



MATA KULIAH PENUNJANG DISERTASI

**TEKNIK NANOPARTIKEL
DAN APLIKASINYA**

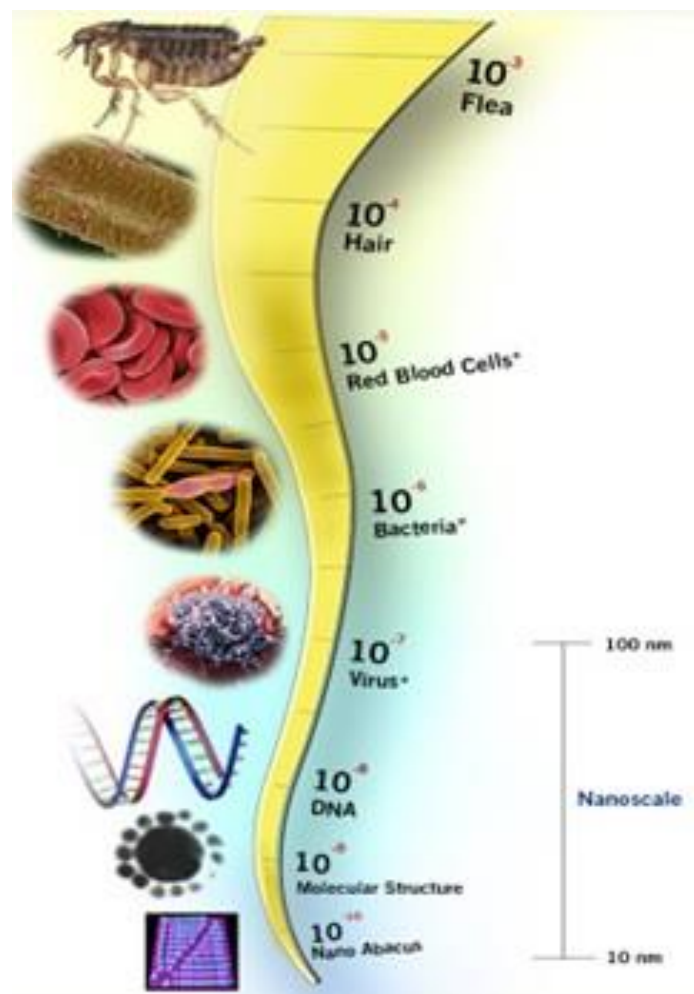
**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU KEDOKTERAN
FAKULTAS KEDOKTERAN UNIVERSITAS UDAYANA**

2020

TEKNIK NANOPARTIKEL DAN APLIKASINYA

PENDAHULUAN

Nanosains dan nanoteknologi adalah studi perilaku benda-benda dan struktur pada skala yang sangat kecil yaitu sekitar 1 nanometer (10^{-9} m) sampai 100 nanometer (100×10^{-9} m = 10^{-7} m). Istilah nano berasal dari kata Yunani yang berarti kerdil. Satuan nano merupakan ukuran panjang sebesar sepemiliar meter atau $1/1.000.000.000$ meter. Panjang 1 nanometer merupakan panjang dari barisan 10 atom hidrogen, suatu ukuran yang sangat kecil (Fahmi, 2019).



Gambar 1.1. Skala dari milimeter menuju nanometer.

Tabel 1.1. Satuan ukuran dan ilustrasi besar yang relevan dari masing-masing satuan

Unit/Satuan	Dalam Eksponensial	Dalam Desimal	Seberapa Besar ?
Meter	10^0	1	Sepanjang meteran kayu

Centimeter	10^{-2}	0,01	Selebar kuku tangan
Milimeter	10^{-3}	0,001	Setebal uang logam
Mikrometer	10^{-6}	0,000001	Sebuah sel tunggal
Nanometer	10^{-9}	0,000000001	Sepuluh baris atom H
Angstrum	10^{-10}	0,0000000001	Sebuah atom besar

Peneliti terus mencari material baru yang memiliki keunggulan dari aspek fisika dan kimia, pada beberapa era dikenal beberapa zaman yaitu zaman batu dengan peralatan terbuat dari batu. Setelah itu adapun zaman alloy atau campuran logam atau lebih dikenal zaman perunggu. Abad ke 8-15 berkembang penemuan gelas, perselen, dan keramik. Pada zaman modern tepatnya pada tahun 1937-1947 mulai berkembang material baru yaitu *plastic nilon* bahan semikonduktor. Era teknologi material yang akan datang ialah era nanopartikel. Banyak ilmuwan berpendapat bahwa akan terjadi revolusi industri dari material konvensional seperti saat ini ke arah material baru produk material yang memiliki partikel dalam ukuran nanometer. Diperkirakan perubahan besar itu akan berdampak luas terhadap produk teknologi saat ini (Abdassah, 2019).

Nanosains menggabungkan aspek-aspek fisika, kimia, dan biologi dalam satu teknologi dengan tujuan tertentu, peralatan elektronik di bidang kedokteran yang dibuat dengan ukuran sangat kecil bahkan lebih kecil daripada sel darah merah. Sel darah merah berukuran 2-5 mikron atau seukuran diameter sehelai rambut yang dibelah 25. Banyak ahli berpendapat bahwa jika kita mampu membuat alat seukuran itu maka alat tersebut bisa dimasukkan ke dalam pembuluh darah dan diarahkan pada lokasi tertentu untuk membunuh virus, sel-sel kanker, atau tujuan lainnya (Batra *et al*, 2019).

Nanoteknologi atau teknologi rekayasa zat berskala nanometer atau sepemiliar meter masa pengembangannya belumlah tergolong lama. Pengembangan nanopartikel di Indonesia dilakukan sejak sekitar tahun 2000. Selama 10 tahun terakhir muncul berbagai aplikasinya. Orang yang pertama kali menciptakan istilah nanopartikel adalah Profesor Nario Taniguchi dari Tokyo Science University pada tahun 1940. Ia mulai mempelajari mekanisme pembuatan nanopartikel

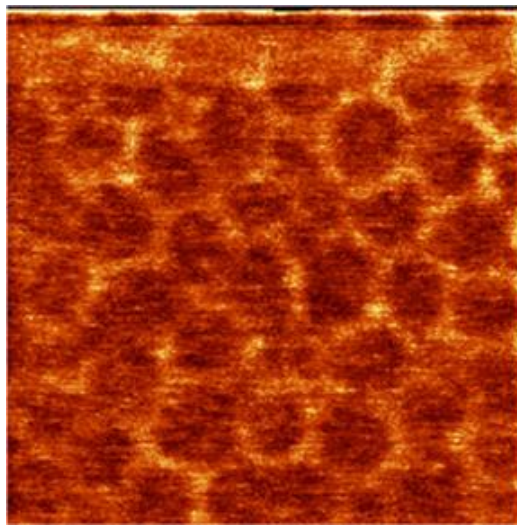
dari kristal kuarsa, silicon, dan keramik alumina dengan menggunakan mesin ultrasonic (Fahmi, 2019).

Komersialisasi potensi penerapan nanopartikel sesungguhnya tidak hanya pada piranti mikroelektronik saja tetapi juga pada berbagai industri, sehingga membuka peluang aplikasi bahan dan teknologi nano di berbagai bidang, yakni pada produk makanan, mainan anak, peralatan rumah, peralatan kebun, kesehatan, kebugaran, obat-obatan/farmasi, tekstil, keramik, dan kosmetik, serta perkembangan nanopartikel di alam dan nanomagnetik (Kurniasari dan Atun, 2017).

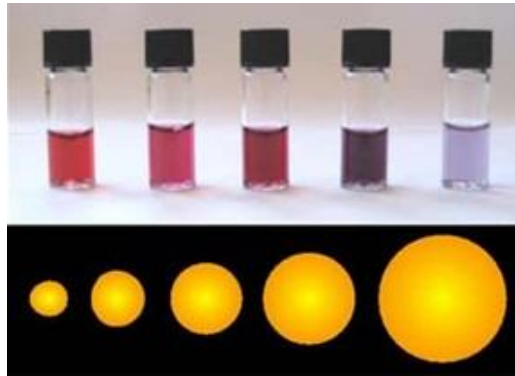
Nanosains (*nanoscience*) maupun nanoteknologi (*nanotechnology*), saat ini banyak diteliti oleh para ilmuwan. Seorang ahli fisika bernama Richard Phillips Feynman pada tanggal 29 Desember 1959 dalam pertemuan tahunan Masyarakat Fisika Amerika (*American Physical Society*) di *California Institute of Technology* (Richard Phillips Feynman merupakan Pemenang Hadiah Nobel Fisika tahun 1965). Pada pertemuan tersebut, Richard Phillips Feynman memberikan gambaran dari istilah nanosains yang kita kenal sekarang ini dalam pidatonya yang berjudul “*There’s Plenty of Room at the Bottom*” (Fahmi, 2019).

A. KLASIFIKASI STRUKTUR NANOPARTIKEL

Nanosains atau Nanoteknologi menjadi spesial adalah bahwa pada jenis material yang sama, apabila material tersebut mempunyai ukuran beberapa nanometer, seringkali material tersebut menunjukkan sifat yang sangat berbeda dan unik. Menariknya, perbedaan ukuran skala besar pada material yang sama tidak menunjukkan hal tersebut. Sebagai contoh, unsur Au mempunyai warna indah coklat kekuningan yang kita ketahui sebagai “emas”. Akan tetapi, jika kita hanya mempunyai 100 atom Au yang kemudian disusun menjadi sebuah kubus, warnanya akan jauh lebih merah dan sangat berbeda dengan warna emas. Dimana faktanya, partikel Au menghasilkan warna berbeda seperti merah, biru, kuning, atau warna lain tergantung dari ukuran partikel (Tarhan *et al*, 2019).



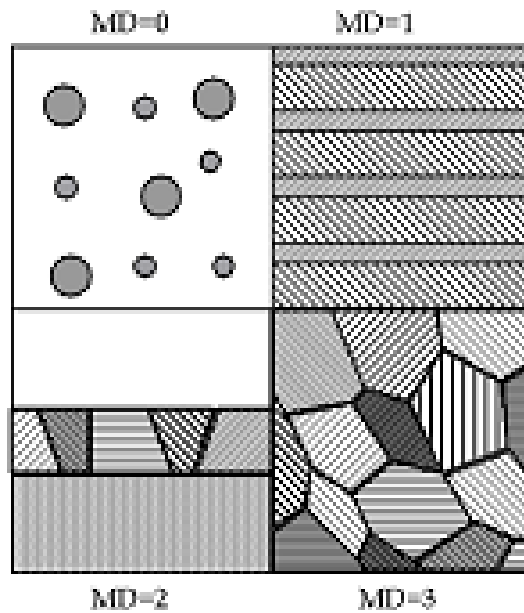
Gambar 2.1. *Nanogold* 12nm: warna kemerahan



Gambar 2.2. *Nanogold*: beda ukuran partikel menghasilkan warna yang berbeda.

Warna merupakan salah satu sifat optik yang berbeda pada material berskala nano. Sifat lainnya, seperti fleksibilitas/kekuatan (sifat mekanik) dan konduktivitas, juga merupakan sifat yang sering sangat berbeda pada material skala nano. Hal inilah yang membuat material skala nano mempunyai sifat yang unik. Nanopartikel secara umum mempunyai karakteristik yakni ringan, kecil, serta mempunyai properti unggul dan super (Tarhan *et al*, 2019).

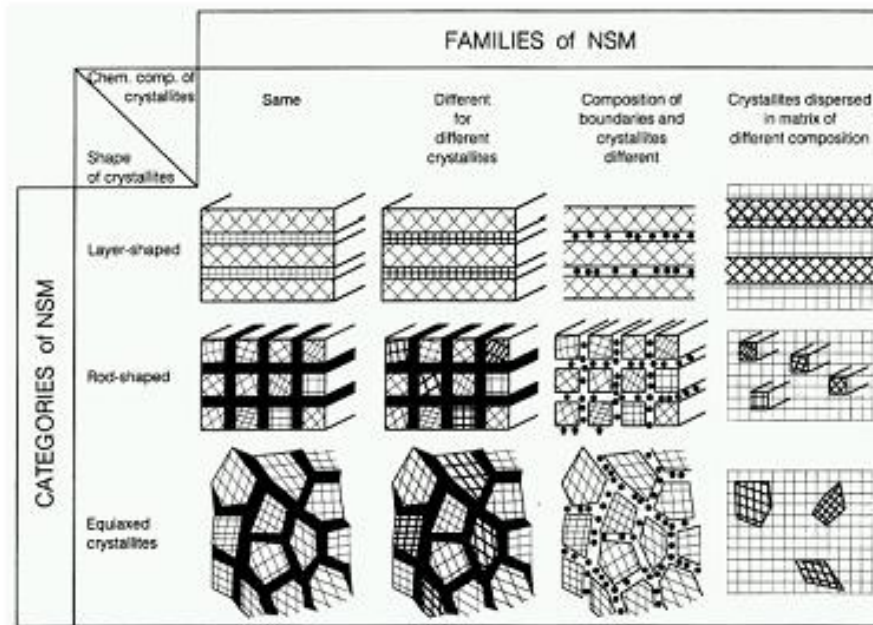
Nanopartikel merupakan material yang dikarakterisasi oleh ukuran butiran ultra halus (< 50 nm) atau dengan dimensi hingga 50 nm. Nanopartikel dapat dihasilkan melalui berbagai modulasi dimensi seperti yang didefinisikan oleh Richard W. Siegel yaitu zero (*atomic clusters, filaments, atau cluster assemblies*), dimensi satu (*multilayer*), dimensi dua (*ultra-grained overlayer*), dan dimensi tiga (material nanophase yang tersusun dari butiran dengan ukuran nano) seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Klasifikasi nanomaterial menurut Siegel

Nanopartikel terdiri dari kristalin berukuran nanometer atau *grain* (butiran) dan *interface* dapat dikelompokkan sesuai dengan komposisi kimia dan bentuknya seperti yang telah dipaparkan di atas. Sesuai dengan bentuk kristalin atau butirannya nanopartikel dapat diklasifikasikan menjadi empat yaitu :

1. Clusters atau powder (MD = 0)
2. Multilayer (MD = 1)
3. Ultrafine grained atau buried layer (dimana ketebalan masing-masing layer atau diameternya < 50 nm) (MD=2)
4. Nanokomposit dari nanometer-size grains (MD=3)



Gambar 2.4. Skema klasifikasi nanopartikel sesuai dengan komposisi kimianya

Selanjutnya terdapat tiga katagori yang diturunkan dari keempat kelompok di atas, yaitu ;

1. Pada kebanyakan kasus yang sederhana (kelompok 1), seluruh grains dan interfacial (antar muka) memiliki komposisi yang sama, contohnya polimer semikristalin (tersusun dari lamellae ditumpuk yang dipisahkan oleh daerah nonkristalin), multilayer dari lapisan tipis kristalin yang dipisahkan oleh lapisan amorf (Si:N:H/nc-Si)
2. Pada kasus kedua, ilmuwan mengklasifikasikan material berdasarkan komposisi kimia yang berbeda dari grainnya. Kemungkinan struktur kuantum sebagai contoh terbaik dari kelompok ini.
3. Pada kelompok yang ketiga, melibatkan seluruh material yang memiliki komposisi kimia berbeda dari materi yang terbentuk (meliputi antar muka yang berbeda), contohnya keramik dari alumina dengan Ga pada interfacenya.
4. Kelompok keempat, meliputi semua nanopartikel yang terbentuk dari grains berskala nanometer (layers, rod atau kristalin) yang terdispersi dalam matrik yang komposisi kimianya berbeda.

Contohnya presipitat Ni_3Al berskala nanometer terdispersi dalam matrik nikel.

B. MENGAPA NANOPARTIKEL SANGAT MENARIK?

Material ini sangat menarik karena sifat mekanik, listrik, optik, dan sifat magnetik yang sangat menjanjikan. Kombinasi dari efek-efek tersebut menimbulkan munculnya sifat fisis yang berbeda dari sifat yang dimiliki oleh banyak materialnya. Fenomena unik yang dapat diamati pada sifat-sifat magnetik, mekanik, listrik, termal, optik, kimia, dan biologi (Fahmi, 2019) yaitu :

1. Sifat elektrik

Nanopartikel dapat mempunyai energi lebih besar dari pada material ukuran biasa karena memiliki luas permukaan yang besar. Hal ini berkaitan dengan resistivitas elektrik yang mengalami kenaikan dengan berkurangnya ukuran partikel.

Contohnya : material yang bersifat isolator dapat bersifat konduktor ketika berskala nano.

Contoh aplikasinya : Baterai logam nikel hibrida terbuat dari nanokristalin nikel dan logam hibrida yang membutuhkan sedikit *recharging* dan memiliki masa hidup yang lama.

Efisiensi efek termoelektrik akan meningkat pada bahan berskala nano. Partikel logam/semikonduktor berukuran nano memiliki warna emisi berbeda dibandingkan partikel tersebut dengan ukuran skala mikro.

2. Sifat magnetik

Tingkat kemagnetan akan meningkat dengan penurunan ukuran butiran partikel dan kenaikan spesifik luas permukaan persatuan volume partikel sehingga nanopartikel memiliki sifat yang bagus dalam peningkatan sifat magnet (ketika ukuran butir bahan magnetik diperkecil hingga skala nano, bahan feromagnetik berubah menjadi bahan superparamagnetik).

Contohnya: Magnet nanokristalin *yttrium-samarium-cobalt* memiliki sifat magnet yang luar biasa dengan luas permukaan yang besar.

Sifat mekanik lebih besar bila dibandingkan dengan material dengan ukuran biasa. Salah satu sifat mekanik bahan adalah kekuatan luluh yaitu batas maksimum kekuatan suatu bahan sebelum mengalami deformasi plastis (berubah bentuk). Jika ukuran butir suatu logam atau

keramik lebih kecil dari ukuran butir kritis (<100 nm), sifat mekanik bahan berubah dari keras menjadi lunak.

Contoh aplikasinya : Apabila material nano digunakan pada cat, akan berefek antigores, antiluntur, dan memantulkan panas. Cat berpartikel nano akan membuat rumah atau kendaraan tetap sejuk meski terpapar sinar matahari.

3. Sifat optik

Sistem nanopartikel memiliki sifat optik yang menarik, yang mana berbeda dengan sifat kristal konvensional. Kunci penyumbang faktor masuknya quantum tertutup dari pembawa elektrik pada nanopartikel, energi yang efisien dan memungkinkan terjadinya pertukaran karena jaraknya dalam skala nano serta memiliki sistem dengan interface yang tinggi.

Dengan perkembangan teknologi dan material mendukung perkembangan sifat nanofotonik.

Dengan sifat optik linier dan nonlinier material nano dapat dibuat dengan mengontrol dimensi kristal dan surface kimia, teknologi pembuatan menjadi faktor kunci untuk mengaplikasikan.

Contoh : *Electrochromik* untuk *liquid crystal display (LCD)*

4. Sifat kimia

Merupakan faktor yang penting untuk aplikasi kimia nanopartikel yaitu penambahan luas permukaan yang mana akan meningkatkan aktivitas kimia dari material tersebut.

Contoh aplikasi : Teknologi *fuel cell* dimana dalam *fuel cell* digunakan logam Pt dan Pt-Ru

5. Sifat katalisis

Nanopartikel cenderung memiliki aktivitas katalisis yang lebih baik. Hal ini disebabkan luas permukaan yang bertambah dan atom di ujung-ujung permukaan semakin banyak, mengakibatkan bertambahnya reaktivitas dari bahan.

C. TEKNIK NANOPARTIKEL

Miniaturisasi material hingga orde molekuler itu dilakukan, antara lain, dipicu oleh tuntutan pengecilan ukuran perangkat elektronik dan komputer. Dengan adanya partikel nano itu, rangkaian terpadu atau IC berukuran 1 sentimeter persegi, dapat dijejali miliaran transistor sehingga rangkaian tersebut berkapasitas terabyte, bukan lagi gigabyte.

Potensi penerapan nanoteknologi sesungguhnya lebih besar, tidak sebatas untuk membuat nanopartikel bagi peranti mikroelektronik, tetapi juga bagi industri lain. Penerapan material nano bukan hanya pada barang teknik, melainkan juga pada produk makanan, obat-obatan, dan kosmetik (Martien *et al*, 2012).

Penerapan teknologi nano pada berbagai bidang akan mengubah kehidupan masyarakat modern. Dengan membuat partikel berskala nanometer, kemudian menyusupkannya di antara partikel berukuran mikron, sehingga dihasilkan jenis material baru bersifat super, antara lain tingkat kekerasan, pengantaran listrik, dan sifat magnetnya. Dengan kelebihan itu akan dihasilkan produk berkualitas, yaitu tidak mudah aus, hemat energi karena tahan panas, dan tidak memerlukan pendinginan. Dengan demikian, akan menghemat biaya operasional dan pemeliharaan serta ramah lingkungan (Maryam *et al*, 2018).

Sintesis nanopartikel dapat dilakukan dalam fasa padat, cair, maupun gas. Secara garis besar, sintesis nanopartikel dapat dilakukan dengan metode bottom up (kimia) dan metode top down (Fisika) (Fahmi, 2019).

Metode top-down, penggilingan/penggerusan adalah salah satu ciri khas dalam membuat nanopartikel. Sedangkan dispersi koloid adalah contoh metode yang digunakan dengan pendekatan bottom-up. Sementara metode litografi dapat dianggap sebagai pendekatan hibrid, karena penumbuhan film tipis adalah ciri dari bottom-up sedangkan menetsa merupakan

karakteristik dari top-down, sedangkan nanolithography dan nanomanipulation umumnya merupakan pendekatan bottom-up.

Kedua pendekatan ini memainkan peran yang sangat penting dalam industri modern nanopartikel. Ada kelebihan dan kekurangan dari kedua pendekatan ini. Untuk metode top-down, ketidaksempurnaan struktur permukaan menjadi kendalanya. Teknik top-down konvensional seperti litografi dapat menyebabkan kerusakan kristalografi yang signifikan pada proses fabrikasi dan cacat tambahan dapat terjadi bahkan selama proses etsa. Misalnya, kawat nano yang dibuat dengan teknik litografi tidak mulus dan mungkin mengandung banyak kotoran dan cacat struktural di permukaan. Ketidaksempurnaan seperti itu akan memiliki dampak yang signifikan pada sifat fisik dan kimia permukaan struktur nano dan material nano, karena rasio volume permukaan atas dalam struktur nano dan material nano sangat besar. Ketidaksempurnaan permukaan akan menyebabkan konduktivitas berkurang karena hamburan permukaan inelastik, yang pada akhirnya menghasilkan panas yang berlebihan dan dengan demikian perlu inovasi ekstra pada desain dan fabrikasi perangkat. Terlepas dari ketidaksempurnaan permukaan dan cacat lain yang mungkin dihasilkan dengan pendekatan top-down, Teknik ini akan terus memainkan peran penting dalam sintesis dan pembuatan struktur nano dan material nano.

Pendekatan bottom-up sering muncul dalam berbagai literatur nanopartikel. Sintesis material yang umum adalah untuk membangun atom demi atom dalam skala yang sangat besar, dan telah digunakan di industri selama lebih dari seabad. Contohnya produksi garam dan nitrat dalam industri kimia, pertumbuhan kristal tunggal dan pengendapan film dalam industri elektronik. Untuk sebagian besar bahan, tidak ada perbedaan dalam sifat fisik bahan terlepas dari metode sintesis, asalkan komposisi kimia, kristalinitas, dan mikrostruktur bahan tersebut identik. Pendekatan bottom-up mengacu pada penumpukan material dari bawah: atom demi atom, molekul demi molekul, atau cluster by cluster. Dalam ilmu kimia organik, kita tahu polimer disintesis dengan menghubungkan masing-masing monomer. Pada penumbuhan kristal, atom, ion dan molekul akan berkumpul menjadi struktur kristal satu demi satu dimulai dari dasar permukaan

substrat.

Tantangan dalam Teknik nanopartikel meliputi integrasi struktur nano dan material nano dengan sistem makroskopik. Ukurannya yang kecil dan kompleksitas struktur skala nano membuat pengembangan teknologi pengukuran baru lebih menantang dari sebelumnya.

Teknik pengukuran perlu dikembangkan pada skala nanometer dan memerlukan inovasi baru dalam teknologi metrologi. Pengukuran sifat fisik material nano memerlukan instrumentasi yang sangat sensitif, sedangkan tingkat kesalahannya harus dijaga sangat rendah. Meskipun sifat material seperti konduktivitas listrik, konstanta dielektrik, kekuatan tarik, tidak tergantung pada dimensi dan berat material (Sani, 2019).

Tantangan lain yang muncul dalam skala nanometer, namun tidak ditemukan di tingkat makro, misalnya fluktuasi doping dalam semikonduktor. Fluktuasi doping acak menjadi sangat penting pada skala nanometer, karena fluktuasi konsentrasi doping tidak lagi dapat ditoleransi dalam skala nanometer. Fluktuasi distribusi dopan akan menghasilkan perbedaan yang signifikan antara perangkat dalam kisaran ukuran tersebut. Yang membuat persoalan ini kompleks adalah lokasi atom-atom dopan. Atom permukaan tentu akan berperilaku berbeda dari atom yang terpusat. Tantangannya adalah tidak hanya untuk mencapai distribusi atom dopan yang dapat direproduksi dan seragam dalam skala nanometer, tetapi juga untuk mengontrol secara tepat lokasi atom dopan. Untuk menghadapi tantangan seperti itu, kemampuan untuk memantau dan memanipulasi proses material di tingkat atom sangat penting (Martien *et al*, 2012).

Tantangan berikut harus diperhatikan pada pembuatan dan pemrosesan nanopartikel dan struktur nano yaitu :

1. Mengatasi energi permukaan yang sangat besar, akibat dari luas permukaan yang sangat besar atau rasio permukaan terhadap volume yang besar.
2. Memastikan distribusi ukuran yang seragam, morfologi, kristalinitas, komposisi kimia, dan struktur mikro, yang kesemuanya menghasilkan sifat fisik yang diinginkan.

3. Mencegah nanopartikel dan struktur nano dari penggumpalan/aglomerasi seiring waktu fabrikasinya.

Oleh karena itu maka pengembangan di bidang instrumentasi untuk mengendalikan, mengontrol, dan mengukur setiap tahapan pembuatan nanopartikel sampai tahap identifikasi sangat diperlukan perangkat yang mampu mendeteksi partikel dalam ukuran nano sehingga bisa dihasilkan nanopartikel yang baik.

D. ANALISIS NANOPARTIKEL

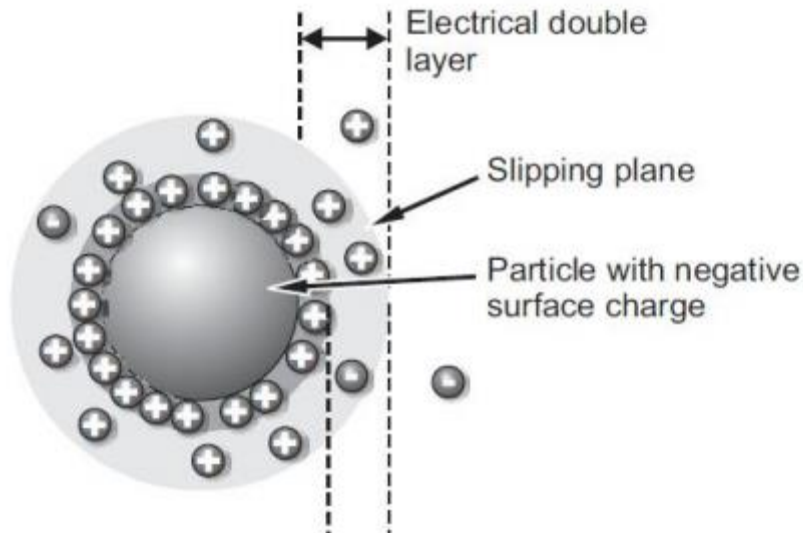
1. Potensial Zeta

Potensial Zeta dalam sistem koloid didefinisikan sebagai suatu potensial elektrokinetik yang berasal dari akumulasi muatan elektrik pada permukaan partikel ketika tersuspensi dalam medium polar yang menyebabkan pembentukan lapisan ganda elektrik akibat fenomena ionisasi, adsorpsi ion, atau dissolusi ion.

Potensial zeta digunakan untuk memprediksi dan mengontrol stabilitas koloid. Kestabilan sistem koloid dijelaskan oleh Derjaguin, Landau, Verwey, dan Overbeek pada tahun 1940 yang dikenal dengan teori DLVO. Teori ini menyebutkan bahwa stabilitas koloid dari partikel-partikel dalam suspensi bergantung pada gaya tolak-menolak (gaya lapisan rangkap elektrik) untuk melawan gaya tarik-menarik (*gaya Van der Waals*) yang dapat menyebabkan agregasi ireversibel (Sani, 2019).

Besarnya potensial zeta mengindikasikan stabilitas potensial sistem koloid. Apabila semua partikel dalam suspensi memiliki potensial zeta lebih positif dari +30 mV atau lebih negatif dari -30 mV, maka secara normal dinyatakan stabil, karena setiap partikel akan saling tolak menolak satu sama lain sehingga tidak terjadi kecenderungan untuk beragregasi.

Analisis potensial zeta merupakan salah satu teknik untuk menentukan muatan permukaan nanopartikel dalam larutan atau pada fase koloid. Nanopartikel memiliki muatan permukaan yang menarik lapisan tipis dari ion yang muatannya berlawanan ke permukaan nanopartikel. Lapisan ganda (*double layer*) ion mengelilingi nanopartikel sama seperti terdifusi ke dalam larutan (Gambar 4.1.).



Gambar 4.1. Lapisan ganda listrik di sekitar nanopartikel

Potensial listrik pada daerah batas dari *double layer* dikenal dengan potensial zeta dari partikel yang memiliki nilai dengan rentangan tertentu berkisar dari +100Mv sampai dengan -100Mv. Besarnya nilai potensial zeta dapat memprediksi stabilitas koloid. Nanopartikel dengan nilai potensial zeta yang lebih besar dari +25 Mv atau lebih kecil dari -25mV memiliki derajat stabilitas yang tinggi.

Lapisan ganda elektrik terdiri atas dua bagian yaitu *compact layer* pada region dalam dan *diffuse layer* pada region luar yang mengelilingi *compact layer*. *Compact layer* (*Stern layer* atau *fixed layer*) yaitu suatu lapisan kation yang menempel kuat pada permukaan anion dan tidak dapat bergerak (*immobile*) secara normal karena kekuatan gaya elektrostatis, sedangkan *diffuse layer* merupakan suatu lapisan dengan kation yang kurang kuat menempel pada permukaan anion sehingga dapat bergerak atau berpindah-pindah dan bergabung dengan anion disekitarnya. Dalam *diffuse layer*, ion-ion yang terpisah dari kation-kation *compact layer* disebut *shear plane* atau *slipping plane*. Potensial pada *shear plane* diketahui sebagai potensial zeta (Fahmi, 2019).

Potensial zeta tidak terukur secara langsung tetapi dapat dihitung dengan menggunakan model teoritis dan eksperimen melalui mobilitas elektroforesis atau mobilitas elektroforesis

dinamis. Fenomena elektrokinetik dan fenomena elektroakustik merupakan sumber data yang selalu digunakan untuk menghitung potensial zeta.

Elektroforesis digunakan untuk memperkirakan potensial zeta partikulat, sedangkan streaming potensial digunakan untuk materi berpori dan permukaan datar. Dalam prakteknya potensial zeta dari disperse diukur dengan menggunakan medan listrik di seluruh dispersi. Partikel dalam dispersi dengan potensial zeta akan bermigrasi ke arah elektroda yang muatannya berlawanan dengan kecepatan yang sebanding dengan besarnya potensial zeta. Kecepatan ini diukur dengan menggunakan teknik Laser Doppler Anemometer. Pergeseran frekuensi atau fase pergeseran dari sinar laser yang disebabkan oleh pergerakan partikel diukur sebagai mobilitas partikel, dan mobilitas ini diubah menjadi potensial zeta dengan memasukkan viskositas dispersant dan permitivitas dielektrikum, dan penerapan teori Smaluchowski.

Kecepatan elektroforesis sebanding dengan mobilitas elektroforesis yang merupakan parameter yang terukur. Dari sudut pandang instrument, ada dua teknik eksperimental yang berbeda yakni mikroelektroforesis dan elektroforesis hamburan cahaya. Mikroelektroforesis memiliki keuntungan karena menghasilkan gambar partikel bergerak. Di sisi lain ini rumit untuk elektroosmosis pada dinding sel sampel. Elektroforesis hamburan cahaya berdasarkan pada hamburan cahaya dinamis. Hal ini memungkinkan pengukuran dalam sel terbuka yang meniadakan aliran elektro osmotik untuk kasus Uzgris, tetapi tidak untuk sel kapiler dan hal tersebut dapat digunakan untuk mengkarakterisasi partikel yang sangat kecil, namun tidak dapat menampilkan gambar dari partikel bergerak. Kedua teknik pengukuran tersebut memerlukan pengenceran sampel yang kadang-kadang dapat mempengaruhi sifat-sifat sampel dan perubahan potensial zeta. Untuk mengatasi efek pengenceran tersebut, pengukuran dilakukan pada kesetimbangan supernatan. Pada keadaan keseimbangan, antar muka antara permukaan partikel dan cairan akan dipertahankan sehingga potensial zeta akan sama untuk semua fraksi volume partikel pada suspensi.

Ada dua efek elektroakustik yang banyak digunakan untuk karakterisasi potensial zeta

yaitu aliran vibrasi koloid (*colloid vibration current*) dan amplitude sonic elektrik (*electric sonic amplitude*). Terdapat instrument yang tersedia secara komersial yang mengeksploitasi kedua efek tersebut untuk mengukur mobilitas elektroforesis dinamis yang bergantung pada potensial zeta. Teknik elektrokaustik memiliki keuntungan untuk dapat melakukan pengukuran pada sampel utuh tanpa pengenceran. Perhitungan potensial zeta dari mobilitas elektroforesis dinamis membutuhkan informasi tentang kepadatan untuk partikel dan cairan.

Metode yang paling banyak digunakan untuk menghitung potensial zeta dari data eksperimental adalah yang dikembangkan oleh Marian Smoluchowski pada tahun 1903. Teori ini awalnya dikembangkan untuk elektroforesis namun sekarang untuk elektroakustik juga bisa. Teori Smoluchowski cukup kuat karena valid untuk partikel terdispersi untuk semua bentuk dan konsentrasi. Teori ini juga memiliki keterbatasan (Fahmi, 2019) antara lain:

1. Analisis teoritis rinci membuktikan bahwa teori Smoluchowski ini hanya berlaku untuk lapisan ganda yang sangat tipis, ketika panjang Debye, $1/\kappa$ jauh lebih kecil dari jari-jari partikel α .

$$\kappa \cdot \alpha \gg 1$$

model lapisan tipis ganda menawarkan penyederhanaan yang luar biasa tidak hanya untuk teori elektroforesis tapi bagi banyak teori elektrokinetik dan elektrokaustik lainnya. Model ini berlaku untuk sebagian besar model sistem berair karena panjang debye biasanya hanya beberapa nanometer dalam air. Model *break* hanya untuk nanokoloid dalam larutan dengan kekuatan ion mendekati air murni.

2. Teori Smoluchowski mengabaikan kontribusi konduktivitas permukaan. Hal ini diungkapkan dalam teori modern sebagai kondisi Dukhin nomor kecil:

$$Du \ll 1$$

2. X-Ray Diffraction (XRD)

Salah satu teknik yang digunakan untuk menentukan struktur suatu padatan kristalin adalah metode difraksi sinar-X serbuk (X ray powder diffraction). Sampel berupa serbuk padatan kristalin yang memiliki ukuran kecil dengan diameter butiran kristalnya sekitar 10^{-7} – 10^{-4} m ditempatkan pada suatu plat kaca. Sinar-X diperoleh dari elektron yang keluar dari filamen panas dalam keadaan vakum pada tegangan tinggi, dengan kecepatan tinggi menumbuk permukaan logam. Sinar-X tersebut menembak sampel padatan kristalin, kemudian mendifraksikan sinar ke segala arah dengan memenuhi Hukum Bragg Rahmi *et al*, 2013).

Detektor bergerak dengan kecepatan sudut yang konstan untuk mendeteksi berkas sinar-X yang didifraksikan oleh sampel. Sampel serbuk atau padatan kristalin memiliki bidang-bidang kisi yang tersusun secara acak dengan berbagai kemungkinan orientasi, begitu pula partikel kristal yang terdapat di dalamnya. Setiap kumpulan bidang kisi tersebut memiliki beberapa sudut orientasi tertentu, sehingga difraksi sinar-X memenuhi Hukum Bragg Sani, 2019) :

$$n \lambda = 2 d \sin \theta$$

dengan; n : orde difraksi (1,2,3,...), λ adalah panjang sinar-X, d adalah jarak antara dua bidang kisi, dan θ adalah sudut difraksi.

Bentuk keluaran dari difraktometer dapat berupa data analog atau digital. Rekaman data analog berupa grafik garis-garis yang terekam per menit sinkron, dengan detektor dalam sudut 2θ per menit, sehingga sumbu-x setara dengan sudut 2θ . Sedangkan rekaman digital menginformasikan intensitas sinar-X terhadap jumlah intensitas cahaya per detik.

Pola difraktogram yang dihasilkan berupa deretan puncak-puncak difraksi dengan intensitas relatif bervariasi sepanjang nilai 2θ tertentu. Besarnya intensitas relatif dari deretan puncak-puncak tersebut bergantung pada jumlah atom atau ion yang ada, dan distribusinya di dalam sel satuan material tersebut. Pola difraksi setiap padatan kristalin sangat khas, yang bergantung pada kisi kristal, unit parameter dan panjang gelombang sinar X yang digunakan. Dengan demikian, sangat kecil kemungkinan dihasilkan pola difraksi yang sama untuk suatu padatan kristalin yang berbeda

(Sani, 2019).

3. *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Morfologi suatu material dapat diobservasi dengan Teknik mikroskopi. Mikroskopi adalah Teknik yang digunakan untuk melihat sebuah benda yang tidak dapat diamati dengan mata telanjang (Kwon *et al*, 2019).

Perbedaan utama antara mikroskop optik dengan mikroskop elektron adalah jenis gelombang yang digunakan untuk mengamati benda. Mikroskop optik menggunakan cahaya, sedangkan mikroskop elektron menggunakan elektron. Mikroskop elektron dikembangkan karena memiliki perbesaran yang jauh lebih besar daripada mikroskop optik. Oleh karena itu, mikroskop elektron dapat digunakan untuk mengamati morfologi benda dalam skala nano meter (Sani, 2019).

Resolusi peralatan mikroskop bergantung pada panjang gelombang yang digunakan. Resolusi adalah jarak minimum antara dua titik yang masih dapat dilihat dan dibedakan sebagai dua titik. Mikroskop elektron menggunakan elektron dengan panjang gelombang sesuai teori de Broglie, yaitu :

$$\lambda_e = h/p$$

$$\lambda_e = h/m_e.v$$

Panjang gelombang elektron bergantung pada tegangan sumber elektron yang digunakan. Beda tegangan elektron berkaitan dengan energi kinetik elektron. Jika digunakan pertimbangan non-relativistik, energi kinetik elektron dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$EK = e.V$$

$$EK = p^2/2m_e$$

$$EK = (h/ \lambda_e)/2m_e$$

dengan demikian, panjang gelombang elektron adalah :

$$\lambda_e = h/\sqrt{2m_eV}$$

Teknik mikroskopi dengan berkas elektron harus menggunakan lensa magnetik untuk memfokuskan berkas elektron. Lensa magnetik dibuat dengan kumparan berbentuk bulat (solenoida) yang dialiri arus listrik sehingga medan magnet dapat digunakan untuk membelokkan berkas elektron. Berkas elektron yang melewati medan magnet akan dibelokkan secara konsentrik (sepusat) sehingga solenoida tersebut berfungsi sebagai sebuah lensa bagi electron (Sani, 2019).

Peralatan SEM memiliki beberapa lensa magnetik yang digunakan untuk mengarahkan berkas elektron menuju sampel. Lensa kondenser digunakan untuk mengurangi diameter *crossover* dari berkas elektron. Adapun lensa objektif digunakan untuk memfokuskan berkas elektron sebagai peraba (*probe*) dengan diameter dalam skala nanometer (Kwon *et al*, 2019).

Pemindaian (*scanning*) untuk perabaan dilakukan dengan sistem pembelokan berkas elektron yang digabungkan dengan lensa objektif. Sistem pembelokan tersebut dikontrol menggunakan dua pasang kumparan elektromagnetik yang disebut kumparan pemindai (*scan coils*). Sistem pembelokan tersebut meraba permukaan sampel dalam garis lurus kemudian memindahkan posisi perabaan pada proses pemindaian berikutnya sehingga semua permukaan sampel dapat dipindai. Sinyal elektron yang diemisikan dari sampel akan dikumpulkan oleh detektor, diperkuat, dan digunakan untuk merekonstruksi bayangan permukaan sampel. Rekonstruksi bayangan tersebut dilakukan berdasarkan korelasi posisi pemindaian dengan posisi pada layar komputer.

Deteksi sinyal pada SEM dilakukan dengan mendeteksi elektron sekunder dan elektron terhambur balik. Jika berkas elektron dengan energi tinggi menumbuk sebuah sampel, maka akan dihasilkan hamburan elastik dan hamburan tidak elastik. Hamburan elastik menghasilkan elektron terhambur balik yakni elektron datang yang dihamburkan oleh atom sampel. Sementara itu, hamburan tidak elastik menghasilkan elektron sekunder. Pada umumnya elektron terhambur balik dihamburkan oleh sampel dengan sudut yang besar dan hanya sedikit energi yang hilang. Elektron sekunder dihamburkan dengan sudut yang kecil dan memiliki energi yang lebih kecil daripada energi elektron datang (Sani, 2019).

Selama terjadinya hamburan tidak elastik, elektron datang akan mentrasfer energi kinetik pada elektron dalam sampel. Elektron dalam atom sampel yang memiliki energi kinetik yang cukup besar akibat menyerap energi tumbukan tersebut akan keluar dari sampel dan menjadi elektron sekunder. Sinyal dari deteksi elektron sekunder digunakan untuk keperluan tofografi, sedangkan elektron terhambur balik digunakan untuk mengetahui komposisi unsur-unsur pada sampel.

E. APLIKASI NANOPARTIKEL

Perkembangan nanoteknologi digolongkan menjadi tiga bagian yakni (i) nanoteknologi bertahap, (ii) nanoteknologi evolusioner, (iii) nanoteknologi radikal. Nanoteknologi bertahap adalah aplikasi nanoteknologi yang bersifat jangka pendek. Berbagai penemuan terjadi sangat cepat dalam jangka waktu yang tidak terlalu lama, dengan demikian masih dalam tahap penelitian. Nanoteknologi evolusioner adalah aplikasi nanoteknologi yang belum terwujud dalam jangka pendek. Dengan demikian, saat ini masih dalam tahap penelitian. Sedangkan nanoteknologi radikal adalah berbagai kemungkinan aplikasi yang di masa depan juga tampak tidak memungkinkan (Fahmi, 2019).

1. Bidang Pertanian dan Pangan (Maryam *et al*, 2018)

1. Pembibitan/benih tanaman

- Penggunaan carbon nanotube untuk mempercepat perkecambahan dan pertumbuhan bibit tanaman,
- Penggunaan nano TiO₂ (titanium oxide) untuk meningkatkan laju fotosintesis dan indeks vigor,
- Penggunaan teknologi nanoenkapsulasi untuk memproduksi benih pintar (smart seeds) yang dapat beradaptasi dengan lingkungan ekstrem,
- Rekayasa genetik untuk memperoleh bibit tanaman unggul.

2. Pembibitan Hewan

- Penggunaan nanofluidics untuk mempermudah proses fertilisasi melalui proses seleksi sperma dan telur,
- Rekayasa genetik untuk memperoleh bibit hewan unggul.

3. Industri Pupuk

- Penggunaan teknologi nanoenkapsulasi untuk mengendalikan pelepasan hara pupuk sehingga meningkatkan efisiensi,

- Penggunaan carbon nanotube untuk mempercepat pertumbuhan tanaman.
4. Industri pestisida, herbisida, dan fungisida
- Pengembangan pestisida, herbisida, dan fungisida dalam bentuk emulsi nano dan kapsul nano untuk meningkatkan kelarutan, stabilitas, dan efektivitas.
5. Alat dan Mesin Pertanian
- Pengembangan sensor nano untuk :
 - deteksi mutu benih,
 - memantau kondisi tanah dan pertumbuhan tanaman,
 - memantau mutu hasil panen,
 - deteksi kontaminan dan masa kedaluwarsa produk pertanian.
 - Pengembangan alat dan mesin pertanian berbahan material maju berbasis nano untuk meningkatkan umur dan kemudahan pemakaian,
 - Pengembangan dye-sensitized nanosolar cells pada alat dan mesin pertanian untuk meningkatkan efisiensi penggunaan energi.
6. Pakan
- Penggunaan partikel besi nano untuk meningkatkan laju pertumbuhan ternak,
 - Penggunaan teknologi nanoenkapsulasi untuk meningkatkan efisiensi penghantaran nutrisi pakan,
 - Penggunaan partikel nano untuk regenerasi sel ternak dan mengikat patogen-patogen berbahaya bagi manusia.
7. Obat Hewan
- Pengembangan sistem penghantar obat hewan berbasis nano (nano-drug delivery systems) untuk meningkatkan solubilitas, stabilitas, dan efektivitas bahan aktif obat hewan,
 - Penggunaan selenium nano untuk membasmi virus pada ternak.
8. Pangan
- Pengembangan biopreservatif nano untuk mempertahankan mutu produk pangan,

- Pengembangan produk emulsi nano dan kapsul nano untuk meningkatkan kelarutan, stabilitas, penyerapan dan aktivitas biologis zat gizi (fortifikan) dan senyawa aktif,
- Penggunaan partikel nano pada produk pangan untuk menghambat penyerapan lemak dan gula,
- Nano strukturisasi pangan untuk memperpanjang rasa kenyang,
- Imobilisasi perisa, enzim, atau pewarna alami dalam partikel nano untuk meningkatkan cita rasa, sifat fungsional, dan penampilan pangan.

9. Obat Herbal

- Pengembangan sistem penghantar obat herbal berbasis nano (nano-drug delivery systems) untuk meningkatkan kelarutan, stabilitas, penyerapan, dan aktivitas farmakologi bahan aktif.

10. Kemasan Pangan

- Penggunaan nanopartikel sebagai filler untuk memperbaiki sifat mekanis dan permeabilitas kemasan pangan,
- Penggunaan nanokapsul antimikroba pada kemasan pangan untuk mempertahankan mutu,
- Penggunaan sensor nano untuk deteksi kontaminan dan masa kedaluwarsa pangan.

2. Bidang Farmasi

1. Nano Sensor

Salah satu kegunaannya mengobati penyakit kanker. Caranya, obat kanker dimasukkan ke dalam nano robot kecil, lalu ditusukkan ke jari si penderita, dengan remote control, robot bisa diarahkan untuk mencari sendiri sel-sel kanker yang menyebar di dalam tubuh. Begitu sampai di tempat sel-sel kanker tersebut, robot akan melepaskan bom, kemudian sel kanker akan mati dan hancur. Sel itu akan ke luar melalui pembuangan kotoran manusia bersama Nano Robot. Selain kanker, beragam penyakit juga bisa disembuhkan. Selain energi, ada juga nano air yang mampu

mengubah air limbah atau air laut menjadi air tawar yang bersih, Nano Device dan lain-lain (Esfandiarpour-Boroujeni *et al*, 2017).

2. Nano Partikel sebagai Penghantar Obat

Kelebihan dari nanopartikel adalah kemampuan dalam menembus ruang-ruang antarsel yang hanya ditembus oleh ukuran partikel koloida pembentukan nanopartikel dapat dicapai dengan berbagai teknik, pada sediaan farmasi nanopartikel dapat berupa system obat dalam matriks seperti nanosfer dan nanokapsul, nanopolisom, nanoemulsi, dan sebagai sistem yang dikombinasikan dalam perancah (*scaffold*) dan penghantaran transdermal (Martien, *et al*, 2012).

3. Nanopartikel Berbasis Biopolimer

Polimer merupakan molekul rantai dengan molekul gabungan monomer yang berulang. Keberulangan monomer ini membuat polimer memiliki sifat kimiawi khas yang kuat. Sifat kimiawi dari satu buah monomer utamanya gugus fungsi spesifik yang berperan pada berbagai keperluan interaksi kimiawi, tersedia dalam jumlah yang banyak dan membuka peluang untuk dimanfaatkan pada banyak keperluan yang membutuhkan interaksi kimiawi spesifik dalam jumlah yang melimpah, misalnya sebagai fase diam dalam pemisahan pada kromatografi, serta dalam pengembangan sediaan farmasi sebagai eksipien dalam formulasi dan sebagai matriks (Yopianto *et al*, 2016).

Polimer yang cukup populer digunakan dalam sistem nanopartikel adalah Kitosan. Kitosan memiliki beberapa sifat khas yaitu kemampuan membuka kaitan antarsel (*tight junction*) pada membran usus sehingga sangat potensial untuk dikembangkan sebagai bahan pembuatan nanopartikel untuk aplikasi per oral. Biokompatibilitas kitosan dikarenakan kitosan merupakan polimer yang diperoleh dari hidrolisis polimer kitin yang berasal sumber alam yang sudah menjadi konsumsi umum pada cangkang hewan laut, sehingga cenderung tidak menimbulkan ketoksikan pada dosis terapi, selain dari sifatnya yang sekaligus biodegradable (Sorasitthyanukara *et al*, 2019).

4. Nanoliposom dan Nanoemulsi

Efektivitas nanoliposom dalam penghantaran obat salah satunya ditunjukkan pada formulasi nanoliposom *ticarcillin* sebagai obat antibiotika, yang diproduksi dengan menggunakan metode tekanan (ekstrusi). Nanoliposom dapat dimanfaatkan sebagai perlindungan terhadap obat dari degradasi biologis sebelum sampai pada tempat yang diharapkan (Sriwidodo *et al*, 2019).

Secara konseptual, nanoemulsi berbeda dengan nanoliposom meskipun sama-sama memiliki kelebihan pada keberadaan fase hidrofob. Fase hidrofob ini yang berpengaruh cukup signifikan pada kemampuan penetrasi formula menembus membran biologis yang berkarakter lipid-bilayer. Peningkatan efek obat pada dosis yang sama sebagai hasil positif juga dapat diperoleh dari formulasi nanoemulsi. Pengembangan terkini sistem nanoemulsi untuk aplikasi oral melalui saluran gastrointestinal adalah teknologi auto-emulsifikasi (*Self-nanoemulsifying drug delivery systems/SNEDDs*). Konsep dari teknologi ini adalah formulasi antara minyak, surfaktan, dan kosurfaktan yang mengandung obat. Sistem ini selanjutnya akan masuk ke saluran cerna dan bercampur dengan cairan usus yang mengandung air. Ketika formula bercampur dengan cairan usus, maka akan terjadi emulsifikasi spontan yang menghasilkan globul berukuran nanometer (Sari dan Herdiana, 2018).

Ilustrasi konsep sistem penghantaran obat auto-nanoemulsifikasi (*self-nanoemulsifying drug delivery system / SNEDDS*). Sediaan diberikan dalam kombinasi obat, minyak, surfaktan, dan kosurfaktan, kemudian akan mengalami proses emulsifikasi spontan di dalam cairan cerna saat mengalami pencampuran dengan cairan usus. Nanoemulsi selanjutnya mengalami proses absorpsi.

Nanoemulsi telah diterapkan dalam berbagai industri farmasi, diantaranya untuk sistem penghantar transdermal, bahan atau unsur yang potensial dalam beberapa produk perawatan tubuh, dan pembawa yang baik pada obat sehingga dapat meningkatkan bioavailabilitas obat dalam tubuh (Adi *et al.*, 2019).

Berdasarkan uraian diatas, maka penerapan nanoemulsi memiliki keuntungan-keuntungan (Sari dan Herdiana, 2018) yaitu :

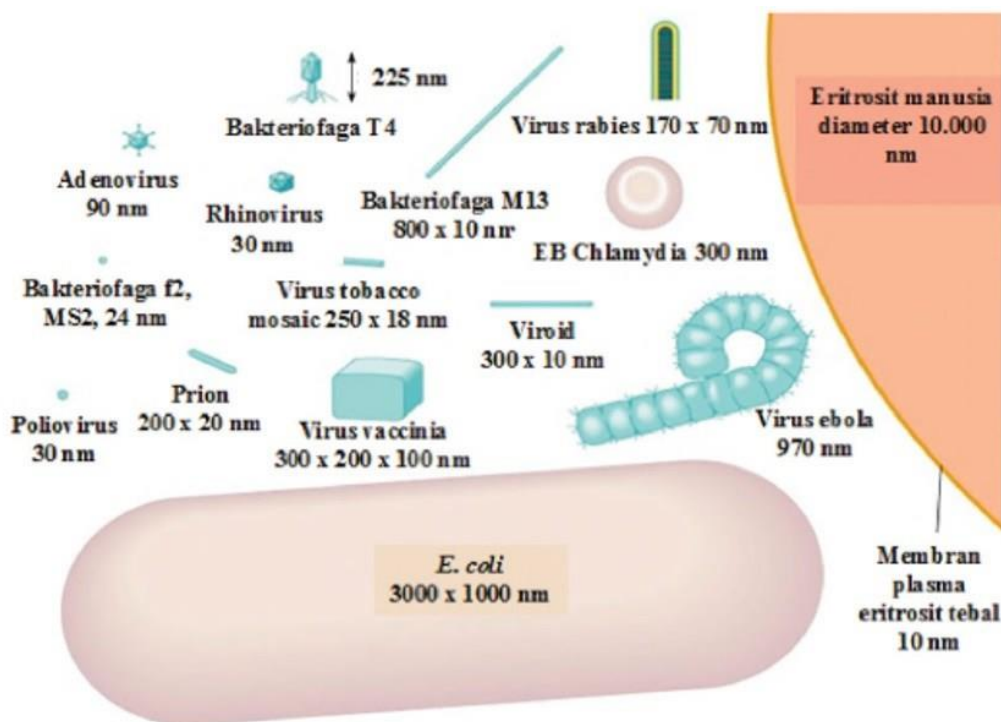
- Ukuran tetesan sangat kecil menyebabkan penurunan pada gaya gravitasi dan gerak brown yang mungkin cukup untuk mengatasi gravitasi. Hal ini berarti tidak terjadi creaming selama penyimpanan.
- Ukuran tetesan yang kecil mencegah terjadinya flokulasi dan memungkinkan sistem untuk tetap tersebar tanpa adanya pemisahan, serta dapat mencegah koalesens.
- Nanoemulsi cocok untuk penghantaran bahan aktif. Luas permukaan yang besar dari sistem emulsi memungkinkan penetrasi yang cepat dari bahan aktif.
- Ukuran nanoemulsi yang kecil memudahkan penyebarannya dan penetrasi mungkin dapat ditingkatkan karena tegangan permukaan dan tegangan antarmuka yang rendah
- Penggunaan nanoemulsi sebagai sistem penghantaran obat dapat meningkatkan efektivitas obat, sehingga dosis total dapat dikurangi dan dengan demikian meminimalkan efek samping.

5. Nanopartikel sebagai sistem penghantar tertarget

Pengembangan penghantaran obat tertarget berfungsi untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi obat yang diaplikasikan, sekaligus keamanan penggunaan obat karena mencegah obat untuk bereaksi pada tempat yang tidak diharapkan. Penghantaran obat jenis ini secara umum dipahami sebagai hubungan ligan dengan ligan, ligan dengan protein, atau protein dengan protein, karena kesesuaian interaksi spesifik dapat diketahui dari fenomena kimiawi tersebut. Pemanfaatan protein sebagai konjugat sistem nanopartikel adalah memanfaatkan kekhasan dari polimer protein. Polimer ini tidak terbentuk atas monomer yang terus berulang seperti halnya pada polimer secara umum. Asam amino penyusun suatu protein dapat membentuk kombinasi urutan yang tak terbatas, membentuk sifat yang sangat spesifik dari tiap protein, sehingga dapat mengadakan suatu interaksi yang sangat spesifik pula. Oleh karena itu, protein banyak digunakan sebagai konjugat dalam sistem penghantaran obat. Polimer lain seperti derivat gula juga cukup banyak dipresentasikan karena gula merupakan komponen membran seluler yang dapat juga secara spesifik terdapat pada sel tertentu (Sauraj *et al*, 2018).

3. Sebagai Anti Virus

Sekitar 15 juta manusia di dunia meninggal dunia karena terinfeksi virus, barteri dan fungi. Penyebab paling utama kematian tersebut adalah virus HIV (*human immunodeficiency virus*) atau lebih dikenal sebagai HIV/AIDS. Penularan virus terjadi sangat cepat karena ukurannya yang sangat kecil, diameter : 20-300 nm. Sehingga dapat dengan mudah masuk ke tubuh manusia, menyebar dalam tubuh selanjutnya akan menginfeksi.



Gambar 5.1. Skematik ukuran virus, bakteri dan sel darah merah

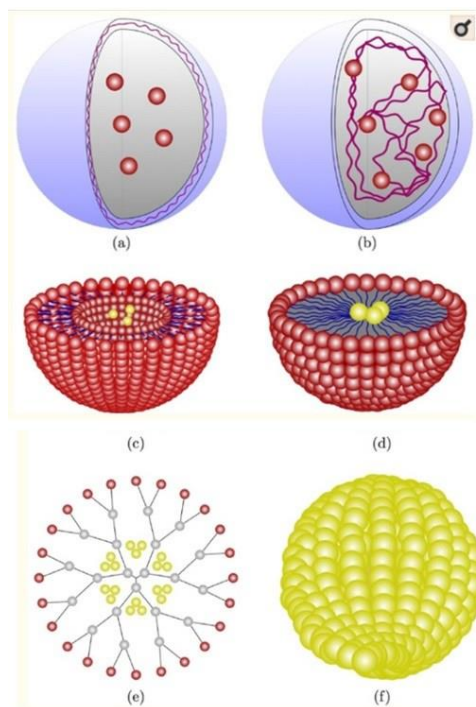
Ukuran virus yang kecil ini memberikan masalah tersendiri pada dunia farmasi. Untuk mengatasi persebaran virus dalam tubuh, diperlukan ukuran obat yang memiliki ukuran sama dengan virus. sehingga dapat bekerja secara spesifik terhadap virus yang diinginkan. Proses pengobatan dapat berjalan dengan efektif dan efisien pada pasien. Obat berukuran nano menjadi rujukan yang sangat mungkin untuk diaplikasikan. Karena ukuran obat yang mendekati ukuran virus Liu *et al*, 2019).

Perkembangan nanosains dan nanoteknologi di abad 20 ini berkembang dengan pesat, baik dalam bidang industri, material, hingga kesehatan. Penggunaan partikel nano di bidang kesehatan, utamanya di bidang farmasi didasarkan pada keunikan-keunikan yang dimiliki partikel tersebut. Ukuran partikel yang kecil dapat dengan mudah mengantarkan obat menuju titik tertentu dalam tubuh manusia dan volume obat yang terbawa dapat lebih besar, sehingga obat dapat bekerja secara optimum.

Berbagai jenis partikel nano telah diciptakan untuk keperluan medis, seperti nano kapsul, nanosphere, liposom, misel, dendrimer, dan nano partikel emas. Partikel nano kapsul berbentuk bola berongga layaknya bola sepak dengan ukuran 50-300 nm. Rongga di tengah kapsul diisi oleh obat yang akan digunakan untuk menyerang virus. Nano kapsul memiliki densitas yang rendah serta dapat memuat obat dalam jumlah banyak. *Nanospheres* merupakan partikel nano dengan system matriks dengan diameter 100-200 nm. Pemanfaatan dari partikel ini yaitu sebagai terapi pada penderita virus hepatitis B, HIV, dan influenza. Selanjutnya adalah partikel liposom yang berbentuk bola pada rentang diameter 20-30 nm. Liposom terdiri dari 2 lapis fosfolipid, sebagai membrane sel tiruan dan membrane yang langsung berinteraksi dengan target (Sriwidodo *et al*, 2019).

Misel adalah salah satu jenis nano partikel dengan ukuran 10-100 nm. Struktur pada misel menyerupai struktur pada detergen, yaitu memiliki sisi hidrofilik dan hidrofobik. Polimer ini sering digunakan sebagai penghantar obat dengan sisi hidrofilik di bagian luar. Oleh karena itu dapat larut baik dalam air. Sedangkan sisi hidrofobik berada di sisi dalam polimer yang berfungsi sebagai pengikat obat. Dendrimer merupakan makromolekul yang simetris dan memiliki struktur cabang yang rumit. Sehingga dapat berinteraksi dengan target dan terkontrol oleh terminal grup yang sudah tersistem. Fungsi dendrimer dapat ditingkatkan dengan cara enkapsulasi dendrimer oleh beberapa materi kimia. Partikel nano terakhir yang sering digunakan adalah partikel nano emas. Partikel ini berupa partikel anorganik dengan berbagai ukuran diameter (1-2 nm, 1.5-5 nm, atau 10-150 nm) yang disesuaikan dengan kebutuhan. Keuntungan dari partikel ini yaitu

kandungan senyawa emas yang bersifat inert dan tidak beracun. Sehingga aman untuk digunakan dalam bidang kesehatan.



Gambar 5.2. Nanopartikel sebagai penghantar obat antivirus, (a) nanokapsul, (b) nanosphere, (c) liposom, (d) misel, (e) dendrimer, (f) nano partikel emas

Terapi menggunakan nano partikel sebagai antivirus sudah banyak dikembangkan oleh berbagai industri farmasi. Untuk terapi terhadap virus HIV, dapat ditinjau dari siklus hidup virus tersebut. Terapi yang dilakukan menggunakan campuran 3 atau lebih obat antiretroviral (ARV), atau yang lebih dikela sebagai terapi HAART (*highly active ARV therapy*). Cara lain yang dapat dilakukan adalah pembuatan vaksin terhadap virus HIV.

Virus lain yang sering dijumpai adalah influenza. Virus ini menyerang organ pernafasan. Pergantian antigen dan mutase pada genome influenza menyebabkan virus tersebut memiliki berbagai variasi. Hal ini menyebabkan sulitnya memperoleh obat yang tepat terhadap penderita influenza. Salah satu metode yang digunakan yaitu penggunaan partikel nanotrap. Partikel ini peka terhdap perubahan suhu yang dapat merekam siklus hidup virus dalam tubuh. Selanjutnya digunakan liposom sebagai nano partikel untuk menghantarkan obat. Sehingga persebaran virus influenza dalam tubuh dapat dihentikan (Cary *et al*, 2019).

4. Nano di Alam dan Nanomagnetik

1. Nanomagnetik, pada otak binatang mengandung sensor nanomagnetik yang khusus. Inilah yang menyebabkan mereka mampu merasakan medan magnet.
2. Kupu-kupu, warna dari sayap kupu-kupu dihasilkan dari hamburan cahaya. Pada sayap kupu-kupu disusun oleh materi berstruktur nano. Cahaya sayapnya menciptakan inferensi cahaya (seperti minyak didalam air), karenanya dihasilkan pelangi ketika cahaya mengenai sayap kupu-kupu.
3. Kunang-kunang, cahaya yang dihasilkan oleh kunang-kunang termasuk nanosains yang disebut dengan bioluminescence. Cahaya yang dihasilkan disebabkan oleh adanya elektron yang dihasilkan oleh enzim dari kunang-kunang, ketika elektron menuju stabil mereka menghasilkan cahaya.
4. Serangga air, diselimuti oleh banyak sekali rambut berukuran sangat kecil berukuran nano. Udara terjebak di celah-celah rambut kecilnya. Sehingga mencegah kakinya agar tidak basah.
5. Laba-laba, Laba-laba menggunakan struktur dengan ukuran nano. Di bawah rambutnya yang tebal, pada kaki laba-laba, adalah serat dengan ukuran nano. Setiap seratnya tertutup banyak rambut. Ketika rambut-rambut ini menempel pada sebuah permukaan, dapat menahan 170 kali berat badannya.

5. Beberapa Fokus Pengembangan Nanopartikel

1. Untuk pembuatan nanopartikel yang ditargetkan untuk penuplai bahan baku produk nano untuk aplikasi di bidang TI, transportasi, elektronik, dll
2. Untuk nano-bioteknologi yang ditargetkan untuk peningkatan hasil pangan dan pertanian
3. Bidang farmasi dan kesehatan yang ditargetkan untuk peningkatan kualitas obat Indonesia
4. Untuk pemenuhan dan konservasi energi nasional.

5. Terobosan dalam bidang ini adalah penggunaan material cerdas yang diimplantasi dalam tubuh manusia untuk kepentingan pendeteksian penyakit yaitu terobosan dalam perkembangan nanopartikel.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdassah, M. 2010. Nanopartikel Dengan Gelasi Ionik. *Farmaka*. 15(1) : 45-52
- Adi, A.C., Setiawaty, N., Anindya, A.L., Rachmawati, H. 2019. Formulasi dan Karakterisasi Sediaan Nanoemulsi Vitamin A. *Media Gizi Indonesia*. 14(1):1-13
- Batra, H., Pawar, S., and Bahl, D. 2019. Curcumin In Combination With Anti-Cancer Drugs: A Nanomedicine Review. *Pharmacological Research* 139:91-105.
- Cary, J., Pierson, F.W., and Whittington, A.R. 2019. Simple and Customizable Gelatin Nanoparticle Encapsulation System for Biomedical Applications. *J Nanomater Mol Nanotechnol*. 8(3):1-7.
- Esfandiarpour-Boroujeni, S., Bagheri-Khoulenjani, S., Mirzadeh, H., and Amanpour, S. 2017. Fabrication and Study of Curcumin Loaded Nanoparticles Based on Folate-Chitosan for Breas Cancer Therapy Application. *J. Carbohydrate Polymers*. 168(2017):14-21.
- Fahmi, M. Z. 2019. *Nano Teknologi Dalam Perspektif Kesehatan*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Kurniasari, D. dan Atun, S. 2017. Pembuatan dan Karakterisasi Nanopartikel Ekstrak Etanol Temu Kunci (*Boesenbergia pandurata*) Pada Berbagai Variasi Komposisi Kitosan. *J. Sains Dasar*. 6(1):31-35.
- Kwon, Y-E, Kim, J-K, Kim, Y-j, Kim, J-G, and Kim, Y-J. 2019. Development of SEM and STEM-in-SEM Grid Holders for EDS Analysis and Their Applications to Apatite Phases. *Journal of Analytical Science and Technology*. 2019:1-8.
- Liu, Q., Jing, Y., Han, C., Zhang, H., and Tian, Y. 2019. Encapsulation of Curcumin in Zein/Caseinate/Sodium Alginate Nanoparticles with Improved Physicochemical and Controlled Release Properties. *Food Hydrocolloids*. 93(2):432-442.
- Martien, R., Adhyatmika, Irianto, I.D.K., Farida, V., dan Sari, D.P. 2012. Perkembangan Teknologi Nanopartikel Sebagai Sistem Penghantaran Obat. *Majalah Farmaseutik*, 8(1):133-144.
- Maryam, Kasim, A., Novelina, dan Emriadi. 2018. Review : Teknologi Preparasi Pati Nanopartikel dan Aplikasinya Dalam Pengembangan Komposit Bioplastik. *Majalah Ilmiah Teknologi Industri (SAINTI)*, 15(1) : 36-56
- Rahmi, D., Yunilawatidan, R., dan Ratnawati, E. 2013. Pengaruh Nanopartikel Terhadap Aktifitas Antiageing Pada Krim. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. 14(3) : 235-238
- Sani, R.A. 2019. *Karakterisasi Material*. Jakarta: PT Bumi Aksara.
- Sari, A.I. dan Herdiana, Y. 2018. Review: Formulasi Nanoemulsi Terhadap Peningkatan Kualitas Obat. *Farmaka*. 6(1):247-254
- Sauraj, S., Kumar, U., Kuma, V., Priyadarshi, R., Gopinath, P., and Negi, Y.S. 2018. pH-Responsive Prodrug Nanoparticles Based on Xylan-Curcumin Conjugate for The Efficient

Delivery of Curcumin in Cancer Therapy. *J. Carbohydrate Polymers*. 188(2018):252-259.

Sorasitthyanukarn, F.N., Bhuket, P.R.N., Muangnoi, C. Rojsitthisak, P., and Rojsitthisak, P. 2019. Chitosan/Alginate Nanoparticles as a Promising Carrier of Novel Curcumin Diethyl Diglutarate. *International Journal of Biological Macromolecules*. 131(3):1125-1136.

Sriwidodo, Subroto, T., Maksum, I.P., dan Subarnas, A. 2019. *Riset dan Pengembangan Sediaan Obat Nanopartikel Penyembuhan Ulkus Diabetikum Yang Mengandung hEGF Hasil Teknologi Protein Rekombinan Menggunakan E. Coli BL21 Secara Ekstraseluler*. Yogyakarta: Penerbit Deepublish.

Tarhan, T., Tural, B., and Tural, S. 2019. Synthesis and Characterization of New Branched Magnetic Nanocomposite for Loading and Release of Topotecan Anticancer Drug. *Journal of Analytical Science and Technology*. 2019:1-13.

Yopianto, D., Sipangkar, M.J., Budiyanto, R., dan Siahaan, P. 2016. Studi Interaksi Antara Segmen Dimer Kitosan Dengan Peptida Ac-CA-NH₂ dan Ac-TP-NH₂ Secara Komputasi Ab-Initio. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 19(3):118-125.