dapat mencegah penurunan kualitas sensoris pangan fortifikasi seperti timbulnya flavour yang tidak menyenangkan atau perubahan warna produk yang tidak diinginkan. Sifat *controlled release* merupakan keunggulan lain yang dimiliki teknologi ini. Tulisan ini berisi review teknologi mikroenkapsulasi untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai aplikasi teknologi mikroenkapsulasi sebagai pendekatan strategis dalam fortifikasi pangan. Status teknologi ini dengan berbagai kendala, tantangan, peluang dan alternatif solusinya dipaparkan dalam tulisan ini dengan harapan dapat memberikan kontribusi bagi peningkatan status gizi/kesehatan masyarakat melalui fortifikasi pangan.

Kata kunci: mikroenkapsulasi, fortifikasi pangan, zat gizi mikro, stabilitas, fortifikan

ABSTRACT. Sri Yuliani. 2011. Microencapsulation: A strategic approach to food fortification.

Almost one third of world population suffer from risk of micronutrient malnutrition both in developed and undeveloped countries. These problems threaten public health and result in decrease in socio-economic quality of a group of community such as low intelligence and productivity. Food fortification is a promising approach to improve public health/nutrition status through addition of micronutrient into foods commonly consumed by targeted population. Stability of fortificant and sensory quality of fortified food are major technical problems. Microencapsulation offers a strategic solution to these problems. This technology provides protections of active ingredients such as flavour, vitamin, mineral, microbes and other ingredients against undesirable environment conditions during processing, storage, distribution and digestion. The active ingredients are isolated in a matrix system providing preventions of fortified foods from sensory decline such as off-flavour and off-colour. The other important advantage of microencapsulation is its controlled release properties. This review was aimed at providing comprehensive pictures of application of microencapsulation as a strategic approach to food fortification. The status of this technology as well as problems, challenges, opportunities and alternative problem solvings were discussed in this paper to give contribution to the improvement of public health/nutrition status through food fortification.

Keywords: microencapsulation, food fortification, micronutrient, fortificant, stability

kondisi penanganan, penyimpanan dan pengolahan bahan pangan fortifikasi yang berhubungan dengan aspek fisikokimia seperti suhu, tekanan, kelembaban, oksigen, cahaya, pH, katalis, serta adanya kontaminan atau bahan lain yang dapat bereaksi dengan fortifikan², atau reaksi dengan zat gizi yang terkandung dalam pangan media pembawa¹⁴.

Perlindungan fortifikan dari pengaruh lingkungan yang merugikan sangat diperlukan untuk mendukung keberhasilan program fortifikasi secara teknis. Perlindungan harus diberikan secara menyeluruh sehingga fortifikan dapat mencapai sistem pencernaan dengan 'selamat' atau terhindar dari kerusakan akibat proses pengolahan, penyimpanan, distribusi dan konsumsi. Sebagai contoh, folat yang difortifikasikan ke dalam tepung dapat mengalami kerusakan selama pengolahan menjadi berbagai produk melalui proses pemanasan seperti ekstrusi, pemanggangan atau penggorengan¹⁵. Lebih lanjut, beberapa senyawa yang sensitif terhadap asam lambung, walaupun 'selamat' dari proses pengolahan, akan terdegradasi di dalam lambung sebelum mencapai usus halus. Perlindungan yang diberikan haruslah memadai sehingga fortifikasi dapat mencapai targetnya.

Dalam konsep yang lebih maju, fortifikan juga diharapkan dapat berfungsi dalam jangka waktu yang panjang di dalam tubuh sehingga tidak diperlukan beberapa kali asupan yang cukup merepotkan. Konsep ini mengacu pada model *single dosage* dalam konsumsi obat dimana obat diberikan satu kali sehari untuk masa aktif sepanjang hari. Untuk itu, sistem fortifikasi juga dituntut untuk memiliki sifat *slow released*.

Dalam fortifikasi, penerimaan sensoris juga merupakan aspek teknis yang penting. Penambahan fortifikan hendaknya tidak memengaruhi penerimaan sensoris, baik dari sisi tampilan, rasa, aroma maupun

tekstur. Dalam beberapa kasus, penambahan nutrisi dapat mengubah warna produk seperti adanya warna kuning pada garam yang difortifikasi dengan zat besi atau warna kuning pada *monosodium glutamate* (MSG) yang difortifikasi dengan vitamin A. Contoh lain, fortifikasi zat besi dapat menyebabkan adanya 'rasa logam' (*metallic aftertaste*), timbulnya *flavour* yang tidak enak akibat oksidasi lemak (yang dikatalisis oleh zat besi), adanya perubahan warna bahan makanan yang tidak diinginkan (akibat interaksi antara zat besi dan antosianin, flavonoid dan tanin) serta adanya degradasi vitamin dan mineral (seperti vitamin A dan C serta yodium)^{16,19}.

Beberapa zat gizi mikro yang banyak ditambahkan adalah vitamin A, yodium, zat besi dan folat. Bahan makanan yang sering difortifikasi adalah gula, terigu, MSG, beras dan sereal lainya, teh, air minum serta minyak dan lemak (Tabel 1).

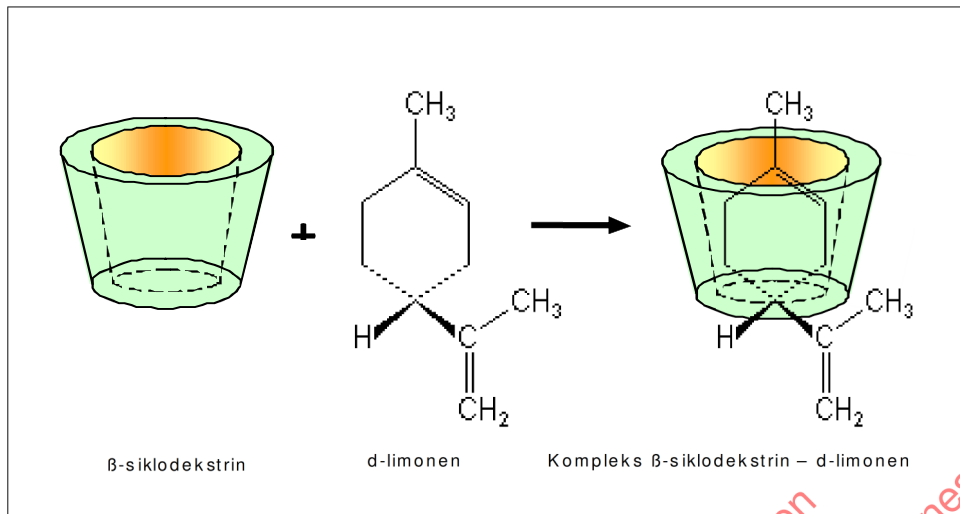
Sifat fungsional bahan aktif ditentukan oleh kondisi lingkungan dimana bahan aktif tersebut berada, baik selama proses pembuatan produk, komposisi bahan-bahan lain di dalam produk, kondisi penyimpanan dan kondisi di dalam sistem pencernaan^{26,31}. Dalam sebuah studi, minuman serbuk yang difortifikasi dengan mineral (besi, seng dan yodium) dan vitamin (A, C, E, niasin, B6, B2, B12 dan asam folat) memiliki kestabilan yang berbeda selama penyimpanan³².

MIKROENKAPSULASI: SEBUAH SOLUSI ATRAKTIF

Terkait dengan beberapa permasalahan dan tantangan dalam fortifikasi pangan, mikroenkapsulasi menawarkan solusi yang atraktif. Mikroenkapsulasi didefinisikan sebagai teknologi pembungkusan atau pelingkupan suatu bahan aktif dengan bahan lainnya

Tabel 1. Beberapa penelitian fortifikasi pangan
Tabel 1. Several studies of food fortification

Fortifikan/ Fortificant	Bahan Makanan/ Food
Vitamin D/ <i>Vitamin D</i> Seng/ <i>Zinc</i>	Susu / <i>milk</i> ²⁰ Tepung sorgum dan millet mutiara, millet, beras pratanak/ <i>Sorghum flour and pearl millet</i> ²¹ , <i>millet</i> ²² , <i>parboil rice</i> ²³
Zat besi terenkapsulasi/ <i>Encapsulation iron</i>	Susu cair / <i>Liquid milk</i> ²⁴
Zat besi, seng oksida, seng sulfat/ <i>Iron, zinc oxide, zinc sulfate</i>	Terigu / <i>Wheat flour</i> ²⁵
Zat besi, vitamin A, yodium terenkapsulasi/ <i>Iron, vitamin A, encapsulation iodine</i>	Garam / <i>salt</i> ⁸
Vitamin A / <i>Vitamin A</i>	Minyak goreng / <i>Cooking oil</i> ⁶
Vitamin A (retinil palmitat)/ <i>Vitamin A</i>	Beras / <i>Rice</i> ²⁶
Yodium terenkapsulasi/ <i>Encapsulation iodine</i>	Beras / <i>Rice</i> ²⁷
Folat terenkapsulasi/ <i>Encapsulation folic</i>	Produk ekstrusi pati jagung / <i>Extrusion product of corn starch</i> ¹⁵



Gambar 2. Skema mikroenkapsulasi secara inklusi molekuler dengan β -siklodekstrin
 Figure 2. Scheme of microencapsulation with β -cyclodextrin by molecular inclusion

larutan pengeras. Teknik ini pada umumnya dirancang untuk menghasilkan mikrokapsul yang larut dalam air.

Teknik koaservasi juga tergolong ke dalam teknik mikroenkapsulasi 'sejati', karena bahan aktif terlindungi dalam bahan pengkapsul secara sempurna⁴⁰. Pembentukan mikrokapsul terjadi melalui mekanisme pemisahan fase akibat interaksi ionik. Dalam teknik ini, bahan pengkapsul terdiri atas polimer kationik (gelatin) dan polimer anionik alginat (pektin, gum akasia) yang akan membentuk mikrokapsul ketika kedua muatan yang berlawanan tersebut saling menetralkan^{48,49}. Teknik ini menghasilkan mikrokapsul yang lunak dan memerlukan agen *crosslinking* untuk mengerasakan teksturnya.

Inklusi molekuler dengan β -siklodekstrin tergolong teknik mikroenkapsulasi 'sejati'. Dalam teknik ini, mikroenkapsulasi terjadi pada tingkat molekuler melalui interaksi hidrofobik [50]. β -siklodekstrin merupakan senyawa siklik yang tersusun oleh 7 molekul glukopiranosida dan memiliki bentuk yang menyerupai kerucut kosong terpancung [50]. Bagian dalam kerucut bersifat hidrofobik sedangkan bagian luar bersifat hidrofilik. Bahan aktif yang bersifat hidrofobik akan terperangkap di dalam kerucut melalui interaksi hidrofobik (Gambar 2). Walaupun bagian luar kerucut bersifat hidrofilik, dalam keadaan mengenkapsulasi bahan aktif, β -siklodekstrin memiliki kelarutan yang rendah. β -siklodekstrin memiliki ketahanan panas yang tinggi [50-52] sehingga sesuai untuk aplikasi yang membutuhkan ketahanan panas dan ketidak-larutan seperti ekstrusi.

Teknik presipitasi protein menggunakan prinsip pengendapan protein dalam pembentukan mikrokapsul⁵³. Dalam teknik ini, bahan aktif didispersikan ke dalam suspensi protein, lalu ditambahkan larutan asam untuk membawa pH sistem

menuju titik isoelektriknya. Pada saat mengendap, protein akan memerangkap bahan aktif membentuk butiran mikrokapsul. Mikrokapsul yang dihasilkan memiliki kelarutan yang rendah dan tahan panas tinggi.

APLIKASI MIKROENKAPSULASI UNTUK FORTIFIKASI PANGAN

Dalam fortifikasi pangan, fortifikan ditambahkan ke dalam bahan makanan yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat target. Bahan makanan yang digunakan sebagai matriks pembawa fortifikan dapat berupa bahan makanan siap santap maupun berupa bahan mentah yang memerlukan proses pengolahan.

Dalam kehidupan moderen yang serba praktis, produk ekstrusi siap santap seperti *direct expanded snack* (*breakfast cereals, crackers, bars*) banyak diminati konsumen, baik kalangan anak-anak, remaja maupun dewasa. Produk ini memiliki potensi yang tinggi sebagai media pembawa fortifikan untuk meningkatkan status gizi tertentu atau untuk penyediaan pangan fungsional.

A. Kajian Khusus – Aplikasi Mikroenkapsulasi untuk Fortifikasi Produk Ekstrusi

Publikasi aplikasi mikroenkapsulasi untuk produk ekstrusi tergolong jarang. Yuliani et al.³⁸ telah mereview potensi aplikasi mikroenkapsulasi untuk fortifikasi produk ekstrusi dengan menggunakan flavour sebagai model fortifikan volatil. Dalam reviewnya dikemukakan hambatan dan tantangan dalam memberikan flavour pada produk ekstrusi. Kehilangan flavour dalam jumlah besar terjadi melalui mekanisme *flash distillation* pada saat produk keluar dari ekstruder bersamaan dengan terjadinya ekspansi produk

mikrokapsul dari 2,5% ke 5% cenderung meningkatkan ekspansi produk⁵⁸.

B. Aplikasi Mikroenkapsulasi untuk Fortifikasi Pangan Lain

Mikroenkapsulasi dilaporkan telah diaplikasikan untuk fortifikasi beberapa produk seperti garam, susu, keju, minyak dan beras. Studi tentang fortifikasi ganda (menambahkan 2 atau lebih fortifikan ke dalam bahan makanan) telah banyak dilakukan untuk meningkatkan efisiensi program fortifikasi dimana kasus kekurangan beberapa zat gizi mikro terjadi secara bersamaan seperti fortifikasi garam dengan yodium, zat besi dan vitamin A^{8,63,64,65} atau fortifikasi garam dengan vitamin A, beberapa jenis vitamin B, kalsium pantotenat dan yodium⁶⁶. Namun demikian, keberadaan beberapa fortifikan secara sekaligus dapat mengakibatkan penurunan bioavailabilitas fortifikan dan mutu makanan. Zat besi dapat bereaksi dengan air menimbulkan perubahan warna garam^{63,64}. Selain itu, adanya zat besi dan air dapat menyebabkan hilangnya yodium dan vitamin A⁶⁵.

Zat besi yang dapat larut seperti ferro-sulfat merupakan fortifikan yang murah dan memiliki bioavailabilitas yang baik. Namun demikian, senyawa ini dapat menurunkan mutu makanan yang difortifikasi karena dapat menyebabkan perubahan warna, oksidasi flavour dan menimbulkan rasa besi¹⁶. Beberapa studi tentang mikroenkapsulasi zat besi dengan liposom menunjukkan, bahwa zat besi terenkapsulasi memiliki bioavailabilitas yang sama dengan zat besi yang tidak terenkapsulasi namun dapat mencegah kontak zat besi dengan bahan makanan sehingga perubahan mutu makanan yang tidak diinginkan dapat dihindari^{24,29,60,61}. Enkapsulasi zat besi dengan lesitin memberikan hasil yang efektif dalam mencegah pembentukan *off-flavour*, *off-colour* dan rasa logam tanpa mengubah bioavailabilitasnya⁶². Minyak terhidrogenasi juga telah digunakan untuk mengenkapsulasi zat besi namun belum memberikan hasil yang memuaskan karena tidak stabil pada suhu dan kelembaban tinggi selama pengolahan, penyimpanan atau penyajian produk³².

Mikroenkapsulasi dapat mencegah perubahan warna makanan yang dikatalisis oleh zat besi sekaligus juga meningkatkan stabilitas yodium dan vitamin A. Stabilitas yodium dalam fortifikasi garam dilaporkan meningkat ketika yodium (dalam bentuk kalium yodida) dienkapsulasi dengan maltodekstrin⁶³. Mikroenkapsulasi vitamin A dengan minyak sawit terhidrogenasi juga dapat meningkatkan stabilitas vitamin A dalam fortifikasi garam⁸. Minyak sawit terhidrogenasi berperan ganda dalam mikroenkapsulasi vitamin A, yaitu bahwa minyak merupakan bahan pengkapsul yang ideal untuk vitamin A yang bersifat larut dalam minyak. Dalam keadaan terenkapsulasi, vitamin A terlindung dari kemungkinan terjadinya oksidasi. Vitamin A yang biasa digunakan untuk fortifikasi bahan makanan kering memiliki harga yang lebih tinggi daripada vitamin A yang digunakan fortifikasi makanan cair

(harga mencapai 4 kali lipat). Dengan enkapsulasi, vitamin A yang biasa digunakan untuk fortifikasi makanan cair dapat digunakan juga untuk fortifikasi makanan kering sehingga dapat menekan biaya.

Fortifikasi biskuit⁶⁷ dengan asam folat yang terenkapsulasi dalam kombinasi alginat dan pektin dilaporkan dengan retensi folat yang masih rendah (3,6%). Fortifikasi beras dengan asam folat yang ditambahkan dengan teknik coating juga telah dilaporkan namun retensi folat yang diperoleh pada nasi relatif rendah⁶⁸. Mikroenkapsulasi asam folat dalam alginat dan pektin dapat memberikan kestabilan dan retensi asam folat yang lebih baik (360 mg/100 g) pada keju dibandingkan dengan asam folat yang tidak dienkapsulasi (109 mg/100 g)⁶⁹.

Fortifikasi susu dengan vitamin C dan zat besi telah dilaporkan di beberapa literatur⁷⁰, yaitu bahwa mikroenkapsulasi dengan liposom dapat melindungi vitamin C yang difortifikasikan ke dalam susu pada proses pasteurisasi (63 °C, 30 menit). Dengan mikroenkapsulasi, kadar asam askorbat dalam susu pasteurisasi terdksi 345,80 mg/l, sedangkan tanpa mikroenkapsulasi mengalami penurunan hingga hanya 322,37 mg/l.

Fortifikasi susu dan yoghurt dengan zat besi FeSO₄ yang dienkapsulasi dalam lesitin kedelai dapat meningkatkan absorpsi besi (12,3%) dibandingkan dengan tanpa enkapsulasi (7,7%) pada percobaan dengan tikus²⁹. Pemanasan pada 100 °C (sterilisasi) selama 30 menit tidak mempengaruhi *bioavailability* FeSO₄ terenkapsulasi.

Beberapa literatur juga melaporkan fortifikasi keju dengan zat besi dan asam askorbat. Fortifikasi keju dengan FeSO₄, asam askorbat dan FeCl₃ yang dienkapsulasi dalam stearin biji kapas memberikan retensi zat besi yang lebih tinggi daripada zat besi yang tidak dienkapsulasi. Dengan mikroenkapsulasi, zat besi memiliki kestabilan oksidatif yang lebih baik¹⁶. Fortifikasi keju cheddar dengan zat besi dan asam askorbat yang dienkapsulasi dalam PGMS (*Polyglycerol monostearate*) juga memberikan hasil yang menjanjikan. Pada uji TBA, ditemukan absorbansi yang lebih rendah pada produk yang difortifikasi dengan zat aktif terenkapsulasi daripada yang tidak terenkapsulasi selama proses pemeraman^{71,72}. Hasil serupa juga dilaporkan pada fortifikasi yoghurt⁷³. Dalam studi *in vitro* dan *in vivo*, FeSO₄ terenkapsulasi dalam alginat yang difortifikasikan ke dalam susu dilaporkan memiliki *bioavailability* yang lebih tinggi daripada FeSO₄ yang tidak terenkapsulasi⁷⁴.

Mikroenkapsulasi dilaporkan dapat melindungi *bioavailability* n-3 PUFA (*Polyunsaturated Fatty Acids*) dalam minyak ikan pada makanan yang difortifikasi⁷⁵. Dilaporkan pula bahwa mikroenkapsulasi dalam bubuk putih telur dapat meningkatkan stabilitas penyimpanan minyak ikan sarden yang difortifikasikan ke dalam *cookies*⁷⁶. Mikroenkapsulasi dalam konsentrat protein whey dapat menekan terbentuknya *off-flavour* pada asam

8. Zimmermann MB, Wegmueller R, Zeder C, Chaouki N, Biebinger R, Hurrell RF, Windhab E. Triple fortification of salt with microcapsules of iodine, iron, and vitamin A. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2004. 80: p. 1283-1290.
9. Codex, Codex General Principles for the Addition of Essential Nutrients to Foods. Codex Alimentarius Commission, 1987. CAC/GL 09-1987.
10. Ottaway PB. Principles of food fortification and supplementation, in *Food fortification and supplementation: Technological, safety and regulatory aspects*, P.B. Ottaway and Associates, Editors. 2008, Woodhead Publishing Limited: Cambridge, UK. p. 1-10.
11. Berner LA, Clydesdale FM, Douglass JS. Fortification contributed greatly to vitamin and mineral intakes in the United States, 1989-1991. *The Journal of Nutrition*, 2001. 131(8): p. 2177.
12. Mehansho H. Eradication of iron-deficiency anemia through food fortification: the role of the private sector. *Journal of Nutrition*, 2002. 132: p. 831S-3S.
13. Darnton-Hill I, *Overview: Rationale and elements of a successful food-fortification programme*. Food and Nutrition Bulletin, 1998. 19(2): p. 92-100.
14. Hurrell RF. Preventing iron deficiency through food fortification. *Nutrition Reviews*, 1997. 55(6): p. 210-222.
15. Yuliani S, Shrestha A, Hoerudin, Encapsulation of 5-methyltetrahydrofolic acid and its evaluation as a vehicle for vitamin delivery, in *ISNFF International Conference 2010: Bali, October, 11-15th*.
16. Jackson LS, Lee K, Microencapsulated iron for food fortification. *Journal of Food Science*, 1991. 56(4): p. 1047-1050.
17. Hurrell RF, Cook JD. Strategies for iron fortification of foods. *Trends in Food Science and Technology*, 1990. 1: p. 56-61.
18. Mehansho H, Mannar MG. The mineral fortification in developing countries, in *The mineral fortification of foods*, R. Hurrell, Editor. 1999, Leatherhead International Ltd.: Leatherhead. p. 210-228.
19. Mellican RI, Li J, Mehansho H, Nielsen SS. The role of iron and factors affecting off-color development of polyphenols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003. 51: p. 2304-2316.
20. Kazmi SA, Vieth R, Rousseau DR, Vitamin D₃ fortification and quantification in processed dairy products. *International Dairy Journal*, 2007. 17: p. 753-759.
21. Tripathi B, Chetana, Platel K, Fortification of sorghum (*Sorghum vulgare*) and pearl millet (*Pennisetum glaucum*) flour with zinc. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2010. Article in press.
22. Tripathi B, Platel K, Finger millet (*Eleusine coracana*) flour as a vehicle for fortification with zinc. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 2010. 24: p. 46-51.
23. Prom-u-thai C, Rerkasem B, Cakmak I, Huang L, Zinc fortification of whole rice grain through parboiling process. *Food Chemistry*, 2010. 120: p. 858-863.
24. Xia S, Xu S, Ferrous sulfate liposomes: preparation, stability and application in fluid milk. *Food Research International*, 2005. 38: p. 289-296.
25. Akhtar, S., F.M. Anjum, S.-U. Rehman, M.A. Sheikh, and K. Farzana, Effect of fortification on the physico-chemical and microbiological stability of whole wheat flour. *Food Chemistry*, 2008. 110: p. 113-119.
26. Lee J, Hamer ML, Eitenmiller RR, Stability of retinyl palmitate during cooking and storage in rice fortified with ultra rice™ fortification technology. *Journal of Food Science*, 2000. 65(5): p. 915-919.
27. Yuliani S, Kailaku SI, Lubis S, Microencapsulation of iodine for rice fortification, in *Workshop on Chemistry in Nature - Natural Resources: Chemical, Biological and Environmental aspects*. 2009: Chiang Mai, December, 7-10th.
28. Rogers S. Novel applications of live bacteria in food services: probiotics and protective cultures. *Trends in Food Sciences and Technology* 2008. 19: p. 188-197.
29. Boccio JR, Zubillaga MB, Caro RA, Gotelli CA, Gotelli MJ, Weill R, Bioavailability and stability of microencapsulated ferrous sulfate in fluid milk: studies in mice. *Journal of Nutrition Science and Vitaminology*, 1996. 42: p. 233-239.
30. Lee JB, Ahn J, Lee J, Kwak HS, L-ascorbic acid microencapsulated with polyacilglycerol monostearate for milk fortification. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 2004. 68(3): p. 495-500.
31. Mattila-Sandholm T, Mylarienen P, Crittenden R, Mogensen G, Fonden R, Saarela M. Technological challenges for future probiotic foods. *International Dairy Journal* 2002. 12(2-3): p. 173-182.
32. Mehansho H, Mellican RI, Huges DL, Compton DB, Walter T. Multiple-micronutrient fortification technology development and evaluation: from lab to market. *Food and Nutrition Bulletin*, 2003. 24(Supplement 4): p. S111-S119.
33. Sparks RE. Microencapsulation, in *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemistry and Technology*, M. Grayson and E. David, Editors. 1981, John Wiley & Sons: New York. p. 470.
34. Gibbs BF, Kermasha S, Alli I, Mulligan CN. Encapsulation in the food industry: a review. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 1999. 50: p. 213-224.

62. Wegmuller R, Zimmermann MB, Hurrell RF. Dual fortification of salt with iodine and encapsulated iron compounds: Stability and acceptability testing in Morocco and Cote d'Ivoire. *Journal of Food Science*, 2003. 68: p. 2129-2135.
63. Vinodkumar M, S. Rajagopalan S, Multiple micronutrient fortification of salt. *Eur J Clin Nutr*, 2007. 63(3): p. 437-445.
64. Lysionek AE, Zubillaga MB, Sarabia MI, Caro RA, Weill R, Study of industrial microencapsulated ferrous sulfate by means of prophylactic-preventive method to determine its bioavailability *Journal of Nutrition Science and Vitaminology*, 2000. 46: p. 125-129
65. Zubillaga MB, Caro RA, Boccio JR, Gotelli CA, Gotelli MJ, Weill R, New procedure to fortify fluid milk with iron: metabolic and biochemical study in rats. *Nutrition Research*, 1996. 16(1): p. 131-137.
66. Mehansho H. Iron fortification technology development: new approaches. *The Journal of Nutrition*, 2006: p. 1059-1063.
67. Crennan S. Encapsulation of 5-methyltetrahydrofolic acid and its evaluation as a vehicle for vitamin delivery in a baked food product. , in *School of Land, Crop and Food Sciences*; 2009, The University of Queensland Brisbane.
68. Shrestha AK, Arcot J, Paterson JL, Edible coating materials-their properties and use in the fortification of rice with folic acid. *Food Research International* 2003. 36(9-10): p. 921-928.
69. Madziva H, Kailasapathy K, Phillips M, Evaluation of alginate-pectin capsules in cheddar cheese as a food carrier for the delivery of folic acid. *LWT*, 2006. 39: p. 146-151.
70. Sharma R, Lal D. Fortification of milk with microencapsulated vitamin C and its thermal stability. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*, 2005. 42(2): p. 191-194.
71. Kwak HS, Yang KM, Ahn J. Microencapsulated iron for milk fortification. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003. 51: p. 7770-7774.
72. Lee JB, Ahn J, Kwak HS. Microencapsulated ascorbic acid for milk fortification. *Archives for Pharmacal Research*, 2003. 26(7): p. 575-580.
73. Kim SJ, Ahn J, Seok JS, Kwak HS. Microencapsulated iron for drink yogurt fortification. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2003. 16(4): p. 581-587.
74. Cacato ML, Re MI, Neto MAT, Chiebao HP, Colli C. In vitro and in vivo evaluation of iron bioavailability from microencapsulated ferrous sulphate. *Revista de Nutricao-Brazilian Journal of Nutrition*, 2007. 20(3): p. 239-247.
75. Wallace JMW, McCabe AJ, Robson PJ, Keogh MK, Murray CA, Kelly PM, Marquez-Ruiz G, McGlynn H, Gilmore WS, Strain JJ, Bioavailability of n-3 polyunsaturated fatty acids (PUFA) in foods enriched with microencapsulated fish oil. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 2000. 44(4): p. 157-162.
76. Taguchi K, Iwami K, Ibuki F, Kawabata M. Oxidative stability of sardine oil embeded in spray-dried egg white powder and its use for n-3 unsaturated fatty acid fortification of cookies. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 1992. 56(4): p. 560-563.
77. Jimenez M, Garcia HS, Beristain CI, Sensory evaluation of dairy products supplemented with microencapsulated conjugated linoleic acid (CLA). *LWT*, 2008. 41: p. 1047-1052.
78. Champagne CP, Fustier P, Microencapsulation for the improved delivery of bioactive compounds into foods. *Current Opinon in Biotechnology*, 2007. 18: p. 184-190.
79. Sriamornsak P. Effect of calcium concentration, hardening agent and drying condition on the release characteristics of oral proteins from calcium pectinate gels. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 1999. 8: p. 221-227.
80. Chandramouli V, Kailasapathy K, Peiris P, Jones M. An improved method of microencapsulation and its evaluation to protect *Lactobacillus* sp. In simulated gastric environments. *Journal of Microbiological Methods*, 2004. 56: p. 27-35.