

Potensi Nanoteknologi

Nanotechnology Potential

Siti Amira Othman^{1*}, Shahidan Radiman²

¹Jabatan Fizik dan Kimia, Fakulti Sains Gunaan dan Teknologi, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, 84600, Pagoh, Johor, MALAYSIA

²Jabatan Fizik Gunaan, Program Sains Nuklear, Fakulti Sains dan Teknologi, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600, Bangi, Selangor, MALAYSIA

* sitiamira@uthm.edu.my

DOI: <https://doi.org/10.30880/ahcs.2020.01.01.008>

Received 11 October 2020; Accepted 30 October 2020; Available online 02 Month 2020

Abstrak: Potensi bidang nanoteknologi sudah lama diperkatakan sejak dari dahulu lagi. Bidang-bidang seperti biopengesan telah berkembang pesat seiring dengan kepesatan bidang nanoteknologi. Aplikasi saiz bahan bersaiz nano membolehkan sesuatu bahan itu mempunyai ciri-ciri seperti luas permukaan yang besar, kadar tindak balas yang sangat tinggi dan mudah menyerap ke sesuatu permukaan dengan mudah. Ini secara tidak langsung membuka peluang ke arah penyelidikan yang lebih mapan. Gabungan sampel biologi dengan bahan bersaiz nano yang bertindak sebagai pengesan membantu dalam meningkatkan ciri-ciri biopengesan. Ianya bukan sahaja digunakan dalam bidang industri malah dalam bidang perubatan. Tidak disangkal lagi, bidang nanoteknologi telah membuka peluang baru kepada bidang penyelidikan yang sedia ada dan yang akan berkembang pada masa akan datang. Cabaran dalam bidang nanoteknologi termasuklah memastikan saiz serta ciri-ciri bahan kekal dalam saiz nano ketika tindak balas berlaku. Ini adalah kerana kecenderungan beberapa sifat bahan yang mudah berubah struktur apabila bertindak balas. Kajian demi kajian dilakukan bagi memastikan cabaran ini dapat ditangani dengan berkesan. Maka, kajian ini adalah berkisarkan pandangan dan ulasan tentang definisi nanozarah, interaksi antara protein dan nanozarah serta perkembangan nanoteknologi berdasarkan aplikasi dalam bidang yang sedia ada.

Kata kunci: nanoteknologi, saiz, aplikasi, nanozarah

Abstract: The potential of nanotechnology has long been talked about since time immemorial. Areas such as biosensors have grown rapidly in line with the rapid development of nanotechnology. The application of nano-sized materials allows a material to have characteristics such as large surface area, very high reaction rate and easy to absorb to a surface easily. This indirectly opens up opportunities for more sustainable research. The combination of biological samples with nano-sized materials that act as detectors helps in improving the characteristics of biosensors. It is not only used in industry but also in medical. Undoubtedly, the field of

nanotechnology has opened up new opportunities for existing and growing areas of research in the future. Challenges in the field of nanotechnology include ensuring that the size and characteristics of the material remain in nano size when the reaction occurs. This is due to the tendency of some material properties to easily change structure when reacting. Study after study is done to ensure that these challenges can be addressed effectively. Thus, this study revolves around views and reviews on the definition of nanoparticle, interaction between protein and nanoparticle as well as the development of nanotechnology based on applications in existing fields.

Keywords: nanotechnology, size, application, nanoparticle

1. Pengenalan

Nanoteknologi ialah satu bidang sains gunaan yang menumpukan kepada reka bentuk, sintesis, pencirian, dan penggunaan bahan-bahan dan peranti-peranti pada skala nanometer. Kejayaan-kejayaan cemerlang dalam nanoteknologi telah menghasilkan alat solek dan losyen pelindung cahaya matahari yang lebih baik, serta seluar kalis air. Nanoteknologi ialah satu subklasifikasi teknologi dalam sains koloid, biologi, fizik, kimia, dan bidang-bidang saintifik yang lain, sebagaimana yang ditakrifkan oleh laman web Inisiatif Nanoteknologi Nasional Amerika Syarikat. Takrifnya ialah pemahaman dan pengawalan jirim-jirim pada dimensi sebanyak lebih kurang 1 hingga 100 nanometer yang mana fenomena unik membolehkan penggunaan baru.

Aspek skala nanometer yang terpenting ialah semakin kecil sesuatu zarah itu, semakin besar nisbahnya antara luas permukaan dengan isi padu. Struktur elektroniknya juga berubah secara mendadak. Kesan ini menyebabkan keaktifan bermangkin menjadi lebih baik, tetapi juga boleh mengakibatkan kereaktifan kimia yang agresif. Keterpesonaan terhadap nanoteknologi terdiri daripada fenomena-fenomena kuantum dan permukaan ini yang unik yang ditampilkan oleh jirim pada skala nanometer, dan memungkinkan penggunaan baru serta bahan-bahan yang menarik. Sifat nanozarah berbeza dengan sifat pepejal pukal sama ada melalui saiz, bentuk, luas permukaan serta kesan kuantum. Kesannya, ia dapat dilihat pada sifat mekanikal, kimia, elektronik, optik dan magnetik.

2. Nanozarah

Nanozarah merupakan zarah yang mempunyai saiz sekitar 1nm hingga 100 nm. Nisbah luas permukaannya kepada isipadu memberi sumbangan kepada tindak balas terutamanya tindak balas ke atas permukaan atom atau zarah. Oleh kerana saiznya yang amat kecil, maka penggunaannya amat penting dalam kehidupan harian dan penciptaan alat-alat yang baru.

Jadual 1: Beberapa sifat nanozarah yang diaplikasikan dalam industri [1]

Sifat Nanozarah	Aplikasi
Optik	Anti pantulan lapisan pelindung Asas pengesanan cahaya untuk diagnosis kanser
Magnetik	Meningkatkan ketumpatan medium penyimpanan zarah nanomagnet untuk mencipta dan membaiki perincian
Terma	Meningkatkan pemindahan haba daripada pengumpul solar kepada tangki penyimpanan Meningkatkan keberkesanan penyejuk dalam transformer
Mekanika	Memperbaharui ciri-ciri anti hakisan Memperbaharui struktur komposit dan kekuatan bahan
Elektronik	Meningkatkan pelaksanaan komponen kecil contoh kapasitor untuk telefon bimbit

Apabila zarah semakin mengecil ia boleh melalui ruang yang mempunyai saiz yang kecil. Implikasi daripada keadaan ini menyebabkan ianya boleh diaplikasikan dalam pelbagai bidang seperti dalam nanokomposit polimer dan pelindung (ringan dan kuat), bahan komposit seramik (meningkatkan keteguhan, tahan rintangan), penyimpanan data dan sistem pemprosesan (kapasiti yang besar untuk penyimpanan dan pemprosesan pada saiz yang kecil), penyebaran (kimia mekanik), pengesan dan instrumentasi, sistem penghantaran dadah dan peningkatan aktiviti dalam proses pemangkin.

Proses penghasilan dan sintesis nanozarah terbahagi kepada dua iaitu proses atas-ke-bawah dan proses bawah-ke-atas. Terdapat beberapa kaedah bagi proses atas-ke-bawah iaitu kaedah fizikal (kisaran tenaga tinggi), gabungan kaedah fizik dan kimia kisaran kimia mekanik) dan fasa kondensasi wap. Bagi proses penghasilan nanozarah dengan menggunakan proses bawah-ke-atas, adalah daripada gabungan untuk menghasilkan bahan daripada atom atau peringkat molekul. Sintesis menggunakan kaedah ini lebih kepada proses kimia yang dilakukan dalam fasa gas atau cecair. Proses yang biasa dilakukan ialah pempadapan wap kimia (CVD), sol-gel dan kondensasi atom atau molekul.

Struktur-struktur nano skala terdiri daripada tiga jenis, berdasarkan bilangan dimensinya:

- satu dimensi: permukaan objek antara 0.1 dan 100 nm
- dua dimensi: nanotub yang mempunyai diameter antara 0.1 dan 100 nm
- tiga dimensi: zarah dengan saiz antara 0.1 dan 100 nm

Definisi lain bagi nanoteknologi ialah teknologi yang melibatkan skala nanometer, contoh: satu per billion, atau satu sepuluh ribuan keluasan satu rambut manusia. Aktiviti-aktiviti skala nanometer adalah pada asasnya melibatkan atom individu atau molekul-molekul. Nanoteknologi terhasil daripada manipulasi benda-benda atom atau molekul atau proses-proses. Dalam perkataan paling mudah, nanoteknologi ialah kejuruteraan di skala atom atau molekul. Contoh penting aktiviti-aktiviti skala nanometer yang berlaku sekeliling kita, setiap hari dan dalam alam semula jadi ialah fotosintesis dan penghasilan tenaga dalam badan manusia. Potensi untuk ahli-ahli sains memanipulasi semula proses-proses ini dalam kedua-dua bidang biologi dan bukan biologi mungkin akan menjadi kenyataan suatu hari nanti.

Keupayaan untuk menggarap skala yang terlalu kecil ini mencipta peluang-peluang dalam pelbagai bidang serta industri dan paling ketara adalah dalam bidang pembuatan, sains kesihatan dan pengurusan persekitaran. Nanoteknologi boleh dianggap sebagai meliputi keseluruhan disiplin saintifik – fizik, kimia, biologi, matematik, sains kebendaan, pembinaan –satu bidang sains yang baru. Ia mempunyai potensi dan bermanfaat kepada semua industri atau industri itu sendiri.

Terdapat banyak contoh melibatkan nanoteknologi. Ini termasuk bahan-bahan baru, perubahan yang baru, farmaseutikal, pertanian dan proses-prosesnya, alam sekitar, peranti-peranti elektronik baru, pengesan-pengesan baru dan paradigma keraan baru. Keupayaan untuk mengeksploitasi ciri-ciri atom dan molekul bahan membolehkan fungsi-fungsi baru dipelbagaikan contohnya seperti produk-produk elektrik.

Kebanyakan negara percaya nanoteknologi akan membawa satu era baru dalam penghasilan kekayaan. Nanoteknologi mempunyai keupayaan untuk meningkatkan keberkesanan penggunaan tenaga, membantu membersihkan persekitaran dan menyelesaikan masalah kesihatan. Selain itu, boleh meningkatkan proses pembuatan dan mengurangkan kos. Produk yang dihasilkan dalam bidang nanoteknologi adalah kecil, murah, ringan, lebih banyak fungsi dan tenaga yang diperlukan adalah kurang. Nanoteknologi melibatkan banyak bidang seperti fizik gunaan, sains bahan, sains koloid dan permukaan, peralatan fizik, kimia supramolekul, mesin penganda dan robotik, kejuruteraan kimia, mekanik, biologi dan elektrik.

Sebilangan fenomena fizik mula diberi perhatian apabila saiz sistem semakin berkurang. Ini termasuklah kesan mekanik statistik dan kesan kuantum mekanik contohnya 'kesan saiz kuantum' di mana ciri- ciri elektronik pepejal diubah dengan pengurangan dalam saiz zarahnya. Kesan ini bukannya hasil daripada perubahan makro kepada mikro tetapi hasil daripada proses yang melibatkan sistem nanoteknologi.

Tambahan pula, sebilangan ciri-ciri fizikal (mekanik, elektrik, optik) berubah dalam sistem ini berbanding dengan sistem makroskopik. Contohnya peningkatan dalam luas permukaan kepada nisbah isipadu mengubah ciri-ciri mekanik, terma dan pemangkin sesuatu bahan. Ciri-ciri mekanik yang baru bagi sistem nanoteknologi adalah menarik dalam kajian nanomekanik. Sifat pemangkin nanobahan juga meningkatkan keupayaan risiko dalam tindakbalas dengan biologi bahan.

Selain itu, bahan yang bersaiz nanometer menunjukkan ciri-ciri yang berbeza berbanding bahan yang mempunyai saiz yang besar. Contohnya, objek legap menjadi lutsinar, pepejal menjadi cecair pada suhu bilik (emas) dan penebat menjadi konduktor (silika).

3. Penghasilan Teras/ Rangka

Dengan berkembangnya bidang bioteknologi, banyak penciptaan dalam sistem penghantaran telah direka untuk meningkatkan keberkesanan dalam penghantaran protein. Walau bagaimanapun masih lagi terdapat masalah dalam penghantaran protein kerana kebanyakan protein mempunyai jangka hayat yang pendek dalam keadaan fisiologinya. Penyelesaian daripada masalah ini dapat diatasi dengan mereka nanozarah polimerik/ mikro yang sesuai [2].

Dalam kajian yang dilakukan oleh Sung et al.[3] menunjukkan poly (lactide-co-glycolide) (PLGA) mikro/nanozarah telah direka untuk penghantaran sebilangan protein. Disebabkan sifat hidrofobik PLGA, penjerapan protein ke dalam mikro/ nanozarah dengan aktiviti protein dikurangkan ke tahap minimum, masih lagi dikatakan mencabar dan sukar.

Kaedah penyediaan teras/ rangka nanozarah dengan rangka polimerik hidrofilik telah direka. Peranan teras adalah untuk menyediakan permukaan hidrofilik bagi rangka polimerik yang stabil melalui proses penjerapan fizikal. Manakala rangka polimerik pula adalah untuk menyediakan rangkaian hidrofilik untuk penjerapan protein. Proses ini adalah sesuai untuk pencirian teras/ rangka nanozarah sebagai penghantar dadah. Lisozim digunakan sebagai model penghantaran protein yang dijerap ke dalam nanozarah. Penjerapan dan bentuk penjerapan yang terhasil diperhatikan.

Selain itu, nanozarah silika teras/ rangka adalah sesuai dalam pengubahsuaian sifat sesuatu bahan, peningkatan dalam sifat kristal, meningkatkan penyebaran nanozarah dan malah meningkatkan keseluruhan ciri- ciri polimer organik. Teras/ rangka nanozarah biasanya merujuk kepada teras yang terdiri daripada nanozarah tidak organik (SiO_2 , TiO_2 , CaCO_3 , montmorillonite(MMTs)) dikelilingi oleh bahan tak organik atau organik sebagai rangka (organik atau polimer dengan kumpulan tertentu). Ia mempunyai aplikasi yang luas dalam bidang optik, elektronik, pemangkin dan sebagainya. Penyediaan teras/ rangka telah dipelbagaikan kaedahnya seperti via-sol gel, kaedah kimia dan kaedah fizikal.

Dalam penjerapan F-127 dan HA pada permukaan nanozarah, daya utama untuk membentuk rangka polimerik adalah tindakbalas hidrofobik di antara F-127. Disebabkan HA tidak bertindakbalas di antara sebarang molekul sama ada dengan F-127 atau nanozarah PLGA, ia secara fizikalnya membentuk rangkaian dengan F-127 dalam julat 0- 0.3 nisbah berat HA/F-127. Walaupun begitu pembentukkan HA/ lisozim kompleks tanpa teras PLGA juga mungkin berlaku akibat HA yang tidak stabil ketika berada dalam rangka polimerik [4].

Kestabilan dapat dilihat daripada kesan penjerapan lisozim terhadap permukaan silika. Apabila zarah semakin mengecil ia boleh melalui ruang yang mempunyai saiz yang kecil. Semakin kecil sesuatu zarah itu, semakin besar nisbahnya antara luas permukaan dengan isipadu. Permukaan silika yang bersifat hidrofilik memudahkan penjerapan oleh protein yang bersifat hidrofobik. Oleh itu, tindak balas antara hidrofilik silika dan hidrofobik lisozim boleh berlaku dan mewujudkan kestabilan antara permukaan.

Manakala, dalam kajian yang dilakukan oleh Sung et al. [3], teras terdiri daripada poly (lactide- co-glycolide) dan rangka polimerik terdiri daripada pluronik (poly(ethylene oxide)- poly(propylene oxide)- poly(ethylene oxide) triblock kopolimer, F-127 dan asid hyaluronik (HA). Didapati dengan kehadiran F-127 pada permukaan nanozarah PLGA, menunjukkan kestabilan yang tinggi dalam medium berakues. Ini adalah kerana PLGA mempunyai permukaan hidrofobik dan F-127 bersifat hidrofilik. Kestabilan protein juga boleh dilihat melalui perubahan pH dan suhu.

Lapisan penjerapan bagi larutan protein pada permukaan udara/ cecair banyak dikaji kerana kepentingannya pada pelbagai bidang seperti komestik, farmasi, bioteknologi dan teknologi makanan. Molekul protein boleh bertindak sebagai penstabil sterik apabila berada pada permukaan dengan menghasilkan lapisan yang stabil.

4. Proses Penjerapan

Apabila protein bertindak balas dengan permukaan, ia mungkin mengalami perubahan bentuk bergantung kepada had atau daya yang dikenakan oleh permukaan. Perubahan bentuk mungkin memberi kesan kepada tindak balas di antara penjerapan molekul dan mengarah kepada perkembangan gabungan antara molekul. Proses ini berlaku secara meluas dan proses penjerapan protein adalah proses yang sangat rumit.

Selain itu, dalam kajian yang dilakukan oleh Marijin et al. [5], mengenai penjerapan lisozim pada hidrofilik silika pada pH yang berbeza. Daripada pH 9.1 ke 10.1 didapati kadar penjerapan awal tidak bergantung kepada pH. Ini menunjukkan bahawa kepelbagaian keadaan yang stabil bagi penjerapan tidak disebabkan oleh kadar penjerapan awal. Manakala pH bergantung kepada tindakbalas protein dan bahan penjerap serta tindakbalas antara penjerapan molekul- molekul protein. Diperhatikan lisozim , kadar penjerapan awalnya meningkat dengan kepekatan.

Daam kajian yang lain, Marijin et al. [6] melaporkan protein dan permukaan menarik antara satu sama lain secara elektrostatik. Pada pH 7.0, lisozim adalah bercas positif dan silika adalah bercas negatif. Penjerapan ke atas hidrofilik silika bergantung kepada kepekatan protein dalam larutan tetapi bergantung juga kepada permukaan hidrofobik. Ini dapat disimpulkan bahawa pada permukaan hidrofilik, kadar penjerapan adalah sifar pada 100s, sedangkan pada permukaan hidrofobik kadar penjerapan adalah besar.

Penjerap biasanya dalam bentuk palet atau rod dengan diameter di antara 0.5 dan 10mm. Ia perlulah mempunyai sifat tahan geseran, kestabilan terma yang tinggi dan diameter lubang- lubang mikro yang kecil yang mana menyebabkan luas permukaan yang besar dan kapasiti yang tinggi untuk penjerapan. Bahan penjerap terbahagi kepada tiga kelas:

1. Oksigen (mengandungi sebatian)- hidrofilik dan berkutub, termasuk bahan seperti gel silika dan zeolit.
2. Karbon (berasaskan sebatian)- hidrofilik dan tidak berkutub, termasuk bahan seperti karbon aktif
3. Polimer (berasaskan sebatian)- Kumpulan berfungsi berkutub dan tidak berkutub dalam liang- liang kecil matrik polimer.

Penjerapan adalah proses yang berlaku apabila gas atau cecair berkumpul pada permukaan pepejal atau cecair dan membentuk penjerapan. Ianya berbeza daripada penyerapan di mana bahan melakukan proses pembauran ke dalam cecair atau pepejal untuk membentuk larutan.

Tambahan pula, penjerapan diaplikasikan dalam banyak bidang seperti bidang fizik, biologi dan kimia. Dalam bidang industri pula ia digunakan dalam sintesis resin dan penapisan air. Penjerapan protein daripada larutan akues ke atas permukaan pepejal adalah hasil daripada tindakbalas hidrofobik, sterik dan tindakbalas elektrostatik di antara protein dan kumpulan berfungsi pada permukaan dan air. Hasilnya, berlaku penyusunan semula struktur penjerapan protein akibat daripada keseimbangan di antara interaksi ini.

Dalam eksperimen mengkaji pergerakan lisozim dalam nanotiub silika, lisozim membentuk lapisan mono pada silika nanotiub dan kemudian membentuk lapisan jerapan multi di mana kepekatan lisozim semakin meningkat. Penjerapan lisozim pada permukaan pembawa biasanya bergantung pada tindakan elektrostatik di antara nanotiub silika yang bercas negatif dan molekul lisozim yang bercas positif [7].

Lisozim mudah untuk menembusi ke dalam mikrosfera tetapi bergantung kepada cas permukaan. Lisozim menyerap pada permukaan mikrosfera yang bercas negatif dan tidak menyerap pada permukaan mikrosfera yang bercas positif. Protein yang bersaiz besar dengan diameter hidrodinamik lebih kecil daripada rongga mikrosfera dextran mampu untuk keluar dan masuk dari mikrosfera dengan mudah.

Kadar penjerapan lisozim meningkat dengan masa. Bagi 60 minit yang pertama, kadar penjerapan meningkat dengan perlahan dan kira-kira 180 minit kemudian, proses penjerapan mencapai keseimbangan. Dengan kata lain, penjerapan lisozim adalah laju pada permulaannya tetapi selepas penjerapan pada permukaan lengkap, penembusan molekul lisozim kepada silika menjadi semakin sukar. Keseimbangan penjerapan ini mungkin berlaku kerana kesukaran dan bentuk tarikkan geometri (atau memori) di antara molekul lisozim dan rongga silika dalam struktur zarah [8].

5. Analisis Termodinamik Lisozim Terhadap Silika

Peningkatan dalam pendedahan protein kepada permukaan pepejal bukan biologi menyebabkan penjerapan protein ke atas permukaan ini boleh menjadi kesan yang diinginkan dan tidak diinginkan. Kesan yang tidak diinginkan adalah seperti pembentukan plak pada gigi dan penjerapan protein pada kanta mata. Kesan positif oleh penjerapan dapat diaplikasikan dalam bio pengesanan dan sistem penghantaran dadah.

Parameter-parameter seperti kekuatan ionik, pH larutan dan permukaan serapan hidrofobik mempengaruhi penjerapan protein. Faktor ini menunjukkan penyusunan struktur dalam molekul protein, ketakubatan permukaan protein, taburan kumpulan bercas pada permukaan lapisan, dehidrasi permukaan serapan adalah sumbangan utama kepada seluruh proses penjerapan protein. Perubahan dalam struktur protein melalui beberapa cara. Sebagai contoh, tindak balas yang kuat antara molekul protein dan permukaan seperti dalam penjerapan ke atas permukaan hidrofobik, selalunya mengarah kepada perubahan dalam struktur protein [9].

Dalam kajian yang dilakukan oleh Helén et. al. [10] mengenai penjerapan protein ke atas silika. Jelas menunjukkan bahawa terdapatnya peningkatan perubahan struktur dengan pengurangan liputan pada permukaan lapisan protein. Malah, terdapat pengurangan kestabilan struktur protein dalam keadaan semulajadi. Untuk lisozim, penjerapan isoterma bergantung sepenuhnya kepada kekuatan ionik. Penjerapan isoterma terhasil daripada perbezaan pengukuran dalam kepekatan protein (bagi larutan protein dengan pelbagai kepekatan).

Pada kekuatan ionik yang rendah, protein mempunyai tarikan yang tinggi kepada zarah silika dan penjerapannya disertai oleh 15-25% pengurangan dalam ΔH dan 3-6% pengurangan dalam T_m , menunjukkan bahawa peringkat penjerapan protein adalah tidak stabil. Jelasnya, tarikan elektrostatik adalah kunci utama untuk penjerapan kerana kekuatan ionik yang tinggi mengurangkan tarikan elektrostatik di antara silika yang bercas negatif dan protein yang bercas positif. Apabila kepekatan protein meningkat, bilangan penjerapan untuk protein meningkat dengan pengurangan kekuatan ionik.

6. Penjerapan Terma

Lisozim bercas positif pada pH 7.0 dan mempunyai tarikan yang kuat kepada permukaan silika yang bercas negatif pada pH ini. Penjerapan lisozim dengan pelbagai kepekatan menunjukkan pengurangan dalam peralihan entalpi kalorimetri dan pengurangan liputan permukaan. Kaedah analitik terma seperti Kalorimeter pengimbas pembeza (DSC) mengawal pengaliran haba kepada sampel. Ia juga bertindak sebagai rujukan apabila suhu menyebabkan peningkatan hasil yang mana diperolehi daripada maklumat termodinamik tentang proses di mana penjerapan tidak berlaku.

Semasa proses ini, berlakunya perlonggokkan lebih haba yang memantulkan haba entalpi yang menstabilkan protein dalam keadaan semulajadinya. Bentuk lengkung penyahasian terma memberikan anggapan dalam struktur heterogeiniti dalam populasi protein. Penjerapan biasanya digambarkan melalui isoterma yang mana fungsinya berkaitan dengan bilangan jerapan pada bahan penjerap yang melibatkan tekanan (jika gas) atau kepekatan (jika cecair).

Dalam eksperimen yang melibatkan penjerapan lisozim ke atas nanoporos molekul karbon dengan pelbagai diameter rongga dan nilai pH yang berbeza-beza, membuktikan semua penjerapan isoterma boleh dikaitkan dengan persamaan *langmuir*. Bilangan atau kadar penjerapan lisozim bergantung pada larutan pH, isipadu rongga dan diameter rongga bahan penjerap. Penjerapan maksimum adalah pada atau hampir pada titik isoelektrik lisozim (pI:11). Tambahan pula, kadar penjerapan bergantung pada saiz rongga dan saiz isipadu penjerap nanoporos karbon di mana molekul lisozim dijerap [11].

7. Elektrostatik

Penjerapan protein terhadap polimer hidrofobik dikaji berdasarkan interaksi antara hidrofobik protein dan polimer hidrofobik. Akibatnya berlaku pengurangan dalam kadar penjerapan oleh protein. Ini disebabkan oleh tindakbalas elektrostatik. Peningkatan kesan elektrostatik dan tindakbalas hidrofobik masih memainkan peranan penting dalam proses penjerapan terutamanya melibatkan kekuatan ionik yang rendah seperti dalam eksperimen tindakbalas hidrofobik molekul pewarna dengan permukaan poly GMA. Dalam eksperimen ini, nilai pH dan kekuatan ionik mempengaruhi proses penjerapan tetapi tindakbalas hidrofobik juga dilihat adalah salah satu faktor penting yang terlibat dalam eksperimen ini [12].

Pada situasi dimana berlakunya tarikan elektrostatik, penjerapan adalah lebih tinggi apabila protein dan permukaan penjerap menolak antara satu sama lain. Ini menyebabkan kadar penjerapan menjadi lambat dan membenarkan protein lebih tersebar pada permukaan. Hasilnya, kadar penjerapan yang diperolehi adalah tinggi.

Proses penjerapan protein melibatkan daya Coulomb (elektrostatik) dan tindakbalas Van der Waals (Hidrofobik). Kedua-duanya adalah faktor yang mempengaruhi proses penjerapan. Walau bagaimanapun, sifat hidrofobik polimer terhasil daripada proses penyahasian dan penggumpalan protein. Ini adalah faktor penting dalam tindakbalas elektrostatik dalam proses penjerapan. Semakin meningkat kekuatan ionik semakin besar kadar penjerapan yang mungkin berlaku [12].

Pengaruh bentuk dan saiz zarah terhadap proses penjerapan adalah pelbagai apabila kajian melibatkan penjerapan protein pada koloid yang berbeza dilakukan. Ini boleh dikurangkan dengan menggunakan teknik sol-gel untuk mengubah permukaan serakan zarah. Proses sol-gel digunakan

untuk mengubah ciri- ciri permukaan silika bagi mengkaji pengaruh cas permukaan pada bilangan penjerapan lisozim (LSZ) dan Bovin serum albumin (BSA).

Kadar penjerapan molekul protein berkadar langsung dengan cas protein dan permukaan zarah. BSA (bercas negatif) pada pH 7.0 menjerap hampir 100% pada permukaan AlOOH^- (bercas positif). Pemerhatian yang bertentangan dapat dilihat pada lisozim (bercas positif) pada pH 7.0. Lisozim hampir menjerap sepenuhnya pada permukaan silika yang bercas negatif tetapi sukar menjerap pada permukaan AlOOH^- yang bercas positif. Daripada pemerhatian ini, dapat disimpulkan bahawa tarikan elektrostatik mempengaruhi proses penjerapan pada pH 7.0 bagi protein dan permukaan oksida. Kesan hidrofobik kurang memainkan peranan dalam tindakbalas ini [13].

Bryan et al. [14] melaporkan apabila larutan protein dijerap kepada permukaan mikrosfera yang bercas positif atau negatif, bilangan penjerapan adalah kurang (50% untuk lisozim dan 20% untuk BSA), menunjukkan bahawa protein hanya mampu bertindakbalas dengan sebahagian permukaan mikrosfera. Apabila mikrosfera mula dijerap oleh protein dalam larutan penimbun, hampir sebilangan nyahpenjerapan berlaku. Ini menunjukkan bahawa penjerapan akibat tindakbalas elektrostatik antara protein dan mikrosfera yang berlainan cas berlaku.

Terdapat pelbagai faktor yang memainkan peranan dalam penjerapan protein. Ini adalah kerana kebanyakan bahan dan protein adalah bercas, jadi tindakbalas elektrostatik adalah penting. Tambahan pula, penjerapan protein selalunya ditentang oleh sifat hidrofobik bahan terhadap permukaan serapan, perubahan dalam protein hidrat dan juga peranan penyerap. Struktur kestabilan dan kesesuaian protein adalah penting kerana molekul selalu berubah bentuk akibat daripada proses penjerapan. Kesan ini tidak mempengaruhi antara satu sama lain dan sukar untuk mengagak yang manakah memainkan peranan penting dalam proses penjerapan. Ulasan tentang proses penjerapan protein boleh didapati dalam laporan [15].

8. pH

Pada pH 7.0, protein mempunyai cas yang bertentangan dengan permukaan silika dioksida dan menjerap dengan kadar yang tinggi. Dibandingkan protein yang sama cas hanya menjerap sedikit pada permukaan silika dioksida.

Dalam hasil kajian mengkaji tindakbalas elektrostatik dalam penjerapan protein yang dilakukan oleh Marijin et al. [16] menyatakan adalah sukar untuk mengkaji kadar penjerapan pada pH di atas 10.5 kerana silika larut pada pH yang tinggi. Bilangan protein yang menjerap adalah peka terhadap perubahan pH, biasanya antara pH 10 dan 10.2. Protein pada titik isoelektrik tidak mempunyai cas, maka tolakkan elektrostatik di antara molekul penjerap adalah minimum. Untuk lisozim, bilangan penjerapan maksimum adalah pada pH 9.8 yang mana terletak di bawah titik isoelektrik lisozim. Titik isoelektrik lisozim adalah 11.1.

Dalam kajian yang dilakukan oleh Moosavi A. et al. [17] tentang pembentukan fibril lisozim akibat tindakbalas dengan sodium dodecyl sulphate (SDS) pada pH 9.2 melaporkan titik isoelektrik lisozim adalah 11.1 dan larutan pH yang berada di bawah titik ini mempunyai cas positif. Oleh itu, pada peringkat permulaan tindakbalas antara lisozim dengan SDS, ianya dipengaruhi oleh tarikan elektrostatik. Kesannya, berlaku pemendakan dan pembentukan ikatan Lisozim- SDS yang kompleks. Ikatan ekor DS^- kepada lisozim meningkatkan kehidrofobikkan permukaan protein dan cenderung ke arah pembentukan gumpalan. Semasa penggumpalan, berlaku perubahan bentuk akibat daripada cas penutralan persekitaran dan penembusan ekor hidrofobik SDS ke dalam struktur protein.

Peranan pH dalam proses penjerapan lisozim dan lisozim bersuksinil menunjukkan tindakbalas elektrostatik berlaku dalam proses penjerapan. Ion akan menghalang tindakbalas elektrostatik dan dijangkakan bahawa bilangan penjerapan protein dipengaruhi oleh kekuatan ionik. Pada kekuatan ionik

yang tinggi, penjerapan protein meningkat akibat daripada kesan tolakkan elektrostatik ($\text{pH} >$) dan berkurang akibat daripada tarikan elektrostatik ($\text{pH} <$).

Penjerapan lisozim bersuksinil dalam pH yang berbeza menyebabkan terdapat perbezaan sama ada di atas atau di bawah titik isoelektrik. Penjerapan di bawah dan pada titik isoelektrik mempunyai kadar penjerapan yang besar tetapi di atas titik isoelektrik penjerapan adalah kurang. Di atas titik isoelektrik protein, semakin menghampiri permukaan, daya elektrostatik semakin bertambah. Maka perbezaan kecil dalam situasi itu memberi pengaruh besar pada kadar penjerapan. Dapat dianggapkan bahawa penjerapan yang kurang atau sedikit adalah disebabkan oleh perubahan kecil pada permukaan silika. Kadar penjerapan di atas atau di bawah titik isoelektrik berkurang apabila kekuatan ionik ditingkatkan.

9. Pembentukan Gumpalan

Pembentukan gumpalan berlaku apabila wujudnya ketidakstabilan semasa penyimpanan dan penghantaran protein seperti makromolekul amfifilik dan amfoterik, protein mempunyai permukaan yang aktif dan akan menjerap kepada banyak permukaan. Pengkelompokan atau penggumpalan dalam lapisan penjerapan kurang diberi perhatian dalam kajian selain aspek struktur penjerapan lapisan. Pengkelompokan pada permukaan menyebabkan penghasilan penggumpalan yang banyak dan protein yang tidak aktif.

Tambahan lagi, penghantaran pengkelompokan yang besar tidak sesuai digunakan dalam aplikasi klinikal. Kaedah untuk meminimumkan penggumpalan permukaan adalah sangat berguna. Surfaktan selalunya digunakan dalam formula protein terapeutik untuk mengurangkan penggumpalan.

Sung et al. [3] menyatakan penggumpalan nanozarah diperhatikan pada teras/ rangka nanozarah terbentuk apabila 10 wt% F-127 larutan akues. Ini disebabkan pembentukan rangkaian polimer di antara F-127 yang bebas (yang tidak diserap oleh nanozarah PLGA). Walaubagaimanapun penggumpalan tidak diperhatikan pada nanozarah teras/ rangka pada 5wt%. Ini menunjukkan kebanyakan F-127 dalam medium berakues dijerap pada permukaan nanozarah PLGA.

Selain itu, dalam kajian yang dilakukan oleh Susan et al. [18] percantuman rantaian poly (ethylene glycol) kepada protein (PEGylation) boleh mengurangkan penggumpalan. Polyethylene glycol (PEG) adalah polimer yang biasa digunakan untuk mengubah permukaan pepejal supaya rintang kepada penjerapan protein. Protein PEGylation mungkin mengurangkan peluang untuk menggabungkan surfaktan dalam kecenderungan protein bagi membentuk gumpalan. Ianya dapat ditunjukkan bahawa molekul protein mungkin bergerak ketika dijerap pada permukaan.

Penggumpalan protein lebih sesuai dikaji dalam larutan [19][20]. Memahami mekanisme penggumpalan protein adalah sukar apabila mengkaji sama ada kadar gumpalan yang tinggi boleh terbentuk [21]. Maka mekanisme perubahan struktur semasa penjerapan protein adalah munahsabah dan ini mungkin menggalakkan kepada pembentukan gumpalan. Ianya terhasil daripada tindakbalas protein- protein pada permukaan yang menghala kepada pembentukan struktur bukan semulajadi.

Selain itu, sifat nanozarah yang mempunyai luas permukaan yang besar contohnya seperti nanozarah SiO_2 bergumpal dengan mudah berdasarkan elektron valensi yang bebas dan terdapat beberapa ikatan kumpulan hidroksil yang menggalakkan lagi tarikan kuat atau lemah antara SiO_2 dan polimer.

Penjerapan protein pada permukaan hidrofilik menyebabkan berlakunya perubahan struktur. Tindakbalas protein pada permukaan pepejal/ cecair, dilakukan pada kepekatan protein yang rendah dan memberi tegangan permukaan yang unik kepada strukturnya. Permukaan tegangan dinamik dan ruang antara protein pada permukaan pepejal yang berbeza-beza menunjukkan protein bertindak balas dengan permukaan hidrofobik adalah berkadar langsung dengan permukaan cecair/ udara.

Proses penggumpalan telah dikaji dengan pelbagai teknik termasuklah serakkan cahaya, serakkan neutron, NMR dan teknik kalorimetri. Terdapat beberapa peringkat penyusunan semula struktur molekul yang terlibat dalam proses penggumpalan protein contohnya peringkat monomer, oligomer, pemendakan amorfus dan nuklei. Kuantiti monomer atau oligomer adalah sedikit tetapi banyak terdapat dalam larutan. Penggumpalan oleh lisozim boleh dikaji menggunakan serakkan cahaya dinamik dan NMR. Serakkan cahaya dinamik memberikan maklumat tentang saiz zarah melalui pengukuran autocorrelation serakkan cahaya yang bergabung dengan pekali pembanuran zarah. Manakala teknik NMR disebabkan oleh proses penyantaian dan hanya dipengaruhi oleh perubahan molekul oligomer yang besar.

Penggumpalan zarah dalam sains bahan adalah disebabkan saling tarikan antara zarah (atom atau molekul) melalui daya Van der Waal atau ikatan kimia. Apabila terdapat perlanggaran di antara zarah dalam bendalir, terdapat kebarangkalian untuk zarah bertindak antara satu sama lain dan menjadi satu kumpulan zarah yang besar. Terdapat beberapa mekanisme fizikal yang boleh membentuk gumpalan di antaranya ialah pergerakan *brown* dan *fluid shear*.

10. Aplikasi Bidang Nanoteknologi

Aplikasi bidang nanoteknologi dalam bidang perubatan adalah berada di tahap yang membanggakan kerana baru-baru ini penyelidik-penyelidik daripada Universiti Harvard telah menjumpai penanda molekul yang boleh menunjukkan kehadiran kanser dalam badan dengan menggunakan nanowayar silika. Ini adalah salah satu aplikasi nanoteknologi kepada penjagaan kesihatan dan menawarkan teknik yang lebih baik daripada apa yang ada sekarang. Ia adalah alat yang memberikan fenomena yang baru dalam pendiagnosan kanser dan penyakit-penyakit kompleks yang lain.

Nanowayar mengalirkan sejumlah arus dengan reseptor antibodi untuk beberapa penanda kanser seperti antigen specific prostate (PSA), PSA-a1- antichymotrypsin, antigen carciniembryonic dan micin-1. Apabila protein bersentuh dengan reseptor, ia memberikan perubahan konduksi yang memberi penunjuk yang jelas akan kehadiran penunjuknya.

Selain itu, bidang nanoteknologi juga berkembang luas dalam industri pertahanan. Terdapat dua aspek penting nanoteknologi yang telah diaplikasikan dalam bidang ketenteraan. Pertama, ialah pengecilan alat-alat yang telah sedia ada, bukan sahaja ia akan dicecilkan malah menjadi lebih ringan, juga menggunakan tenaga yang sedikit dan mudah disembunyikan. Kedua ialah memperkembangkan dan menyesuaikan bahan baru untuk tujuan ketenteraan.

Penggunaan nanoteknologi bagi kajian ketenteraan dilakukan secara tertutup oleh beberapa agensi dunia. Institute for Soldier Nanotechnology (ISN) di Massachusetts Institute of Technology (MIT) telah mereka pakaian peperangan yang menggabungkan kebolehan teknologi yang tinggi, tidak berat dan selesa. Ciri-ciri pakaian peperangan yang dikembangkan oleh ISN memerlukan pengecilan dari segi keringanan, selesa, pemberhentian peluru dan perlindungan daripada toksin. Penyelidikan bagi mereka pakaian peperangan masih lagi dalam peringkat permulaan tetapi telah menunjukkan beberapa perkembangan dalam bidang komunikasi, kekuatan dan perlindungan.

Selain itu, pengesan nano boleh mengesan zarah-zarah kecil atau pun terlampau kecil (kumin) kuantitinya. Pengesan nano boleh menjadi pengesan kimia atau pengesan mekanikal. Terdapat beberapa aplikasi nano pengesan yang telah digunakan pada hari ini:

- Untuk mengesan kepelbagaian bahan kimia dalam gas bagi mengawal pencemaran
- Untuk tujuan perubatan (diagnostik)
- Untuk mengawal parameter fizikal seperti suhu, pengaliran dan penyingkiran

Pengesan nanokimia bertindak dengan mengawal perubahan elektrik dalam bahan yang dikesan. Nanotiub karbon adalah salah satu daripadanya. Apabila molekul NO_2 hadir, ia akan bertindak dengan elektron daripada nanotiub yang mana menyebabkan nanotiub menjadi kurang konduktif. Jika ammonia (NO_3) hadir, ia akan bertindak dengan wap air dan mendermakan elektron kepada nanotiub karbon, menjadikannya lebih konduktif. Dengan memperlakukan nanotiub dengan pelbagai lapisan pelindung ianya boleh menjadikan nanotiub karbon sensitif kepada sesetengah molekul dan menjadi imun.

Manakala pengesan nanomekanikal pula cenderung untuk mengukur perubahan elektrik. Pengesan nano yang digunakan dalam sistem MEMS (beg udara kereta) bergantung kepada pengawalan perubahan dalam pemuat.

Beberapa syarikat yang terlibat dengan bidang angkasa lepas mempunyai perancangan untuk menggunakan bahan api yang bersaiz nano seperti aluminium atau hafnium untuk roket bahan api. Penambahan aluminium akan melengkapkan lagi proses tersebut tetapi aluminium apabila ditambah dengan minyak tanah tidak membakar dengan berkesan. Struktur nanozarah akan meningkatkan lagi kestabilan terma, keringanan serta kekuatan untuk kapal terbang, roket dan stesen angkasa.

Penghasilan produk daripada logam argentum yang tulen atau menyelaputkannya dengan sebarang logam adalah mahal untuk barang-barang pengguna tetapi kajian mendapati bahawa apabila logam digabungkan dengan nanozarah Argentum, ia menjadi satu kaedah yang praktikal.

Nanozarah yang bersaiz kecil mempunyai luas permukaan yang besar berbanding dengan isipadunya. Ini menunjukkan peningkatan atau ciri-ciri yang berbeza apabila dibandingkan dengan bahan yang bersaiz makro (1mm–1km). Penggunaannya dalam bahan pencuci sangat berkesan. Semua bakteria menggunakan enzim untuk memetabolismakan oksigen jadi ion argentum akan bertindak balas dengan enzim dan memberhentikan pengambilan oksigen oleh bakteria serta membunuhnya dalam masa 6 minit. Kemudian, meninggalkan tisu dan bahan di sekeliling yang tidak tercemar.

Nanokomposit adalah bahan yang menggunakan zarah bersaiz nano untuk ditambah kepada matrik bahan. Kesan daripada penambahan nano ke dalam matrik bahan adalah mendadak termasuklah kekuatan mekanikal, kekonduksian elektrik dan terma. Keberkesanan nanozarah seperti itu menyebabkan bilangan bahan yang ditambah biasanya hanya di antara 0.5%-5% per berat. Nanokomposit digunakan dalam pelbagai bidang dan penemuan baru dalam bidang ini masih berlaku. Aplikasi bagi nanokomposit termasuklah penggunaan pada bahagian enjin, pembungkusan makanan, kapasitor filem nipis untuk cip komputer dan banyak lagi.

Penggunaan nanoteknologi dalam pemprosesan makanan boleh dibahagikan kepada dua jenis iaitu pembungkusan aktif dan pembungkusan bijak. Pembungkusan aktif termasuklah bahan yang menunjukkan ciri-ciri seperti menghalang oksigen daripada memusnahkan makanan. Pembungkusan bijak bertindak dengan berubah dalam persekitaran seperti berubah disebabkan kehadiran patogen. Syarikat McDonald di USA menggunakan pembungkus burger yang mempunyai sistem nanobahan. Nanobahan yang digunakan pada pembungkus burger bertujuan untuk menggantikan polyvinyl acetate (PVA) dan polyvinyl alcohol (PVOH) yang memberikan gambaran grafik kepada pembungkusan.

Dalam bidang pertanian, tanah kebun ditanam dengan pengesan nano untuk mengesan sebarang jenis nutrien dan kandungan air, mengesan kehadiran penyakit, kulat atau serangga perosak. Pengesan ini kemudiannya bertindak balas dengan nanozarah atau nanokapsul untuk menghantar kuantiti pengukuran yang jitu tentang kuantiti racun serangga atau baja. Akibatnya kos serta bahan kimia yang akan digunakan dapat dikurangkan.

Nanozarah atau nanokapsul ditambah kepada barang makanan untuk meningkatkan jangka hayat, mengubah ciri-ciri, meningkatkan nilai nutrisi dan perubahan rasa. Minyak tuna (sumber asid lemak omega 3) dalam bentuk nanokapsul ditambah kepada beberapa jenis roti. Kapsul pecah dan membebaskan minyak dalam perut jadi rasa yang kurang menyenangkan dapat dielakkan.

Penggunaan pemangkin adalah kaedah yang selalu digunakan untuk mengurangkan tenaga yang diperlukan untuk penghasilan bahan kimia. Teknologi nano digunakan untuk mencipta pemangkin nano yang lebih berkesan daripada sebelum ini. Pemangkin nano cenderung untuk bertindak dengan prinsip bahawa zarah yang kecil mempunyai luas permukaan yang besar untuk membolehkan tindak balas mangkin berlaku. Aplikasi nanoteknologi dalam bidang tenaga bagi membaharui, memanjangkan jangka hayat tenaga (solar atau bahan api) boleh menyediakan sumber tenaga yang bersih dan murah. Ini boleh memelihara kesihatan manusia serta persekitaran.

Sifat protein yang menyerap kepada permukaan bukan biologi adalah amat penting dalam bidang kajian hari ini. Ini kerana kajian seperti ini menyumbang kepada banyak bidang seperti bidang biomaterial, biosensor dan sistem penghantaran dadah. Tetapi proses penyerapan protein masih lagi sukar difahami dan banyak kajian perlu dilakukan untuk memahaminya

Kebanyakan protein mempunyai jangka hayat yang pendek dalam keadaan fisiologinya. Ini bermaksud apabila protein bertindak balas dalam sesuatu keadaan atau dalam proses penghantaran untuk molekul protein didapati ianya adalah kurang berkesan. Masalah ini dapat diatasi dengan mereka bentuk yang sesuai untuk makropolimerik-nanozarah.

Akhir sekali, nanoteknologi adalah suatu bidang yang mempunyai potensi yang besar pada masa hadapan. Beberapa perkembangan dalam bidang nanoteknologi telah dapat dilihat pada hari ini seperti robotik, chip komputer (chip pentium dari Intel Corporation), dakwat 'bubble jet-ink' dan banyak lagi. Penggunaan nanoteknologi dalam bidang peperangan sedang giat dijalankan memandangkan potensi bidang ini untuk menghasilkan peralatan yang lebih canggih. Dalam bidang perubatan pula terciptanya robot yang bersaiz kecil sehingga berupaya dimasukkan ke dalam salur darah.

11. Bidang Nanoteknologi Di Malaysia

Kerajaan sedang menimbang cadangan untuk mewujudkan Inisiatif Nanoteknologi Nasional (INN) bagi membolehkan ia menguasai teknologi nanoteknologi dengan lebih berkesan. Cadangan berhubung INN itu juga melibatkan penubuhan Pusat Nanoteknologi Malaysia yang akan bertanggungjawab menyelaras usaha-usaha penyelidikan dan pembangunan, peluang pelaburan, aktiviti pengkomersilan dan perkongsian industri di dalam bidang seperti fabrikasi serta sains kemanusiaan.

Nanoteknologi mempunyai potensi yang amat besar sehingga ia boleh mencetuskan revolusi di dalam gaya hidup dan pengeluaran pelbagai produk. Oleh itu usaha perlu dilipatgandakan agar Malaysia menjadi antara negara yang mempunyai pengetahuan tinggi dalam bidang nanoteknologi. Diharapkan dengan INN, Malaysia akan memperolehi keuntungan hasil kemajuan dalam bidang sains berkaitan nanoteknologi, dengan menggunakan sumber serta pengetahuan para penyelidik.

Nanoteknologi adalah aplikasi sains untuk mengawal keadaan sesuatu bahan di peringkat molekul. Ia merupakan teknologi pembuatan yang menjadikan kebanyakan produk lebih ringan, kuat, bersih, murah dan lebih tepat. Pusat Nanoteknologi Malaysia juga akan bertanggungjawab dalam menggubal pelan induk negara bagi memastikan usaha penguasaan teknologi yang semakin berkembang dalam negara menemui kejayaan.

Satu daripada aspek utama yang bakal menentukan kejayaan nanoteknologi adalah kerjasama strategik, termasuk mekanisma integrasi dan koordinasi antara saintis bidang penyelidikan dan pembangunan, pembuat dasar, industri serta pemaju teknologi, pembiaya dan juga orang ramai yang akan memperolehi keuntungan daripadanya.

Pengeluaran tahunan industri di seluruh dunia dalam sektor nanoteknologi, yang komponen-komponennya boleh dihitung dalam berbilion meter, dianggarkan menjangkau AS\$1 trillion dalam

tempoh 10-15 tahun dari sekarang dan memerlukan kira-kira 2 juta pekerja dalam bidang nanoteknologi. Ini menunjukkan suatu perkembangan yang memberangsangkan.

Sehingga kini Malaysia sudah membelanjakan lebih daripada RM140 juta geran IRPA (pembiayaan Penyelidikan Intensif Bidang-bidang yang Diberi Keutamaan) untuk beberapa projek penyelidikan berkaitan nanoteknologi. Asia menyumbang lebih AS\$ 1.5 bilion atau sebahagian daripada pembiayaan nanoteknologi global dan ia terus meningkatkan peranannya dalam arena nanoteknologi global tanpa had.

Di Malaysia pada masa ini, terdapat aktiviti penyelidikan bertaraf dunia dijalankan oleh saintis tempatan di universiti-universiti serta institut-institut penyelidikan berhubung bidang-bidang penting seperti bahan mesoporos nanostruktur, pemangkin hibrid dan lain-lain lagi. Ini menunjukkan nanoteknologi adalah suatu bidang yang semakin berkembang maju dan dimanfaatkan penggunaannya.

Penghargaan

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Universiti Tun Hussein Onn Malaysia dan Universiti Kebangsaan Malaysia untuk fasiliti serta setinggi penghargaan kepada geran penyelidikan TIER 1 (H074) yang membolehkan kajian ini dapat dilakukan dengan jayanya.

Rujukan

- [1] Challa S.S.R.Kumar., *Nanosystem characterisation tools in the life sciences*, WTLEY-VCH Verlag GmBh & Co.KgaA, 2006
- [2] Diana Romanini, Mauricio Braia, Rodrig Giatte Angarten, Watson Loh & Guillermo Pico. 2007. Interaction of lysozyme with negatively charged flexible chain polymers. *J. Chromatography B* 857, hlm. 26-31.
- [3] Sung Kyun Han, Jin Hon Lee, Dongmin Kim, Sun Hang Cho & Soon Hong Yuk. 2004. Hydrophilized poly (lactide- co-glycolide) nanoparticles with core/shell structure for protein delivery. *J. Science and Technology of Advanced Materials* 6, hlm 468-474.
- [4] Dong A., Prestrelski S.J., Allison S.D & Carpenter J.F.. 1995. Infrared spectroscopic studies of lyophilization and temperature involved protein aggregation. *J. Pharm Sci* 84, hlm 415-424
- [5] Marijin Van Der Veen, Martien Cohen Stuart & Williem Norde. 2006. Spreading of proteins and effect on adsorption and desorption kinetics. *J. Colloids surfaces B: Biointerfaces* 54, hlm 136-142.
- [6] Marijin Van der Veen, Willem Norde & Martien Cohen Stuart. 2004. Electrostatics interactions in protein adsorption probed by comparing lysozyme and succinylated lysozyme. *J. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 35, hlm 33-40.
- [7] Hao Min Ding, Lei Shao. Run Jing Liu, Qing Gui Xiao & Jian Feng Chen. 2005. Silica nanotubes for lysozyme immobilization. *J. Colloid and Interface Science* 290, hlm 102-106.
- [8] Mehmet Odabasi, Riduan Say & Adil Deinzli. 2007. Molecular imprinted particles for lysozyme purification. *J. Material Science and Engineering: C*. 27, hlm 90-99.
- [9] Helén Larsericdotter, Sven Oscarsson & Jos Buijs. 2003. Thermodynamic analysis of lysozymes absorbed to silica. *J. Colloids and Interface Science* 276, hlm 261-268.
- [10] Helén Larsericdotter, Sven Oscarsson & Jos Buijs. 2000. Thermodynamic analysis of proteins adsorbed on silica particles: Electrostatic Effects. *J. Colloid and Interfaces Science* 237, hlm 98-103.
- [11] Vinu A. , Miyahara M. & Ariga K. 2005. Biomaterial immobilization in nanoporous carbon molecular sieves: influence of solution pH, pore volume and pore diameter. *J. Phys Chem. B* 109, hlm 6436- 6441.
- [12] Cuifang Cai, Udo Bakosky, Erik Rytting, Andreas K. Schaper & Thomas Kissel. 2007. A feasibility study using lysozyme as model protein delivery systems.

- [13] Rezwan K., Lorenz P. Meier & Ludwig J. Gauckler. 2004. Lysozyme and Bovin serum albumin adsorption on uncoated silica and AL OOH- coated silica particles: the influence of positively and negatively charged oxide surface coatings. *J. Biomaterials* 26, hlm 4351-4357.
- [14] Bryan L. Steadman, Karen C. Thompson, Russel Middaugh C., Ken Matsuno, Susan Vrona, Erlinda O. Lawson & Randolph V. Lewis. 2004. The effects of surface adsorption on the thermal stability of protein. *J. Biotechnology and Bioengineering* 40:8-15.
- [15] Hans-Jörg Fecht & Mathias Werner. 2004. The nano- micro interface – Bridging the micro and nanoworlds, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA.
- [16] Marijin et al. (2004) Marijin Van der Veen, Willem Norde & Martien Cohen Stuart. 2004. Electrostatic interactions in protein adsorption probed by comparing lysozyme. *J. Colloids Surfaces B: Biointerfaces* 35, hlm 33-40.
- [17] Moosavi A.A. - Movahedi, P.Pirzadeh, Hashemnia S., Ahmadian S., Hemma teenejad B., Amani M., Saboury A.A., Ahmad F., Shamsipur M., Hakimelahi G.H., Fu- Yuan Tsai, Hadi Alijanvand H. & Yousefi R.. 2007. Fibril formation of lysozyme upon interaction with sodium deodecyl sulphate at pH 9.2. *J.Colloid and surfaces B: Biointerfaces* 60, hlm 55-61.
- [18] Susan M.Daly, Todd M.Przybycien & Robert D. Tilton. 2006. Aggregation of lysozyme and of poly (ethylene-glycol)-modified lysozyme after adsorption to silica. *J. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 57, hlm 81-88.
- [19] Dong A., Prestrelski S.J., Allison S.D & Carpenter J.F. 1995. Infrared spectroscopic studies of lyophilization and temperature involved protein aggregation. *J. Pharm Sci* 84, hlm 415-424
- [20] Price W. S., F. Tsuchiya & Arata Y. 1999. Lysozyme aggregation and solution properties using PGSE NMR diffusion measurements. *J. Am. Chem. Soc.* 121, hlm 11503- 11512.
- [21] Stefani M. & Dobson C.M.. 2003. Protein aggregation and aggregate toxicity: New insights into protein folding, misfolding disease and biological evolution. *J. Mol. Med* 81, hlm 678-699.