

TEKNOLOGI ENKAPSULASI: TEKNIK DAN APLIKASINYA

Dini Asri Agustin dan Agung Ari Wibowo

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Indonesia
diniagustin661@gmail.com, [agung.ari@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Enkapsulasi adalah suatu proses yang mampu mempertahankan sifat fisik, kimia, dan biologis dari suatu senyawa aktif atau bahan inti dengan cara melapisinya di dalam suatu bahan penyalut. Selain itu enkapsulasi juga menawarkan solusi untuk mempermudah penanganan bahan dengan mengonversi bentuk bahan dari cairan menjadi solid serta memberikan manfaat *control-release*. Dengan demikian penggunaan suatu bahan dapat diperluas dan dimaksimalkan. Saat ini terdapat banyak pilihan proses enkapsulasi yang bisa digunakan seperti: koaservasi, ko-kristalisasi, *spray drying*, *spray cooling*, ekstrusi, dan lain sebagainya. Teknologi enkapsulasi sudah banyak dimanfaatkan di banyak bidang, di antaranya pada bidang industri makanan dan minuman, bidang pertanian, dan bidang farmasi. Artikel ini bertujuan untuk membahas tentang enkapsulasi, teknik-teknik enkapsulasi yang bisa digunakan, serta penerapannya di berbagai bidang yang berbeda. Dari studi literatur yang dilakukan, didapatkan bahwa tidak semua teknik enkapsulasi bisa digunakan untuk suatu tujuan yang sama. Pemilihan teknologi enkapsulasi perlu mempertimbangkan jenis substansi yang akan dienkapsulasi dan tujuan penerapannya.

Kata kunci: enkapsulasi, bahan penyalut, bahan inti

ABSTRACT

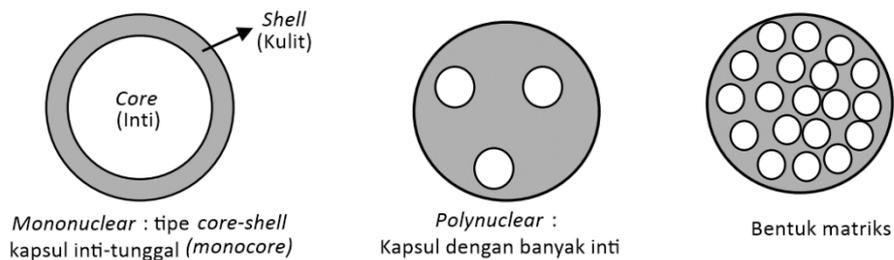
Encapsulation is a process that is able to maintain the physical, chemical, and biological properties of a material. In addition, encapsulation also offers a solution for material handling by changing the form of material from a liquid to a solid and providing control-release benefits. Thus the use of a material can be expanded and maximized. Currently, there are many choices of encapsulation processes that can be used, such as coacervation, co-crystallization, spray drying, spray cooling, extrusion, and others. Encapsulation technology has been widely used in many fields, including the food and beverage industry, agriculture, and the pharmaceutical sector. This article aims to discuss encapsulation, the encapsulation techniques that can be used, and their application in many different fields. From the literature study conducted, it was found that not all encapsulation techniques can be used for the same purpose. The choice of encapsulation technology needs to consider the type of substance to be encapsulated and the purpose for which it is applied.

Keywords: encapsulation, wall material, core material

1. PENDAHULUAN

Enkapsulasi adalah suatu proses pelapisan suatu bahan menggunakan bahan lainnya. Bahan yang dienkapsulasi biasanya disebut sebagai bahan inti, bahan aktif, fase internal, ataupun pengisi. Sedangkan bahan yang mengenkapsulasi disebut dengan bahan penyalut, pelapis, fase eksternal, maupun bahan pembawa. Gambaran morfologi kapsul secara umum bisa dilihat di gambar 1. Tujuan dari enkapsulasi adalah untuk melindungi zat yang sensitif dengan lingkungan, melindungi sifat organoleptik seperti warna, rasa, dan bau dari substansi, mendapatkan *controlled-release* dari substansi obat, penanganan aman dari bahan

beracun, mendapatkan pengeluaran tertentu dari obat, dan mencegah efek yang berkebalikan pada penggunaan obati [1]. Dengan penerapan enkapsulasi maka penggunaan bahan aktif akan mampu diterapkan dengan lebih leluasa.



Gambar 1. Tipe morfologi enkapsulasi

Penggunaan enkapsulasi sebagai solusi penanganan bahan memberikan beberapa keuntungan, antara lain: (1) penanganan bahan aktif menjadi lebih mudah; (2) memungkinkan imobilitas dari senyawa aktif; (3) meningkatkan stabilitas produk; (4) meningkatkan keamanan bahan; (5) menciptakan tampilan yang lebih baik; (6) properti bahan aktif yang dapat diatur (dari segi ukuran, struktur, warna); (7) memungkinkan pelepasan yang terkontrol [2,3]. Meskipun memiliki banyak keuntungan, proses enkapsulasi akan menambah tahapan proses produksi dan tentunya meningkatkan biaya. Stabilitas yang dihasilkan dari produk enkapsulasi selama pemrosesan dan penyimpanan produk juga menjadi tantangan tersendiri saat ini.

Bahan aktif merupakan senyawa yang akan dilapisi dengan bahan penyalut. Beberapa bahan aktif yang memerlukan proses enkapsulasi antara lain: enzim, sel hidup, senyawa bioaktif, minyak ikan, minyak sayur, dan minyak asiri [4,5]. Enkapsulasi enzim bertujuan untuk mengawetkan struktur dan aktivitas enzim dan mencegah degradasi enzim sehingga mempermudah pemisahan enzim pada reaksi biologis dan memungkinkan pemakaian kembali [6]. Sel hidup juga dienkapsulasi untuk tujuan yang hampir sama dengan enkapsulasi enzim. Pemanfaatan minyak asiri, minyak ikan, minyak nabati dan senyawa bioaktif juga perlu melalui proses enkapsulasi karena karakteristiknya yang mudah rusak oleh lingkungan dan mudah menguap sehingga pemanfaatan bisa lebih maksimal.

Berdasarkan uraian di atas, dapat dikatakan bahwa proses enkapsulasi menjadi suatu teknologi yang amat penting. Maka dari itu sebuah kajian mengenai teknologi enkapsulasi perlu dibuat. Pembuatan artikel ini bertujuan untuk membahas mengenai beberapa teknik enkapsulasi yang sering digunakan saat ini beserta penerapannya di berbagai bidang.

2. METODOLOGI PENULISAN

Metode yang digunakan dalam penulisan artikel ini adalah dengan studi literatur atau mengkaji artikel-artikel penelitian yang sudah ada. Artikel-artikel penelitian yang dikaji merupakan artikel dengan topik seputar teknologi enkapsulasi yang bersumber dari jurnal 10 tahun terakhir. Dengan demikian pembahasan tentang teknik enkapsulasi yang dapat digunakan serta pemanfaatannya di berbagai bidang dapat diperoleh dengan baik.

3. PEMBAHASAN

3.1. Teknik Enkapsulasi

Secara garis besar, teknik enkapsulasi dapat dikategorikan menjadi dua, metode kimia dan metode fisik. Metode kimia terdiri dari koaservasi dan ko-kristalisasi. Sedangkan metode *spray drying*, *spray cooling*, *fluidized bed coating*, ekstrusi, dan *freeze drying* tergolong sebagai metode fisik.

Teknik enkapsulasi dengan metode kimia yang pertama adalah koaservasi. Pada metode ini enkapsulasi dibuat melalui pembentukan koaservat yang melibatkan mekanisme pemisahan fase cair-cair dari larutan encer menjadi fase kaya polimer dan fase miskin polimer [7]. Suatu proses dikatakan sebagai koaservasi sederhana jika hanya melibatkan satu tipe polimer dan dikatakan koaservasi kompleks ketika menggunakan dua atau lebih polimer dengan muatan yang berlawanan. Menurut Li, dkk. [8], metode ini merupakan metode enkapsulasi yang paling praktis dan ekonomis. Contoh aplikasi teknik koaservasi adalah pada proses enkapsulasi *citronella oil* dalam gum arabik dan gelatin [9]. Tahapan awal dari metode ini adalah pencampuran bahan penyalut dengan bahan inti. Selama pencampuran pH diatur 4,5 untuk memicu terbentuknya koaservat. Selanjutnya pengikat silang seperti glutaraldehid ditambahkan dan pH diatur 9,7. Di akhir proses dilakukan pemisahan fase untuk mendapatkan fase koaservat.

Enkapsulasi dengan metode kimia berikutnya adalah ko-kristalisasi dengan sukrosa sebagai bahan penyalut. Metode ini dilakukan dengan penambahan bahan aktif ke sirup sukrosa super jenuh sehingga terjadi nukleasi campuran bahan inti dan sukrosa. Pada enkapsulasi ekstrak *Basella rubra* [10], gum acacia yang telah dihidrasi dicampur dengan larutan sukrosa dan dipanaskan hingga timbul kristalisasi awal. Saat itu juga ditambahkan ekstrak *B. Rubra* dengan pengadukan secara kontinu. Produk diperoleh dengan wujud semi padat dan dikeringkan di dalam oven vakum pada 50°C. Hasil menunjukkan adanya peningkatan stabilitas pigmen dan kemudahan penanganan serta daya simpan yang baik.

Salah satu metode fisik enkapsulasi yang paling banyak digunakan adalah *spray drying*. *Spray drying* tergolong sebagai proses enkapsulasi yang mampu menghasilkan kapsul secara komersial dengan biaya yang rendah [1]. Metode ini memiliki produktivitas yang tinggi, tetapi memiliki batasan kemungkinan terjadinya degradasi termal. Metode ini terdiri dari empat tahapan: pengemulsian atau pendispersian bahan aktif dalam bahan penyalut, atomisasi campuran, pengontakan campuran dengan media pemanas (biasanya udara panas), dan pemisahan produk dari udara panas. Contoh penggunaan metode *spray drying* adalah untuk mengenkapsulasi *astaxanthin* dengan maltodekstrin yang terbukti dapat meningkatkan stabilitas bahan [11].

Teknik enkapsulasi dengan metode fisik selanjutnya adalah teknologi *spray cooling* yang berbasis pada atomisasi dari campuran (mengandung material inti dan penyalut) di dalam *chamber* dengan suhu di bawah titik leleh dari penyalut. Maka dari itu, penyalut akan berubah menjadi bentuk solid dan akan diperoleh *powder* yang berbentuk mikro partikel. *Spray cooling* atau *spray chilling* bisa dikatakan serupa dengan *spray drying*, namun atomisasi dilakukan dengan suhu dingin menggunakan aliran udara atau lingkungan yang dingin dan tidak ada perpindahan massa [3]. Teknik ini terbukti berhasil digunakan untuk mengenkapsulasi vitamin B12 dalam penyalut letisin dari kedelai [12].

Berikutnya ada teknik enkapsulasi yang juga menggunakan proses atomisasi, teknik ini adalah *fluidized bed coating*. Enkapsulasi pada metode ini dilakukan dengan menggunakan proses pelapisan (*coating*) pada permukaan partikel bubuk atau partikel dalam bentuk pelet [13]. Bahan inti disuspensikan dengan aliran udara dengan suhu tertentu dan disemprot dengan material penyalut melalui atomisasi. Masing-masing partikel secara bertahap akan terselubungi dengan penyalut seiring bertambahnya waktu pada zona *spraying*. Bahan penyalut harus memiliki viskositas tertentu sehingga bisa dipompakan dan diatomisasi, harus tahan panas dan stabil, serta mampu membentuk lapisan tipis di atas permukaan partikel.

Teknik enkapsulasi selanjutnya adalah dengan metode ekstrusi. Enkapsulasi dengan ekstrusi yang melibatkan penggunaan alat ekstruder dengan satu atau lebih ulir yang berputar secara kontinu dan biasa disebut sebagai *melt extrusion* [7]. Teknik ini banyak digunakan untuk mengenkapsulasi perasa makanan seperti enkapsulasi zat terpen yang terdapat pada jeruk. Tahapan awal proses ekstrusi adalah penyiapan penyalut yang terdiri dari campuran maltodekstrin dan sukrosa. Selanjutnya, zat terpen dari jeruk dan campuran penyalut serta air diumpukan ke dalam alat *twin screw extruder*. *Die* dengan 156 lubang berdiameter 0.9 dan pemotong (*hot die face cutting*) digunakan untuk mendapatkan butiran kecil dari ekstrudat silinder yang dihasilkan [14]. Teknik ekstrusi secara sederhana juga bisa dilakukan dengan bantuan *syringe* seperti yang dilakukan oleh Wibowo dkk. [15] untuk mengenkapsulasi minyak cengkeh di dalam matriks kalsium alginat – gelatin.

Enkapsulasi dengan metode fisik juga bisa dilakukan dengan proses *freeze drying*. Prinsip dasar dari *freeze drying* adalah pengeringan dengan suhu rendah dan tekanan vakum. Sama seperti *spray drying*, pada metode ini zat aktif dan penyalut didispersikan terlebih dahulu di dalam air. Selanjutnya dilakukan proses *pre-treatment* berupa pembekuan material dan akhirnya dilakukan pengeringan secara sublimasi langsung dengan tekanan dan suhu rendah. Pada enkapsulasi senyawa etanolik ekstrak *Elsholtzia ciliata*, pembekuan suspensi penyalut dengan senyawa ekstrak dilakukan pada -80°C selama 24 jam [16]. Kemudian campuran dikeringkan dalam alat *freeze dryer* dengan suhu -50°C tekanan 0.05 mbar selama 24 jam. Setelah pengeringan, dihasilkan *cake* rapuh yang dapat dihancurkan menjadi kepingan kecil jika diperlukan.

3.2. PENGGUNAAN ENKAPSULASI

Saat ini produk enkapsulasi dapat dijumpai di berbagai bidang. Dari bidang farmasi, industri makanan, pertanian, hingga bidang kosmetik. Lebih jelasnya, penggunaan pada masing-masing bidang diuraikan di bawah ini.

Ekstraksi dari molekul obat dan enkapsulasinya diterapkan di bidang farmasi untuk memberikan pengantaran obat yang alami dan juga membantu mengurangi efek samping dari obat-obatan sintetik. Pada industri farmasi, mikroenkapsulasi digunakan untuk meningkatkan stabilitas (perlindungan terhadap sinar UV, panas, oksidasi, dan asam-basa), menutupi bau dan rasa pahit, memperpanjang masa penyimpanan, mengontrol sifat higroskopis, meningkatkan kelarutan dan permeabilitas, dan meningkatkan sifat pelepasan obat, juga untuk menyiapkan penghantaran obat yang spesifik [17]. Terlebih lagi, berkat enkapsulasi maka kebutuhan akan dosis ganda dapat dikurangi sehingga dapat meningkatkan kenyamanan pasien [18]. Beberapa contoh aplikasi enkapsulasi dalam bidang farmasi antara lain mikroenkapsulasi *aceclofenac* dalam resin olibanum [19], mikroenkapsulasi

indomethacin/paracetamol dalam *poly lactic-co-glycolic acid* (PGA) dan *polyethylene glycol* (PEG) [20], penyembunyian rasa parasetamol dengan enkapsulasi dalam *chitosan-alginate* [21], dan enkapsulasi *nifedipine* yang kurang bisa larut dalam air [22].

Penerapan enkapsulasi pada industri makanan dilakukan untuk melindungi sifat organoleptik seperti warna, rasa, dan bau dari substansi yang akan dienkapsulasi, meningkatkan kestabilan zat aditif, penyembunyian rasa yang atau bau yang kurang baik, mempermudah penanganan perisa, menambahkan efek visualisasi atau tekstur baru, dan mengontrol pelepasan aroma. Beberapa substansi yang bisa dienkapsulasi antara lain pewarna, perisa makanan, vitamin, antioksidan, mineral, mikroorganisme hidup, pemanis, dan enzim [18]. Hal yang perlu diperhatikan dalam enkapsulasi untuk bidang pangan adalah bahwa material penyalut harus bersifat aman untuk dikonsumsi. Beberapa bahan penyalut yang banyak digunakan untuk enkapsulasi bahan pangan adalah: (1) polisakarida seperti pati dan turunannya; (2) ekstrak tanaman seperti gum arabik, pektin, dan ekstrak kedelai; (3) ekstrak dari tanaman laut (karagenan dan alginat); (4) polisakarida dari hewan seperti dekstran, *chitosan*, *xanthan* dan gelatin [4]. Bahan-bahan penyalut tersebut bisa dimodifikasi untuk meningkatkan performa enkapsulasi seperti perlakuan fotooksidasi tapioka yang dapat meningkatkan penyerapan kandungan kapsianin pada enkapsulasi cabai merah [23]. Aplikasi enkapsulasi untuk makanan pernah dilakukan oleh Gurak, dkk. [24] untuk mengenkapsulasi ekstrak anggur menggunakan *freeze drying* dan penyalut maltodekstrin. Penerapan tersebut mampu mempertahankan senyawa fenolik dalam jus anggur dan telah diuji kestabilannya selama 120 hari, serta terbukti dapat diaplikasikan pada industri makanan.

Teknik enkapsulasi juga digunakan di bidang pertanian untuk mengenkapsulasi pestisida, pupuk, dan produk agrokimia lainnya yang dapat memberikan kontrol yang presisi terhadap kondisi dari pelepasan senyawa aktif. Selain itu, enkapsulasi dapat menurunkan penggunaan produk agrokimia yang berbahaya, peningkatan proses perkecambahan biji dan peningkatan kualitas tanah, serta menurunkan kebutuhan dosis nutrisi teratur [25]. Dalam enkapsulasi pestisida, senyawa aktif dienkapsulasi dalam penyalut yang terbuat dari gelatin, pati, selulosa dan polimer lainnya. Biopestisida yang menggunakan *Bacillus-thuringiensis* dapat dienkapsulasi dengan menggunakan teknik ekstrusi basah dalam bahan penyalut kalsium alginat, begitu pula enkapsulasi pupuk yang berasal dari emulsi minyak ikan, kalium nitrat, dan kalium fosfat [26]. Proses enkapsulasi tersebut terbukti dapat memperlambat pelepasan nutrisi ke lingkungan dan melindungi bakteri dari lingkungan yang keras. Hal yang sama juga terbukti dalam proses enkapsulasi urea menggunakan penyalut amilum-*acrylic* menggunakan proses *fluidized bed coating*, didapatkan hasil bahwa produk enkapsulasi urea mampu menghasilkan profil pelepasan yang lebih lambat daripada pelet urea komersial [13].

Kosmetik dan produk perawatan tubuh biasanya mengandung senyawa aktif yang tidak stabil dan sensitif terhadap suhu, pH, cahaya, dan oksidasi. Maka dari itu teknologi mikroenkapsulasi dapat dipilih untuk meningkatkan stabilitas produk, mencegah degradasi, serta memberikan penghantaran senyawa aktif pada produk yang aman bagi pengguna [27]. Salah satu contoh penerapan dalam bidang kosmetik adalah enkapsulasi *anti-acne* yang mengandung *benzoyl peroxide* dan *chloramphenicol* dengan penyerapan dalam liposom [28]. Enkapsulasi juga dimanfaatkan dalam bidang industri tekstil sebagai zat penghambat api [29] dan penyelesaian fungsional produk [30]. Selain itu teknologi enkapsulasi juga telah digunakan dalam bidang penghambatan korosi [31,32].

4. KESIMPULAN

Enkapsulasi dapat menjadi solusi tepat untuk memperbaiki atau meningkatkan manfaat dari suatu substansi. Maka dari itu enkapsulasi menjadi sangat berguna di berbagai bidang dengan berbagai aplikasi. Terdapat banyak pilihan teknologi enkapsulasi yang bisa dilakukan seperti: koaservasi, ko-kristalisasi, *spray drying*, ekstrusi, *freeze drying*, *spray cooling*, dan *fluidized bed coating*. Pemilihan teknologi enkapsulasi perlu dipertimbangkan berdasarkan jenis substansi yang akan dienkapsulasi dan tujuan penerapannya.

REFERENSI

- [1] Jyothi, N. V. N., Prasanna, P. M., Sakarkar, S. N., Prabha, K. S., Ramaiah, P. S., and Srawan, G. Y., 2010, *Microencapsulation techniques, factors influencing encapsulation efficiency*, *Journal of Microencapsulation*, Vol. 27, No. 3, 187–197.
- [2] Mishra, M. K., 2016, *Overview of Encapsulation and Controlled Release*, in *Handbook of Encapsulation and Controlled Release*, Mishra, M. K. (editor), CRC Press: Boca Raton, 1–22.
- [3] Mourtzinou, I., and Biliaderis, C. G., 2017, *Principles and Applications of Encapsulation Technologies to Food Material*, in *Thermal and Nonthermal Encapsulation Methods*, Krokida, M. K. (editor), CRC Press: Boca Raton, 1–38.
- [4] Nedovic, V., Kalusevic, A., Manojlovic, V., and Levic, S., 2011, *An overview of encapsulation technologies for food applications*, *Italian Oral Surgery*, Vol. 1, 1806–1815.
- [5] Bakry, A. M., Abbas, S., Ali, B., Majeed, H., Abouelwafa, M. Y., Mousa, A., and Liang, L., 2016, *Microencapsulation of Oils: A Comprehensive Review of Benefits, Techniques, and Applications*, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, Vol. 15, No. 1, 143–182.
- [6] Mazurek, P., Zelisko, P. M., Skov, A. L., and Brook, M. A., 2020, *Enzyme Encapsulation in Glycerol–Silicone Membranes for Bioreactions and Biosensors*, *ACS Applied Polymer Materials*, Vol. 2, No. 3, 1203–1212.
- [7] Zuidam, N. J., and Shimoni, E., 2010, *Overview of Microencapsulates for Use in Food Products or Processes and Methods to Make Them*, in *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing*, Zuidam, N. J., and Nedovic, V. A. (editors), Springer: New York, 3–30.
- [8] Li, L., Au, W., Hua, T., Zhao, D., and Wong, K., 2013, *Improvement in antibacterial activity of moxa oil containing gelatin-arabic gum microcapsules*, *Textile Research Journal*, Vol. 83, No. 12, 1236–1241.
- [9] Manaf, M. A., Subuki, I., Jai, J., Raslan, R., and Mustapa, A. N., 2018, *Encapsulation of Volatile Citronella Essential Oil by Coacervation: Efficiency and Release Study*, *Materials Science and Engineering*, Vol. 358, 1–6.
- [10] Karangutkar, A. V., and Ananthanarayan, L., 2020, *Co-crystallization of Basella rubra extract with sucrose: Characterization of co-crystals and evaluating the storage stability of betacyanin pigments*, *Journal of Food Engineering*, Vol. 271, 109776.
- [11] Burgos-Díaz, C., Opazo-Navarrete, M., Soto-Añual, M., Leal-Calderón, F., and Bustamante, M., 2020, *Food-grade Pickering emulsion as a novel astaxanthin encapsulation system for making powder-based products: Evaluation of astaxanthin stability during processing, storage, and its bioaccessibility*, *Food Research*

- International*, Vol. 134, No. January, 109244.
- [12] Chalella Mazzocato, M., Thomazini, M., and Favaro-Trindade, C. S., 2019, *Improving stability of vitamin B12 (Cyanocobalamin) using microencapsulation by spray chilling technique*, *Food Research International*, Vol. 126, No. May, 108663.
- [13] Haq, M. A., Triwiningsih, S., and Suherman, S., 2012, *Pembuatan Urea Pelepasan Lepas Lambat Melalui Pelapisan Dengan Amilum-Acrylic Menggunakan Teknologi Fluidized Bed Spray*, *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, Vol. 1, No. 1, 229–236.
- [14] Tackenberg, M. W., Krauss, R., Schuchmann, H. P., and Kleinebudde, P., 2015, *Encapsulation of orange terpenes investigating a plasticisation extrusion process*, *Journal of Microencapsulation*, Vol. 32, No. 4, 408–417.
- [15] Wibowo, A. A., Suryandari, A. S., Naryono, E., Pratiwi, V. M., Suharto, M., and Adiba, N., 2021, *Encapsulation of Clove Oil within Ca-Alginate-Gelatine Complex : Effect of Process Variables on Encapsulation Efficiency*, *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, Vol. 5, No. April, 71–77.
- [16] Pudziuelyte, L., Marksa, M., Sonsnowska, K., Winnicka, K., Morkuniene, R., and Bernatoniene, J., 2020, *Freeze-Drying Technique for Microencapsulation of Elsholtzia ciliata Ethanolic Extract Using Different Coating Materials*, *Molecules*, Vol. 25, No. 2237, 1–16.
- [17] Peanparkdee, M., Iwamoto, S., and Yamauchi, R., 2016, *Microencapsulation: a Review of Applications in the Food and Pharmaceutical Industries*, *Reviews in Agricultural Science*, Vol. 4, 56–65.
- [18] Mania, S., 2013, *Microcapsules and their applications in pharmaceutical and food industry*, *PhD interdisciplinary Journal*, Vol. 2, No. 2, 71–75.
- [19] Chowdary, K. P. R., and Dana, S. B., 2011, *Preparation and Evaluation of Olibanum Resin Coated Microcapsules for Controlled Release of Aceclofenac*, *Asian Journal of Chemistry*, Vol. 23, No. 8, 3525–3528.
- [20] Shams, T., Parhizkar, M., Illangakoon, U. E., Orlu, M., and Edirisinghe, M., 2017, *Core/shell microencapsulation of indomethacin/paracetamol by co-axial electrohydrodynamic atomization*, *Materials and Design*, Vol. 136, 204–213.
- [21] Almurisi, S. H., Doolaanea, A. A., Akkawi, M. E., Chatterjee, B., and Sarker, M. Z. I., 2020, *Taste masking of paracetamol encapsulated in chitosan-coated alginate beads*, *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, Vol. 56, No. October 2019, 101520.
- [22] Horvat, G., Pantić, M., Knez, Ž., and Novak, Z., 2018, *Encapsulation and drug release of poorly water soluble nifedipine from bio-carriers*, *Journal of Non-Crystalline Solids*, Vol. 481, No. October, 486–493.
- [23] Palupi, N. W., Setiadi, P. K. J., and Yuwanti, S., 2014, *Enkapsulasi Cabai Merah dengan Teknik Coacervation Menggunakan Alginat yang Disubstitusi dengan Tapioka Terfotooksidasi*, *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, Vol. 3, No. 3, 87–93.
- [24] Gurak, P. D., Maria, L., Cabral, C., and Rocha-leão, M. H., 2013, *Production of Grape Juice Powder Obtained by Freeze-drying after Concentration by Reverse Osmosis*, Vol. 56, No. December, 1011–1017.
- [25] Bhatia, M., 2020, *A review on application of encapsulation in agricultural processes*, in *Encapsulation of Active Molecules and Their Delivery System*, Sonawane, S. H., Bhanvase, B. A., and Sivakumar, M. (editors), Elsevier: Amsterdam, 131–141.
- [26] Joshi, P. P., Van Cleave, A., Held, D. W., Howe, J. A., and Auad, M. L., 2020, *Preparation of slow release encapsulated insecticide and fertilizer based on superabsorbent polysaccharide microbeads*, *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 137, No. 39, 1–11.

- [27] Casanova, F., and Santos, L., 2016, *Encapsulation of cosmetic active ingredients for topical application-a review*, *Journal of Microencapsulation*, Vol. 33, No. 1, 1–17.
- [28] Ingebrigtsen, S. G., Škalko-Basnet, N., de Albuquerque Cavalcanti Jacobsen, C., and Holsæter, A. M., 2017, *Successful co-encapsulation of benzoyl peroxide and chloramphenicol in liposomes by a novel manufacturing method - dual asymmetric centrifugation*, *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, Vol. 97, No. May, 192–199.
- [29] Golja, B., Šumiga, B., Boh, B., Medved, J., Pušić, T., and Tavčer, P. F., 2014, *Application of flame retardant microcapsules to polyester and cotton fabrics*, *Material and Technology*, Vol. 48, No. 1, 105–111.
- [30] Bezerra, F. M., Carmona, O. G., Carmona, C. G., Lis, M. J., and Moraes, F. F., 2016, *Controlled release of microencapsulated citronella essential oil on cotton and polyester matrices*, *Cellulose*, Vol. 23, 1–12.
- [31] Falcón, J. M., Batista, F. F., and Aoki, I. V., 2014, *Encapsulation of dodecylamine corrosion inhibitor on silica nanoparticles*, *Electrochimica Acta*, Vol. 124, 109–118.
- [32] Choi, H., Kim, K. Y., and Park, J. M., 2013, *Encapsulation of aliphatic amines into nanoparticles for self-healing corrosion protection of steel sheets*, *Progress in Organic Coatings*, Vol. 76, No. 10, 1316–1324.