

**MODUL**  
**MATA KULIAH NANOTEKNOLOGI**

**KODE MATA KULIAH: IBL 311**

**JUMLAH SKS: 3 SKS**

**SEMESTER V**



**DOSEN PENYUSUN**  
**Dr. Titta Novianti, M.Biomed**

**PROGRAM STUDI BIOTEKNOLOGI**  
**UNIVERSITAS ESA UNGGUL**

**Maret, 2022**

**PRAKATA**

Alhamdulillah segala puji syukur kehadirat Allah atas perkenanNya, sehingga modul ini dapat disusun dengan baik, Modul mata kuliah Nanoteknologi ini bermanfaat untuk para mahasiswa program studi Bioteknologi yang sedang mengambil mata kuliah ini di semester akhir. Modul ini disusun agar mahasiswa dapat memahami materi nanoteknologi secara keseluruhan. Modul disusun berdasarkan Rencana Pembelajaran Semester (RPS) yang telah disetujui oleh coordinator mata kuliah dan ketua Program studi. Modul disusun dalam 10 bab untuk 14 kali pertemuan yang diselingi dengan tugas mahasiswa dalam membahas artikel hasil penelitian terkini serta kunjungan ke pusat riset berbasis nanoteknologi, atau menghadiri seminar atau webinar tentang nanoteknologi.

Membahas mengenai nanoteknologi tidak ada habisnya, karena ilmu ini terus berkembang dengan hasil riset terbaru. Mengadopsi konsep nano di alam, maka berkembanglah berbagai produk nano yang sangat bermanfaat bagi manusia di bidang kesehatan, industri automotif, industri elektronik, pangan, serta pengendalian limbah lingkungan. Indonesia kaya akan alamnya yang masih banyak menyimpan misteri yang belum terungkap, banyak sumber daya alam yang belum dimanfaatkan secara maksimal, maka bukan hal yang tidak mungkin jika bangsa ini terus belajar dan berkarya, maka akan menjadi produsen di negaranya sendiri. Memanfaatkan kekayaan alam menjadi produk nano akan menjawab segala permasalahan di mukan bumi ini dan mensejahterakan manusia.

Semua modul ini bermanfaat untuk semua dan menjadi berkah bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

## DAFTAR ISI

	Hal
Prakata	i
Daftar Isi	ii
Rencana Pembelajaran Studi (RPS)	iii
Bab 1 Pendahuluan	1
Bab 2 Nanopartikel di alam	13
Bab 3 Berbagai bentuk nanopartikel buatan dan manfaatnya	20
Bab 4 Proses Sintesis nanopartikel bagian	35
Bab 5 Karakterisasi nanopartikel	50
Bab 6 Kemajuan nanopartikel di bidang kesehatan	65
Bab 7 Kemajuan nanopartikel di bidang industri	80
Bab 8 Kemajuan nanopartikel di bidang pertanian	103
Bab 9 Kemajuan nanopartikel dalam menangani masalah lingkungan	117
Bab 10 Masa depan nanoteknologi	126
DAFTAR PUSTAKA	131

## Rencana Pembelajaran Semester (RPS)

 <p style="text-align: center;">Universitas <b>Esa Unggul</b></p>	<b>UNIVERSITAS ESA UNGGUL</b> <b>FAKULTAS ILMU-ILMU KESEHATAN</b> <b>PRODI BIOTEKNOLOGI</b>					<b>Kode Dokum en</b>
<b>RENCANA PEMBELAJARAN SEMESTER</b>						
<b>MATA KULIAH (MK)</b>	<b>KODE</b>	<b>Rumpun MK</b> Aplikasi Bioteknologi	<b>BOBOT (sks)</b> <b>3</b>		<b>SEMESTER</b>	<b>Tgl Penyusun an</b>
Nanoteknologi	IBL 311	Bioteknologi Kedokteran	T=2	P=0	6	5 Maret 2022
<b>OTORISASI</b>		<b>Pengembang RPS</b>	<b>Koordinator RMK</b>		<b>Ketua PRODI</b>	
		Dr. Titta Novianti, M.Biomed	Dr. Titta Novianti, M.Biomed		Dr. Titta Novianti, M.Biomed	
<b>Capaian Pembel ajaran (CP)</b>	<b>CPL-PRODI yang dibebankan pada MK</b>					
KU2			Mampu mengambil keputusan yang tepat berdasarkan analisis informasi dan data, serta mampu mendapatkan solusi terhadap permasalahan secara mandiri maupun kelompok dengan menguasai teknologi berbasis computer (KU2)			
KK3			Mampu mengelola Sumber Daya Hayati dengan mengaplikasikan keilmuan bioteknologi (rekayasa genetic, nanoteknologi, stem cell, bioinformatika, kultur jaringan, teknologi DNA dan protein, bioproses) (KK3)			
P1						

	Menguasai konsep teoritis ilmu dasar di bidang bioteknologi, serta cabang keilmuan Bioteknologi secara mendalam dan mampu memformulasikannya dalam penyelesaian masalah P1
<b>Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK)</b>	
CPMK	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mahasiswa Mampu menjelaskan pengertian Nanoteknologi serta kemanfaatan dalam kehidupan</li> <li>2. Mampu menjelaskan sifat material nano yang berbeda dengan ukuran normal</li> <li>3. Mampu menjelaskan peran nanomaterial di bidang kesehatan. Lingkungan dan pangan</li> </ol>
CPL ® Sub-CPMK	
Sub CPMK 1	Mahasiswa mampu menjelaskan tentang pengertian nanopartikel dan sejarah nanoteknologi secara mendunia
Sub CPMK 2	Mahasiswa mampu menjelaskan perkembangan nanopartikel di Indonesia dan mengetahui prinsip-prinsip nanoteknologi
Sub CPMK 3	Mahasiswa mampu menjelaskan tentang pembuatan sintesis nanopartikel
Sub CPMK 4	Mahasiswa mampu menjelaskan tentang aplikasi nanoteknologi
Sub CPMK 5	Mahasiswa mampu menjelaskan tentang metode pembuatan sintesis nanopartikel
Sub CPMK 6	Mahasiswa mampu menjelaskan tentang uji yang digunakan untuk karakterisasi nanopartikel
Sub CPMK 7	Mahasiswa mampu menjelaskan tentang alat yang digunakan untuk sintesis dan karakterisasi nanopartikel
Sub CPMK 8	Mahasiswa mampu menjelaskan tentang nanoteknologi industri
Sub CPMK 9	Mahasiswa mampu menjelaskan tentang nanoteknologi pertanian
Sub CPMK 10	Mahasiswa mampu menjelaskan tentang nanopartikel lingkungan
Sub CPMK 11	Mahasiswa mampu menjelaskan tentang nanopartikel medis dan kedokteran
Sub CPMK 12	Mahasiswa mampu menjelaskan tentang ide pembuatan nanopartikel berupa <i>project</i>
Sub CPMK 13	Mahasiswa mampu menjelaskan tentang ide pembuatan nanopartikel berupa <i>project</i>
Sub CPMK 14	Mahasiswa mampu menjelaskan tentang pengetahuan sains nanopartikel dengan cara kunjungan ke tempat laboratorium di bidang nanosains
<b>Deskripsi Singkat MK</b>	Mata kuliah Nanoteknologi merupakan mata kuliah yang membahas material dalam ukuran nanometer, sifat, dan manfaatnya bagi kehidupan manusia di segala bidang
<b>Bahan Kajian / Materi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nanomaterial dan cara pembuatannya</li> <li>- Aplikasi nanomaterial</li> </ul>

<b>Pembelajaran</b>	- Masa depan nanoteknologi						
<b>Pustaka</b>	<b>Utama :</b>	Jeremy J Ramelan. BUKU NANOTEKNOLOGI TERAPAN. 2017. Penerbit Erlangga Jakarta					
	<b>Pendukung :</b>	Journal of Nanobiotechnology <a href="#">Fudhita Florida</a> . Buku Nanoteknologi di Bidang Kesehatan, UB Press Malang					
	<b>Dosen Pengampu</b>	Dr. Titta Novianti, M.Biomed					
<b>Mata Kuliah syarat</b>	Mata Kuliah Bioteknologi Dasar						
Mg Ke-	Sub-CPMK (Kemampuan akhir tiap tahapan belajar)	Penilaian		Bentuk Pembelajaran, Metode Pembelajaran, Penugasan Mahasiswa, [ Estimasi Waktu]		Materi Pembelajaran [ Pustaka ]	Bobot Penilaian (%)
		Indikator	Kriteria & Bentuk	Luring (offline)	Daring (online)		
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	Mahasiswa mampu menjelaskan tentang pengertian nanopartikel dan sejarah nanoteknologi secaramendunia	mampu menjelaskan tentang pengertian nanopartikel dan sejarah nanoteknologi	Diskusi dan Tanya jawab  Pre quiz dan post quiz		100' teori  2 X 120' tugas terstruktur	BAB 1 buku pustaka utama	5 %
2	Mahasiswa mampu menjelaskan perkembangan nanopartikel di Indonesia dan mengetahui prinsip-prinsip	mampu menjelaskan perkembangan nanopartikel di Indonesia dan mengetahui prinsip-prinsip nanoteknologi	Presentasi per grup		100' teori  2 X 120' tugas terstruktur	Bab 3 dan 4 buku Utama dan bab 2 buku tambahan	10%

	nanoteknologi						
3	Mahasiswa mampu menjelaskan tentang pembuatan sintesis nanopartikel	mampu menjelaskan tentang pembuatan sintesis nanopartikel	Telaah artikel dalam jurnal SGD		100' teori  2 X 120' tugas terstruktur	Bab 5 buku utama  Serta sumber : Abdillah, G. 2013. <i>Sintesis, Karakterisasi, dan Uji Stabilitas Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub></i> UIN Sunan Kalijaga. Yogyakarta	5%
4	Mahasiswa mampu menjelaskan tentang aplikasi nanoteknologi	mampu menjelaskan tentang aplikasi nanoteknologi	Menjelaskan gambar proses metabolisme (tunjuk acak mahasiswa)		100' teori  2 X 120' tugas terstruktur	Bab 6 buku utama	5%
5	Mahasiswa mampu menjelaskan tentang metode pembuatan sintesis nanopartikel	mampu menjelaskan tentang metode pembuatan sintesis nanopartikel	Presentasi kelompok berbagai kelainan metabolisme protein		100' teori  2 X 120' tugas terstruktur	Bab 6 buku utama	10%
6	Mahasiswa mampu menjelaskan tentang uji yang digunakan untuk karakterisasi nanopartikel	mampu menjelaskan dan menguraikan uji untuk karakterisasi nanopartikel	Case study kelainan pada metabolisme vitamin dan mineral		100' teori  2 X 120' tugas terstruktur	Bab 6 buku utama	10%
7	Mahasiswa mampu	mampu menjelaskan	Presentasi kelompok		100' teori	Naseri, M.G. et. al. 2013. <i>Fabrication,</i>	10%

	menjelaskan tentang alat yang digunakan untuk sintesis dan karakterisasi nanopartikel	dan mengidentifikasi alat untuk sintesis dan karakterisasi nanopartikel			2 X 120' tugas terstruktur	<i>Characterization, and Magnetic Properties of Cooper Ferrite Nanoparticles.</i> Journal of Magnetism and Magnetic Materials. Department of Physics. Universiti Putra Malaysia,	
<b>8</b>	UTS						
<b>9</b>	Mahasiswa mampu menjelaskan tentang nanoteknologi industri	mampu menjelaskan dan berbagai industri nanoteknologi	Telaha artkel journal		100' teori 2 X 120' tugas terstruktur	Phuruangrat, A, et al. 2016. <i>Synthesis of Cubic CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles by Microwave-Hydrothermal Method and Their Magnetic Properties.</i> Department of Materials Science and Technology, Thailand. 167 : 65 –68.	10%
<b>10</b>	Mahasiswa mampu menjelaskan tentang nanoteknologi	mampu menjelaskan nanoteknologi pertanian	Telaha artkel journal		100' teori 2 X 120' tugas terstruktur	Jones, Angela. Jeane Nye and Andrew Greebberg. <i>Nanotechnology in</i>	5

	pertanian					<i>Agriculture and Food Technology</i>	
<b>11</b>	Mahasiswa mampu menjelaskan tentang nanopartikel lingkungan	mampu menjelaskan nanopartikel lingkungan	Presentasi materi dan FGD		100' teori 2 X 120' tugas terstruktur	Widowati, R.L.2011. <i>Pengembangan Teknologi Nano dengan Memanfaatkan Bahan Batuan Alami dan Bahan Organik</i> . Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian	5
<b>12</b>	Mahasiswa mampu menjelaskan tentang nanopartikel medis dan kedokteran	mampu menjelaskan nanopartikel medis dan kedokteran	Case study		100' teori 2 X 120' tugas terstruktur		10
<b>13</b>	Mahasiswa mampu menjelaskan tentang ide pembuatan nanopartikel berupa <i>project</i>	mampu mengidentifikasi kasikan pembuatan nanopartikel berupa <i>project</i>	Presentasi		100' teori 2 X 120' tugas terstruktur	Bab 8 Buku utama	10
<b>14</b>	Mahasiswa mampu menjelaskan tentang pengetahuan sains	mampu menjelaskan nanopartikel dengan kunjungan ke tempat	Kunjungan ke lembaga penelitian nanosains		Kunjungan ke lapangan	Sumber keilmuan di lapangan	10

	nanopartikel	laboratoriu di bidang nanosains					
<b>15</b>	Mahasiswa mampu menjelaskan masa depan nanoteknologi bagi Indonesia dan dunia	mampu menjelaskan masa depan nanoteknologi bagi Indonesia dan dunia	PJBL Pembuatan poster		100' teori  2 X 120' tugas terstruktur	Buku Nanoteknologi Kesehatan	10
<b>16</b>	<b>Evaluasi Akhir Semester / Ujian Akhir Semester</b>						100

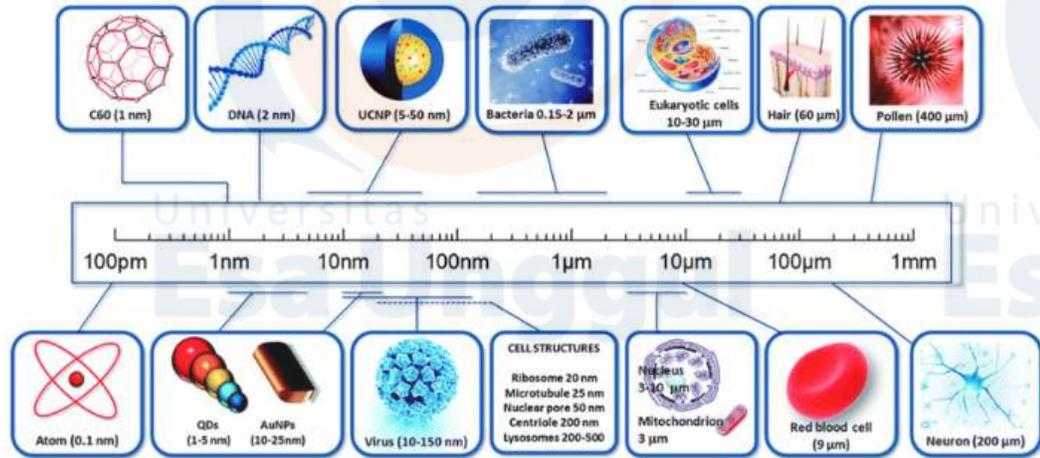
## BAB 1 PENDAHULUAN

### 1. Pengertian

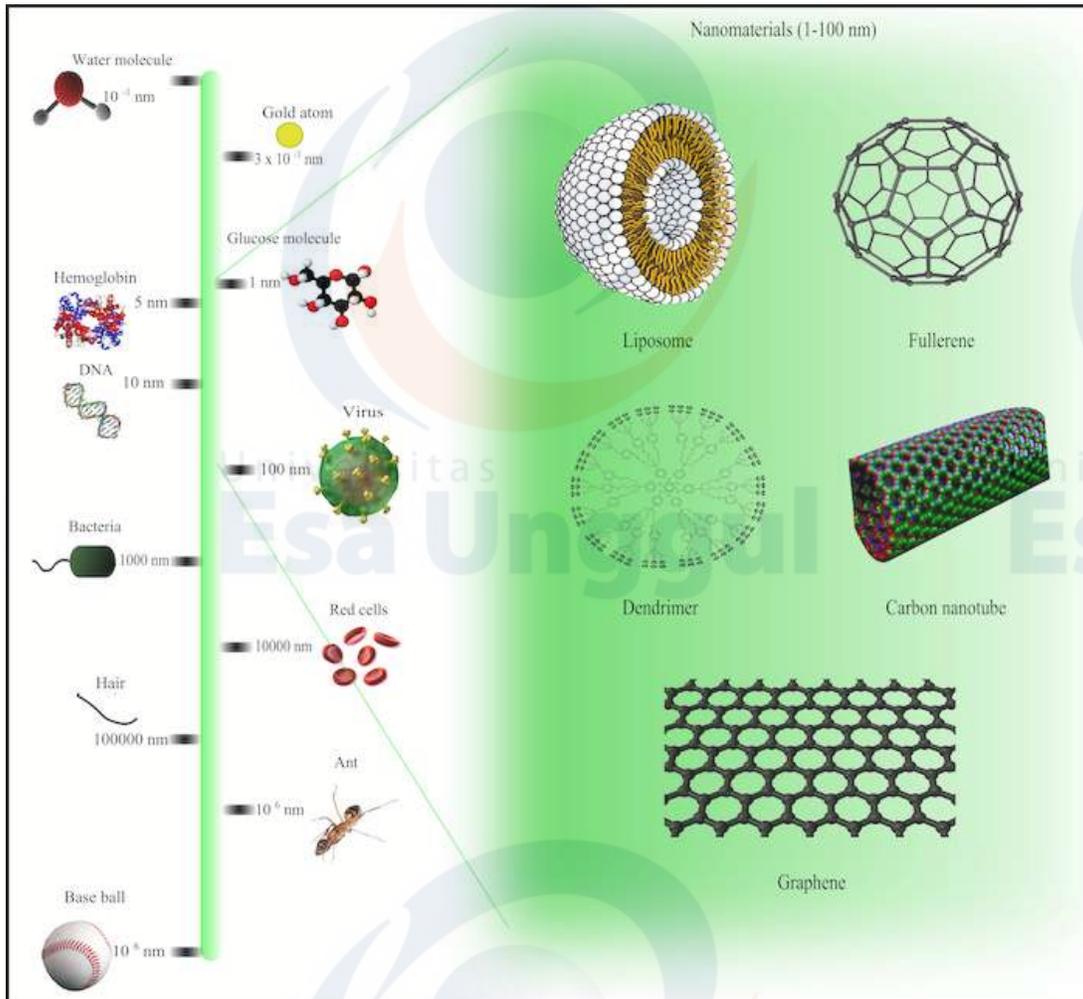
Nanoteknologi adalah bidang sains dan teknik pada fenomena yang terjadi dengan dimensi dan skala nanometer. Nanosains adalah studi tentang struktur dan molekul pada skala nanometer yang berkisar antara 1 dan 100 nm, dan teknologi yang menggunakannya dalam aplikasi praktis seperti perangkat dll disebut nanoteknologi. Arti kata 'nano' adalah benda yang sangat kecil. Dalam sistem satuan internasional, satu nanometer adalah seperseratus juta meter. Istilah nano dalam dekade terakhir penerapannya yang semakin meningkat pada berbagai bidang pengetahuan dan sekarang menjadi populer pada ilmu pengetahuan modern. Ukuran, panjang dari 1 hingga 100 nm, adalah indikator benda termasuk skala nanopartikel. Nanopartikel dapat berbentuk tiga dimensi.

Nanoteknologi adalah salah satu teknologi paling menjanjikan di abad ke-21. Ini adalah kemampuan untuk mengubah teori nanosains menjadi aplikasi yang berguna dengan mengamati, mengukur, memanipulasi, merakit, mengendalikan, dan membuat materi pada skala nanometer. National Nanotechnology Initiative (NNI) di Amerika mendefinisikan Nanoteknologi sebagai "suatu ilmu pengetahuan, teknik, dan teknologi yang dilakukan pada skala nano (1 hingga 100 nm), dengan fenomena unik memungkinkan penerapan baru dalam berbagai bidang, mulai dari kimia, fisika, dan lain-lain. dan biologi, hingga kedokteran, teknik, dan elektronik.

Skala nanometer melingkupi desain, karakterisasi, produksi dan penerapan material, struktur, perangkat, serta sistem. Meskipun di alam terdapat banyak contoh struktur yang berdimensi nanometer (skala nano), termasuk molekul penting dalam tubuh manusia dan komponen makanan, namun istilah dan perkembangan keilmuan ini baru berkembang pada seperempat abad terakhir kita. Para ilmuwan secara aktif dan sengaja memodifikasi molekul dan struktur skala makro menjadi ukuran nano. Banyak teknologi dan inovasi yang secara kebetulan melibatkan struktur berskala nano selama bertahun-tahun. Kontrol pada skala nanometer inilah yang membedakan nanoteknologi dari bidang teknologi lainnya.



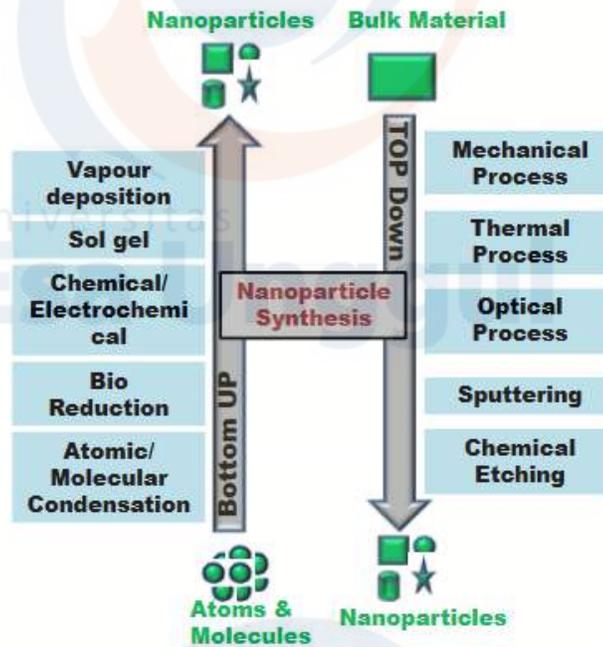
Gambar 1. Berbagai benda berukuran picometer, nanometer, mikrometer hingga milimeter



Gambar 2. Perbandingan benda ukuran nano dengan makro skala sentimeter

Berbagai bentuk benda pada skala nano mempunyai potensi yang berdampak positif dan sangat signifikan bermanfaat bagi masyarakat. Sebagai perbandingan, kita harus menyadari bahwa sehelai rambut manusia memiliki ketebalan 60.000 nm dan heliks ganda DNA memiliki radius 1 nm (Gambar 2). Secara umum dapat diasumsikan bahwa penerapan nanoteknologi akan sangat bermanfaat bagi individu dan masyarakat. Banyak dari aplikasi ini melibatkan material baru yang memberikan sifat yang sangat berbeda dengan sifat makronya, sehingga memiliki fungsi berbeda dengan benda pada skala makro. Hal tersebut merupakan fenomena baru yang berkaitan dengan rasio luas permukaan terhadap volume yang sangat besar sehingga menghasilkan sifat baru yang berbeda dengan ukuran benda makro. Pada ukuran nano terjadi efek kuantum yang tidak terlihat pada ukuran yang lebih besar. Hal ini terjadi juga pada bahan film sangat tipis yang digunakan dalam katalisis dan elektronik, tabung nano dua dimensi dan kawat nano untuk sistem optik dan magnetic.

Sektor industri yang paling siap menerima nanoteknologi adalah sektor informasi, komunikasi, elektronik, teknologi pangan, teknologi energy, dan produk medis. Dalam bidang kesehatan dikenal istilah *nanomedicine* dan *bionanotechnology*. Produk nanoteknologi juga dapat menawarkan tantangan baru untuk mengurangi pencemaran lingkungan. ..



Gambar 3. Proses pembuatan nanopartikel dari bottom-up dan kebalikannya dari up-bottom

Dua pendekatan proses untuk pembuatan skala nano, yaitu top-down dan bottom-up, yang berbeda dalam tingkat kualitas, kecepatan dan biaya. Pendekatan top-down pada dasarnya adalah penguraian material massal untuk mendapatkan partikel berukuran nano. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan teknik-teknik canggih yang telah dikembangkan dan dioptimalkan oleh industri selama beberapa dekade terakhir. Rekayasa teknologi ini mampu menghasilkan struktur nano yang sesuai dengan ukuran yang diinginkan.

Pendekatan bottom-up mengacu pada pembentukan struktur nano dari bawah: atom demi atom atau molekul demi molekul dengan metode fisika dan kimia dalam rentang skala nano (1 nm hingga 100 nm) menggunakan manipulasi terkendali perakitan sendiri atom dan molekul. Self-assembly adalah pendekatan bottom-up di mana atom atau molekul mengatur dirinya sendiri menjadi struktur nano yang teratur melalui interaksi kimia-fisika. Konsep umum top down dan bottom up serta berbagai metode yang diadopsi untuk mensintesis nanopartikel dengan menggunakan teknik ini dirangkum dalam Gambar 3.

## 2. Sejarah nanoteknologi

Awalan 'nano' mengacu pada awalan Yunani yang berarti 'kurcaci' atau sesuatu yang sangat kecil dan menggambarkan seperseribu juta meter ( $10^{-9}$  m). Perkembangan nanosains dapat ditelusuri ke zaman Yunani dan Democritus pada abad ke-5 SM, ketika para ilmuwan mempertimbangkan pertanyaan apakah materi itu kontinu, sehingga dapat dibagi menjadi bagian-bagian yang lebih kecil, atau terdiri dari partikel-partikel kecil yang tidak dapat dibagi dan tidak dapat dihancurkan yang sekarang para ilmuwan sebut sebagai atom.

Nanopartikel dan strukturnya telah digunakan oleh manusia pada abad keempat Masehi, oleh bangsa Romawi sebagai nanoteknologi di dunia kuno. Cangkir Lycurgus, dari koleksi British Museum, mewakili salah satu pencapaian paling menonjol dalam industri kaca kuno. Ini adalah contoh kaca dichroic tertua yang terkenal. Kaca dikroik menggambarkan dua jenis kaca berbeda, yang berubah warna dalam kondisi pencahayaan tertentu. Cangkir tersebut memiliki dua warna berbeda, tampak hijau jika terkena pantulan cahaya, dan merah ungu saat cahaya menyinari kaca dan terpantulkan ke gelas. .



Gambar 1. Gelas tampak hijau pada cahaya yang dipantulkan (A) dan merah-ungu pada cahaya yang ditransmisikan (B)

Fisikawan Amerika dan pemenang Hadiah Nobel Richard Feynman memperkenalkan konsep nanoteknologi pada tahun 1959. Pada pertemuan tahunan American Physical Society, Feynman menyampaikan ceramah bertajuk “Ada Banyak Ruang di Bawah” di California Institute of Technology (Caltech) Dalam kuliahnya Feynman membuat hipotesis “Mengapa kita tidak bisa menulis seluruh 24 volume Encyclopedia Britannica di atas peniti?”, dan menjelaskan visi penggunaan mesin untuk membuat mesin yang lebih kecil dan hingga ke tingkat molekuler. Ide baru ini menunjukkan bahwa hipotesis Feynman telah terbukti benar, dan karena alasan ini, ia dianggap sebagai bapak nanoteknologi modern.

Pada tahun 1986, K. Eric Drexler menerbitkan buku pertama tentang nanoteknologi “Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology” yang menyebabkan teori “rekayasa molekuler” menjadi lebih populer. Drexler menggambarkan mesin kompleks yang dapat memanipulasi molekul dan atom menghasilkan struktur nano. Kemudian, pada tahun 1991, Drexler, Peterson dan Pergamit menerbitkan buku lain berjudul “Unbounding the Future: the Nanotechnology Revolution” di mana mereka menggunakan istilah “nanobots” atau “assemblers” untuk proses nano dalam aplikasi kedokteran dan kemudian dikenal istilah “nanomedicine”.

Setelah lima belas tahun, Norio Taniguchi, seorang ilmuwan Jepang adalah orang pertama yang menggunakan dan mendefinisikan istilah “nanoteknologi” pada tahun 1974 sebagai: “nanoteknologi terutama terdiri dari proses pemisahan, konsolidasi, dan deformasi bahan oleh satu atom atau satu molekul”..

Pada tahun 1990, para ilmuwan menganalisis cawan tersebut menggunakan mikroskop elektron transmisi (TEM) untuk menjelaskan fenomena dichroism. Dichroism yang diamati (dua warna) disebabkan oleh adanya nanopartikel dengan diameter 50-100 nm. Analisis sinar-X menunjukkan bahwa nanopartikel ini merupakan paduan perak-emas (Ag-Au), dengan rasio Ag:Au sekitar 7:3, mengandung tambahan sekitar 10% tembaga (Cu) yang terdispersi dalam matriks kaca. Partikel nano Au menghasilkan warna merah akibat penyerapan cahaya (~520 nm). Warna merah-ungu disebabkan oleh serapan oleh partikel yang lebih besar, sedangkan warna hijau disebabkan oleh hamburan cahaya oleh dispersi koloid nanopartikel Ag dengan ukuran > 40 nm. Cangkir Lycurgus diakui sebagai salah satu bahan nano sintetis tertua.. Efek serupa terlihat pada

jendela gereja akhir abad pertengahan, memancarkan warna merah dan kuning karena perpaduan nanopartikel Au dan Ag ke dalam kaca. Gambar 4 menunjukkan contoh efek nanopartikel dengan ukuran berbeda terhadap jendela kaca patri..

Selama abad ke-9 hingga ke-17, glasir keramik “kilau” yang bersinar dan berkilauan digunakan di dunia Islam, dan kemudian di Eropa mengandung Ag atau tembaga (Cu) atau partikel nano lainnya. Orang Italia juga menggunakan nanopartikel dalam pembuatan tembikar Renaisans pada abad ke-16. Mereka dipengaruhi oleh teknik Ottoman: selama abad 13-18, untuk memproduksi bilah pedang “Damaskus”, kawat nano sementit dan tabung nano karbon digunakan untuk memberikan kekuatan, ketahanan, dan kemampuan untuk mempertahankan keunggulan. Warna dan sifat material ini sengaja diproduksi selama ratusan tahun. Namun, para seniman dan pemalsu abad pertengahan tidak mengetahui penyebab dari efek mengejutkan ini.

Pada tahun 1857, Michael Faraday mempelajari pembuatan dan sifat suspensi koloidal emas “Ruby”. Sifat optik dan elektroniknya yang unik menjadikannya salah satu nanopartikel paling menarik. Faraday mendemonstrasikan bagaimana nanopartikel emas menghasilkan larutan dengan warna berbeda di bawah kondisi pencahayaan tertentu.

### **3. Nanoteknologi Era Modern**

Terjadi kemajuan dalam nanoteknologi sejak awal gagasan Feynman hingga tahun 1981 ketika fisikawan Gerd Binnig dan Heinrich Rohrer menemukan mikroskop jenis baru di IBM Zurich Research Laboratory, Scanning Tunneling Microscope (STM). STM menggunakan ujung tajam yang bergerak sangat dekat dengan permukaan konduktif sehingga fungsi gelombang elektron atom di ujungnya tumpang tindih dengan fungsi gelombang atom permukaan. Ketika tegangan diterapkan, elektron “terowongan” melalui celah vakum dari atom ujung ke permukaan (atau sebaliknya). Pada tahun 1983, kelompok tersebut menerbitkan gambar STM pertama dari permukaan rekonstruksi Si(111)- $7 \times 7$ , yang saat ini dapat dicitrakan secara rutin seperti yang ditunjukkan pada

Beberapa tahun kemudian, pada tahun 1990, Don Eigler dari IBM di Almaden dan rekan-rekannya menggunakan STM untuk memanipulasi 35 atom xenon individu pada permukaan nikel dan membentuk huruf logo IBM. STM diciptakan untuk menggambarkan permukaan pada skala atom dan telah digunakan sebagai alat yang dapat memanipulasi

atom dan molekul untuk membuat struktur. Arus terowongan dapat digunakan untuk memutus atau menginduksi ikatan kimia secara selektif.

Pada tahun 1986, Binnig dan Rohrer menerima Hadiah Nobel Fisika “untuk desain STM mereka”. Penemuan ini mengarah pada pengembangan mikroskop gaya atom (AFM) dan mikroskop probe pemindaian (SPM), yang merupakan instrumen pilihan bagi para peneliti nanoteknologi saat ini. Beberapa tahun kemudian, pada tahun 1991, Iijima dkk meneliti rongga grafit berongga atau tabung nano karbon dengan Mikroskop Elektron Transmisi (TEM) yang membentuk anggota lain dari keluarga fullerene (Gambar 8) [27]. Kekuatan dan fleksibilitas tabung nano karbon menjadikannya berpotensi berguna dalam banyak aplikasi nanoteknologi.

Pada tahun 2004, kelas baru bahan nano karbon yang disebut titik karbon (C-dots) dengan ukuran di bawah 10 nm ditemukan secara tidak sengaja oleh Xu dkk. selama pemurnian tabung nano karbon berdinding tunggal. C-dot dengan sifat menarik secara bertahap menjadi bintang baru sebagai anggota nanokarbon baru karena sifatnya yang jinak, melimpah, dan murah [29]. Memiliki sifat unggul seperti toksisitas rendah dan biokompatibilitas yang baik membuat C-dots menjadi bahan yang disukai untuk aplikasi dalam bioimaging, biosensor dan penghantaran obat. Berdasarkan sifat optik dan elektroniknya yang sangat baik, C-dots juga dapat menawarkan peluang menarik untuk katalisis, konversi energi, perangkat fotovoltaik, dan nanoprobe untuk deteksi ion sensitive. Setelah penemuan “graphene” pada tahun 2004, material berbasis karbon menjadi tulang punggung hampir setiap bidang sains dan teknik.

Sementara itu, nanosains mengalami kemajuan di bidang ilmu lain seperti ilmu komputer, bio, dan teknik. Nanosains dan teknologi berkembang dalam ilmu komputer untuk memperkecil ukuran komputer normal dari ukuran ruangan menjadi laptop bergerak yang sangat efisien. Insinyur listrik berkembang dengan merancang rangkaian listrik yang kompleks hingga tingkat skala nano. Selain itu, banyak kemajuan terlihat dalam teknologi ponsel pintar dan perangkat elektronik modern lainnya untuk penggunaan sehari-hari.

Pada awal abad ke-21, terjadi peningkatan minat terhadap bidang nanosains dan nanoteknologi. Di Amerika Serikat, konsep manipulasi materi pada tingkat atom Feynman memainkan peran penting dalam membentuk prioritas sains nasional. Dalam pidatonya

di Caltech pada 21 Januari 2000, Presiden Bill Clinton menganjurkan pendanaan penelitian di bidang nanoteknologi. Tiga tahun kemudian, Presiden George W. Bush menandatangani undang-undang Penelitian dan Pengembangan Nanoteknologi abad ke-21. Undang-undang tersebut menjadikan penelitian nanoteknologi sebagai prioritas nasional dan menciptakan Inisiatif Teknologi Nasional (NNI).

## BAB 2 FENOMENA NANO PARTIKEL DI ALAM

### 1. Pendahuluan

Nanomaterial berlimpah dalam sistem kehidupan di alam dan ilmuwan nano sedang memeriksa sifat dan potensi penggunaan struktur nano alami ini dalam bidang penelitian yang disebut biomimikri. Jenis struktur nano apa yang ditemukan di alam? Mereka termasuk bahan anorganik seperti tanah liat, jelaga berkarbon, dan film tipis anorganik alami hingga berbagai struktur nano organik seperti protein dan kitin (cangkang serangga dan krustasea) hingga struktur organik seperti tulang rusuk sayap dan proyeksi epidermis. Struktur ini menyebabkan berbagai fenomena alam seperti basahnya permukaan daun, warna-warni sayap kupu-kupu, dan sifat perekat kaki tokek. Hanya dalam 20 tahun terakhir kita mulai memanfaatkan sifat unik bahan berskala nano, sementara alam telah menggunakan “teknologi” nano sejak awal untuk mencegah infeksi, menolak air, menciptakan warna, dan memanjat permukaan vertikal.

Kita tahu bahwa alam dapat menghasilkan banyak struktur berskala nano yang kompleks dan kini para peneliti menjelajahi alam untuk mempelajari rahasia berskala nano. Mereka menggunakan alam sebagai model untuk pembuatan struktur kompleks yang sama. Nanoteknologi dapat dan akan digunakan untuk menyempurnakan ratusan produk yang banyak di antaranya berinteraksi dengan kita dalam kehidupan sehari-hari. Seiring dengan berlanjutnya penelitian yang memanfaatkan alam ini, akan ada lebih banyak terobosan yang akan menghasilkan perangkat dan material baru yang akan berdampak pada banyak aspek masyarakat.

Struktur nano biasanya diasumsikan sebagai fenomena yang relatif baru, namun kenyataannya beberapa nanopartikel telah ada pada hewan dan mineral selama jutaan tahun. Kini setelah para ilmuwan memiliki alat untuk memeriksa sampel pada skala ini, mereka menemukan semakin banyak struktur fungsional yang terbentuk secara alami dan bergantung pada efek skala nano. Alam telah mengembangkan metode bottom-up yang kompleks untuk membuat bahan berstruktur nano yang memiliki sifat yang dapat dimanfaatkan dalam kehidupan manusia. Berikut adalah uraian sifat nano di alam beserta pengembangan teknologi atau alat yang diciptakan oleh para peneliti sehingga bermanfaat bagi kehidupan manusia.

Penemuan struktur nano alami telah membuka kemungkinan baru bagi para ilmuwan, yang dapat berupaya mereplikasinya di laboratorium. Mempelajari bagaimana struktur ini diproduksi secara alami akan memberikan gambaran yang lebih jelas tentang bagaimana material berperilaku pada skala nano, yang dapat membuka jalan bagi penerapan nanoteknologi yang lebih menarik.

## **2. Fenomena Daun teratai**

Fenomena menakjubkan yang biasa terlihat di alam adalah hidrofobisitas permukaan, seperti daun teratai. Pada tahun 2006, para peneliti di Universitas Michigan mempelajari teratai untuk memahami dengan tepat bagaimana hidrofobisitasnya terjadi. Mereka menemukan bahwa daun tanaman teratai dilapisi kristal lilin hidrofobik berukuran sekitar 1 nm. Saat air mengalir, kotoran di permukaan juga ikut hilang, sehingga menjadikan teratai sebagai tanaman yang “membersihkan diri”.

Daun teratai merupakan salah satu contoh permukaan yang karena kondisi fisik dan kimianya pada skala mikro dan nanometer, mampu menghasilkan efek pembersihan diri. Wilhelm Barthlott, seorang ahli botani Jerman, dianggap sebagai penemu Efek Teratai dan mengajukan patennya pada tahun 1994. Efek ini merupakan kombinasi susunan kimiawi pada permukaan dan proyeksi mikro dan nano pada permukaan. Tonjolan tersebut tingginya  $\sim 10 \mu\text{m}$  dengan setiap tonjolan ditutupi tonjolan bahan lilin hidrofobik yang tingginya kira-kira 100 nm.

Proyeksi polimer kitin dan lilin epikutikuler memungkinkan daun memerangkap udara. Tetesan air menempel di ujung proyeksi dan menghasilkan lapisan udara yang menciptakan permukaan super-hidrofobik. Para ilmuwan merekayasa perilaku ini dengan produk Lotusan® - cat yang dapat membersihkan sendiri. Cat ini meniru struktur mikro permukaan daun teratai setelah mengering dan diawetkan di lingkungan. Puncak dan lembah kecil di permukaan meminimalkan area kontak air dan kotoran sehingga menjaga permukaan dinding tetap bersih. Banyak produk kini tersedia yang meniru sifat hidrofobik ini termasuk pakaian, pelapis semprot, penyedot, perlengkapan kamar mandi, suku cadang otomotif, dan lain-lain.



Gambar 2. Efek nanomaterial pada permukaan daun teratai

### 3. Fenomena kantong semar

Dinding tanaman kantong semar sangat licin sehingga serangga meluncur ke bawah dan dicerna oleh sari tanaman kantong semar di bagian bawah bunga. Tepi tanaman benar-benar dapat dibasahi karena sifat kimia permukaan hidrofilik dan kekasaran permukaannya. Fitur-fitur ini mencegah bantalan perekat serangga bersentuhan dengan permukaan sehingga menyebabkan serangga tergelincir ke bawah tanaman. Bayangkan sebuah mobil meluncur di permukaan air di jalan basah atau Anda tergelincir di permukaan es. Para peneliti di Universitas Harvard telah menciptakan bahan omnifobia serupa yang dapat digunakan sebagai permukaan untuk penanganan cairan biomedis, transportasi bahan bakar, atau sebagai permukaan yang menolak es sehingga mengurangi kebutuhan energi dalam pendinginan. Permukaan berpori yang diresapi cairan licin (SLIPS) ini terbuat dari jaringan berpori nanofiber Teflon yang diresapi dengan cairan anti minyak dan air.



Gambar 3. Kantong semar yang memiliki permukaan nanomaterial pada bunganya sehingga dapat mengikat serangga

#### 4. Fenomena cangkang moluska

Salah satu struktur nano yang dikembangkan dengan konsep bottom-up yang kompleks untuk membuat bahan berstruktur nano yang memiliki kekuatan mekanik yang besar dan ketangguhan aragonit kerang. Salah satu bahan alam yang paling keras adalah nacre yang merupakan lapisan mutiara berwarna-warni yang dihasilkan oleh moluska. Moluska membuat nacre dengan mendepositkan kalsium karbonat amorf ( $\text{CaCO}_3$ ) ke lapisan polisakarida kitin yang berpori. Mineral tersebut kemudian mengkristal, menghasilkan tumpukan  $\text{CaCO}_3$  yang dipisahkan oleh lapisan bahan organik. Kekuatannya disebabkan oleh susunan molekul-molekul yang seperti batu bata (saling bertautan). Para peneliti di banyak universitas mensintesis nanokomposit biomimetik untuk menciptakan bahan yang kuat untuk digunakan antara lain dalam sistem lapis baja ringan, struktur dalam sistem transportasi, elektronik tahan lama, dan aplikasi luar angkasa.



Gambar 4. Struktur pada cangkang moluska yang sangat kuat

### 5. Fenomena pigmen pada sayap serangga dan moluska

Kita semua belajar bahwa pigmen menyebabkan warna yang kita lihat, namun alam mempunyai cara lain untuk menciptakan warna yang kita sebut warna struktural. Beberapa sayap serangga telah memesan struktur susunan heksagonal yang terbuat dari kitin. Variasi jarak (dari 200 hingga 1000 nm) morfo biru antara struktur ini memungkinkan sayap berfungsi sebagai lapisan antipantul dan membersihkan sendiri, memberikan kekuatan mekanik, meningkatkan aerodinamis, dan bertindak sebagai kisi difraksi yang menghasilkan warna-warni.

Permukaan sayap kupu-kupu memiliki pola berskala nano berlapis-lapis. Struktur ini menyebabkan pola interferensi optik, yang menyaring cahaya dengan memantulkan sebagian besar satu panjang gelombang. Artinya kita melihat satu warna cerah, seperti sayap biru mencolok kupu-kupu *Morpho Rhetanor* Brasil, tanpa pigmen

Warna-warni merupakan hasil interaksi cahaya dengan struktur fisik permukaan. Pada kupu-kupu *Morpho*, ruang di antara tulang rusuk sayap membentuk kristal fotonik alami sehingga menghasilkan warna biru cemerlang. Tidak ada pigmen yang terlibat! Para peneliti sedang mengeksplorasi struktur nano ini sebagai sarana untuk mengendalikan dan memanipulasi aliran cahaya – yang sangat penting dalam komunikasi optik. Selain itu para peneliti telah menemukan bahwa ketika mereka melapisi sayap *Morpho* dengan lapisan tabung nano karbon penyerap panas, pergeseran panjang gelombang cahaya yang dipantulkan dapat mengindikasikan perubahan suhu yang sangat kecil. Sensor-sensor ini suatu hari nanti dapat digunakan untuk mendeteksi area peradangan pada manusia atau titik gesekan pada mesin.



Gambar 5. Struktur nano pada sayap kupu-kupu sehingga mampu menghasilkan berbagai warna menarik

Beberapa spesies kumbang, seperti kumbang opal, memiliki kerangka luar yang terbuat dari kristal fotonik berukuran nano, sehingga punggung mereka berkilau berkilau. Kristal 3D ini dapat memantulkan cahaya dari sudut mana pun dan menghasilkan warna cerah dan cemerlang yang tampak metalik atau warna-warni. Fenomena ini pertama kali dipelajari oleh para peneliti di Universitas Utah pada tahun 2008.

## 6. Fenomena kaki tokek

Tokek Tokay telah lama menarik perhatian para peneliti karena kemampuannya menempel pada permukaan yang halus. Tokek Kaki tokek dapat menempel pada suatu permukaan dan juga terlepas dari suatu permukaan dengan mudah. Studi Keller Autumn tentang kaki menunjukkan bahwa kaki ditutupi dengan tonjolan mikro panjang yang disebut setae dan setiap setae ditutupi dengan ribuan pelindung sepanjang 200 nm. Kemampuan tokek untuk memanjat sepanjang dinding dan langit-langit disebabkan oleh kombinasi proyeksi nano yang sangat kecil yang menemukan ruang kecil di permukaan untuk menempel akibat gaya elektrostatis fisik seperti gaya van de Waal (gaya antarmolekul) di antara kaki. dan permukaan. Tidak ada lem yang terlibat! Studi tentang kaki tokek ini telah menghasilkan kemajuan dalam perekat yang dapat diaplikasikan dan digunakan kembali.



Gambar 6. Kaki tokek yang memiliki struktur bantalan nano sehingga mampu menempel di dinding

### 7. Fenomena mata ngengat

Mata ngengat mempunyai benjolan yang sangat kecil di permukaannya. Mereka memiliki bentuk heksagonal dan tinggi serta jarak beberapa ratus nanometer. Karena pola mata ngengat ini lebih kecil dari panjang gelombang cahaya tampak (350-800nm), permukaan mata memiliki reflektansi yang sangat rendah terhadap cahaya tampak sehingga mata ngengat dapat menyerap lebih banyak cahaya. Ngengat dapat melihat jauh lebih baik dibandingkan manusia dalam kondisi redup atau gelap karena struktur nano ini menyerap cahaya dengan sangat efisien. Di laboratorium, para ilmuwan telah menggunakan struktur nano serupa buatan manusia untuk meningkatkan penyerapan cahaya infra-merah (panas) dalam jenis sumber listrik (sel termo-voltaik) agar lebih efisien.



Gambar 7. Struktur nano pada mata ngengat dan serangga lainnya

## 8. Fenomena navigasi pada bakteri dan burung

Sekelompok bakteri, yang dikenal sebagai bakteri magnetotaktik, ditemukan menghasilkan rangkaian nanokristal magnetit untuk membantu mereka bernavigasi menggunakan medan magnet bumi. Bakteri ini dianggap sebagai salah satu bakteri tertua yang ada, sudah ada sekitar 2 miliar tahun.



Gambar 8.. Bakteri yang memiliki nanokristal magnetit

Banyak burung yang bermigrasi juga menggunakan struktur magnet untuk navigasi. Merpati pos memiliki struktur nano di paruhnya yang memperkuat medan magnet, sehingga memudahkan mereka merasakan medan magnet bumi yang lemah.



Gambar 9. Sistem navigasi pada pergerakan burung

Fenomena navigasi ini juga terjadi pada ganggang laut umum yang disebut diatom memiliki struktur nano silika di dinding selnya yang sangat membiaskan cahaya yang masuk, sehingga membantu mereka menggunakan energi matahari dengan lebih efisien.

Para peneliti berpendapat bahwa meniru struktur nano alami ini dapat berguna dalam mengembangkan teknologi baru, seperti alat penghantaran obat yang diaktifkan dengan cahaya.

Ngengat dapat melihat jauh lebih baik daripada manusia dalam kondisi redup atau gelap, karena struktur nano pada mata mereka, yang dapat menyerap cahaya dengan sangat efisien. Permukaan mata ngengat berpola pada skala sekitar 100nm, lebih kecil dari panjang gelombang cahaya tampak (350-800nm). Hal ini mengurangi pantulan permukaan, memungkinkan mata ngengat menyerap lebih banyak cahaya yang masuk.

### **9. Fenomena perlindungan radiasi sinar UV pada bunga edelweis**

Edelweiss adalah bunga alpine yang ditemukan di ketinggian sekitar 3.000 m (10.000 kaki), di mana radiasi UV kuat. Bunga terlindungi dari radiasi ini karena dilapisi dengan lapisan filamen tipis berongga. Filamen ini kemudian ditutupi struktur nano berukuran sekitar 100-200 nm, yang kira-kira sama dengan panjang gelombang radiasi UV. Struktur ini menyerap sinar UV, melindungi bagian dalam bunga dari kerusakan. Mereka juga memantulkan semua cahaya tampak, sehingga menimbulkan warna putih cerah pada bunga.

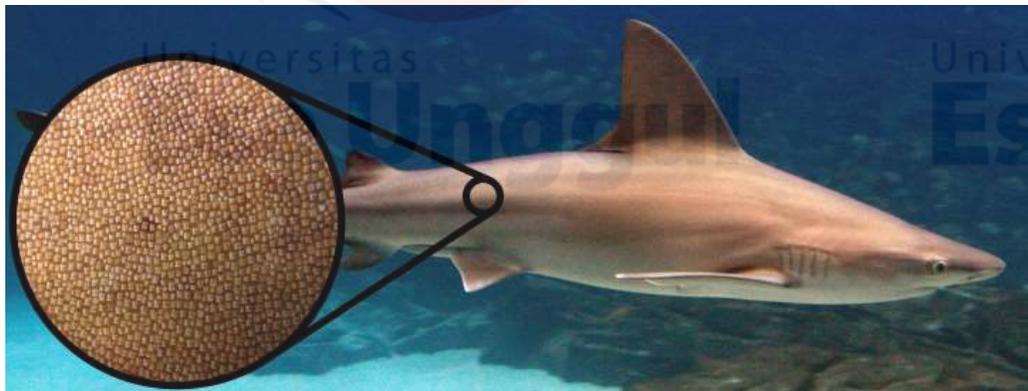


Gambar 10.. Bunga Edelweis mengandung lapisan pelindung berstruktur nano yang melindunginya dari radiasi UV yang terpapar di ketinggian.

## 10. Fenomena anti bakteri pada ikan hiu

Hiu telah berenang di lautan selama jutaan tahun tanpa adanya akumulasi alga dan bakteri yang bermasalah di permukaan kulitnya. Hal ini karena pola skala nano pada kulit hiu membelokkan akumulasi teritip, alga, dan bakteri. Alga dan bakteri cenderung menetap di permukaan dan akhirnya membentuk koloni dan biofilm. Lebih mudah untuk berkolonisasi pada permukaan yang halus, sedangkan pembuatan biofilm pada permukaan yang kasar membutuhkan terlalu banyak energi untuk melakukan kolonisasi dan membuat sinyal antar sel dalam koloni menjadi sulit.

Permukaan yang mencegah pertumbuhan bakteri, alga, dan organisme di bawah air dikenal sebagai anti-fouling. Permukaan ini penting untuk menjaga fungsi jaringan pipa, kapal, kapal selam, serta infrastruktur dan teknologi terendam lainnya. Hingga saat ini, teknik anti-fouling terutama melibatkan pelapisan permukaan dengan bahan kimia yang dapat menjadi racun bagi manusia dan lingkungan, selain target bakteri dan alga. Untuk menghindari masalah ini, para ilmuwan dan insinyur telah mulai mengintegrasikan pola skala nano anti-bakteri ini ke permukaan dengan lalu lintas tinggi. Sharklet Technologies Inc. telah menerapkan pola ini pada pagar dan pegangan pintu di bandara dan rumah sakit serta pada peralatan medis untuk mengurangi kolonisasi bakteri.



Gambar 11. Pola skala nano pada kulit hiu membantu mencegah pertumbuhan bakteri dan alga

## **BAB 3 BERBAGAI BENTUK NANOPARTIKEL BUATAN DAN MANFAATNYA**

### **1. Pendahuluan**

Bidang studi yang dikenal sebagai nanosains berkaitan dengan karakteristik materi pada skala nano, dengan fokus pada karakteristik material padat yang khusus dan bergantung pada ukuran. Bidang studi yang dikenal sebagai nanoteknologi meliputi sintesis, rekayasa, dan penerapan bahan nano. Karena penerapan bahan nano yang inovatif dan menarik untuk generasi industri berikutnya, nanoteknologi telah menarik banyak minat dari waktu ke waktu. Pertanian, biomedis, elektronik, energi, pengurangan polusi, teknik pangan, transportasi, telekomunikasi, kosmetik, pelapis, material, dan teknik mesin hanyalah beberapa industri yang menggunakan material nano.

### **2. Nanoteknologi di bidang Kesehatan**

Baru-baru ini, sejumlah penelitian menyoroti potensi besar nanoteknologi dalam biomedis untuk diagnosis dan terapi banyak penyakit manusia. Dalam hal ini, bio-nanoteknologi dianggap oleh banyak ahli sebagai salah satu bidang penerapan nanosains yang paling menarik. Selama beberapa dekade terakhir, penerapan nanoteknologi di banyak bidang yang berhubungan dengan biologi seperti diagnosis, pemberian obat, dan pencitraan molekuler sedang diteliti secara intensif dan menawarkan hasil yang sangat baik. Hebatnya, sejumlah besar produk medis yang mengandung bahan nano saat ini ada di pasaran di AS. Contoh “nanofarmasi” termasuk bahan nano untuk penghantaran obat dan pengobatan regeneratif, serta nanopartikel dengan aktivitas antibakteri atau struktur nano fungsional yang digunakan untuk deteksi biomarker seperti nanobiochip, nanoelektroda, atau nanobiosensor.

Salah satu aplikasi terpenting nanoteknologi pada biologi molekuler berkaitan dengan asam nukleat. Pada tahun 2006, Paul Rothemund mengembangkan “scaffolded DNA origami”, dengan meningkatkan kompleksitas dan ukuran struktur nano DNA yang dirakit sendiri dalam reaksi “one-pot”. Landasan konseptual untuk nanoteknologi DNA pertama kali dikemukakan oleh Nadrian Seeman pada tahun 1982: “Adalah mungkin

untuk menghasilkan rangkaian asam nukleat oligomer, yang akan berasosiasi secara istimewa untuk membentuk sambungan yang tidak bergerak secara migrasi, daripada dupleks linier, seperti yang biasanya terjadi". Nanoteknologi DNA telah menjadi bidang penelitian interdisipliner, dengan para peneliti dari bidang fisika, kimia, ilmu material, ilmu komputer, dan kedokteran berkumpul untuk menemukan solusi bagi tantangan masa depan dalam nanoteknologi. Khususnya, penelitian ekstensif selama bertahun-tahun memungkinkan penggunaan DNA dan biopolimer lainnya secara langsung dalam berbagai teknologi untuk aplikasi penginderaan dan diagnostik.

### **Nanoinformatika**

Nanoinformatika telah menyediakan platform tambahan utama untuk desain dan analisis nanopartikel untuk mengatasi hambatan *in vitro* tersebut. Nanoinformatika secara eksklusif berkaitan dengan pengumpulan, berbagi, gambaran, pemodelan, dan evaluasi data dan informasi tingkat skala nano yang signifikan. Nanoinformatika juga memfasilitasi kemoterapi dengan meningkatkan pemodelan nano sel tumor dan membantu deteksi tumor yang resistan terhadap obat dengan mudah. Pendekatan pemberian obat bertarget dan terapi gen berbasis hipertermia adalah teknik nanoinformatika terbaru yang terbukti mengobati kanker dengan efek samping paling sedikit.

Namun, penerapan pendekatan komputasi pada pengobatan nano masih terbelakang dan merupakan bidang penelitian yang mendesak. Kebutuhan akan aplikasi komputasi pada skala nano telah memunculkan bidang nanoinformatika. Algoritme pembelajaran mesin yang kuat dan analisis prediktif dapat sangat memfasilitasi desain nanocarrier yang lebih efisien. Algoritme tersebut memberikan pengetahuan prediktif pada data masa depan, dan terutama diterapkan untuk memprediksi serapan seluler, aktivitas, dan sitotoksitas nanopartikel. Penambangan data, analisis jaringan, hubungan struktur-properti kuantitatif (QSPR), hubungan struktur-aktivitas kuantitatif (QSAR), dan prediktor ADMET (penyerapan, distribusi, metabolisme, ekskresi, dan toksisitas) adalah beberapa evaluasi properti terkemuka lainnya yang sedang dilakukan. dalam nanoinformatika.

## **Nano-onkologi**

Oleh karena itu, nano-onkologi adalah aplikasi nanosains yang sangat menarik dan memungkinkan peningkatan tingkat respons tumor selain pengurangan signifikan toksisitas sistemik yang terkait dengan pengobatan kemoterapi saat ini. Nanoteknologi telah digunakan untuk memperbaiki lingkungan dan menghasilkan energi yang lebih efisien dan hemat biaya, seperti mengurangi polusi selama pembuatan bahan, memproduksi sel surya yang menghasilkan listrik dengan biaya kompetitif, membersihkan bahan kimia organik yang mencemari air tanah, dan membersihkan senyawa organik yang mudah menguap (VOC) dari udara.

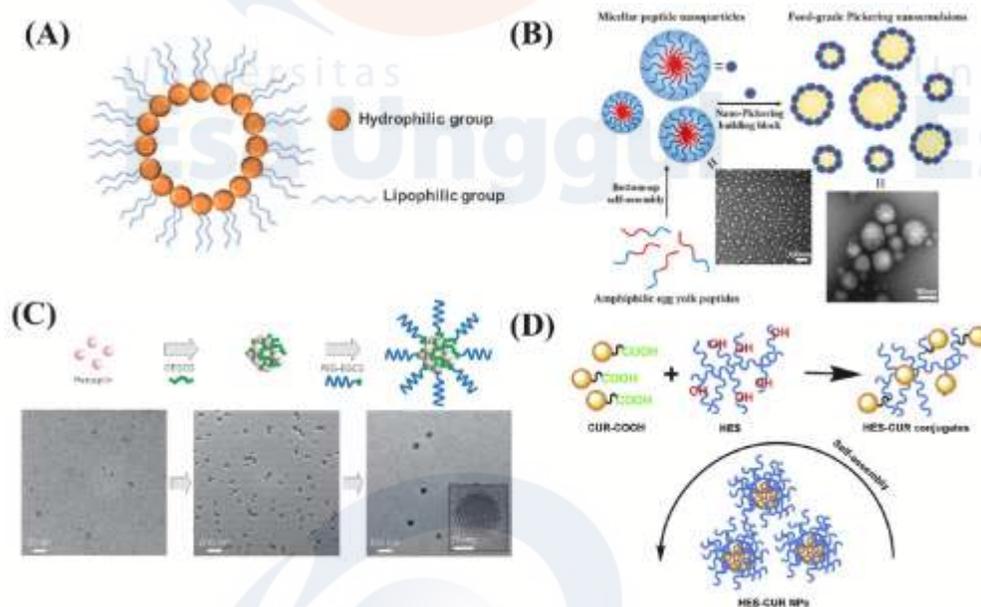
Kemajuan luar biasa juga telah dicapai di bidang nano-onkologi dengan meningkatkan kemanjuran obat kemoterapi tradisional untuk sejumlah besar kanker agresif pada manusia. Kemajuan ini dicapai dengan menargetkan lokasi tumor dengan beberapa molekul fungsional termasuk nanopartikel, antibodi, dan agen sitotoksik. Dalam konteks ini, banyak penelitian menunjukkan bahwa bahan nano dapat digunakan sendiri atau untuk menghasilkan molekul terapeutik untuk memodulasi proses biologis penting, seperti autophagy, metabolisme atau stres oksidatif, yang menghasilkan aktivitas antikanker.

## **Misel-nano**

Misel nano termasuk dalam sistem dispersi koloid; ukuran partikelnya lebih kecil dari liposom dan partikel—umumnya berukuran partikel 5 hingga 100 nm (Gambar 1A). Pada konsentrasi fase air yang rendah, molekul amfifilik tersebut ada sendiri, tetapi ketika konsentrasi mencapai atau lebih tinggi dari konsentrasi misel kritis (CMC), molekul amfifilik dalam fase air membentuk misel yang stabil melalui perakitan sendiri (self-assembly). Sistem pembawa obat inti hidrofobik misel polimer dan cangkang hidrofilik memiliki keunggulan obat tidak larut, peningkatan bioavailabilitas, target, dan pelepasan berkelanjutan. Misel yang paling umum adalah misel kasein dalam susu.

Fungsi biologisnya adalah meneruskan mineral (kalsium, magnesium, dan fosfor) dari induk ke larva. Selain itu, digunakan untuk membawa asam amino dan nutrisi lainnya untuk pertumbuhan dan perkembangan. Misel nano-kasein telah terbukti berperan penting sebagai pembawa senyawa bioaktif hidrofobik dalam penelitian. Temuan ini juga

mendukung penggunaan misel kasein sebagai agen enkapsulasi dan pengantaran agen bioaktif hidrofobik dalam aplikasi industri farmasi dan makanan.



Gambar 12. (A) Struktur misel nano. (B) Diagram skema nanopartikel misel bulat yang dirakit sendiri dengan peptida kuning telur. (C) Diagram skema proses perakitan mandiri MNC dan gambar TEM MNC. (D) Diagram skema untuk proses pembentukan NP HES-CUR.

Sistem misel banyak dipelajari dalam produksi pangan dan bidang biofarmasi karena kemampuannya meningkatkan bioavailabilitas obat. Du dkk. membentuk nano-misel yang dirakit sendiri dari peptida kuning telur yang diekstraksi dari makanan alami dan menerapkannya sebagai pengemulsi (Gambar 1B). Nano-misel yang dirakit sendiri memiliki ukuran partikel yang lebih kecil, keterbasahan, dan efek stabilitas yang ditingkatkan pada susu Pickering, yang tetap cukup stabil setelah pengeringan semprot dan penyimpanan jangka panjang. Chung dkk. menyiapkan nanokomposit misel rakitan sendiri yang terdiri dari katekin teh hijau dan protein (Gambar 1C). Misel nano yang dibentuk oleh perakitan sendiri turunan EGCG dan protein secara berurutan dapat dipertahankan dengan baik secara utuh dan stabil dengan baik. Chen dkk. menggabungkan kurkumin dengan pati hidroksietil yang berasal dari makanan untuk membentuk nano-misel (Gambar 1D) dan menemukan bahwa kelarutan nanopartikel

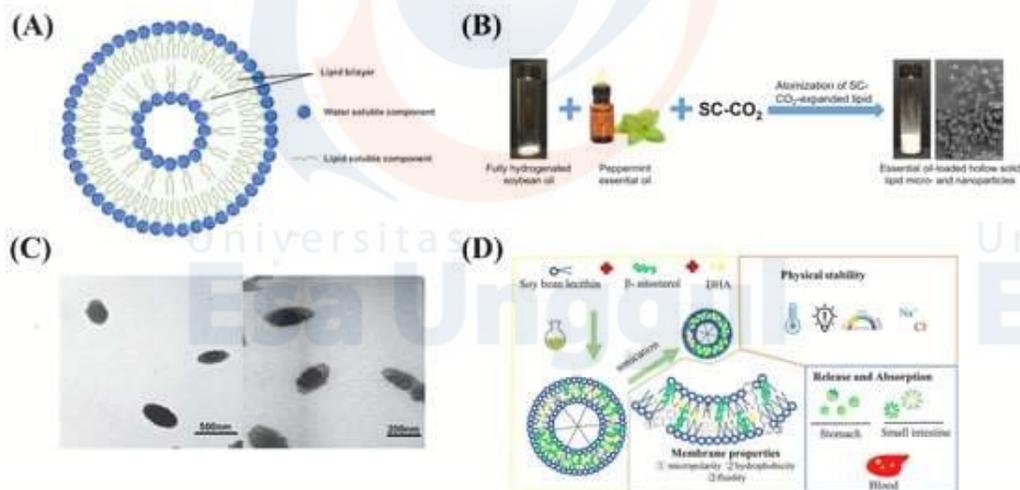
kurkumin 1000 kali lebih tinggi daripada molekul kurkumin bebas, dan tidak dapat rusak dalam kondisi cahaya dan suhu tinggi.

Sifat unggul nano kurkumin dibuktikan dengan pengujian laju pemuatan obat, stabilitas, dan laju pelepasan. Mohan dkk. menyimpulkan bahwa misel kasein rekombinan dalam susu memiliki kemampuan untuk bertindak sebagai nanocarrier atau mikro kapsul, menunjukkan kemampuan misel kasein yang tidak dimodifikasi untuk mengikat molekul hidrofobik seperti vitamin A, kurkumin, asam docosaheptaenoic, dan vitamin D. Eksperimen telah digunakan untuk memastikan bahwa kasein misel dalam susu skim dapat digunakan sebagai pembawa vitamin A. Pemilihan sistem nano misel pada pangan terutama dipengaruhi oleh karakteristik partikel, karakteristik pemuatan, sifat fisikokimia, sifat sensorik, dan ekonomis. Partikel misel nano yang mengandung nutrisi fungsional seperti polifenol alami, saponin, lipid, vitamin, dll. dapat dimasukkan ke dalam sistem makanan dan minuman fungsional atau diubah menjadi bentuk bubuk dan digunakan dalam suplemen.

### **Nanoliposom**

Liposom mengacu pada zat vesikel tertutup yang mirip dengan struktur biofilm yang dibentuk oleh fosfolipid, kolesterol, dll sebagai bahan membran. Sistem penghantaran lipid padat dibuat dengan membungkus atau menyelingsi bahan aktif dalam inti lipid (Gambar 2A dan Tabel 1). Pembawa lipid berstruktur nano (NLC) adalah jenis nanocarrier lipid baru yang dikembangkan berdasarkan liposom, dengan ukuran partikel antara 10–1000 nm.

Nanoliposom dapat meningkatkan bioavailabilitas bahan aktif dalam makanan alami, mengurangi toksisitas, dan meningkatkan penyerapan gastrointestinal. Oleh karena itu, banyak digunakan dalam penelitian dan pengembangan makanan kesehatan yang lebih baik dan inovatif. Dalam penelitian yang ada, nanoliposom umumnya digunakan untuk merangkum bahan aktif seperti lipid, antioksidan, protein, vitamin, dan mineral.



Gambar 13. (A) Struktur nanoliposom. (B) Diagram skema minyak esensial peppermint memuat mikro dan nanopartikel lipid padat berongga. (C) Gambar TEM dari nanoliposom yang memuat B12. (D) Ilustrasi skema nanoliposom yang mengandung DHA.

Minyak atsiri bersifat mudah menguap dan sangat mengiritasi, dan masalah ini membatasi penerapannya dalam industri makanan. Yang dkk. mengembangkan nanopartikel lipid padat berongga yang mengalir bebas yang mengandung minyak atsiri peppermint menggunakan atomisasi karbon dioksida (Gambar 2B), yang dapat mencapai efisiensi pemuatan minyak atsiri tertinggi pada konsentrasi minyak atsiri awal 50%. Produk kering yang mengalir bebas membuat minyak atsiri lebih mudah ditangani dan disimpan dalam industri makanan, dan proses yang sederhana dan bersih membuat penskalaan lebih mudah dilakukan.

Baldir dkk. menyiapkan nanopartikel liposom padat minyak atsiri lipid India dengan metode pengeringan semprot. Nanopartikel liposom padat minyak atsiri memiliki tingkat retensi timol yang lebih tinggi dan dispersi yang cepat, yang meningkatkan stabilitasnya terhadap faktor lingkungan, mengurangi volatilitasnya, mengurangi toksisitas, dan meningkatkan bioavailabilitas. Rahele dkk. merancang dan mengoptimalkan metode pengenceran mikroemulsi senyawa fenolik yang dikemas dalam liposom, yang secara efektif dapat menjaga stabilitasnya dan meningkatkan bioavailabilitasnya. Tamjidi dkk. menyiapkan pembawa lipid berstruktur nano dengan

astaxanthin dan menerapkannya pada produksi minuman, menunjukkan bahwa minuman fungsional yang mengandung nutraceutical hidrofobik memiliki prospek dan nilai pengembangan tertentu.

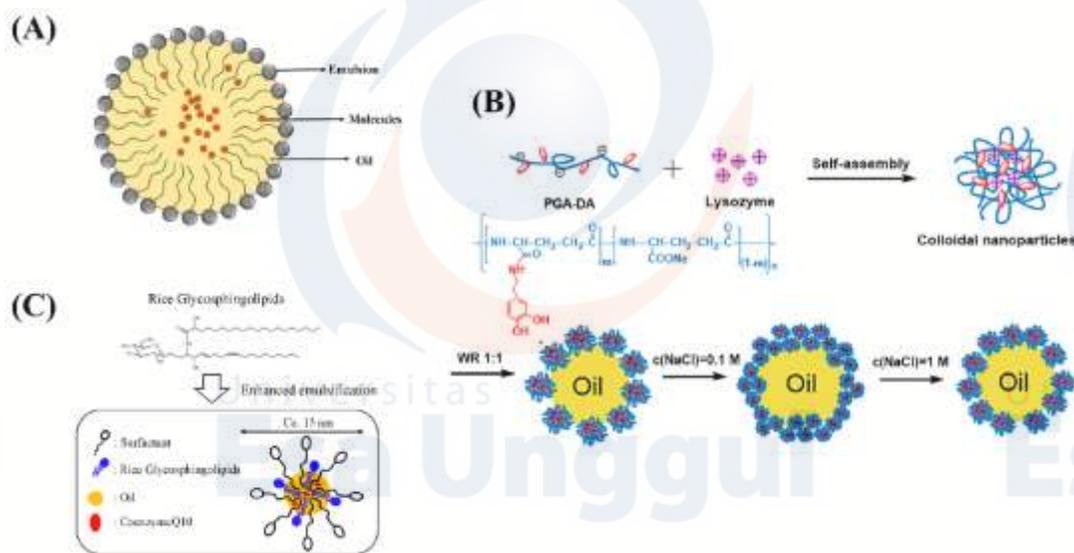
Penanaman vitamin dan mineral nanoliposom berpotensi meningkatkan bioavailabilitas zat yang larut dalam lemak dan meningkatkan bias pelepasan molekul. Genç dkk. menghasilkan nanopartikel liposom padat yang mengandung vitamin B12 dengan ukuran partikel akhir sekitar 200 nm (Gambar 2C), dan laju pelepasannya tinggi. Han dkk. menyiapkan nanoliposom yang mengandung DHA dengan metode sonikasi, yang distabilkan oleh  $\beta$ -sitosterol (Gambar 2D). Sifat dan sifat membran DHA-NL dengan kandungan  $\beta$ -sitosterol yang berbeda telah ditentukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi enkapsulasi maksimum DHA-NLs yang dienkapsulasi dengan lesitin kedelai dan  $\beta$ -sitosterol adalah  $(86,95 \pm 0,95) \%$ . Ukuran partikel semua sampel berada dalam 200 nm dan retensi relatif lebih dari 60% setelah penyimpanan 3 minggu. Oleh karena itu nanoliposom diharapkan dapat meningkatkan penyerapan DHA dalam bentuk etil ester.

Beberapa keunggulan nanopartikel lipid padat dibandingkan pembawa lipid lainnya adalah (1) kemungkinan mengendalikan pelepasan obat dan penargetan obat, (2) stabilitasnya dalam kondisi sterilisasi, (3) kemampuan biodegradasinya, (4) melindungi senyawa yang tidak stabil dari degradasi kimia, (5) pengikatan obat hidrofilik dan lipofilik, dan (6) kemungkinan proses amplifikasi. Namun nanoliposom yang tersusun dari lipid polar (seperti asam lemak bebas, surfaktan, dan fosfolipid) diserap oleh sel epitel karena memiliki ikatan ester yang dapat mengalami reaksi hidrolisis.

Selain itu, liposom ini dapat dihidrolisis oleh enzim yang sesuai di saluran cerna, sehingga kita tidak dapat memprediksi apakah proses hidrolisis yang cepat ini akan menyebabkan toksisitas ketika nanoliposom diserap dan terakumulasi di saluran cerna dan di organ lain. Di sisi lain, fase minyak dari beberapa nanoliposom tidak mudah dihidrolisis oleh enzim dan sulit dicerna, yang dapat menyebabkan penyerapan bagian-bagian nanoliposom daripada bahan aktif ke dalam tubuh, dan potensi toksisitasnya belum meningkat. telah dijelaskan.

## Nano-Emulsi

Nano-emulsi adalah sistem pencampuran minyak/air yang stabil secara termodinamika, di mana efek surfaktan tampak transparan atau tembus cahaya. Berdasarkan dispersi antara kedua fasanya, mikroemulsi secara umum dibagi menjadi mikroemulsi air dalam air (O/W), mikroemulsi air dalam minyak (W/O), dan mikroemulsi multi emulsi (W/O/W). Dibandingkan dengan emulsi tradisional, nanoemulsi memiliki banyak keunggulan yang bermanfaat untuk pengolahan makanan. Nanopartikel mempunyai ukuran yang seragam dan stabilitas yang baik, menghindari agregasi yang disebabkan oleh agregasi atau gravitasi. Kedua, surfaktan dalam nano-emulsi adalah makromolekul biologis yang biokompatibel, dan jumlah surfaktannya kecil. Pada saat yang sama, jumlah pelarut organik yang digunakan dalam nano-emulsi rendah, sehingga meningkatkan efisiensi produksi.



Gambar 14. (A) Struktur nano-emulsi. (B) Penggambaran skema pembentukan dan perilaku antarmuka minyak-dalam-air dari nanopartikel koloid Lys/PGA-DA. (C) Representasi skema mikroemulsi food grade dengan glikosfingolipid beras.

Dalam beberapa tahun terakhir, produk pangan yang mengandung bahan bioaktif tingkat tinggi menjadi andalan penelitian dan pengembangan. Namun, kelarutan yang buruk dalam air, kelarutan dalam minyak, dan stabilitas zat aktif membatasi

penerapannya dalam pengembangan sistem pangan. Nano-emulsi digunakan sebagai pembawa bahan bioaktif dengan kandungan tinggi untuk mencapai kelarutan dalam air atau minyak dan meningkatkan dispersibilitas serta bioavailabilitas zat. Rao dkk. menyiapkan mikroemulsi food grade dengan minyak lemon sebagai fase minyak dan sukrosa monopalmitat sebagai pengemulsi.

Hasilnya menunjukkan bahwa mikroemulsi dapat digunakan sebagai pembawa untuk menyebarkan faktor fungsional secara merata dalam makanan. Nano-emulsi adalah teknologi baru untuk memodulasi faktor fungsional utama dalam makanan yang larut dalam lemak, yang meningkatkan oksidasi dan ketidakstabilannya. Zhang dkk. memperkenalkan lisozim ke dalam  $\gamma$ -glutamat yang dimodifikasi dopamin dan memperoleh nanopartikel koloid yang dirakit sendiri (Lys/PGA-DA) melalui interaksi elektrostatis dan ikatan hidrogen (Gambar 3B). Nanopartikel koloid dicampur dengan minyak putih untuk membentuk emulsi seperti gel o/w. Telah ditunjukkan bahwa kekuatan ionik sangat meningkatkan sifat pengemulsi nanopartikel koloid.

Nanopartikel koloid merupakan pengemulsi yang baik untuk pembuatan gel seperti emulsi Pickering, yang dapat meningkatkan stabilitas mikroemulsi. Khiew dkk. menyiapkan sistem mikroemulsi air dalam minyak (w/o) menggunakan sukrosa ester yang dapat terbiodegradasi dan tidak beracun sebagai surfaktan, dan dapat melepaskan zat aktif melalui sistem mikroemulsi yang dikontrol suhu. Kabir H. dkk. mempelajari perubahan fasa selama pembentukan mikroemulsi dan pengaruh faktor utama, suhu, terhadap perubahan mikroemulsi, memberikan beberapa teori dasar untuk penelitian mikroemulsi.

Pigmen alami yang berasal dari tumbuhan telah membatasi penggunaannya dalam industri makanan karena kelarutannya yang buruk dalam air, kerentanan terhadap oksidasi, dan stabilitas yang buruk. Jalali-Jivan dkk. menyiapkan nano-emulsi ekstrak lutein dan mengoptimalkan jumlah ekstraksi melalui pretreatment ultrasonik. Roohinejad dkk. mikroemulsi minyak olahan dalam air dan ekstraksi  $\beta$ -karoten dari pomace wortel yang diolah dengan medan listrik meningkat secara signifikan Hou dkk. membangun emulsi  $\beta$ -karoten dan mengeksplorasi efek berat molekul kitosan terhadap stabilitas dan sifat reologi polisakarida larut kedelai. Qian dkk. menyiapkan sistem pengiriman nano-emulsi dan mengeksplorasi efek minyak pembawa pada  $\beta$ - Pengaruh bioavailabilitas

karoten. Penelitian di atas membuka jalan baru untuk penerapan bahan aktif sensitif di bidang makanan.

Untuk memperluas penerapan antioksidan dalam minyak dan lemak, perlu untuk meningkatkan kelarutan dan stabilitasnya dalam minyak. Spornath dkk. menyiapkan mikroemulsi likopen dengan ester anhidrida sorbitan teretoksilasi untuk meningkatkan kapasitas solubilisasi dan efisiensi solubilisasi dengan menyesuaikan rasio fase air dan minyak, yang menyediakan sistem pembawa baru untuk pengiriman suplemen makanan alami. Yang dkk. menyiapkan emulsi minyak dalam minyak encer. Ketika kalsium dan fosfolipid (DOPC) ditambahkan, bioavailabilitas vitamin E dapat ditingkatkan. Mao dkk. menyiapkan emulsi multilayer dari protein isolat whey-pektin dan menyelidiki efek pH, kekuatan ionik, dan air liur buatan pada stabilitas emulsi.

Joung dkk. menyiapkan nanoemulsi kurkumin dengan konsentrasi surfaktan berbeda menggunakan metode homogenisasi tekanan tinggi. Konsentrasi surfaktan yang tinggi meningkatkan kapasitas antioksidan Cur-Nes dan memperlambat oksidasi lipid. Kelompok eksperimen dapat secara signifikan mengurangi tingkat oksidasi lemak dalam susu dibandingkan dengan percobaan kontrol, yang mengkonfirmasi kemungkinan bahwa nano-emulsi kurkumin dapat digunakan dalam produksi susu. Dasgupta dkk. menggunakan minyak mustard yang dapat dimakan untuk menyiapkan nano-emulsi vitamin E asetat dengan kapasitas antioksidan tinggi dan sifat antijamur sehingga nano-emulsi ini dapat digunakan dalam produksi dan pemrosesan jus buah untuk meningkatkan umur simpan, stabilitas, dan kemanjuran nutrisinya.

Meskipun nano-emulsi menawarkan pilihan tambahan untuk pengiriman zat aktif dan secara efektif dapat meningkatkan bioavailabilitas, masalah keamanan dan toksisitas masih menjadi pertimbangan pertama. Efek ukuran kecil dari nano-emulsi memungkinkan mereka untuk melewati penghalang gastrointestinal dan jaringan seluler dengan cepat sehingga zat tambahan untuk pengiriman zat aktif dapat terakumulasi dalam jaringan manusia, dan tidak ada cara untuk memprediksi apakah mereka akan bereaksi dengan zat lain dan tidak ada cara untuk memprediksi apakah mereka akan bereaksi dengan zat lain. menimbulkan potensi risiko keselamatan. Studi toksisitas bahan aktif yang dikirimkan nano-emulsi saat ini terfokus pada simulasi in vitro dan penelitian pada hewan dan belum dilakukan dalam uji klinis.

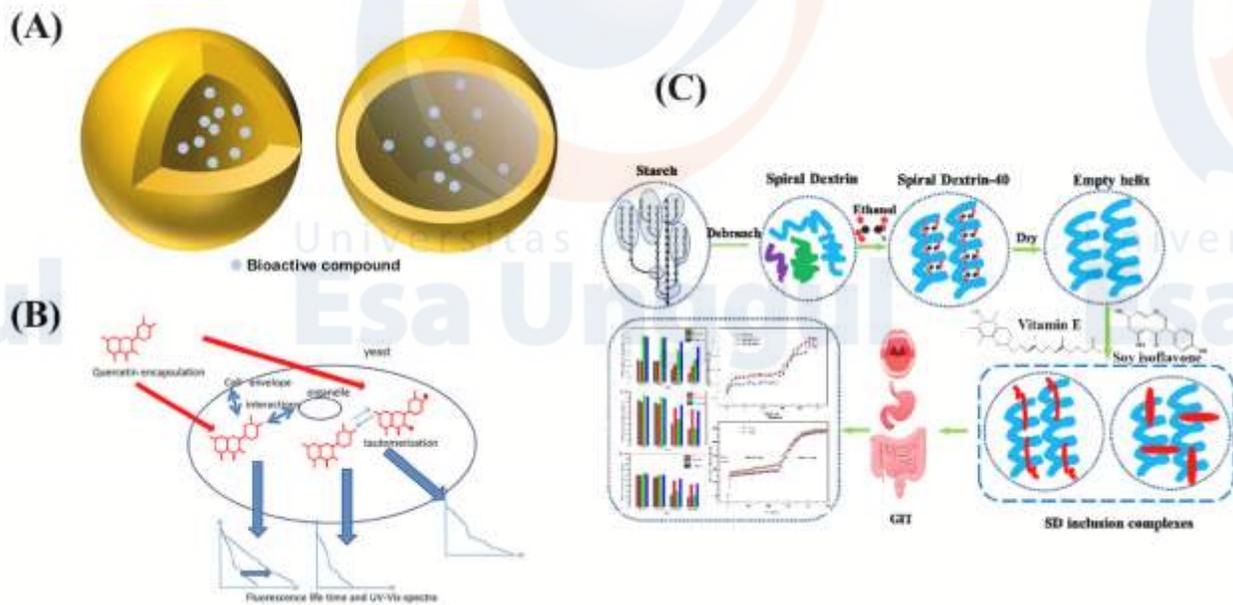
Nanoemulsi padat dapat merangkul faktor fungsional aktif dalam fase minyak sebagai bahan inti dan surfaktan atau komponen lain sebagai pembawa. Dapat dibuat menjadi bubuk, partikel atau tablet setelah dikeringkan dan diekstrusi. Produk diencerkan dengan air untuk membentuk emulsi transparan atau tembus cahaya. Mikroemulsi cair konvensional tidak kondusif untuk penyimpanan dan transportasi. Selain itu, struktur mikroemulsi juga akan menjadi tidak stabil selama penyimpanan jangka panjang karena faktor eksternal seperti suhu, tekanan, dan pH, sehingga mempengaruhi efisiensi enkapsulasi.

Mikroemulsi padat yang dibuat dengan teknologi pengeringan semprot dan liofilisasi dapat disimpan secara stabil pada suhu kamar untuk waktu yang lama. Uchiyama dkk. menyelidiki mikroemulsi food grade dengan glikosfingolipid beras (Gambar 3C), yang dapat meningkatkan penyerapan oral koenzim Q10 dan memberikan ide baru untuk penyerapan pengiriman zat aktif fungsional.

### **Kapsul Nano**

Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi nano-kapsul telah menjadi topik hangat dalam bidang penelitian dan penerapan pangan. Kapsul nano adalah mikrokapsul polimer berukuran nano (Tabel 3 dan Gambar 4A), yang dibentuk dengan mengenkapsulasi zat aktif padat, cair, atau bahkan gas dengan bahan polimer alami atau sintetis. Kapsul nano berukuran kecil, mudah terdispersi, tersuspensi dalam air dan membentuk larutan koloid yang homogen dan stabil. Selain itu, ia memiliki penargetan yang baik dan efek pelepasan berkelanjutan. Di bidang pangan fungsional, teknologi nano-kapsul digunakan untuk menanamkan faktor fungsional dalam pangan fungsional, yang tidak hanya mengurangi hilangnya faktor fungsional selama pemrosesan atau penyimpanan, tetapi juga secara efektif mengantarkan faktor fungsional ke saluran pencernaan tubuh manusia.

Penargetan spesifik kapsul nano dapat mengubah distribusi faktor fungsional dan memusatkannya pada jaringan target tertentu untuk mencapai tujuan mengurangi toksisitas dan meningkatkan kemanjuran, dan dapat meningkatkan bioavailabilitasnya dengan mengontrol pelepasan faktor fungsional sambil mempertahankan tekstur, struktur, dan daya tarik sensoris makanan.



Gambar 15. (A) Struktur kapsul nano. (B) Ilustrasi skema quercetin yang dikemas dalam mikrokapsul ragi. (C) Diagram skema nanokapsul vitamin E dan isoflavon kedelai menggunakan dekstrin spiral.

Bahan dinding kapsul nano harus memenuhi persyaratan tidak beracun, dapat dimakan, biokompatibilitas yang baik, dan penguraian dalam industri makanan, dan pada saat yang sama, sifat bahan inti dan bahan dinding serta kinerja penerapan mikrokapsul harus memenuhi persyaratan. dipertimbangkan secara komprehensif. Dalam pangan fungsional, bahan inti terutama merupakan faktor fungsional dengan aktivitas biologis, dan bahan dinding terutama merupakan bahan komposit ramah lingkungan dengan kemampuan terurai secara hayati.

Terdapat beberapa permasalahan dalam penerapan praktis bahan dinding tradisional, seperti bahan polimer alami memiliki kekuatan mekanik yang buruk dan kualitas yang tidak stabil, polimer semi sintetik dengan ketahanan asam yang buruk dan tahan suhu tinggi rentan terhadap hidrolisis, dan bahan polimer sintetik memiliki sifat tertentu. toksisitas dan biaya tinggi. Bahan dinding yang digunakan dalam makanan terutama terdiri dari karbohidrat, getah tumbuhan yang larut dalam air, dan protein. Karena memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing dalam penerapan praktisnya, ketiga jenis material dinding tersebut sering digunakan dalam bentuk campuran untuk meningkatkan kinerjanya.

Syarif dkk. menyelidiki proses pembuatan kapsul nano antosianin, mengeksplorasi efek komponen pembawa yang berbeda dan teknik enkapsulasi pada pembuatan kapsul nano, dan akhirnya menemukan bahwa karbohidrat seperti maltodekstrin dan gom adalah polimer yang paling umum digunakan untuk merangkum antosianin. Studi-studi ini membuka jalan baru untuk penerapan bahan aktif sensitif di bidang pangan fungsional.

Pada saat yang sama, para peneliti telah mengembangkan bahan dinding baru seperti bahan dinding liposom, bahan dinding mikroba, dan bahan dinding yang dimodifikasi (seperti pati termodifikasi, kitosan termodifikasi). Liposom memiliki biokompatibilitas dan penargetan yang baik dan juga dapat melekatkan bahan inti yang larut dalam air atau tidak larut dalam air. Dai C dkk. menyiapkan kapsul nano albumin serum sapi jenis baru menggunakan liposom natrium alginat dan memastikan sifat pengiriman proteinnya yang baik. Efek komposisi liposom dan kation multivalen pada morfologi, efisiensi enkapsulasi, integritas, dan karakteristik pelepasan in vitro dari kapsul nano telah dieksplorasi. Mikrokapsul mikroba digunakan untuk merangkum komponen aktif dengan mikroorganisme jamur seperti kapang dan khamir sebagai bahan pembawa sehingga zat dapat leluasa menembus dinding sel dan membran sel ke dalam sel (89). Dalam mikrokapsul ragi, sel ragi, sebagai bahan dinding yang baik untuk pembuatan mikrokapsul, memiliki karakteristik sumber yang kaya, keamanan, tidak beracun, mudah terurai secara hayati, ukuran partikel seragam, dan kemampuan untuk menjamin keamanannya dalam aplikasi makanan. Pham-Hoang dkk. membangun mikrokapsul quercetin dengan sel ragi (Gambar 4B), yang menunjukkan stabilitas yang sangat baik dibandingkan dengan molekul tunggal obat.

Zhang Z dkk. menyiapkan nano-kapsul minyak atsiri thyme menggunakan kitosan dan natrium alginat sebagai bahan dinding dengan metode enkapsulasi lapis demi lapis dan mengeksplorasi sifat antibakteri nano-kapsul minyak thyme pada kondisi suhu dan pH yang berbeda. Kondisi optimal diperoleh dengan membandingkan besar kecilnya lingkaran penghambatan dan laju penghambatan. Minyak atsiri thyme juga telah diverifikasi memiliki efek penghambatan yang baik terhadap *Staphylococcus aureus*, yang berpotensi menjadi agen antibakteri yang baik dalam industri makanan dan farmasi.

Bahan dinding yang dimodifikasi dapat meningkatkan kelarutan dalam air yang buruk dan memiliki biokompatibilitas dan sifat pembentuk film yang baik, sehingga

memiliki prospek penerapan yang baik. Hategkimana dkk. nanokapsul vitamin E disiapkan dengan pengeringan semprot menggunakan pati termodifikasi oktenil suksinat anhidrida (OSA) sebagai bahan dinding. Pengaruh sifat fisikokimia pati termodifikasi terhadap kemampuan pengemulsi dan stabilitas penyimpanan vitamin E dalam kapsul nano dipelajari. Fu dkk. vitamin E (VE) yang dienkapsulasi bersama dengan koenzim Q10 menggunakan isolat protein whey (WPI), WPI/serat jagung larut (SCF), dan WPI/maltodekstrin sebagai bahan dinding, yang menunjukkan tingkat retensi zat aktif dan aktivitas antioksidan yang tinggi. Wang dkk. menyiapkan kompleks inklusi berbentuk V melalui interaksi dekstrin dan vitamin E yang dimodifikasi (Gambar 4C), yang menunjukkan perilaku pelepasan terkontrol dan pelepasan berkelanjutan selama pencernaan. Selain itu, kompleks inklusi memiliki stabilitas yang lebih tinggi dan kapasitas antioksidan yang lebih kuat dibandingkan komponen tunggal. Hasil di atas meletakkan dasar untuk studi sistem pemuatan obat dari zat aktif fungsional.

### **3. Nanoteknologi di bidang industri sandang, pangan dan papan**

Manfaat nanoteknologi di bidang industri sandang, pangan dan papan. Seiring dengan pesatnya perkembangan industri pangan fungsional di seluruh dunia, pengembangan dan pemanfaatan pangan fungsional semakin mendapat perhatian. Efek penggunaan pangan fungsional terutama bergantung pada tingkat pemanfaatan efektif bahan aktif biologis. Stabilitas, bentuk yang ada, dan penggunaan pangan fungsional kesehatan mempunyai pengaruh yang besar terhadap efek penggunaan sebenarnya dari produk fungsional. Meskipun bahan-bahan fungsional dapat ditambahkan ke dalam makanan, bahan-bahan tersebut sangat sensitif terhadap lingkungan eksternal seperti suhu dan udara, yang memberikan pengaruh besar pada bau, tekstur, dan warna makanan fungsional.

Zat aktif yang diterapkan pada pangan fungsional terutama meliputi zat fenolik, flavonoid (terutama flavonol, flavonoid, flavanol, flavanol, dll.), alkaloid, dll., dan pigmen makanan termasuk  $\beta$ -Karoten, likopen, lutein, dan kurkumin juga merupakan zat aktif,. Semuanya merupakan antioksidan alami yang mudah dipengaruhi oleh pH, suhu, cahaya, dan kelembapan. Ketika zat aktif ditambahkan, proses produksi yang ada perlu ditingkatkan untuk menjaga stabilitas fisikokimia yang baik dan mencegah kerusakan

oksidatif. Oleh karena itu, kondisi pelepasan yang tepat dapat menjamin penggunaan penuh zat aktif fungsional tersebut dalam tubuh manusia. Menjaga aktivitas biologis molekul nutrisi dan memastikan penyerapan penuhnya dalam tubuh manusia akan menjadi kunci dalam bidang penelitian pangan fungsional.

Para peneliti saat ini mencoba menemukan cara untuk meningkatkan kualitas makanan tanpa mengorbankan bahan bioaktif. Pesatnya perkembangan nanoteknologi dan nanomaterial secara bertahap merambah ke berbagai bidang penelitian di seluruh dunia. Material dengan sifat baru dan berbagai fungsi ini dirancang menggunakan nanoteknologi pada tingkat atom dan molekul yang telah berperan besar dalam bidang kedokteran. Secara khusus, berbagai sistem pengiriman obat nano yang cerdas dan bertarget dirancang dan dibangun melalui nanoteknologi dan bahan nano, yang dapat digunakan untuk mengantarkan obat di lokasi lesi dalam waktu yang teratur, kuantitatif, dan tetap untuk meningkatkan kemanjuran dan mengurangi efek samping. efek.

Nanoteknologi dan nanomaterial yang diterapkan pada bidang pangan akan menjadi konsep baru. Sifat dan fungsi baru bahan nano tidak hanya dapat meningkatkan proses produksi pangan dan efisiensi produksi, tetapi juga menghasilkan banyak pangan fungsional baru dengan fungsi dan fungsi khusus yang lebih baik, sehingga meningkatkan fungsi gizi, keamanan, dan mutu pangan [8]. Pengurangan ukuran nanopartikel dapat meningkatkan bioavailabilitasnya, termasuk meningkatkan adhesi zat aktif ke jaringan, meningkatkan efisiensi penghantaran saluran cerna terhadap zat aktif, mengurangi dampak mekanisme pembersihan usus dan memperpanjang waktu tinggal zat aktif di dalam. saluran pencernaan. Nanopartikel tidak hanya mempengaruhi sifat pangan fungsional, tetapi juga menentukan laju pelepasan bahan bioaktif, mengurangi efek samping dari asupan berlebihan beberapa pangan fungsional.

Pengembangan pangan fungsional nano berfokus pada dua bidang yaitu sistem penghantaran nanopartikel dan nanoteknologi pangan. Sistem pengiriman nano mengacu pada pengangkutan nutrisi fungsional dalam bentuk nano-misel, nanoliposom, nano-emulsi, nano-kapsul, dan aditif nano-nutrien untuk berperan dalam sistem. Ini adalah sistem kinetik dan stabil dengan efek yang ditargetkan secara *in vivo*, yang dapat meningkatkan distribusi obat di lokasi lesi, meningkatkan kemanjuran obat, dan mengurangi efek samping. Serbuk nano ultra halus memperpanjang masa berlaku zat

aktif dan meningkatkan stabilitas serta keamanannya melalui pelepasan pembawa yang terkontrol. Aditif nutrisi nano dapat meningkatkan penyerapan langsung elemen jejak bagi tubuh manusia ke dalam saluran usus dan mengurangi racun dan efek samping dalam tubuh melalui pengobatan nano. Dalam tinjauan ini, kami merangkum teknologi yang ada dan pencapaian sistem pengiriman nanopartikel dan menyisir prinsip dan metode nanoteknologi dalam meningkatkan aktivitas biologis pangan fungsional dan mendorong pelepasan komponen fungsionalnya, yang dapat memberikan referensi untuk penerapan dan pengembangan nanoteknologi dalam pangan fungsional.

Untuk mengatasi penerapan zat aktif yang larut dalam lemak di bidang makanan dan meningkatkan stabilitas, sifat antioksidan, dan efek penggunaannya, Prakash B et al. mengatasi tantangan minyak atsiri tumbuhan dalam industri makanan dan mengeksplorasi potensi penerapan nano-kapsul minyak atsiri tumbuhan sebagai generasi baru pengawet makanan. Prasad dkk. minyak biji kopi yang dienkapsulasi dalam bahan dinding kapsul nano seperti  $\beta$ -siklodekstrin atau protein whey, yang menunjukkan stabilitas termal dan sifat antioksidan.

Teknologi nanoenkapsulasi biasanya digunakan untuk menanamkan bahan aktif sensitif ke dalam pangan fungsional untuk melindunginya dari dampak kondisi lingkungan eksternal (termasuk pH, cahaya, suhu, dll.) dan menjaganya tetap bioaktif. Liu dkk. menyiapkan kapsul nano bakteri asam laktat baru dengan natrium alginat sebagai bahan enkapsulasi dan mengeksplorasi sifat fisik kapsul nano dan perlindungannya terhadap bakteri asam laktat dalam simulasi lingkungan gastrointestinal, yang memberikan ide baru untuk mengembangkan sediaan yang layak dan stabil. metode partikel mikroba. Chen dkk. membangun sistem penghantaran obat mikrokapsul antosianin dan mengkarakterisasi sifat fisikokimia, sifat farmakodinamik in vivo, mekanisme penargetan, internalisasi sel, dan kinetika pelepasan kapsul nano.

### **Aditif Nutrisi Nano**

Aditif elemen jejak nano adalah bahan aktif baru yang diperoleh melalui pemrosesan nano elemen jejak penting bagi tubuh manusia, yang dapat meningkatkan sifat fisik dan kimia, kelarutan, ketahanan oksidasi, waktu pelepasan retensi, dan stabilitas di saluran pencernaan. Metode ini dapat memperkuat penggunaan elemen jejak dalam makanan

dan efek penyerapannya dalam tubuh serta dapat meningkatkan ketersediaan hayati dan keamanannya.

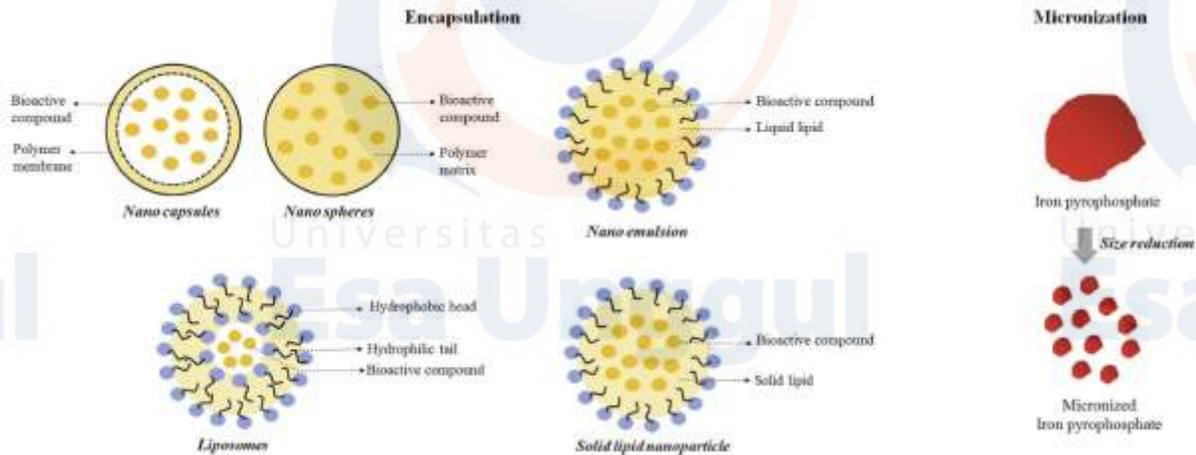
### **Nano Selenium**

Selenium adalah elemen penting bagi tubuh manusia. Nano selenium memiliki daya serap yang lebih baik dan toksisitas yang lebih rendah dibandingkan suplemen selenium tradisional. Penelitian tentang aditif nano selenium sangat penting bagi orang yang kekurangan selenium dan penggunaan klinis.

Nano selenium biasanya dikemas dalam bahan pembawa polisakarida seperti kitosan, glukomanan, gom arab atau karboksimetil selulosa. Zhang dkk. merancang metode untuk merangkum selenium menjadi nanopartikel kitosan. Studi ini menunjukkan bahwa enkapsulasi senyawa selenium menjadi nanopartikel kitosan adalah cara yang efektif untuk mengantarkan selenium ke sel, yang kondusif untuk meningkatkan retensi selenium, meningkatkan sistem kekebalan tubuh, dan mengurangi risiko kerusakan DNA. Cheng dkk. menemukan bahwa suplementasi selenium yang tepat dapat meningkatkan kadar tumor necrosis factor- $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ) dan interferon- $\gamma$  (IFN- $\gamma$ ) dalam tubuh, sehingga meningkatkan respon imun terhadap virus influenza

### **Besi Nano**

Makanan yang diperkaya garam besi dapat memberikan metode suplemen zat besi yang paling aman, efektif, dan nyaman bagi orang yang kekurangan zat besi (Gambar 5). Saat ini, sebagian besar kompleks besi (besi sulfat dan besi klorida) sangat larut dalam air, namun dapat menyebabkan perubahan warna sensorik yang tidak dapat diterima dan masalah pencernaan. Garam besi yang tidak larut (ferric pyrophosphate) dalam eksipien makanan tidak menimbulkan rasa atau warna yang tidak dapat diterima, namun bioavailabilitasnya rendah. Zat besi nano secara efektif dapat menghindari masalah di atas dan mengatasi masalah anemia defisiensi besi global.



Gambar 16. Diagram skema pendekatan enkapsulasi dan mikronisasi untuk fortifikasi besi.

Shubham dkk. menyatakan bahwa partikel besi berukuran nanometer dilepaskan dan dioksidasi menjadi besi pada membran plasma enterosit melalui pengangkut besi secara *in vivo*. Besi nano diangkut ke situs aktif dengan mengikat protein hephaestin. Hurrell dkk. melaporkan ukuran partikel besi pirofosfat berkurang dari 8  $\mu\text{m}$  menjadi 4  $\mu\text{m}$ , dan laju penyerapan zat besi oleh orang dewasa meningkat 2-4 kali lipat. Studi-studi ini menunjukkan bahwa mengurangi ukuran partikel merupakan strategi yang efektif untuk meningkatkan bioavailabilitas zat besi.

Teknik pengecilan ukuran partikel meningkatkan luas permukaan senyawa besi, sehingga meningkatkan kelarutannya dalam asam lambung, sehingga menghasilkan penyerapan yang lebih tinggi. Salahuddin mensintesis nanopartikel besi oksida bulat ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) berlapis asam askorbat dengan rentang ukuran  $20 \pm 2$  nm. Biskuit yang difortifikasi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan konsentrasi berbeda dibuat. Hasil percobaan menunjukkan bahwa kelompok eksperimen yang mengonsumsi biskuit yang diperkaya zat besi dapat pulih sepenuhnya dari anemia dalam waktu lima minggu tanpa gejala toksik dan kematian [99]. Selain itu, Yun dkk. memberikan partikel nano oksida besi secara oral kepada tikus setiap hari selama 13 minggu. Hasil studi toksisitas menunjukkan bahwa tidak ada partikel sisa di hati, ginjal, dan jaringan lain di dalam tubuh yang tidak menghasilkan agregasi dan toksisitas.

## **Nano Seng**

Seng nanometer adalah elemen penting bagi tubuh manusia dan elemen penting untuk membentuk berbagai protein manusia. Seng nanometer memiliki aktivitas tinggi, tingkat penyerapan tinggi, pengaturan kekebalan, dan fungsi lainnya. Alkhtib dkk. menemukan bahwa ada potensi untuk menggunakan bentuk nano untuk mengangkut seng guna meningkatkan bioavailabilitas dan pencernaan. Percobaan menunjukkan bahwa seng berlapis asam amino meningkatkan pertumbuhan dan konsumsi pakan unggas dan juga meningkatkan pencernaan seng.

Dukare dkk. menemukan bahwa nano zinc makanan 80 ppm dapat secara signifikan mengurangi kandungan kolesterol dan lemak dalam daging, meningkatkan kapasitas pembersihan radikal bebas, mengurangi peroksidasi lipid daging, meningkatkan aktivitas enzim antioksidan serum, meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan tulang, dan meningkatkan akumulasi seng dalam tubuh. Penting untuk dicatat bahwa nanopartikel seng oksida dapat menembus ke dalam sel dan menghasilkan spesies oksigen reaktif, yang dapat menyebabkan kerusakan pada struktur sel dan menghasilkan sitotoksitas. Oleh karena itu, dosis nanopartikel zinc sebagai bahan tambahan nutrisi pada makanan harus dikontrol secara ketat untuk mencegah asupan dan penyerapan yang berlebihan ke dalam tubuh manusia, sehingga dapat menghindari risiko kesehatan.

## **Nano Kalsium**

Kalsium memiliki berbagai fungsi fisiologis dan biokimia penting dalam organisme; dapat meningkatkan perkembangan tulang, menjaga struktur normal membran sel, dan menjaga fungsi normal sistem saraf. Namun, karena kalsium biasa tidak larut dalam air, maka tidak mudah diserap dan dimanfaatkan oleh tubuh manusia saat dimakan. Asupan makanan yang tidak mencukupi akan menyebabkan kurangnya kadar kalsium dalam tubuh manusia, yang akan mempengaruhi kesehatan manusia. Kalsium karbonat nanometer memiliki harga produksi yang rendah dan kandungan kalsium yang tinggi. Ini secara signifikan dapat meningkatkan status gizi kalsium tubuh manusia bila ditambahkan ke makanan. Oleh karena itu, kalsium karbonat nanometer merupakan sumber suplemen kalsium yang baik, yang dapat digunakan sebagai bahan tambahan makanan dan penguat kalsium.

Pangan fungsional berperan penting dalam menjamin keseimbangan kebutuhan gizi tubuh manusia dan menjaga kesehatan dibandingkan dengan pangan biasa. Peningkatan efektivitas pemanfaatan bahan bioaktif pada pangan fungsional merupakan kunci pengembangan pangan fungsional. Berdasarkan perkembangan nanoteknologi, peneliti telah mempelajari sistem pengiriman nano zat aktif dan teknologi pemrosesan nano pangan fungsional. Sistem pengiriman nanopartikel dapat menargetkan atau mengontrol pelepasan bahan aktif menggunakan nanoteknologi dan bahan nano. Efek ukuran kecil, karakteristik respon pH, dan perubahan muatan digunakan untuk meningkatkan penyerapan dan adhesi zat aktif, memastikan aktivitas zat, dan meningkatkan bioavailabilitas.

Komponen nano pangan fungsional dapat memperkecil ukuran partikelnya, meningkatkan daya rekat zat aktif ke jaringan, meningkatkan efisiensi penghantaran zat aktif, dan memperpanjang waktu retensi zat aktif di saluran cerna serta meningkatkan bioavailabilitasnya dengan mengurangi dampak dari suatu zat. mekanisme pembersihan usus dan meningkatkan aktivitas permukaan zat aktif. Melalui berbagai eksperimen karakterisasi yang dilaporkan dalam literatur, terbukti bahwa sistem pengiriman nanopartikel ini dapat meningkatkan stabilitas aktivitas biologis bahan aktif, dan cara pelepasannya bersifat ilmiah, yang memberikan dasar untuk pengembangan dan penerapannya dalam pangan fungsional.

Makalah ini pertama-tama menganalisis tantangan dan kesulitan dalam proses pengiriman makanan fungsional nano dan merangkum solusi optimal untuk masalah tersebut—sistem pengiriman nanopartikel. Kami memperkenalkan beberapa metode penyampaian umum daftar penelitian terkait terkini; merangkum analogi bahan, metode, dan hasil percobaan; dan menganalisis efektivitas, keamanan, dan potensi pengembangannya. Kemudian, teknologi umum dalam sistem penyampaian di atas dirangkum, dan kelebihan, kekurangan, serta kinerja aktualnya dianalisis dan dibandingkan. Meskipun teknologi pengiriman nano makanan fungsional telah mengalami beberapa kemajuan, kekurangan dari sistem pengiriman nanopartikel saat ini juga patut mendapat perhatian. Keamanan bahan yang digunakan untuk membangun sistem pengiriman nanopartikel perlu diverifikasi lebih lanjut sementara daya dukung dan skor penerapannya masih sangat kecil. Meskipun sejumlah besar data telah dilaporkan,

proses persiapan nanoteknologi masih rumit, dan hanya ada sedikit data mengenai stabilitas proses persiapan ini.

Berdasarkan tingginya permintaan akan pangan fungsional, pangan fungsional nano adalah bidang penelitian yang sangat aktif. Sistem pengiriman nanopartikel dapat secara efektif meningkatkan aktivitas dan penyerapan serta pemanfaatan bahan aktif secara *in vivo*, yang dapat memberikan strategi yang menjanjikan untuk pengembangan pangan fungsional. Namun, jalan yang harus ditempuh untuk transformasi pangan fungsional nano dari laboratorium ke industrialisasi masih panjang. Pada penelitian selanjutnya, keamanan bahan pembawa, jumlah bahan penolong, dan kelayakan proses penyiapan serta stabilitas penyimpanan harus terus dipelajari. Jika pangan fungsional nano dapat mengatasi tantangan ini, pangan fungsional nano yang lebih efektif akan dikembangkan secara wajar.

#### **4. Nanoteknologi di bidang industriomotif dan industri elektronik**

Beberapa contoh pengaplikasian nano teknologi yang bisa dimanfaatkan pada berbagai bidang di Indonesia contohnya bidang elektronik, bidang militer, nano material anti refleksi, industri konveksi, dan industri mobil. Lalu, apa upaya yang dapat dilakukan untuk memanfaatkan nanoteknologi di negara kita? Jawabannya adalah dengan memahami bagaimana membuat partikel yang berukuran nano sebagai bahan baku produk nano, bagaimana mengetahui sifat-sifat nano partikel yang telah dibuat, dan bagaimana menyusun kembali dan mensintesis nanopartikel yang telah dibuat untuk menjadi produk akhir.

Dewasa ini, perkembangan teknologi di dunia semakin pesat, terutama pada negara-negara maju yang telah terlampaui jauh meninggalkan negara berkembang. Perkembangan yang begitu pesat ini dapat dirasakan secara langsung terutama pada bidang industri yang sering kali disebut dengan revolusi industri. Saat ini, revolusi industri bisa disebut telah memasuki fase kelima (5.0) yang digagas Jepang 3 tahun silam. Pada fase ini, teknologi telah menghadirkan digitalisasi dan otomatisasi perpaduan internet dengan manufaktur. Revolusi Industri 5.0 ditandai dengan kemajuan teknologi dalam berbagai bidang, contohnya *artificial intelligence*, mobil otonom, robot, teknologi nano, *Internet of Things* (IoT), *quantum bits*, *blockchain*, dan bioteknologi.

Salah satu perkembangan teknologi yang sangat terasa manfaatnya dan akan kita bahas di sini adalah nano teknologi. Nano teknologi merupakan teknologi yang melibatkan atom dan molekul dengan ukuran yang lebih kecil dari 1.000 nanometer. Nano teknologi menjadi solusi dari berbagai permasalahan dunia yang banyak terjadi di berbagai bidang seperti kesehatan, industri, manufaktur, elektronika, dan lain-lain.

Semua benda yang ada di dunia ini tersusun dari atom-atom yang berukuran nano. Sehingga pemanfaatan benda berukuran nano ini akan semakin memudahkan manusia dalam berbagai hal. Sesuatu yang berukuran mikro ini justru dapat berdampak makro. Nano merubah benda yang mulanya berukuran besar menjadi sangat kecil. Indonesia merupakan negara dengan kekayaan sumber daya alam yang tentunya harus dimanfaatkan dalam perkembangan nano teknologi. Namun, sumber daya tersebut belum bisa menjadi nilai tambah sebagai daya saing bangsa. Sehingga, Indonesia pun belum bisa memanfaatkan sumber daya alam yang ada ini untuk perkembangan nano teknologi.

Padahal, jika dapat dimanfaatkan dengan baik, SDA kita ini memiliki banyak potensi yang dapat digunakan untuk kemajuan nano teknologi. Seperti pembuatan nano material untuk mensuplai bahan baku produk nano, pemanfaatan pada bidang farmasi dan kesehatan untuk peningkatan kualitas obat di Indonesia, pemanfaatan nano bioteknologi untuk peningkatan hasil pangan dan pertanian, dan lain-lain.

Aplikasi nano teknologi di bidang elektronika berporos pada sesuatu yang disebut dengan *single electron devices*. Tujuan dari aplikasi nano teknologi di bidang elektronika adalah meningkatkan tenaga, kapasitas, dan kecepatan alat beberapa kali lipat dari yang ada sekarang ini. Contohnya untuk komputer, perakitan berbasis nanoteknologi akan dilakukan secara *bottom up*. Pada prosesor komputer, transistornya akan dibuat menggunakan tabung nano karbon yang memiliki arus dua kali lipat dari arus saat ini. Selain itu, memori komputer dirancang menggunakan *nanodot* berbasis nikel.

Salah satu negara yang sedang mengembangkan nano teknologi di bidang militer adalah Amerika Serikat. Amerika menggunakan peralatan elektronik militer dalam kesehariannya. Para tentara, pesawat terbang tanpa pengemudi, dan pilot menggunakan penginderaan malam hari dan sensor suhu. Nanoteknologi sangat bermanfaat bagi militer Amerika Serikat. Sumber utama dari penginderaan malam hari adalah adalah lempeng

*microchannel plate-MCP*. Elektron-elektron akan melewati ribuan microchannel ini dan nantinya akan melipatgandakan jumlah elektron. Lapisan berskala nano juga dapat dimanfaatkan pada bahan optis seperti kaca atau kacamata sehingga bahan tersebut memiliki kemampuan anti refleksi terhadap cahaya matahari maupun sinar infra merah.

Nano teknologi juga dapat dimanfaatkan pula pada industri konveksi (kain). Berbagai aplikasi nanoteknologi dalam industri konveksi antara lain, tahan terhadap tumpahan dan kotoran, tahan air dan tahan bau, serta kemampuan untuk menghantarkan listrik. Pengaplikasi nano teknologi pada industri mobil terkait dengan beberapa hal antara lain: pelapisan pada *body* mobil, aplikasi struktural, produk-produk di pasaran, dan aplikasi-aplikasi potensial lainnya. Pelapisan pada body mobil menggunakan nano partikel akan memberikan banyak manfaat di antaranya, tiga kali lebih tahan terhadap goresan dan kecemerlangan yang lebih lama. Pengaplikasi terhadap nanoteknologi lainnya adalah pada pendingin mesin. Pendingin mesin berbasis nano partikel akan memberikan thermal konduktivitas yang lebih besar sehingga transfer panas akan lebih baik.

## **5. Nanoteknologi di bidang lingkungan**

Nanoteknologi adalah istilah luas untuk penemuan sains dan teknologi yang beroperasi pada skala "nano"—satu miliar kali lebih kecil dari satu meter. Satu nanometer sama dengan panjang tiga atom. Hukum fisika berlaku secara berbeda pada skala nano, menyebabkan material yang kita kenal berperilaku tidak terduga. Misalnya, aluminium aman digunakan untuk mengemas soda dan menutupi makanan, namun pada skala nano, aluminium bersifat mudah meledak.

Saat ini, nanoteknologi digunakan dalam bidang kedokteran, pertanian, dan teknologi. Dalam bidang kedokteran, partikel berukuran nano digunakan untuk mengantarkan obat ke bagian tubuh tertentu untuk pengobatan. Pertanian menggunakan partikel nano untuk memodifikasi genom tanaman agar tahan terhadap penyakit, dan perbaikan lainnya. Namun hal ini merupakan hal yang paling penting. bidang teknologi yang mungkin paling banyak menerapkan sifat fisik berbeda yang tersedia pada skala

nano untuk menciptakan penemuan kecil dan kuat dengan gabungan konsekuensi potensial bagi lingkungan yang lebih besar.

Banyak bidang lingkungan hidup yang mengalami kemajuan dalam beberapa tahun terakhir berkat nanoteknologi—namun ilmu pengetahuannya belum sempurna. Nanoteknologi berpotensi memberikan solusi terhadap kualitas air yang buruk. Mengingat kelangkaan air diperkirakan akan meningkat dalam beberapa dekade mendatang, meningkatkan jumlah air bersih yang tersedia di seluruh dunia sangatlah penting.

Bahan berukuran nano seperti seng oksida, titanium dioksida, dan tungsten oksida dapat mengikat polutan berbahaya, menjadikannya inert. Teknologi nano yang mampu menetralkan bahan berbahaya sudah digunakan di fasilitas pengolahan air limbah di seluruh dunia.

Partikel molibdenum disulfida berukuran nano dapat digunakan untuk membuat membran yang menghilangkan garam dari air dengan energi seperlima dari metode desalinasi konvensional. Jika terjadi tumpahan minyak, para ilmuwan telah mengembangkan kain nano yang mampu menyerap minyak secara selektif. Secara keseluruhan, inovasi-inovasi ini mempunyai potensi untuk memperbaiki saluran air yang sangat tercemar di dunia.

Nanoteknologi juga dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas udara, yang setiap tahunnya semakin memburuk di seluruh dunia akibat pelepasan polutan oleh kegiatan industri. Namun, penghilangan partikel kecil dan berbahaya dari udara merupakan tantangan teknologi. Partikel nano digunakan untuk membuat sensor presisi yang mampu mendeteksi polutan kecil dan berbahaya di udara, seperti ion logam berat dan unsur radioaktif. Salah satu contoh sensor ini adalah nanotube berdinding tunggal, atau SWNT. Tidak seperti sensor konvensional, yang hanya berfungsi pada suhu yang sangat tinggi, SWNT dapat mendeteksi gas nitrogen dioksida dan amonia pada suhu kamar. Sensor lain dapat menghilangkan gas beracun dari area tersebut menggunakan partikel emas atau oksida mangan berukuran nano.

Berbagai nanopartikel sedang dikembangkan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Penambahan nanopartikel ke bahan bakar dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar, mengurangi laju produksi gas rumah kaca akibat penggunaan bahan bakar fosil.<sup>10</sup>

Aplikasi nanoteknologi lainnya sedang dikembangkan untuk menangkap karbon dioksida secara selektif. Meskipun efektif, bahan nano mempunyai potensi untuk secara tidak sengaja membentuk produk beracun baru. Ukuran bahan nano yang sangat kecil memungkinkan bahan tersebut melewati penghalang yang tidak dapat ditembus, sehingga partikel nano berakhir di getah bening, darah, dan bahkan sumsum tulang. Mengingat Karena akses unik yang dimiliki nanopartikel terhadap proses seluler, penerapan nanoteknologi berpotensi menyebabkan kerusakan luas pada lingkungan jika sumber bahan nano beracun dihasilkan secara tidak sengaja. Pengujian yang ketat terhadap nanopartikel diperlukan untuk memastikan sumber toksisitas potensial ditemukan sebelum nanopartikel digunakan dalam skala besar.

## BAB 4 PROSES SINTESIS NANOPARTIKEL

Nanomaterial kini menjadi penting bagi perkembangan umat manusia secara keseluruhan. Misalnya, untuk mengurangi risiko perubahan iklim global dan pemanasan global, satu-satunya solusi adalah dengan menggunakan teknologi ramah lingkungan yang hanya bekerja menggunakan bahan nano. Karena telah dipastikan bahwa teknologi yang menggunakan bahan nano lebih efektif dibandingkan teknologi yang menggunakan bahan curah. Kedua, bahan nano digunakan untuk mengembangkan alat untuk mendiagnosis dan mengendalikan penyakit epidemi yang terjadi di seluruh dunia. Misalnya, pada tahun 2019, Covid-19, penyakit yang membunuh banyak orang di dunia, dapat didiagnosis dan dikendalikan menggunakan bahan nano. Selain itu, penyakit cacar monyet yang menyebabkan penyakit cacar monyet dapat didiagnosis dan diobati. Saat ini terjadi di dunia dengan menggunakan material nano. Di masa depan, material nano, sains nano, dan teknologi nano diharapkan akan memainkan peran utama dalam perkembangan dunia. Oleh karena itu, setiap orang perlu memiliki pengetahuan dan pemahaman yang memadai tentang material nano.

Dalam 20 tahun terakhir, banyak penelitian telah dilakukan pada nanopartikel dan material. Namun, banyak penelitian terbaru menunjukkan bahwa mereka fokus pada klasifikasi, metode persiapan, sifat, dan penggunaan masing-masing bahan nano. Tidak ada lagi penelitian yang mengartikulasikan semua klasifikasi, persiapan dan sifat bahan nano yang bekerja untuk semua karier. Untuk mengatasi masalah ini, kami telah mempelajari dengan jelas semua klasifikasi bahan nano dan alasan klasifikasinya, persiapan, dan klasifikasi persiapannya, yang berguna untuk semua kelas, properti, dan semua bidang praktik.

Nanoteknologi adalah cabang ilmu dan teknik yang mempelajari dan mengaplikasikan struktur dan perangkat pada skala nanometer, yaitu satu per miliar meter. Teknologi ini melibatkan manipulasi materi pada tingkat atom dan molekul untuk menciptakan material, perangkat, dan sistem baru dengan sifat yang unik dan sering kali lebih unggul daripada yang ada pada skala makro.

Beberapa aplikasi nanoteknologi meliputi:

1. **Kesehatan dan Kedokteran:** Pengembangan nanorobot untuk diagnosis dan pengobatan penyakit, sistem penghantaran obat yang lebih efisien, dan pengembangan implan medis yang lebih biokompatibel.
2. **Elektronik:** Peningkatan kinerja perangkat elektronik seperti prosesor komputer, memori, dan sensor melalui penggunaan material dan teknik fabrikasi pada skala nano.
3. **Material:** Penciptaan material baru dengan kekuatan, fleksibilitas, atau sifat-sifat khusus lainnya, seperti nano-komposit, nanoserat, dan nanopartikel yang dapat digunakan dalam berbagai industri.
4. **Energi:** Pengembangan sumber energi yang lebih efisien, seperti sel surya yang lebih efisien, baterai dengan kapasitas lebih besar, dan metode penyimpanan energi yang lebih baik.
5. **Lingkungan:** Penggunaan nanomaterial untuk membersihkan polusi, mengolah air, dan mengembangkan teknologi ramah lingkungan.

Nanoteknologi membuka peluang besar untuk inovasi dalam berbagai bidang, namun juga menimbulkan tantangan etika dan keselamatan yang perlu diperhatikan, termasuk potensi risiko kesehatan dan lingkungan dari penggunaan nanomaterial. proses sintesis nanomaterial

Proses sintesis nanomaterial melibatkan berbagai metode untuk menciptakan material pada skala nanometer (1-100 nm). Metode ini dapat dikategorikan ke dalam dua pendekatan utama: top-down dan bottom-up.

### 1. Pendekatan Top-Down

Pendekatan ini melibatkan pengurangan ukuran material besar menjadi nanopartikel atau struktur nano melalui berbagai teknik fisik dan mekanis. Beberapa metode yang umum digunakan meliputi:

- **Litografi:** Metode ini menggunakan cahaya, elektron, atau ion untuk mengukir pola pada material. Fotolitografi adalah salah satu bentuk yang paling umum digunakan dalam pembuatan semikonduktor.
- **Ball Milling:** Teknik mekanik yang melibatkan penggilingan material menjadi partikel nano menggunakan bola-bola logam dalam sebuah drum berputar.

- **Etsa (Etching):** Penggunaan bahan kimia atau plasma untuk mengikis material dan membentuk struktur nano.

## 2. Pendekatan Bottom-Up

Pendekatan ini melibatkan perakitan atom atau molekul individual menjadi struktur nano. Metode-metode ini sering kali lebih presisi dan dapat menghasilkan nanomaterial dengan karakteristik yang lebih baik. Beberapa teknik yang digunakan adalah:

- **Deposisi Uap Kimia (CVD):** Proses di mana gas reaktif terdekomposisi pada permukaan substrat, membentuk lapisan tipis nanomaterial.
- **Deposisi Uap Fisik (PVD):** Metode yang melibatkan penguapan material sumber dan deposisi uap pada substrat untuk membentuk lapisan tipis.
- **Sol-Gel:** Teknik kimia basah di mana larutan (sol) ditransformasikan menjadi jaringan padat (gel) yang kemudian dikeringkan dan diolah untuk membentuk nanomaterial.
- **Sintesis Hidrotermal:** Proses yang melibatkan reaksi kimia dalam larutan bertekanan tinggi dan suhu tinggi untuk membentuk nanokristal.
- **Pengendapan Kimia (Chemical Precipitation):** Reaksi kimia dalam larutan yang menghasilkan partikel nano yang mengendap dari larutan tersebut.

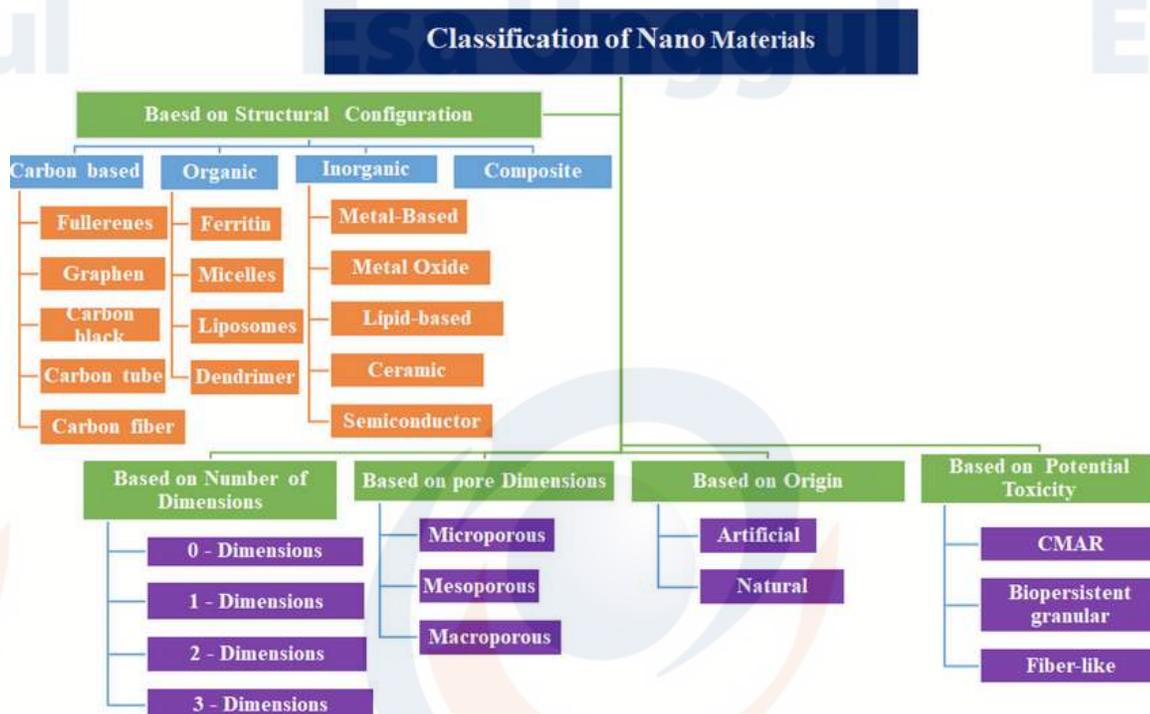
## 3. Metode Biologis

Selain metode fisik dan kimia, metode biologis juga digunakan untuk sintesis nanomaterial, sering kali lebih ramah lingkungan. Ini melibatkan penggunaan mikroorganisme, enzim, atau ekstrak tanaman untuk mereduksi ion logam menjadi nanopartikel.

### Contoh Spesifik Proses Sintesis

- **Sintesis Nanopartikel Emas (AuNPs):** Biasanya dilakukan dengan metode reduksi kimia, di mana ion emas ( $\text{Au}^{3+}$ ) direduksi menjadi partikel emas ( $\text{Au}^0$ ) menggunakan agen pereduksi seperti natrium sitrat atau asam askorbat.
- **Sintesis Nanotube Karbon (CNTs):** Sering dilakukan dengan metode CVD, di mana hidrokarbon (misalnya, metana) terurai pada substrat logam (misalnya, besi) pada suhu tinggi untuk membentuk nanotube karbon.

Sintesis nanomaterial adalah bidang yang sangat dinamis dan terus berkembang, dengan banyak inovasi yang muncul untuk menghasilkan material dengan sifat yang diinginkan untuk berbagai aplikasi teknologi.



Gambar 17. Bagan berbagai jenis bahan material nanoteknologi

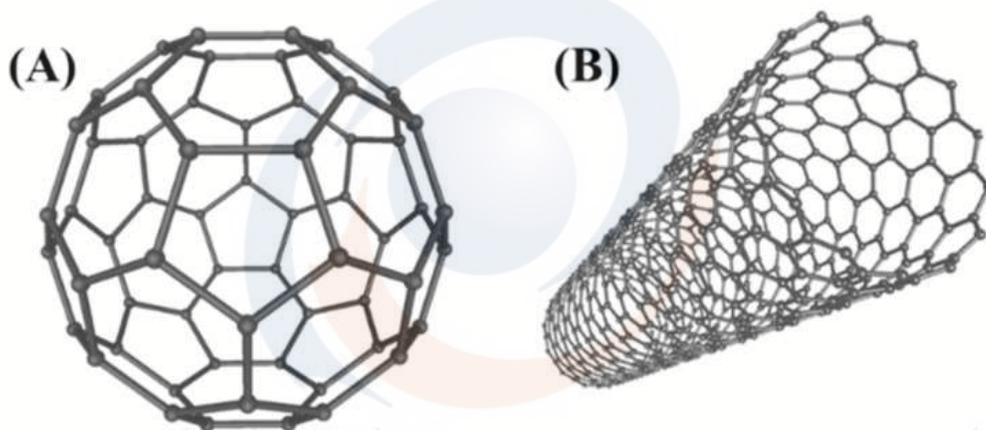
Berbagai jenis bahan nano

Bahan nano dengan minimal satu dimensi dalam skala nano dikenal sebagai lapisan nano. Contohnya adalah film tipis dan pelapis permukaan. Bahan nano dengan dua dimensi dalam skala nano disebut sebagai nanotube atau kawat nano. Contohnya termasuk tabung nano karbon dan serat nano karbon. Bahan nano dengan ketiga dimensi dalam skala nano disebut nanopartikel.

Nanomaterial selanjutnya dapat dipecah menjadi empat jenis: material berbasis karbon, material berbasis logam, dendrimer, dan komposit. Sifat unik dari bahan nano yang diproduksi secara sengaja yang termasuk dalam empat kategori utama ini memberi

mereka fitur pencitraan, termal, mekanik, medis, dan komersial yang sangat dicari dalam aplikasi di berbagai sektor industri.

Nanomaterial adalah partikel mikroskopis dengan minimal satu dimensi eksternal berukuran 100 nanometer (sepersepuluh milimeter) atau kurang, atau dengan struktur internal 100 nanometer atau kurang. Sebagai perbandingan, rambut manusia memiliki diameter sekitar 70.000 nanometer. Partikel nano terdapat di alam, dan sel-sel tubuh manusia memerlukan kompleks protein berukuran nano agar dapat berfungsi dengan baik. Rekayasa material nano adalah bidang yang berkembang pesat dengan banyak aplikasi berbeda. Kebakaran, mesin diesel, dan manufaktur berenergi tinggi, termasuk pengelasan dan penggilingan, juga menghasilkan nanopartikel.



Gambar 18. Bentuk nanomaterial A. Nanobubble B. nanotube

Berdasarkan ukuran, asal, konfigurasi struktural, diameter pori, dan potensi toksisitas, bahan nano dapat dibagi menjadi lima kategori utama. Karena sifat uniknya, materi nanopartikel menunjukkan sifat kimia, fisik, dan biologis yang unik di skala nano dibandingkan dengan partikel masing-masing pada skala yang lebih tinggi. Materi partikulat nano adalah wujud materi yang berbeda dari wujud padat, wujud cair, wujud gas, dan wujud plasma. Dalam dimensi ini, material nano mereka memiliki sifat optik, magnet, dan listrik yang khas. Ada cara lain untuk membuat bahan nano, namun dua pendekatan dasarnya adalah metode bottom-up dan top-down. Contoh teknik top-down termasuk litografi, penggilingan mekanis atau penggilingan bola, ablasi laser, sputtering,

pelepasan busur ledakan elektron, dan dekomposisi termal. Contoh teknik bottom-up termasuk deposisi uap kimia (CVD), sol-gel, pemintalan, pirolisis, dan sintesis biologis.

Nanomaterial dapat digunakan untuk desain produk farmasi yang ditujukan pada organ dan sel tertentu dalam tubuh, misalnya pada organ dan sel tubuh. sel kanker. Hal ini membuat terapi lebih efektif. Mereka juga membantu diagnosis medis, pemberian obat, dan pencitraan. Mereka ditambahkan ke bahan seperti kain dan semen, untuk membuatnya lebih ringan, namun lebih kuat. Ukurannya yang kecil berarti sangat berguna dalam bidang elektronik. Dan mereka juga mengikat dan membantu menetralkan racun sebagai bagian dari upaya pembersihan lingkungan. Para ilmuwan sangat tertarik pada bahan nano rekayasa (ENM) untuk bahan, struktur, dan perangkat komersial. Ribuan produk sehari-hari seperti kosmetik, pakaian anti noda tabir surya, ban, dan barang-barang listrik kini dibuat dengan bahan nano rekayasa.

Salah satu cara untuk mengklasifikasikan material nano adalah dengan jumlah dimensi yang tidak terbatas pada rentang skala nano. Nanomaterial berdimensi nol memiliki semua dimensi dalam dimensi nol skala nano (0D), tetapi tidak ada dimensi yang lebih besar dari 100 nm. Mereka adalah nanopartikel yang paling umum. Bahan nano satu dimensi memiliki satu dimensi (1D) di luar skala nano. Mereka termasuk nanotube, nanorods, dan kawat nano. Nanomaterial dua dimensi memiliki dua dimensi (2D) yang tidak terbatas pada skala nano. Ini termasuk nanofilm, nanolayers, dan nanocoatings. Bahan nano tiga dimensi, atau bahan nano massal memiliki ketiga dimensi (3D) di luar skala nano.

Jenis bahan nano berbasis karbon terutama terdiri dari karbon dan berbentuk ellipsoid, bola berongga, dan tabung. Nanomaterial berbasis logam termasuk nanosilver, nanogold, quantum dot, dan nano oksida seperti titanium dioksida. Dendrimer adalah polimer berukuran nano yang terbuat dari unit bercabang. Dan komposit menggabungkan nanopartikel dengan nanopartikel berbeda atau dengan material yang lebih besar dan lebih besar.

Partikel nano adalah objek dengan ketiga dimensi dalam skala nano, berkisar antara 1 dan 100 nm. Nanopartikel sangat penting dalam sektor biomedis dan farmasi, namun juga memainkan peran penting dalam teknologi penyimpanan energi. Nanopartikel emas, misalnya, sangat menarik perhatian karena potensinya yang luas

untuk aplikasi biomedis, khususnya pengobatan kanker. Liposom dan misel adalah sistem penghantaran obat yang sangat baik. Terapi zat besi intravena biasanya menggunakan nanopartikel besi yang distabilkan dalam kompleks besi-oligosakarida. Nanopartikel RNA digunakan dalam vaksin, untuk pembungkaman gen, dan untuk pigmen TiO<sub>2</sub> dalam tabir surya. Dan para peneliti menyelidiki nanopartikel polionik untuk digunakan sebagai bahan elektroda pada baterai yang dapat diisi ulang.

Salah satu material 2D pertama yang memicu penelitian lebih lanjut mengenai material semacam ini adalah graphene. Banyak penelitian mengenai konversi dan penyimpanan energi telah mengamati sifat menarik dari bahan nano 2D. Namun masih ada lagi: Lapisan logam, misalnya, memainkan peran penting dalam kinerja visual unit display. Lapisan nanokristalin TiO<sub>2</sub> adalah salah satu bahan yang paling umum untuk penggantian jaringan keras, karena memiliki sifat mekanik dan kimia yang sesuai. Lapisan tunggal yang dirakit sendiri (SAM) adalah kumpulan molekul organik yang terbentuk secara spontan dan teradsorpsi pada permukaan padat yang sering digunakan untuk biosensor.

Titik kuantum adalah kristal semikonduktor buatan dalam skala nano yang dapat mengangkut elektron. Ketika sinar UV menerpa mereka, mereka dapat memancarkan cahaya dalam berbagai warna. Salah satu cara untuk memproduksi bahan-bahan ini adalah sintesis koloid dengan bantuan gelombang mikro. Kegunaannya meliputi sel surya, aplikasi biologis, tampilan LED, fotodetektor, fotokatalis, dan lain-lain.

### **Nanorod**

Bahan-bahan ini memiliki dua dimensi dalam skala nano dan diproduksi melalui sintesis. Meskipun kawat nano digunakan untuk berbagai jenis transistor efek medan, sensor, laser, dan banyak lagi, aplikasi serat nano yang paling penting adalah rekayasa jaringan, pengiriman obat, diagnosis kanker, sensor optik, penyaringan udara, tekstil, dan lain-lain. Nanorod adalah serat nano padat dan penting karena kinerjanya yang unggul dalam penyimpanan energi.

### **Tabung nano karbon**

Carbon nanotube (CNTs) adalah alotrop karbon dengan struktur nano silinder. Mereka terdiri dari satu lapisan karbon (CNT berdinding tunggal) atau beberapa (CNT

berdinding banyak) dengan struktur grafit yang melilit inti berongga. Baik dimensi inti maupun dindingnya berada dalam kisaran nanometer, sedangkan panjang keseluruhan tabung biasanya lebih panjang. Komposit CNT yang tersebar dalam bahan matriks (misalnya polimer) menunjukkan sifat baru yang sangat menarik. Hal ini menjadikannya berpotensi berguna dalam banyak bidang, seperti ilmu material, elektronik, optik dan lain-lain.

Bahan nano biologis dapat memiliki hampir semua bentuk yang dijelaskan di atas, namun sebagian besar berperan sebagai nanopartikel untuk penghantaran obat dalam bentuk eksosom atau obat regeneratif atau sebagai virus yang tidak aktif dan partikel mirip virus dalam vaksin. Pelapis obat polimer (secara konvensional digunakan sebagai strategi pengiriman terkontrol dan peningkatan stabilitas) juga termasuk dalam bahan nano biologis.

### **Suspensi dan dispersi**

Dispersi nanopartikel adalah suspensi nanopartikel dalam cairan – air atau pelarut organik. Dispersi tersebut dapat digunakan dengan berbagai cara: apa adanya atau diencerkan dengan pelarut yang sesuai. Suspensi nanopartikel sangat penting, misalnya, industri kimia dan biologi, ilmu material, dan kedokteran. Area aplikasi yang umum, yang memerlukan dispersi homogen, adalah cat dan pelapis, tinta, penghantaran obat, serta pemrosesan keramik dan nanokomposit.

### **Komposit**

Bahan nano komposit mempunyai struktur komposit yang dikembangkan oleh dua atau lebih komponen skala nano, menghadirkan sifat fisik dan kimia yang luar biasa. Berkat sifat-sifat ini, bersama dengan komposisi dan fleksibilitas kimia dan strukturalnya, nanokomposit tidak hanya sangat relevan untuk bidang penelitian mendasar, namun juga untuk digunakan dalam berbagai bidang aplikasi baru.

Nanokomposit telah menjadi penting dalam berbagai industri – mulai dari skala kecil hingga skala besar. Mereka mempunyai potensi yang sangat besar untuk mendukung pengembangan teknologi maju dan ramah lingkungan di sektor industri seperti sektor otomotif, konstruksi, dan elektronik.

## Membran

Membran berbasis nanomaterial sering menjadi dasar desain dan pengembangan aplikasi baru. Mereka memiliki properti luar biasa – misalnya stabilitas fisik dan kimia yang luar biasa – menjadikannya sumber daya penting dalam penelitian dan banyak aplikasi industri.

## Polimer

Polimer sudah mapan dalam kemajuan teknologi dan kehidupan kita sehari-hari karena sifat kimia dan fisiknya yang sangat baik, kemampuan proses, dan biaya yang relatif rendah. Polimer juga disebut makromolekul, yang merupakan molekul besar. Ini adalah rantai panjang yang terdiri dari molekul-molekul kecil yang terikat bersama. Pemahaman mendalam tentang polimer dan pengembangan sifat polimer dalam nanoteknologi polimer memberikan beragam peluang penerapan, misalnya dalam bidang nanoteknologi, dalam industri farmasi dan bioteknologi.

## Semikonduktor

Mengurangi bahan semikonduktor menjadi skala nano secara radikal mengubah sifat fisik dan kimianya, menghasilkan sifat luar biasa berdasarkan luas permukaannya yang besar dan efek ukuran kuantum, sifat optik nonlinier, dan pendaran. Bahan nano semikonduktor, mis. nanopartikel semikonduktor, telah menarik banyak perhatian dalam beberapa tahun terakhir karena janji penelitian yang mereka miliki untuk aplikasi di berbagai bidang. Beberapa contohnya adalah pemrosesan informasi, sel surya, perangkat elektronik berskala nano, dan teknologi sensor baru seperti biosensor. Langkah lebih lanjut dalam kemajuan perkembangan nanoteknologi ini akan memulai terobosan besar dalam industri semikonduktor.

## Kawat nano, serat nano, batang nano

Kawat nano memiliki sifat yang biasanya tidak dapat ditemukan pada material curah karena tingkat energinya, dan oleh karena itu menjanjikan untuk pembuatan sensor atau elektroda transparan fleksibel, namun juga digunakan untuk berbagai aplikasi elektronik lainnya. Kawat nano, serat nano, dan batang nano juga berperan dalam

aplikasi biomedis, di mana mereka digunakan untuk memodifikasi permukaan guna memberikan interaksi yang lebih baik dengan sel/jaringan biologis.

Pada bagian ini, Anda akan menemukan gambaran contoh penelitian spesifik dengan teknik pengukuran yang berbeda, yaitu sintesis gelombang mikro dan difraksi sinar-X dari Anton Paar. Selain pemantauan in-situ terhadap pembentukan kawat nano CuO dengan difraktometer sinar-X, Anda juga dapat membaca tentang pembentukan kawat nano dengan sintesis gelombang mikro.

Kawat nano logam merupakan bahan yang menjanjikan untuk pembuatan sensor atau elektroda transparan yang fleksibel. Khususnya nanocopper telah menarik banyak minat karena konduktivitas listriknya yang tinggi. Berbagai metode dalam media berair telah diselidiki untuk menghasilkan nanopartikel tembaga yang diinginkan secara efisien. Iradiasi gelombang mikro memfasilitasi pendekatan hidrotermal reduktif untuk membentuk kawat nano yang diinginkan dengan memanfaatkan biomassa yang murah dan tersedia sebagai zat pereduksi.

Dalam gelas kimia tembaga (II), klorida dan oktadesilamin dilarutkan dalam 30 mL air pada suhu 65 °C dan disonikasi selama 1 jam. Glukosa dilarutkan dalam 30 mL air dan ditambahkan ke larutan prekursor sambil diaduk. Aliquot (maks. 20 mL) campuran dipindahkan ke botol G30 dan diiradiasi dengan gelombang mikro. Setelah pendinginan, campuran disentrifugasi, dan endapan dicuci bersih dan didispersikan dalam kloroform untuk disimpan sampai pemurnian dan penggunaan lebih lanjut. Pemurnian partikel dicapai hanya dengan mengekstraksi dispersi kloroform dengan air, dan sentrifugasi fase organik.

Kondisi suhu/waktu yang berbeda (2-4 jam pada 80 °C hingga 120 °C) digunakan untuk menentukan rasio aspek tertinggi dari nanopartikel yang dihasilkan. Glukosa bertindak sebagai zat pereduksi sedangkan zat penutup alkilamina sangat penting untuk pembentukan kawat nano. Namun, pembentukan kawat nano tidak diamati pada waktu reaksi di bawah 4 jam, dan di bawah 120 °C. Pemanasan konvensional memerlukan refluks selama 24 jam untuk mencapai hasil yang sebanding. Kawat nano yang dihasilkan digunakan untuk membuat film elektroda konduktif transparan, yang tetap stabil dalam kondisi sekitar dan perlakuan asam.

Banyaknya manfaat yang dapat diambil dari perkembangan teknologi pada bidang nano material namun belum bisa dimanfaatkan di Indonesia ini menjadi pertanyaan, apa upaya yang dapat dilakukan untuk memanfaatkan nanoteknologi di negara kita? Untuk menjawab pertanyaan ini, kita perlu memahami isu terpenting dalam pengembangan nano material. Isu-isu tersebut adalah bagaimana membuat partikel yang berukuran nano sebagai bahan baku produk nano, bagaimana mengetahui sifat-sifat nano partikel yang telah dibuat, dan bagaimana menyusun kembali dan mensintesis nano partikel yang telah dibuat untuk menjadi produk akhir. Dengan memfokuskan dan menerapkan pada 3 hal tersebut maka diharapkan Indonesia bisa membuat strategi dan peluang dalam pengembangan teknologi nano.

Nano teknologi merupakan teknologi yang melibatkan atom dan molekul dengan ukuran yang lebih kecil dari 1.000 nanometer. Nano teknologi menjadi solusi dari berbagai permasalahan dunia yang banyak terjadi di berbagai bidang termasuk di Indonesia. Indonesia merupakan negara dengan kekayaan SDA yang melimpah. Namun, Indonesia belum bisa memanfaatkan SDA yang ada ini untuk perkembangan nanoteknologi di negaranya. Padahal, jika dipikir-pikir akan sangat banyak manfaat yang didapatkan apabila negara kita mampu memanfaatkan kemajuan teknologi nano ini.

Hidroksiapatit berpori sangat menarik dalam penelitian material nano karena porositas dan luas permukaannya dapat dengan mudah disesuaikan dengan aplikasi yang diinginkan dalam katalisis, adsorpsi gas, dan bidang lainnya. Doping dengan logam transisi yang tepat seperti perak atau tembaga menghasilkan aktivitas antibakteri yang luar biasa sehingga membuat bahan tersebut juga cocok untuk pembuatan perangkat medis seperti implan tulang atau gigi. Iradiasi gelombang mikro memberikan proses dua langkah yang mudah dan cepat untuk menghasilkan nanorod hidroksiapatit doping yang berharga.

Kalsium nitrat dilarutkan bersama dengan cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) sebagai surfaktan dalam 30 mL air. Diamonium hidrogen fosfat dilarutkan secara terpisah dalam 30 mL air dan pH diatur dengan hidrosilamina hingga 10. Larutan ini ditambahkan tetes demi tetes sambil diaduk ke dalam larutan kalsium. Aliquot (20 mL) diisi ke dalam botol G30 dan diiradiasi dengan gelombang mikro. Endapan yang terbentuk kemudian disentrifugasi, dicuci dengan air dan dikalsinasi pada suhu 550 °C.

Untuk langkah selanjutnya 2 g nanorod hidroksiapatit yang baru disiapkan didispersikan dalam 50 mL air. 5 mol% perak nitrat ditambahkan dan campuran diaduk pada suhu kamar selama 5 menit. Aliquot (20 mL) diisi ke dalam botol G30 dan diiradiasi dengan gelombang mikro. Bahan padat disentrifugasi, dicuci dengan air dan dikeringkan pada suhu 50 °C. Berbagai surfaktan organik telah digunakan untuk mempelajari pengaruh morfologi nanopartikel yang dihasilkan. Struktur kristal produk dianalisis dengan difraksi sinar-X bubuk. CTAB kationik saja sebagai surfaktan sudah menunjukkan hasil yang baik, namun luas permukaan dan diameter pori tertinggi diperoleh bila menggunakan campuran surfaktan kationik dan anionik. Nanorod hidroksiapatit berukuran nano yang dihasilkan didoping dievaluasi sifat adsorpsinya terhadap pewarna dan ion logam serta aktivitas antibakteri terhadap E. coli. Untuk yang terakhir, doping perak 5% menunjukkan efektivitas tertinggi setelah 24 jam inkubasi.

Kawat nano semikonduktor telah menarik minat dalam beberapa tahun terakhir sebagai bahan potensial untuk perangkat optoelektronik. Penggabungan dopan ke semikonduktor dasar memungkinkan penyesuaian properti elektronik dengan mudah. Terutama paduan nano timah dan germanium dalam berbagai bentuk menunjukkan efek yang menjanjikan untuk LED atau sensor biologis. Pemanasan gelombang mikro secara drastis mempersingkat waktu reaksi untuk pembentukan kawat nano yang diinginkan dan dengan demikian memungkinkan untuk memvariasikan kandungan timah dalam bahan nano yang disiapkan.

Dalam botol G10, bis[bis(trimetilsilil)]timah dan 4 setara bis[bis(trimetilsilil)]germanium disuspensikan dalam atmosfer inert dalam dodesilamin. Campuran dipanaskan pada suhu 100 °C sambil diaduk dalam glove box semalaman. Setelah perlakuan awal, vial ditutup rapat dan diberi radiasi gelombang mikro. Setelah dingin, campuran diencerkan dengan toluena dan disentrifugasi. Kawat nano yang dituang disebar kembali dan disentrifugasi (2x dalam toluena, 3x dalam etanol, 3x dalam toluena) dan akhirnya disimpan dalam toluena.

Sebelum digunakan lebih lanjut, kawat nano dianil dalam atmosfer helium pada suhu 250 °C selama 60 menit. Meskipun agak memakan waktu, perlakuan awal terhadap campuran reaksi pada suhu 100 °C sangat penting, karena jika tidak, tidak akan ada kawat nano yang terbentuk. Struktur nano yang diperoleh dikarakterisasi dengan

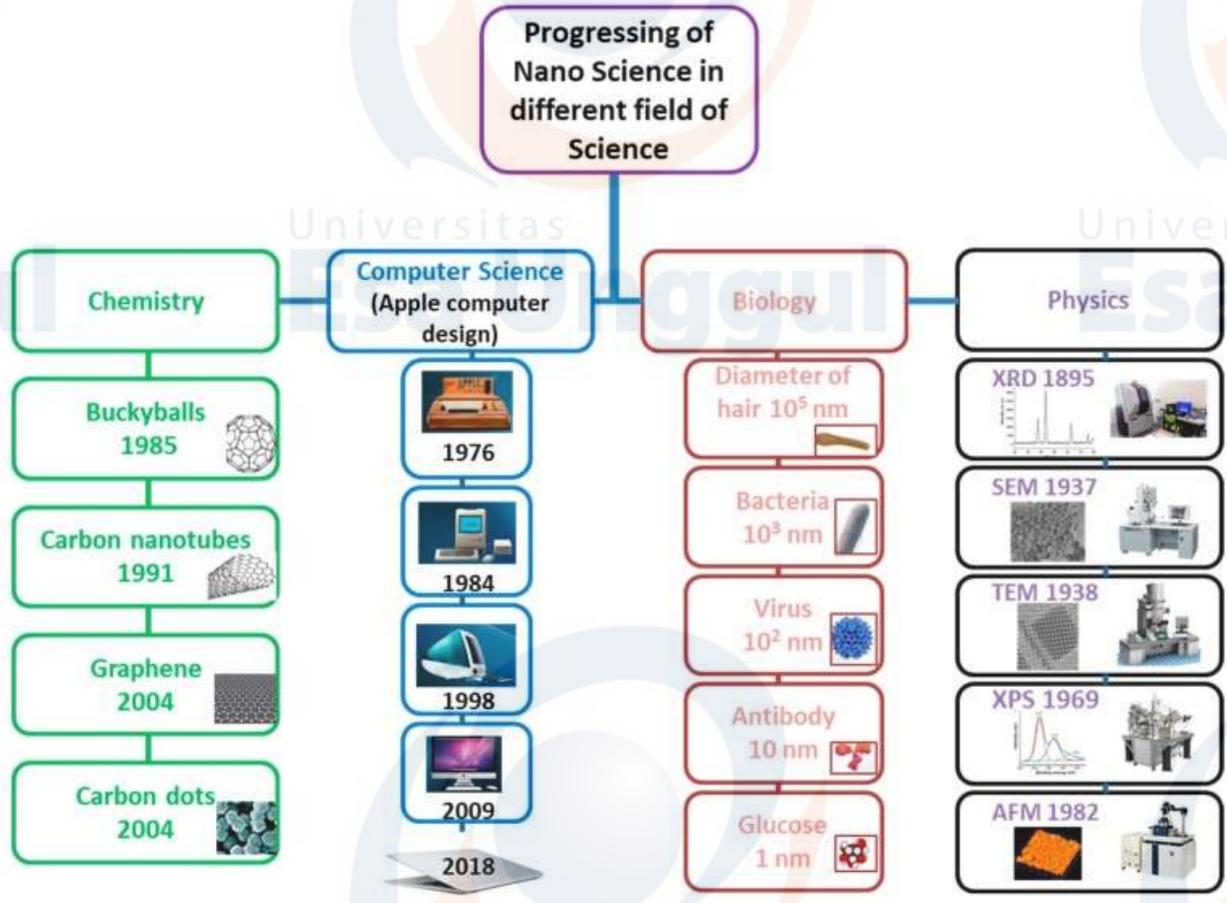
pemindaian mikroskop elektron, mikroskop elektron transmisi, spektroskopi sinar-X dispersif energi, dan difraksi sinar-X (lihat Gambar 1). Mengikuti prosedur yang dijelaskan, kawat nano yang dihasilkan memiliki kandungan timah yang tinggi sekitar 20%. Bahan tersebut dievaluasi secara menyeluruh untuk perilaku ohmik dengan pengendapan pada substrat silikon dan mengungkapkan kondisi semikonduktor yang kuat dengan peningkatan resistivitas dengan penurunan suhu.

Pembuatan lapisan tunggal dapat dicapai secara efektif dengan perakitan sendiri substrat yang sesuai, seperti nanorod yang difungsikan. Bermanfaat adalah teknik perakitan mandiri yang menghasilkan lapisan tunggal tipis, yang dapat diterapkan pada perangkat elektronik dan fotonik. Di sini, disajikan metode yang dimediasi gelombang mikro untuk menghasilkan nanorod oksida logam secara efisien, dibungkus dengan oksida graphene tereduksi, untuk studi perakitan mandiri lebih lanjut.

#### Eksperimental

Dalam gelas kimia, lembaran graphene oksida didispersikan dalam 20 mL air dan disonikasi selama 1 jam. Bubuk anatase ditambahkan dan campuran ditempatkan pada shaker semalaman. Dispersi tersebut kemudian ditambahkan ke dalam 30 mL larutan NaOH 10M. Campuran yang dihasilkan didistribusikan secara merata ke empat liner PTFE 100 mL. Bejana reaksi disegel dan ditempatkan di rotor yang sesuai dan disinari dengan gelombang mikro.

Pendekatan gelombang mikro paralel dipilih untuk menghasilkan bahan nano yang cukup untuk penyelidikan lebih lanjut dalam satu percobaan. Nanorod disuspensikan dalam air deionisasi (10 mg/mL) dan selanjutnya beberapa metode pelapisan, seperti pelapisan celup, pengecoran jatuh atau pelapisan pisau, diselidiki. Dengan metode berbeda untuk menyimpan nanorod natrium titanat berlapis graphene yang telah disiapkan pada berbagai substrat, ketebalan yang dapat diakses dari lapisan yang dihasilkan diselidiki. Film yang diendapkan dikarakterisasi dengan menerapkan transformasi 2D Fourier pada pemindaian gambar mikroskop elektron.



Gambar 19. Proses pembuatan nanomaterial

## BAB 5 KARAKTERISASI NANOPARTIKEL

Karakterisasi nanopartikel adalah proses penting untuk memahami sifat fisik, kimia, dan struktur nanopartikel yang dihasilkan. Metode karakterisasi yang digunakan dapat memberikan informasi tentang ukuran, bentuk, distribusi ukuran, struktur kristal, komposisi kimia, sifat permukaan, dan stabilitas dari nanopartikel. Berikut adalah beberapa teknik utama yang digunakan untuk karakterisasi nanopartikel:

### 5.1. Mikroskopi

Mikroskop Elektron Transmisi (Transmission Electron Microscopy, TEM): Menggunakan berkas elektron untuk menghasilkan gambar dengan resolusi tinggi dari struktur internal nanopartikel. TEM dapat memberikan informasi tentang ukuran, bentuk, dan struktur kristal.

Mikroskop Elektron Transmisi (Transmission Electron Microscopy, TEM) adalah alat yang digunakan untuk mengamati struktur internal material dengan resolusi yang sangat tinggi. TEM memanfaatkan berkas elektron yang melewati sampel tipis dan memungkinkan visualisasi detail pada skala nanometer hingga sub-nanometer. Berikut adalah penjelasan rinci tentang prinsip kerja, komponen, dan aplikasi TEM:



Gambar 20. Mikroskop TEM

### Prinsip Kerja

TEM bekerja dengan mengarahkan berkas elektron berenergi tinggi (biasanya dalam kisaran 60-300 keV) melalui sampel yang sangat tipis (sekitar 100 nanometer atau kurang). Interaksi antara elektron dan atom dalam sampel menghasilkan berbagai pola hamburan yang kemudian dikumpulkan dan difokuskan untuk membentuk gambar atau difraksi.

### Komponen Utama TEM

1. Sumber Elektron: Biasanya berupa filamen tungsten atau LaB6 yang dipanaskan untuk menghasilkan elektron, atau gun emisi lapangan (field emission gun, FEG) untuk sumber elektron yang lebih stabil dan cerah.
2. Sistem Lensa Magnetik: Mengarahkan, mempercepat, dan memfokuskan berkas elektron. Terdiri dari lensa kondensor, lensa objektif, dan lensa proyektor.
3. Ruang Sampel: Tempat di mana sampel ditempatkan. Sampel harus sangat tipis untuk memungkinkan elektron melewatinya.

4. Detektor: Mengumpulkan elektron yang ditransmisikan dan hamburan untuk membentuk gambar atau pola difraksi. Detektor dapat berupa layar fluoresen, kamera CCD, atau detektor berbasis CMOS.
5. Sistem Vakum: Mempertahankan tekanan rendah dalam kolom mikroskop untuk mencegah interaksi elektron dengan molekul udara.

### Jenis-jenis Gambar dan Analisis

1. Gambar Transmisi: Menghasilkan gambar kontras berdasarkan ketebalan dan densitas atom dalam sampel. Daerah yang lebih tebal atau lebih padat akan tampak lebih gelap karena lebih banyak elektron yang dihamburkan.
2. Gambar Difraksi Elektron: Menyediakan informasi tentang struktur kristal dan orientasi kristal dalam sampel. Pola difraksi dihasilkan ketika elektron berinteraksi dengan bidang atomik teratur dalam kristal.
3. High-Resolution TEM (HRTEM): Menghasilkan gambar resolusi atom yang memungkinkan visualisasi individu kolom atom dalam kristal.
4. Scanning TEM (STEM): Kombinasi antara TEM dan SEM, di mana berkas elektron dipindai secara titik demi titik di seluruh sampel. STEM dapat digunakan bersamaan dengan detektor khusus seperti detektor annular dark-field (ADF) untuk analisis kontras massa atau detektor EDX untuk analisis elemen.

### Aplikasi TEM

1. Ilmu Material: Mengamati struktur kristal, cacat kristal, batas butir, dan nanopartikel.
2. Biologi: Memvisualisasikan struktur sub-seluler, virus, dan makromolekul.
3. Nanoteknologi: Karakterisasi nanomaterial, nanotube, dan nanopartikel.
4. Kimia: Studi tentang katalis heterogen dan material mesoporos.
5. Fisika: Penelitian tentang sifat material pada skala nanometer dan studi interaksi elektron-materi.

### Kelebihan dan Kekurangan TEM

#### Kelebihan:

- Resolusi sangat tinggi, hingga skala atom.
- Informasi mendalam tentang struktur kristal dan komposisi elemen.
- Kemampuan untuk memvisualisasikan struktur internal material.

Kekurangan:

- Persiapan sampel yang kompleks dan membutuhkan keahlian.
- Instrumen yang mahal dan membutuhkan ruang yang dilengkapi dengan sistem kontrol getaran dan medan magnet.
- Tidak cocok untuk analisis material tebal atau non-transparan terhadap elektron.

TEM adalah alat yang sangat kuat dan esensial dalam penelitian ilmiah dan teknologi, memungkinkan pemahaman mendalam tentang struktur dan sifat material pada skala yang sangat kecil.

Mikroskop Elektron Pindai (Scanning Electron Microscopy, SEM): Menggunakan berkas elektron untuk memindai permukaan nanopartikel, memberikan gambar dengan resolusi tinggi dari morfologi permukaan dan topografi.

Mikroskop Elektron Pindai (Scanning Electron Microscopy, SEM) adalah alat yang digunakan untuk menghasilkan gambar resolusi tinggi dari permukaan sampel. SEM bekerja dengan memindai permukaan sampel menggunakan berkas elektron dan mendeteksi elektron yang dipantulkan atau sinyal sekunder yang dihasilkan. Berikut adalah penjelasan rinci tentang prinsip kerja, komponen, dan aplikasi SEM:



Gambar 21. Mikroskop SEM

## Prinsip Kerja

SEM menggunakan berkas elektron yang difokuskan untuk memindai permukaan sampel titik demi titik. Ketika berkas elektron berinteraksi dengan permukaan sampel, berbagai sinyal dihasilkan, termasuk elektron sekunder (secondary electrons), elektron yang dipantulkan balik (backscattered electrons), sinar-X karakteristik, dan lain-lain. Detektor mengumpulkan sinyal-sinyal ini dan menggunakannya untuk membentuk gambar atau menganalisis komposisi elemen.

## Komponen Utama SEM

1. Sumber Elektron: Menghasilkan elektron, biasanya menggunakan filamen tungsten, filamen LaB6, atau gun emisi lapangan (field emission gun, FEG).
2. Kolom Elektron: Berkas elektron dipercepat dan difokuskan oleh sistem lensa elektromagnetik, termasuk lensa kondensor dan lensa objektif.
3. Ruang Sampel: Tempat di mana sampel ditempatkan. Ruang ini biasanya memiliki sistem gerak untuk memosisikan dan memiringkan sampel.
4. Detektor: Mengumpulkan sinyal yang dihasilkan dari interaksi elektron-sampel, seperti detektor elektron sekunder (SED), detektor elektron yang dipantulkan balik (BSED), dan detektor sinar-X energi-dispersif (EDS).
5. Sistem Vakum: Mempertahankan tekanan rendah dalam kolom mikroskop untuk mengurangi interaksi antara elektron dan molekul udara.

## Jenis Sinyal dan Informasi yang Dihasilkan

1. Elektron Sekunder (Secondary Electrons, SE): Elektron yang dihasilkan dari lapisan permukaan sampel, memberikan gambar dengan kontras topografi yang tinggi.
2. Elektron yang Dipantulkan Balik (Backscattered Electrons, BSE): Elektron yang dipantulkan balik dari sampel, memberikan gambar dengan kontras berdasarkan nomor atom (material dengan nomor atom lebih tinggi tampak lebih cerah).

3. Sinar-X Energi-Dispersif (Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy, EDS): Menghasilkan spektrum sinar-X karakteristik dari elemen-elemen dalam sampel, memungkinkan analisis komposisi elemen.
4. Sinyal Lainnya: Termasuk sinar-X hamburan Wavelength-Dispersive X-ray Spectroscopy (WDS) dan elektron Auger.

#### Aplikasi SEM

1. Ilmu Material: Analisis morfologi, struktur mikro, komposisi elemen, dan cacat dalam material.
2. Biologi: Visualisasi struktur permukaan sel, jaringan, dan organel dengan preparasi khusus (biasanya dengan pelapisan logam).
3. Nanoteknologi: Karakterisasi nanomaterial, nanopartikel, nanotube, dan struktur nano lainnya.
4. Geologi: Studi tentang mineral, batuan, dan fosil.
5. Forensik: Analisis jejak material dan bukti fisik dalam investigasi kriminal.
6. Industri: Pemeriksaan kegagalan material, kontrol kualitas, dan pengembangan produk.

#### Kelebihan dan Kekurangan SEM

##### Kelebihan:

- Resolusi tinggi hingga beberapa nanometer.
- Kemampuan untuk menghasilkan gambar tiga dimensi dari topografi permukaan.
- Analisis komposisi elemen dengan EDS.
- Dapat digunakan pada berbagai jenis sampel, termasuk sampel biologis dan material keras.

##### Kekurangan:

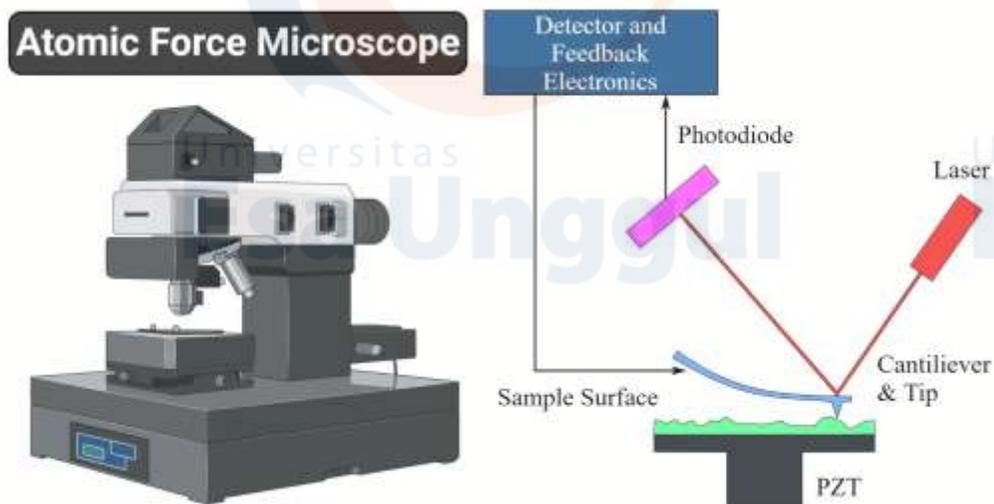
- Persiapan sampel yang mungkin memerlukan pelapisan konduktif (seperti pelapisan emas atau karbon) untuk non-konduktor.

- Alat yang mahal dan membutuhkan perawatan yang teliti.
- Sampel harus ditempatkan dalam vakum, yang mungkin tidak cocok untuk beberapa jenis material (misalnya, sampel basah atau bahan volatil).

SEM adalah alat yang sangat serbaguna dan penting dalam penelitian ilmiah dan aplikasi industri, memungkinkan analisis detail permukaan material dengan resolusi yang sangat tinggi.

Mikroskop Kekuatan Atom (Atomic Force Microscopy, AFM): Menggunakan probe tajam yang memindai permukaan sampel untuk memberikan informasi topografi tiga dimensi pada resolusi nanometer.

Mikroskop Kekuatan Atom (Atomic Force Microscopy, AFM) adalah alat yang digunakan untuk mendapatkan gambar tiga dimensi dari permukaan sampel dengan resolusi tinggi. AFM bekerja dengan meraba permukaan sampel menggunakan probe yang sangat tajam untuk mengukur kekuatan interaksi antara probe dan permukaan sampel. Berikut adalah penjelasan rinci tentang prinsip kerja, komponen, dan aplikasi AFM:



Gambar 22. Atomic Force Mikroskop

## Prinsip Kerja

AFM menggunakan tip tajam yang dipasang pada ujung cantilever fleksibel untuk meraba permukaan sampel. Ketika tip mendekati permukaan sampel, kekuatan interaksi (seperti kekuatan van der Waals, gaya elektrostatik, atau gaya kapiler) menyebabkan defleksi pada cantilever. Defleksi ini diukur menggunakan laser yang dipantulkan dari belakang cantilever ke detektor fotodioda posisi-sensitif. Perubahan posisi titik laser pada detektor digunakan untuk menghasilkan informasi topografi permukaan dengan resolusi nanometer.

## Komponen Utama AFM

1. Cantilever dan Tip: Cantilever adalah lengan fleksibel dengan tip tajam di ujungnya, biasanya terbuat dari silikon atau silikon nitrida. Tip ini memiliki radius kelengkungan yang sangat kecil untuk mencapai resolusi tinggi.
2. Laser dan Detektor Fotodioda: Sistem laser digunakan untuk memantulkan cahaya dari belakang cantilever ke detektor fotodioda posisi-sensitif, yang mengukur defleksi cantilever.
3. Pemindai Piezoelektrik: Menggerakkan sampel atau cantilever dalam tiga dimensi (x, y, dan z) dengan presisi tinggi untuk memetakan permukaan sampel.
4. Kontroler Elektronik dan Perangkat Lunak: Mengontrol gerakan pemindai dan cantilever serta memproses sinyal untuk menghasilkan gambar.

## Mode Operasi AFM

1. Mode Kontak (Contact Mode): Tip berada dalam kontak langsung dengan permukaan sampel. Gaya interaksi diukur secara langsung. Mode ini cocok untuk permukaan yang relatif keras dan stabil, tetapi dapat merusak sampel lembut atau fleksibel.
2. Mode Ketukan (Tapping Mode): Tip beresilasi pada frekuensi resonansi dekat permukaan sampel, hanya menyentuh permukaan sesekali. Mode ini mengurangi kerusakan pada sampel lembut dan memberikan resolusi tinggi.
3. Mode Non-Kontak (Non-Contact Mode): Tip beresilasi sedikit di atas permukaan sampel tanpa menyentuhnya. Gaya interaksi jarak jauh (seperti kekuatan van der Waals) diukur. Mode ini cocok untuk permukaan yang sangat lembut atau mudah rusak.

## Aplikasi AFM

1. Ilmu Material: Analisis topografi permukaan, kekasaran, dan sifat mekanis material pada skala nanometer.
2. Biologi: Studi struktur biomolekul, membran sel, dan interaksi molekuler dalam kondisi alami atau hampir alami.
3. Nanoteknologi: Karakterisasi nanomaterial, nanopartikel, dan struktur nano lainnya.
4. Polimer dan Komposit: Analisis morfologi dan distribusi fase pada polimer dan material komposit.
5. Semikonduktor: Pemeriksaan struktur permukaan dan perangkat semikonduktor pada skala nanometer.
6. Tribologi: Studi sifat gesekan, pelumasan, dan keausan pada permukaan material.

## Kelebihan dan Kekurangan AFM

### Kelebihan:

- Resolusi tinggi hingga skala atom.
- Dapat digunakan pada berbagai jenis sampel, termasuk material biologis, polimer, dan semikonduktor.
- Tidak memerlukan kondisi vakum, dapat bekerja dalam udara, cairan, atau lingkungan vakum.
- Mengukur sifat mekanis, kimia, dan listrik pada skala nanometer.

### Kekurangan:

- Laju pemindaian yang relatif lambat dibandingkan dengan teknik mikroskopi lainnya.
- Area pemindaian yang terbatas, biasanya beberapa mikrometer persegi.
- Tip dapat aus atau rusak, yang mempengaruhi kualitas gambar dan memerlukan penggantian secara berkala.
- Interaksi kuat antara tip dan sampel dapat menyebabkan artefak gambar atau kerusakan sampel.

AFM adalah alat yang sangat serbaguna dan esensial dalam penelitian ilmiah dan aplikasi industri, memungkinkan analisis detail permukaan material dengan resolusi yang sangat tinggi dan kemampuan untuk mengukur berbagai sifat fisik dan kimia.

## 2. Difraksi

- Difraksi Sinar-X (X-Ray Diffraction, XRD): Mengidentifikasi struktur kristal nanopartikel dengan menganalisis pola difraksi yang dihasilkan saat sinar-X dipancarkan ke sampel. XRD dapat memberikan informasi tentang ukuran kristal, parameter kisi, dan tingkat kristalinitas.

## 3. Spektroskopi

- Spektroskopi Inframerah Transformasi Fourier (Fourier-Transform Infrared Spectroscopy, FTIR): Mengidentifikasi ikatan kimia dan gugus fungsional pada permukaan nanopartikel dengan menganalisis serapan inframerah.
- Spektroskopi Raman: Menggunakan hamburan Raman untuk memberikan informasi tentang struktur molekul dan ikatan kimia dalam nanopartikel.
- Spektroskopi Serapan Atom (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS): Mengukur konsentrasi unsur-unsur logam dalam nanopartikel.



Gambar 23. Fourier-Transform Infrared Spectroscopy, FTIR

#### 4. Analisis Termal

- Analisis Termogravimetri (Thermogravimetric Analysis, TGA): Mengukur perubahan berat nanopartikel sebagai fungsi dari suhu untuk menentukan stabilitas termal dan komposisi material.



Gambar 24. Thermogravimetric Analysis, TGA

#### 5. Teknik Difusi dan Mobilitas

- Dynamic Light Scattering (DLS): Mengukur distribusi ukuran partikel dalam suspensi dengan menganalisis pola hamburan cahaya yang dihasilkan oleh partikel yang bergerak secara acak (Brownian motion).
- Zeta Potential Measurement: Mengukur muatan permukaan nanopartikel dalam suspensi, yang penting untuk memahami stabilitas koloidal dan interaksi antarpartikel.

#### 6. Spektroskopi Sinar-X

- X-Ray Photoelectron Spectroscopy (XPS): Menganalisis komposisi kimia permukaan nanopartikel dan keadaan oksidasi unsur-unsurnya.
- Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS/EDX): Sering digunakan bersamaan dengan SEM untuk analisis elemen di titik tertentu pada nanopartikel.

## 7. Teknik Lainnya

- Small Angle X-Ray Scattering (SAXS): Memberikan informasi tentang ukuran, bentuk, dan distribusi ukuran partikel pada skala nanometer.
- Ultraviolet-Visible Spectroscopy (UV-Vis): Mengukur spektrum serapan nanopartikel, sering digunakan untuk menentukan ukuran partikel dan karakteristik optik.

Karakterisasi nanopartikel membutuhkan kombinasi dari beberapa teknik ini untuk mendapatkan gambaran yang komprehensif tentang sifat-sifatnya. Setiap teknik memberikan informasi yang unik dan saling melengkapi, yang penting untuk pengembangan dan aplikasi nanomaterial dalam berbagai bidang.

## BAB 6 KEMAJUAN NANOPARTIKEL DI BIDANG KESEHATAN

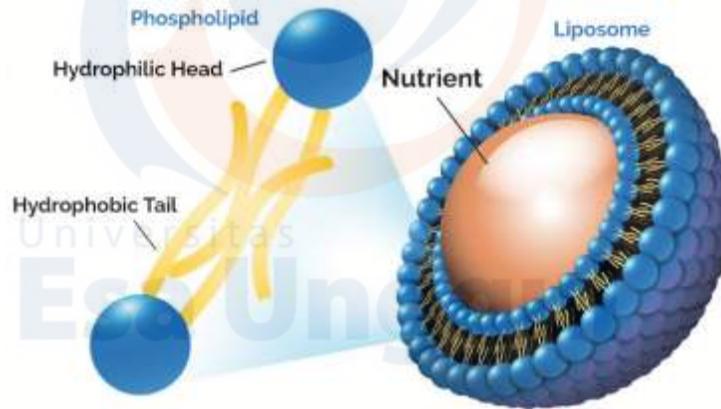
Nanopartikel telah membawa banyak kemajuan di bidang kesehatan, menawarkan potensi besar dalam diagnosis, pengobatan, dan pencegahan penyakit. Nanopartikel menawarkan banyak manfaat potensial bagi kesehatan dengan kemampuannya untuk meningkatkan efektivitas terapi, mengurangi efek samping, dan memungkinkan metode diagnostik yang lebih akurat. Penelitian terus berlanjut untuk mengatasi tantangan yang ada dan memaksimalkan potensi teknologi nanopartikel dalam bidang kesehatan.

Berikut adalah beberapa aplikasi utama dan kemajuan nanopartikel di bidang kesehatan:

### 1. Penghantaran Obat (Drug Delivery)

Drug delivery menggunakan nanopartikel adalah bidang yang terus berkembang dengan potensi besar untuk meningkatkan efektivitas terapi dan kualitas hidup pasien. Dengan terus berinovasi dan mengatasi tantangan yang ada, penggunaan nanopartikel dalam pengiriman obat diharapkan dapat memberikan dampak positif yang signifikan dalam dunia kesehatan.

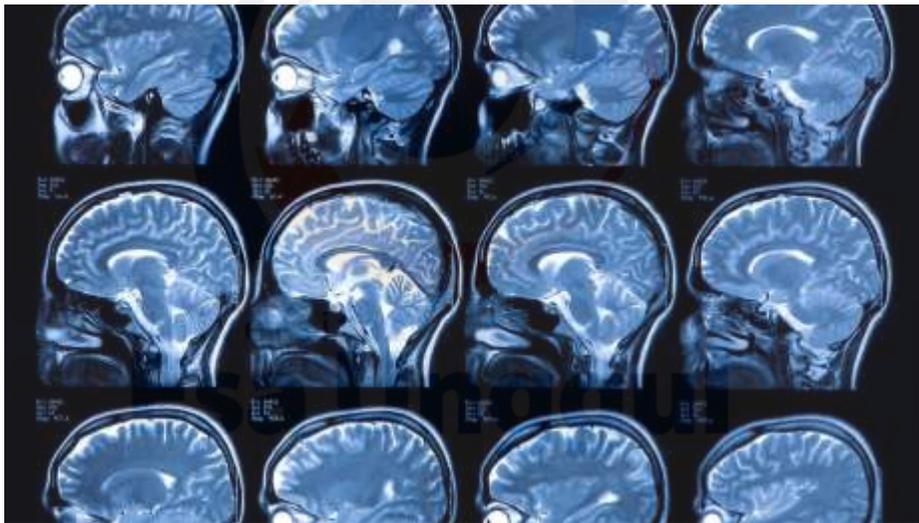
Nanopartikel dapat difungsikan untuk mengantarkan obat langsung ke sel target, seperti sel kanker, dengan mengurangi efek samping pada jaringan sehat disebut sebagai Targeted Drug Delivery, Contoh: Nanopartikel liposom yang membawa kemoterapi langsung ke tumor. Nanopartikel memungkinkan pelepasan obat secara terkontrol, memperpanjang durasi efektivitas obat dan mengurangi frekuensi dosis. Disebut sebagai Controlled Release. Contoh: Nanopartikel polimer biodegradable yang melepaskan obat secara bertahap.



Gambar 25. Nanopartikel liposom

## 2. Diagnosis dan Imaging

- Imaging Agen: Nanopartikel seperti quantum dots dan nanopartikel logam (misalnya, nanopartikel emas) digunakan sebagai agen kontras dalam teknik pencitraan seperti MRI, CT, dan fluorescent imaging, meningkatkan resolusi dan akurasi diagnosis.



Gambar 26. Hasil uji MRI

- Biosensor: Nanopartikel digunakan dalam biosensor untuk mendeteksi biomolekul tertentu dengan sensitivitas tinggi, membantu dalam diagnosis penyakit dini. Contoh: Nanopartikel emas dalam biosensor untuk mendeteksi penanda kanker.



Gambar 27. nanopartikel emas

### 3. Terapi Kanker

Nanopartikel magnetik dapat digunakan untuk memanaskan sel kanker hingga mereka mati tanpa merusak jaringan sehat di sekitarnya. Nanopartikel ini dipandu ke tumor dan dipanaskan menggunakan medan magnet. Nanopartikel emas dapat mengkonversi cahaya inframerah menjadi panas, menghancurkan sel kanker secara lokal saat disinari dengan laser.

### 4. Terapi Gen

Nanopartikel digunakan untuk mengantarkan material genetik seperti DNA, RNA, atau CRISPR ke dalam sel untuk tujuan terapi gen. Nanopartikel ini melindungi material genetik dari degradasi dan meningkatkan efisiensi penghantaran ke sel target. Terapi gen dengan menggunakan nanopartikel menjanjikan kemajuan signifikan dalam pengobatan berbagai penyakit, terutama penyakit genetik dan kanker. Dengan terus berkembangnya teknologi nanopartikel, diharapkan terapi gen akan menjadi lebih efektif, aman, dan dapat diakses oleh lebih banyak orang.

Terapi gen adalah pendekatan pengobatan yang bertujuan untuk memperbaiki, menggantikan, atau menambahkan gen ke dalam sel-sel individu untuk mengobati atau mencegah penyakit. Nanopartikel telah menjadi salah satu alat yang sangat penting

dalam pengembangan terapi gen karena kemampuannya untuk mengantarkan material genetik ke dalam sel dengan efisien dan aman.

Beberapa cara nanopartikel digunakan dalam terapi gen yaitu pengiriman materi genetic. Nanopartikel dapat mengantarkan DNA ke dalam sel untuk menggantikan gen yang rusak atau hilang. Nanopartikel dapat mengantarkan RNA, termasuk mRNA dan siRNA, untuk mengatur ekspresi gen atau menghambat produksi protein tertentu. Nanopartikel dapat dirancang untuk mengirimkan material genetik langsung ke sel atau jaringan target, seperti sel kanker, mengurangi kerusakan pada jaringan sehat. Nanopartikel dapat dirancang untuk mengenali dan berinteraksi dengan jenis sel tertentu, meningkatkan akurasi pengiriman gen ke sel target. Nanopartikel memungkinkan pelepasan materi genetik secara bertahap, meningkatkan efisiensi pengiriman dan meminimalkan toksisitas. Nanopartikel dapat melindungi materi genetik dari degradasi oleh enzim dan lingkungan eksternal, meningkatkan stabilitas dan efektivitas pengiriman. Nanopartikel membantu materi genetik menembus membran sel dan mencapai sitoplasma atau inti sel

#### e. Aplikasi dalam Terapi Gen

Terapi gen digunakan untuk mengobati penyakit genetik, seperti fibrosis kistik dan hemofilia, dengan menggantikan gen yang rusak atau hilang. Terapi gen digunakan untuk menghambat pertumbuhan sel kanker atau memicu kematian sel kanker dengan mengirimkan materi genetik yang sesuai. Nanopartikel digunakan dalam pengembangan vaksin DNA untuk melawan penyakit menular seperti HIV dan influenza

Tantangan dalam Terapi Gen dengan Nanopartikel adalah memastikan materi genetik mencapai sel target dengan efisien dan dalam jumlah yang cukup serta memastikan nanopartikel aman dan tidak menimbulkan reaksi imun atau toksisitas. Penggunaan nanopartikel dalam terapi gen harus mematuhi regulasi yang ketat untuk memastikan keamanan dan efektivitasnya.

#### 5. Vaksin

Nanovaksin: Nanopartikel digunakan sebagai adjuvan atau pembawa antigen dalam vaksin untuk meningkatkan respons imun. Mereka dapat meniru patogen secara lebih

efektif, memicu respons imun yang kuat tanpa menyebabkan penyakit. Nanovaksin adalah vaksin yang menggunakan nanoteknologi dalam desain dan pengembangannya. Nanovaksin menawarkan beberapa keuntungan dibandingkan dengan vaksin konvensional, termasuk peningkatan respons imun, stabilitas, dan efisiensi pengiriman.

Karakteristik dan keuntungan utama dari nanovaksin, adalah terjadinya Peningkatan Respons Imun. Nanovaksin dapat mengantarkan antigen vaksin langsung ke sel-sel sistem kekebalan tubuh yang memicu respons imun yang lebih kuat. Nanovaksin dapat menggabungkan antigen dengan adjuvan (penguat respons imun) yang lebih efektif, seperti nanopartikel yang dirancang khusus untuk meningkatkan respons imun.

Nanovaksin juga memiliki sifat stabilitas yang lebih baik karena nanopartikel dapat melindungi antigen vaksin dari degradasi dan membantu dalam mencapai jumlah yang lebih besar dari antigen dalam sistem kekebalan tubuh. Nanovaksin dapat dirancang untuk melepaskan antigen secara bertahap, meningkatkan durasi respons imun dan mengurangi frekuensi dosis.

Nanovaksin dapat dirancang untuk mengatasi rintangan mukosa, seperti penghalang mukosa dalam saluran pencernaan atau pernapasan, meningkatkan efisiensi pengiriman vaksin, sehingga nanovaksin memiliki sifat pengiriman yang lebih efektif. Selain itu nanovaksin dapat diberikan melalui rute intranasal, yang menghasilkan respons imun yang kuat di saluran pernapasan.

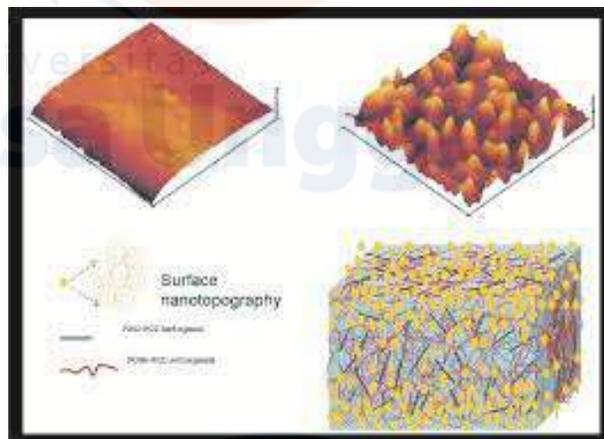
Nanovaksin dapat dirancang untuk menggabungkan beberapa antigen vaksin dalam satu formulasi, memungkinkan perlindungan terhadap beberapa jenis patogen sekaligus. Nanovaksin dapat dirancang untuk merespons secara spesifik terhadap kebutuhan individu, seperti dalam terapi kanker berbasis imunologi. Contoh Aplikasi Nanovaksin adalah Vaksin COVID-19: Beberapa vaksin COVID-19 yang menggunakan teknologi mRNA, seperti vaksin Pfizer-BioNTech dan Moderna, menggunakan nanopartikel lipid untuk mengirimkan materi genetik virus yang disesuaikan ke sel-sel tubuh. Vaksin Malaria: Nanovaksin sedang dikembangkan untuk melawan malaria, dengan menggunakan nanopartikel yang mengandung antigen malaria untuk meningkatkan efektivitas vaksinasi.

Tantangan dan Pertimbangan penggunaan nanovaksin adalah nanopartikel yang digunakan dalam nanovaksin harus aman untuk digunakan dalam tubuh manusia. Pengembangan dan penggunaan nanovaksin harus mematuhi regulasi yang ketat untuk memastikan keamanan dan efektivitasnya. Beberapa teknologi nanovaksin mungkin belum tersedia secara luas atau terjangkau secara ekonomis.

Nanovaksin menawarkan potensi besar dalam meningkatkan respons imun, stabilitas, dan efisiensi pengiriman vaksin. Dengan terus berkembangnya teknologi nanovaksin, diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam pencegahan penyakit dan peningkatan kesehatan masyarakat secara keseluruhan. Penggunaan nanopartikel lipid untuk mengantarkan mRNA vaksin, seperti yang digunakan dalam vaksin COVID-19 oleh Pfizer-BioNTech dan Moderna.

## 6. Regenerasi Jaringan dan Rekayasa Biomedis

Nanopartikel digunakan dalam scaffold untuk rekayasa jaringan, membantu pertumbuhan sel dan regenerasi jaringan. Contoh: Nanofibers yang mendukung pertumbuhan sel tulang atau kulit. Nanopartikel untuk Penghantaran Faktor Pertumbuhan: Nanopartikel dapat mengantarkan faktor pertumbuhan secara lokal untuk mempercepat penyembuhan luka atau regenerasi jaringan.



Gambar 28. Nanopartikel untuk scaffold

## 7. Pengobatan Antimikroba

Nanopartikel perak dan zinc oxide memiliki sifat antimikroba yang kuat dan digunakan dalam pelapis perangkat medis untuk mencegah infeksi. Nanopartikel untuk Penyembuhan Luka: Penggunaan nanopartikel dengan sifat antimikroba dan penyembuhan untuk mempercepat proses penyembuhan luka dan mencegah infeksi.

## 8. Pembersihan Racun dan Terapi Detoksifikasi

Nanopartikel yang dimodifikasi dapat digunakan untuk mengikat dan menghilangkan racun atau patogen dari darah, seperti dalam hemoperfusi. Terapi Chelation, nanopartikel digunakan untuk mengikat logam berat dalam tubuh dan membantu mengeluarkannya, mengurangi toksisitas.

Kelebihan dan Tantangan dalam penggunaan nanopartikel di bidang kesehatan adalah:

1. Peningkatan efisiensi penghantaran obat dan penargetan spesifik.
2. Pengurangan efek samping dan peningkatan kepatuhan pasien.
3. Peningkatan sensitivitas dan akurasi diagnosis.
4. Biokompatibilitas dan toksisitas nanopartikel masih menjadi perhatian.
5. Produksi skala besar dan standar regulasi yang ketat.
6. Penelitian jangka panjang tentang efek samping dan keamanan penggunaan nanopartikel.

Kemajuan nanopartikel dalam bidang kesehatan terus berkembang pesat, menawarkan solusi inovatif untuk banyak tantangan medis dan memberikan harapan baru dalam pengobatan dan diagnosis penyakit yang lebih efektif dan efisien.

## BAB 7 KEMAJUAN NANOPARTIKEL DI BIDANG INDUSTRI

Nanopartikel telah membawa berbagai kemajuan signifikan di berbagai industri, meningkatkan kinerja produk, memungkinkan inovasi baru, dan memperluas kemungkinan aplikasi. Berbagai industri yang mencakup nanoteknologi adalah industri farmasi, industri elektronik, industri otomotif, industri energy, industri kosmetik, industri makanan dan minuman, industri konstruksi, serta Industri tekstil.

Industri farmasi telah menjadi salah satu dari banyak industri yang paling banyak terpengaruh oleh perkembangan nanoteknologi. Penggunaan nanoteknologi dalam farmasi telah menghasilkan berbagai inovasi yang signifikan dalam pengembangan obat, pengiriman obat, diagnosis penyakit, dan pemantauan kondisi kesehatan.

### 1. Industri Farmasi

Pada industri farmasi dikembangkan teknologi drug delivery dengan menggunakan nanopartikel dalam pengiriman obat sehingga menghasilkan obat-obatan yang lebih efektif dan spesifik, mengurangi efek samping dan meningkatkan kepatuhan pasien. Industri farmasi juga mengembangkan formulasi obat nanopartikel untuk meningkatkan kelarutan, stabilitas, dan bioavailabilitas obat.

Nanoteknologi telah memungkinkan pengembangan obat yang lebih efektif dengan mengidentifikasi target terapeutik, memahami interaksi obat-target, dan mempercepat penemuan molekul obat baru. Nanoteknologi memungkinkan desain obat yang lebih canggih, termasuk pengaturan pelepasan obat, peningkatan kelarutan, dan penargetan spesifik ke jaringan atau sel tertentu.

Industri farmasi mengembangkan proses delivery obat dengan menggunakan nanopartikel sehingga obat langsung ke sel atau jaringan target, seperti sel kanker, mengurangi efek samping dan meningkatkan efektivitas terapi. Nanopartikel memungkinkan pelepasan obat secara terkontrol, meningkatkan durasi efektivitas dan mengurangi frekuensi dosis.

Nanopartikel digunakan sebagai agen kontras dalam teknik pencitraan seperti MRI, CT, dan PET, meningkatkan resolusi dan akurasi diagnosis. Nanoteknologi digunakan dalam pembuatan biosensor untuk mendeteksi biomolekul tertentu dengan

sensitivitas tinggi, membantu dalam diagnosis penyakit dini. Nanopartikel magnetik dapat dipanaskan menggunakan medan magnet untuk membunuh sel kanker tanpa merusak jaringan sehat. Nanopartikel emas dapat mengubah cahaya inframerah menjadi panas, menghancurkan sel kanker secara lokal saat disinari dengan laser.



Gambar 29. biosensor dengan nanomaterial untuk deteksi kanker

Nanopartikel digunakan untuk mengantarkan material genetik seperti DNA, RNA, atau CRISPR ke dalam sel untuk terapi gen. Mereka melindungi material genetik dari degradasi dan meningkatkan efisiensi penghantaran.

Tantangan dan Pertimbangan dalam industri farmasi adalah penting untuk memastikan bahwa nanopartikel yang digunakan dalam industri farmasi aman dan tidak beracun bagi manusia. Penggunaan nanoteknologi dalam farmasi harus mematuhi regulasi yang ketat untuk memastikan keamanan dan efektivitasnya. Proses produksi nanopartikel untuk aplikasi farmasi harus efisien dan dapat diproduksi dalam skala besar.

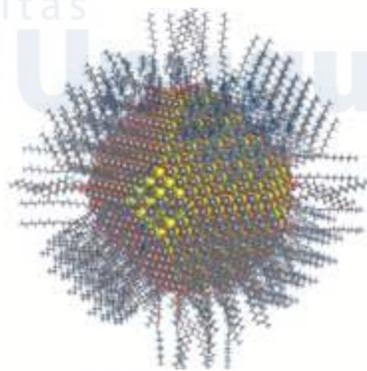
Dengan terus berinovasi dan mengatasi tantangan yang ada, nanoteknologi terus membawa kemajuan signifikan dalam industri farmasi, meningkatkan efektivitas terapi, mengurangi efek samping, dan memperluas kemungkinan pengobatan yang ada.

## 2. Industri Elektronik

Nanopartikel telah membawa transformasi besar dalam industri elektronik, memungkinkan pengembangan komponen yang lebih kecil, lebih cepat, dan lebih efisien. Di industri elektronik nanopartikel dikembangkan menjadi material konduktif seperti nanopartikel perak dan karbon yang digunakan dalam pencetakan elektronik untuk membuat perangkat elektronik fleksibel dan hemat energi. Sedangkan nanopartikel semikonduktor digunakan dalam produksi panel surya, layar sentuh, dan komponen elektronik lainnya.

Beberapa aplikasi nanopartikel dalam industri elektronik nanopartikel semikonduktor digunakan dalam pencetakan elektronik untuk membuat transistor yang dapat ditebuk dan dilenturkan. Nanopartikel konduktif digunakan dalam pembuatan layar elektronik fleksibel untuk perangkat wearable dan elektronik yang dapat dilipat.

Nanopartikel digunakan dalam pembuatan chip semikonduktor untuk mengurangi ukuran komponen dan meningkatkan kecepatan dan efisiensi serta digunakan dalam LED (Light Emitting Diode) dan layar OLED (Organic Light Emitting Diode) untuk meningkatkan kualitas gambar dan efisiensi energi. Nanopartikel yang digunakan dalam baterai berperan meningkatkan kapasitas, daya tahan, dan waktu pengisian. Nanopartikel juga digunakan dalam sel surya untuk meningkatkan efisiensi konversi energi surya menjadi listrik.



Gambar 30. nanopartikel sebagai sumber cahaya LED

Pada komputasi kuantum nanopartikel digunakan untuk menghasilkan kuantum bit (qubit) yang stabil dan dapat diandalkan. Dalam sensor kuantum untuk mendeteksi

medan magnetik, cahaya, atau partikel lain dengan sensitivitas tinggi. Poses daur ulang limbah elektronik untuk mendaur ulang material berharga seperti logam dan plastic menggunakan nanopartikel.

Tantangan dalam Penggunaan Nanopartikel dalam Industri Elektronik

- Stabilitas dan Durabilitas: Nanopartikel harus stabil dan tahan lama untuk digunakan dalam kondisi lingkungan yang keras.
- Biokompatibilitas: Nanopartikel harus aman bagi lingkungan dan manusia ketika digunakan dalam produk elektronik.
- Regulasi: Penggunaan nanopartikel dalam industri elektronik harus mematuhi regulasi yang ketat untuk memastikan keamanan dan kepatuhan.

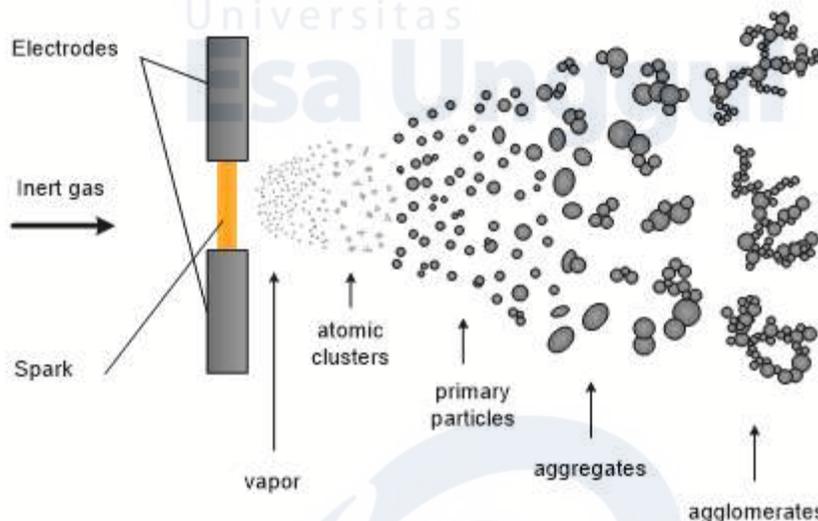
Dengan terus berkembangnya teknologi nanopartikel, diharapkan aplikasinya dalam industri elektronik akan terus meningkat, membawa inovasi yang signifikan dalam desain, performa, dan efisiensi perangkat elektronik.

### 3. Industri Energi

Nanopartikel telah memberikan kontribusi besar dalam industri energi, membawa inovasi dalam produksi, penyimpanan, dan penggunaan energi. Misalnya produk baterai, nanopartikel digunakan dalam baterai untuk meningkatkan kapasitas, daya tahan, dan waktu pengisian dan nanopartikel juga digunakan dalam sel surya untuk meningkatkan efisiensi konversi energi surya menjadi listrik.

Produk baterai untuk meningkatkan kapasitas, daya tahan, dan waktu pengisian, contohnya adalah baterai Lition. Nanopartikel digunakan dalam baterai lithium-ion untuk meningkatkan efisiensi dan umur pakai baterai. Produksi sel surya, yaitu nanopartikel digunakan dalam sel surya untuk meningkatkan efisiensi konversi energi surya menjadi listrik. Nanopartikel digunakan dalam sel surya untuk meningkatkan penyerapan cahaya dan efisiensi konversi energi. Nanopartikel digunakan dalam material isolasi untuk meningkatkan efisiensi energi bangunan. Nanopartikel digunakan dalam pelumas untuk mengurangi gesekan dan meningkatkan efisiensi mesin. Nanopartikel juga digunakan sebagai katalis dalam reaksi hidrogenasi untuk produksi hidrogen sebagai bahan bakar dan sebagai konversi bahan bakar untuk meningkatkan efisiensi dan kebersihan proses.

Nanopartikel digunakan dalam pengembangan generator energi kinetik untuk menghasilkan listrik dari gerakan mekanis serta digunakan dalam pengembangan teknologi energi terbarukan, seperti energi gelombang laut atau energi panas bumi.



Gambar 31. nanopartikel untuk generator

Tantangan dalam Penggunaan Nanopartikel dalam Industri Energi

- Biokompatibilitas: Nanopartikel harus aman bagi lingkungan dan manusia ketika digunakan dalam teknologi energi.
- Efisiensi Produksi: Proses produksi nanopartikel untuk aplikasi energi harus efisien dan ekonomis.
- Regulasi: Penggunaan nanopartikel dalam industri energi harus mematuhi regulasi yang ketat untuk memastikan keamanan dan kepatuhan.

Dengan terus berkembangnya teknologi nanopartikel, diharapkan aplikasinya dalam industri energi akan terus meningkat, membawa inovasi yang signifikan dalam produksi, penyimpanan, dan penggunaan energi yang bersih dan efisien.

#### 4. Industri Otomotif

Nanopartikel telah membawa dampak yang signifikan dalam industri otomotif, terutama dalam pengembangan material yang lebih ringan, kuat, tahan aus, dan efisien secara energi. Pada katalis konverter nanopartikel digunakan untuk mengurangi emisi

gas buang kendaraan. Sebagai anti gores nanopartikel digunakan dalam pelapis anti-gores untuk meningkatkan ketahanan terhadap goresan dan korosi.

Agar mendapatkan cat pelindung yang lebih kuat dan tahan karat, meningkatkan umur pakai kendaraan, maka digunakan nanopartikel. Nanopartikel juga digunakan dalam material komposit untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan, sambil tetap menjaga berat yang rendah. Nanopartikel logam digunakan sebagai katalis dalam konverter untuk mengurangi emisi gas buang dan meningkatkan efisiensi bahan bakar. Nanopartikel digunakan dalam bahan bakar dan pelumas untuk meningkatkan performa dan efisiensi mesin.

Selain sebagai pelapis anti-gores untuk melindungi permukaan kendaraan dari goresan dan kerusakan nanopartikel juga digunakan dalam pelindung termal untuk melindungi bagian-bagian mesin dari suhu tinggi dan abrasi. Nanopartikel digunakan dalam sensor dan sistem navigasi untuk meningkatkan kinerja dan presisi. Nanopartikel digunakan dalam sistem pengereman untuk meningkatkan keamanan dan responsivitas pengereman. Nanopartikel digunakan dalam logam untuk meningkatkan kekuatan, tahan aus, dan ketahanan korosi. Nanopartikel digunakan dalam pembuatan ban untuk meningkatkan daya cengkeram, keawetan, dan efisiensi bahan bakar.



Gambar 32. Salah satu produk antigores mobil berbasis nanopartikel

## Tantangan dalam Penggunaan Nanopartikel dalam Industri Otomotif

- a. Biokompatibilitas: Nanopartikel harus aman untuk digunakan dalam kendaraan dan tidak menyebabkan dampak negatif bagi lingkungan atau kesehatan manusia.
- b. Regulasi: Penggunaan nanopartikel dalam industri otomotif harus mematuhi regulasi yang ketat untuk memastikan keamanan dan kualitas kendaraan.
- c. Biaya dan Produksi: Penggunaan nanopartikel dalam produksi kendaraan harus efisien secara ekonomis dan dapat diproduksi dalam skala besar.

Dengan terus berkembangnya teknologi nanopartikel, diharapkan aplikasinya dalam industri otomotif akan terus meningkat, membawa inovasi yang signifikan dalam desain, performa, dan keberlanjutan kendaraan.

## 5. Industri Tekstil

Nanoteknologi di industri TPT mulai dikenal sejak manusia di China mencelup serat dan kain sekitar 2600 tahun sebelum masehi. Bahan kimia yang digunakan dipermukaan serat dan kain ini tidak hanya untuk mewarnai saja tapi juga agar dapat memberikan beberapa sifat kegunaan lainnya. Sekarang ini beberapa penggunaan nanoteknologi antara lain: untuk coating, pewarnaan, stain-resistant dan moisture-wicking. Penggunaan nanoteknologi yang lain untuk tekstil adalah: Emotional clothing, Odor free clothing, Stain repellent clothing, Clothing that changes colors, UV protection in clothing from zinc-oxide nanoparticles, Clothing to prevent colds and the flu, Clothing that does not need to be washed.



Gambar 33. Produk industri tekstil dengan nanoteknologi

Nanofiber adalah serat dengan kehalusan diameter beberapa ratus nanometer, yang dapat dipintal di mesin electrospinning, serat ini mempunyai daya serap air yang bagus, breathable dan bisa juga water-repellent. Modifikasi permukaan serat atau kain: digunakan untuk memberikan sifat-sifat unik pada serat dan kain, yang bermanfaat untuk memberikan sifat daya tahan air dan daya tahan kotor (water repellency), daya tahan kusut dan daya tahan api. Menggabungkan pemakaian nanoparticles, seperti partikel perak, dan nanotube karbon dapat digunakan untuk membuat serat antimikroba atau meningkatkan konduktivitas listrik.

Untuk kegunaan militer dapat juga dibuat kaos kaki yang bisa dipakai selama dua minggu tanpa pencucian, kain yang diperkuat dengan nanofiber dapat digunakan untuk tenda yang beratnya kecil atau ringan, yang mempunyai ketahanan sobek yang tinggi. Pakaian berburu yang menggunakan nanotechnology dapat mengurangi bau dalam pemakaian. Dapat juga membuat masker yang bila terkena cahaya dapat membasmi virus dan bakteri.

Beberapa contoh pemanfaatan nanotechnology toray industries antara lain memproduksi kain yang memproses kainnya dengan teknik nanoscale, yang disebutnya NonoMatrix seperti Tapguard yang soil resistant, water repellent dan oil repellent yang digunakan pada pakaian seragam di industri makanan. INKMAX: Menciptakan nano-fine adhesive polymers, ketebalan 70 nanometer yang dapat digunakan pada proses printing kain di mesin ink jet printing tanpa menggunakan air.

Silver nanoparticles and titanium dioxide diberikan pada serat untuk mendapatkan sifat: anti bau, anti bakteri dan sifat soil resistant Sunward shokai memproduksi The TioTio Air Catalyst yang pada benang akan memberi sifat anti deodorizing, anti bakteri dengan menggunakan titanium oxide. Liquid Armor adalah bahan pelapis nanoparticle yang memungkinkan kain tetap flexible dalam pemakaian tetapi akan berubah menjadi keras bila terjadi benturan, digunakan untuk body armor vest, helm dan sarung tangan. Land's end adalah salah satu perusahaan yang pertama menggunakan Nano-Tex Resis Static yang dipakai pada scarf, topi dan sarung tangan. Penahan sinar UV untuk kain kapas diciptakan dengan menggunakan Sol-gel Methode, suatu lapisan tipis Titanium Dioxide diberikan pada kain. Nano titanium dioxide and nano-silica digunakan pada kain

kapas dan sutera untuk meningkatkan daya tahan kusutnya.: Arc Outdoors – Broken Arrow

- ArcticShield: pakaian musim dingin yang secara inovatif dibuat tipis tapi sangat hangat.
- X-System: Nano-silver mengurangi aroma bau badan yang memungkinkan para pemburu tidak terdeteksi oleh binatang buruannya.
- ARC juga sedang mengembangkan pakaian seragam rumah sakit yang anti mikroba.

Nanopartikel telah memberikan kontribusi yang signifikan dalam industri tekstil, membawa inovasi dalam produksi tekstil fungsional dan tekstil pintar. Berikut adalah beberapa aplikasi nanopartikel dalam industri tekstil: Nanopartikel digunakan dalam tekstil untuk menambahkan sifat antimikroba, anti-bakteri, dan anti-bau. Nanopartikel dapat digunakan dalam tekstil pintar untuk mengubah sifat material berdasarkan lingkungan, seperti perubahan warna atau kekuatan.

Nanopartikel dapat berperan sebagai antimikroba dengan menggunakan perak atau tembaga digunakan dalam tekstil untuk mengurangi pertumbuhan bakteri dan bau tidak sedap. Sebagai anti-bakteri, nanopartikel digunakan dalam tekstil untuk mencegah pertumbuhan bakteri yang berpotensi merugikan kesehatan. Sebagai anti-UV: Nanopartikel titanium dioksida digunakan untuk meningkatkan sifat anti-UV tekstil, melindungi kulit dari sinar UV berbahaya. Nanopartikel digunakan dalam tekstil untuk memberikan sifat tahan api, meningkatkan keamanan pakaian dari risiko kebakaran. Nanopartikel digunakan untuk mengurangi muatan statis pada tekstil, mengurangi penumpukan debu dan kotoran.

Nanopartikel digunakan dalam tekstil pintar yang dapat berubah warna secara responsif terhadap suhu, cahaya, atau tekanan. Nanopartikel digunakan dalam tekstil untuk menambahkan sifat konduktif, memungkinkan integrasi sensor elektronik untuk aplikasi wearable. Nanopartikel digunakan dalam tekstil untuk menyerap energi dari cahaya atau panas, digunakan dalam teknologi energi terbarukan. Nanopartikel digunakan dalam tekstil untuk memantau parameter kesehatan seperti detak jantung, suhu tubuh, atau kadar glukosa.

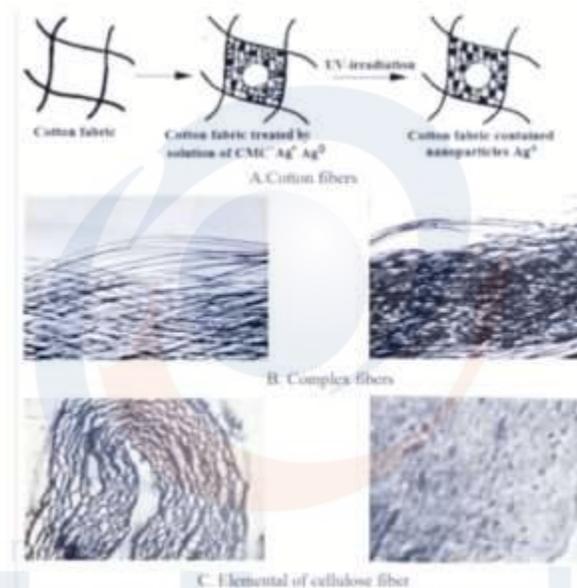
Nanopartikel digunakan dalam tekstil untuk meningkatkan kenyamanan dan performa pakaian olahraga, seperti penyerapan keringat dan pengaturan suhu.

Nanopartikel digunakan dalam tekstil medis untuk meningkatkan efektivitas perlindungan dan kesehatan pasien.

Tantangan dalam Penggunaan Nanopartikel dalam Industri Tekstil

- Nanopartikel harus aman bagi kulit dan lingkungan ketika digunakan dalam tekstil.
- Nanopartikel harus tetap efektif dan tidak hilang saat tekstil dicuci atau dipakai.
- Produksi tekstil dengan nanopartikel harus efisien secara ekonomis dan dapat diterima oleh pasar.

Dengan terus berkembangnya teknologi nanopartikel, diharapkan aplikasinya dalam industri tekstil akan terus berkembang, membawa inovasi yang signifikan dalam desain, performa, dan fungsionalitas tekstil.



Gambar 34. kain tekstil dari nanopartikel perak anti bakteri

## 6. Industri Kosmetik

Nanopartikel telah memberikan dampak besar dalam industri kosmetik, memungkinkan pengembangan produk-produk yang lebih efektif dan inovatif. Berikut adalah beberapa aplikasi nanopartikel dalam industri kosmetik: Dengan terus berkembangnya teknologi nanopartikel, diharapkan aplikasinya dalam industri kosmetik akan terus meningkat, membawa inovasi yang signifikan dalam formulasi produk dan manfaat bagi konsumen

Nanopartikel titanium dioksida dan zinc oksida digunakan dalam tabir surya untuk memberikan perlindungan SPF yang tinggi tanpa meninggalkan sisa putih pada kulit. Nanopartikel digunakan dalam produk perawatan kulit untuk meningkatkan penetrasi dan efektivitas bahan aktif anti-penuaan. Nanopartikel titanium dioksida dan zinc oksida digunakan dalam tabir surya untuk melindungi kulit dari sinar UV berbahaya. Nanopartikel antioksidan digunakan dalam krim anti-penuaan untuk melawan kerusakan akibat radikal bebas. Nanopartikel digunakan untuk meningkatkan penetrasi bahan aktif ke dalam kulit, meningkatkan efektivitas perawatan.

Nanopartikel digunakan dalam foundation untuk menciptakan tampilan kulit yang halus dan merata. Nanopartikel digunakan dalam eyeshadow dan lipstik untuk meningkatkan daya tahan dan warna. Nanopartikel digunakan dalam produk perawatan rambut untuk meningkatkan kelembutan dan kilau rambut. Nanopartikel digunakan dalam pewarna rambut untuk memberikan warna yang tahan lama. Nanopartikel digunakan dalam deodorant untuk mengurangi bau badan. Nanopartikel digunakan dalam parfum untuk meningkatkan daya tahan aroma.



Gambar 35. Produk kosmetik nano buatan ITB

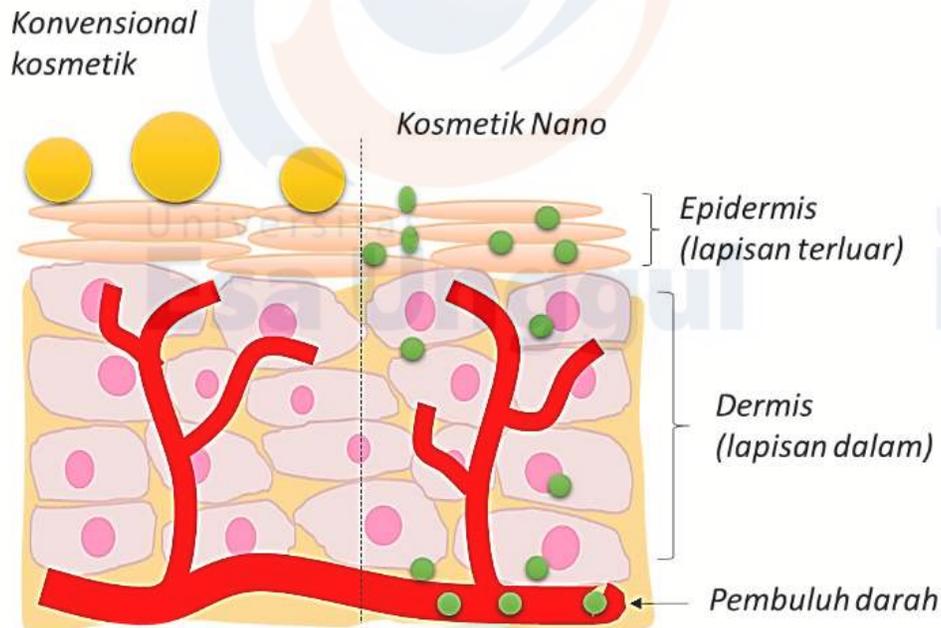
Banyak bidang telah mengimplementasikan material berbasis nanoteknologi telah, salah satunya adalah di industri kosmetik. Industri kosmetik sudah menggunakan bahan

aktif yang berukuran nano selama lebih dari 30 tahun. Nanomaterial dalam kosmetik adalah material yang disintesis dengan 1 atau lebih dimensi eksternal atau internal dengan ukuran 1-100 nm. Selain itu, nanomaterial dalam kosmetik adalah material yang mempunyai sifat tidak larut atau *bio-persistent*. Definisi ini menurut *European Union*.

Keuntungan dari penggunaan nanomaterial pada produk kosmetik (nano kosmetik) adalah kosmetik menjadi lebih tahan lama dan stabil, dan juga pelepasan bahan aktif yang dapat dikontrol. Manfaat penggunaan nanomaterial dalam kosmetik salah satunya adalah penetrasi ke dalam kulit yang lebih efisien. Penggunaan nanomaterial dalam kosmetik juga dapat menimbulkan elemen warna baru, contohnya pada lipstik atau cat kuku. Selain itu, manfaat lainnya adalah transparansi (pada tabir surya) dan juga efek tahan lama (pada *make up*).

Nanomaterial yang paling sering ada dalam kosmetik saat ini adalah pada tabir surya (*sunscreen*) untuk menangkal sinar UV. Biasanya, produk tabir surya anorganik (*physical sunscreen*) memiliki keterangan titanium-dioksida (TiO<sub>2</sub>) atau zinc-dioksida (ZnO) pada kemasannya. Tabir surya organik mengandung avobenzon atau octinoxate sebagai 2 contoh bahan aktif senyawa organiknya. Tak hanya *sunscreen*, produk kosmetik lain dalam bentuk emulsi atau *wet-based formula*, misalnya oleh L'Oréal dan Shiseido, juga menggunakan TiO<sub>2</sub> dan ZnO. Selain itu, Lancome dan Dior juga sudah menggunakan nanoteknologi pada tahun 1986 dalam bentuk liposom dan niosom sebagai *nanocarrier* dalam produk pelembab dan/atau krim anti penuaan dini. Masih banyak lagi produk-produk kosmetika dan juga kosmesetikal yang menggunakan teknologi nano.

Tantangan dalam Penggunaan Nanopartikel dalam Industri Kosmetik adalah Nanopartikel harus aman bagi kulit dan tidak menyebabkan reaksi alergi atau iritasi, Penggunaan nanopartikel dalam produk kosmetik harus mematuhi regulasi yang ketat untuk memastikan keamanan dan kualitas produk, Bahan baku nanopartikel yang berkualitas harus tersedia dalam jumlah yang cukup untuk industri kosmetik.



Gambar 36. Mekanisme nanopartikel sebagai bahan kosmetik dibandingkan kosmetik konvensional

Hingga saat ini penerapan inovasi teknologi nano semakin populer ditengah masyarakat internasional maupun nasional. Penerapannya tidak hanya untuk dunia Sains, Kesehatan, atau pun Material, akan tetapi dalam dunia kecantikan (kosmetik) pun turut serta dalam mengambil manfaat teknologi nano. Apakah anda mengetahui apa itu teknologi nano?

*“Teknologi nano adalah ilmu inovasi yang mencakup desain, karakterisasi, produksi dan penerapan struktur, perangkat dan sistem dengan mengendalikan bentuk dan ukuran pada skala 1-1000 nanometer (nm)”*. Dalam pengembangan produk kosmetik, teknologi nano banyak digunakan dalam upaya meningkatkan kinerja dan manfaat kosmetik, mulai dari produk pelembab dan krim anti-penuaan hingga produk perawatan rambut. Selain berdampak positif dalam meningkatkan kinerja dari produk kosmetik, teknologi nano dapat digunakan untuk merubah sifat-sifat material. Perubahan sifat material yang dimaksud adalah perubahan warna, transparansi, kelarutan, dan reaktivitas kimia. Hal tersebut menjadikan teknologi nano semakin menarik untuk diterapkan oleh para peneliti/industri kosmetik untuk meningkatkan sifat-sifat produk kosmetik yang mereka kembangkan. Adapun jenis produk kosmetik nano yang akan mudah kita temukan di

pasar kosmetik diantaranya: pelembab, shampo, sabun, deodoran, pasta gigi, tabir surya, pelembab rambut, parfum, cream anti-penuaan dini, pewarna kuku, *lipstick*, *eye shadow*, dan alas bedak.

Terdapat dua target penting dalam penerapan teknologi nano yang digunakan dalam pembuatan produk kosmetik, yaitu:

a. Sistem pembawa atau enkapsulasi

Sistem ini dimaksudkan agar bahan berkhasiat dalam kosmetik dapat menembus ke lapisan kulit yang lebih dalam, di mana bahan yang berkhasiat tersebut akan mengaktifkan metabolisme kulit dengan tujuan meningkatkan penampilan dan kesehatan kulit.

Salah satu bentuk sistem ini dikenal dengan sebutan *Emulsi nano*, sistem ini sering diaplikasikan dalam produk deodoran, tabir surya, shampo, dan produk perawatan kulit dan rambut. *Emulsi nano* mejadi salah satu bentuk dari penerapan teknologi nano untuk meningkatkan penetrasi bahan kosmetik ke dalam kulit. "*Emulsi nano adalah emulsi (dispersi minyak dalam air atau sebaliknya) yang berukuran sangat kecil dimana tetesan kandungan minyak dalam air atau sebaliknya berupa droplet yang berukuran 50-1000 nm*".

*Emulsi nano* dapat digunakan untuk menghantarkan bahan kosmetik berupa lemak/minyak seperti vitamin A, vitamin E, minyak herbal, *coenzyme*, ke dalam kulit. Kelebihan lainnya dari *Emulsi nano* adalah dia dapat digunakan untuk tipe kulit yang sensitif, serta mampu menghasilkan tampilan produk yang transparan dikarenakan ukuran dropletnya yang halus dan memiliki usia guna produk yang cukup panjang.

b. Filter pelindung UV dalam kosmetik tabir surya

Penggunaan bahan dengan ukuran nano dalam produk tabir surya dapat meningkatkan kemampuan dalam mencegah kerusakan kulit akibat UV. Titanium dioksida dan seng oksida yang telah secara luas digunakan dalam produk tabir surya, ketika diformulasikan dalam kisaran ukuran 20 nm, dapat menjadi filter UV yang efisien. Formula nano bahan-bahan tersebut telah memberikan kinerja yang jauh lebih baik daripada formulasi dalam ukuran partikel yang lebih besar, mampu memantulkan cahaya tampak dan menyerap UV dengan efisiensi yang sangat tinggi. Sehingga mereka dapat memberikan

memberikan perlindungan yang tinggi terhadap UV dan tidak menyebabkan efek merugikan terhadap kesehatan kulit.

Meskipun banyaknya efek manfaat dalam penerapan teknologi nano pada produk kecantikan dan perawatan tubuh, para ahli kesehatan masih mengkhawatirkan tentang kemungkinan efek jangka panjangnya produk kosmetik nano pada tubuh. Hal ini dikarenakan sifat partikel/bahan berukuran nano yang mudah masuk ke dalam sirkulasi pembuluh darah melalui kulit atau inhalasi dan akan cepat menyebar ke berbagai organ. Jika dosis bahan kosmetik yang masuk tinggi (melebihi batas aman) dan waktu tinggal bahan nano di organ vital relatif lama, maka hal ini dapat berpotensi menyebabkan disfungsi pada organ. Berbagai studi ilmiah terkait evaluasi penggunaan kosmetik nano secara *in vivo*, telah melaporkan bahwa partikel nano dapat menembus kulit terutama kulit yang mengalami kerusakan, luka, maupun peradangan. Kulit yang rusak akan menjadi jalan tol untuk partikel nano berpenetrasi, bahkan untuk partikel hingga ukuran 7000 nm. Lebih dari itu, kehadiran jerawat, eksim dan luka dapat meningkatkan penyerapan partikel nano ke dalam aliran darah dan dapat menyebabkan komplikasi lanjut.

Dengan adanya potensi negatif dari kosmetik nano dan peningkatan jumlah produk kecantikan yang mengandung bahan nano di pasar kosmetik, maka diperlukan adanya regulasi khusus yang harus diberikan oleh pemerintah kita mengenai penilaian keamanan produk-produk tersebut. Untuk para pengguna produk kosmetik, diharapkan untuk lebih berhati-hati dan berupaya untuk mencari informasi terkait keamanan dari bahan-bahan kosmetik yang akan digunakan. Selain itu, hindari penggunaan produk kosmetik ketika kulit kita sedang mengalami gangguan seperti luka atau pun peradangan.

## **7. Industri Makanan dan Minuman**

Nanopartikel telah memainkan peran penting dalam industri makanan, terutama dalam pengembangan produk-produk yang lebih aman, lebih sehat, dan lebih inovatif. Berikut adalah beberapa aplikasi nanopartikel dalam industri makanan: Dengan terus berkembangnya teknologi nanopartikel, diharapkan aplikasinya dalam industri makanan akan terus meningkat, membawa inovasi yang signifikan dalam keamanan, kualitas, dan keberlanjutan produk makanan.



Gambar 37. Perbandingan makroemulsi dan nanoemulsi

Nanopartikel digunakan dalam pengemasan makanan untuk meningkatkan ketahanan terhadap mikroorganisme dan memperpanjang umur simpan produk. Nanopartikel digunakan dalam suplemen makanan untuk meningkatkan penyerapan nutrisi oleh tubuh. Nanopartikel perak atau tembaga digunakan dalam kemasan makanan untuk menghambat pertumbuhan bakteri dan memperpanjang umur simpan produk. Nanopartikel digunakan dalam kemasan makanan untuk mendeteksi gas berbahaya atau peningkatan suhu, memberikan informasi tentang keamanan makanan.

Nanopartikel digunakan sebagai agen antipelumpuhan dalam makanan untuk mencegah penggumpalan dan menjaga tekstur. Nanopartikel digunakan sebagai pengental dalam makanan untuk meningkatkan tekstur dan stabilitas produk. Nanopartikel digunakan dalam suplemen makanan untuk meningkatkan penyerapan nutrisi oleh tubuh. Nanopartikel digunakan untuk mengirimkan nutrisi tertentu ke bagian tertentu dari tubuh, meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi.

Nanopartikel digunakan dalam pewarna makanan untuk memberikan warna yang tahan lama. Nanopartikel digunakan dalam bahan pengental untuk meningkatkan tekstur dan stabilitas produk. Nanopartikel digunakan dalam sensor untuk mendeteksi kontaminan dalam makanan, seperti bakteri atau logam berat. Nanopartikel digunakan dalam proses pembersihan makanan untuk menghilangkan bakteri dan kotoran.

Pangan nano merupakan pangan yang dihasilkan dari budidaya, atau diproduksi, diolah, atau dikemas dengan menggunakan teknik nanoteknologi, atau pengemasan nano, dimana kedalam bahan nano material telah disisipkan atau di tambahkan ke dalam

bahan kemasannya. Contohnya : Ingredients dan Additives dalam bentuk nano partikel, baik itu berupa zat besi, zinc atau zat lain. Dapat pula berupa Nanocapsule yang sebelumnya telah dimasukkan ke dalamnya senyawa Co Enzyme Q10 atau asam lemak omega -3. Partikel benda yang berukuran besar atau makro selalu tunduk pada hukum alam biasa. Sebaliknya bila partikel benda tersebut super kecil berukuran nano, maka tidak lagi tunduk terhadap hukum alam biasa. Mereka tunduk pada hukum Quantum.

### **Pangan Nano**

Pangan nano berarti pangannya sendiri memang memiliki partikel berskala ukuran nano atau menggunakan kemasan nano. Nanokapsul atau gel mikroskopis (nano gel) yang mengemas zat gizi atau senyawa cita rasa yang memiliki partikel berukuran nano. Sebetulnya industri pangan sudah relatif cukup lama mengintroduksikan produk nano, salah satu diantaranya yang sangat populer adalah pangan nano yang disebut mayonais nano. Produk baru tersebut berbeda dengan produk mayonais tradisional. Mayonais tradisional berupa emulsi air dalam lemak(W/L). Lemaknya yang lebih banyak, sering disebut pangan tinggi lemak, konotasi nama yang banyak dihindari oleh para konsumen pencinta kelangsingan tubuh dan kecantikan.

Sedangkan mayonais baru tersebut merupakan bentuk emulsi yang terbalik yaitu emulsi lemak dalam air. Jadi lemaknya lebih sedikit tetapi airnya lebih banyak(L/W), dan dengan partikel lemaknya yang berukuran nano. Mereka yang takut menjadi gemuk, saat ini punya alternatif baru. Karena alasan tersebut mayonais nano juga dipasarkan dengan nama Low Fat Mayonais. Produk tersebut ternyata juga berhasil dalam memuaskan konsumen, khususnya terhadap fatty mouth feel yang lezat.

### **Keunggulan nanoteknologi**

Sebetulnya nanoteknologi telah diterapkan di berbagai sektor terutama yang terbesar (>60%) di sektor kosmetika. Nanoteknologi juga telah diterapkan di bidang elektronika, bioteknologi (BioNT), kimia dan fisika, pengolahan limbah dan water treatment, farmasi, serta health foods. Namun penerapan nanoteknologi di bidang industri pangan (Pangan NT) relatif masih sangat terbatas (10%).

Beberapa industri pangan besar yang telah menerapkan Nanoteknologi diantaranya: Cambell Soup, General Mill, Group Danone, H.J. Heinz, Sara Lee, Nestle,

dan lain-lain. Banyak keuntungan dan nilai positif yang dapat dihasilkan bila nanoteknologi dapat diterapkan dalam industri pangan, diantaranya karena dapat dihasilkan produk baru ;

- Dengan cita rasa baru, dan dengan tekstur baru, yaitu dengan cara merubah ukuran molekul pangan – kristal. Di samping itu juga mampu meningkatkan daya penyebaran (spreadability) secara lebih merata.
- Produk baru rendah lemak, rendah garam, rendah gula,serta rendah bahan pengawet. Dengan demikian akan berkembang berbagai produk baru pangan sehat (health foods)
- Dengan daya bioavailability yang lebih tinggi bagi berbagai jenis zat gizi dan suplemen,akan banyak menguntungkan tubuh. Karena zat zat tersebut akan lebih mudah diserap karena memiliki ukuran yang sangat kecil, yaitu berskala nano.
- Baik mutu pangan maupun mutu efisiensi gizinya dapat ditingkatkan, serta dapat dijaga tingkat kesegaran produk, sehingga daya simpannya lebih baik
- Mampu memperbaiki fungsi jenis bahan kemasan pangan yang lebih bermutu daya pelindung serta fungsinya. Saat inipun sudah muncul kemasan aktif, Intelligent dan smart packaging.
- Memberikan tingkat penelusuran produk yang lebih baik (product trace ability), serta penelusuran masalah keamanan yang lebih cepat dan akurat

#### Kemasan nano

Banyak diantara para pakar yang menganjurkan agar sebelum memutuskan mengembangkan pangan nano disarankan agar terlebih dahulu mengembangkan bahan kemasan dan teknologi kemasan nano.

Yang dapat dikembangkan pada bahan kemasan adalah jenis bahan kemasan dengan daya barrier yang tinggi, yang mampu melindungi produk pangan yang dikemas dari ancaman eksternal, yaitu panas, kimia dan serangan mikroba.

Bahan kemasan nano dapat dikembangkan menjadi minimal 3 kategori :

- 2. Improved nano – composite**, jenis bahan kemasan tersebut merupakan polymer yang di dalam materialnya telah disisipkan beberapa jenis nano material tertentu, dengan tujuan untuk memperbaiki daya fleksibilitas, daya tahan durabilitas, stabilitas barrier terhadap suhu dan kelembaban. Contohnya Nano composit clay, mampu

memblokir celah celah yang bisa membiarkan masuk dan lepasnya H<sub>2</sub>O, oksigen dan CO<sub>2</sub>

3. **Active Nano Composite**, merupakan plastik polimer yang telah disisipkan /atau dimasukkan ke dalam nanomaterial tertentu yang memiliki sifat atau daya antimikrobia. yang dikenal sebagai food safety packaging : nano silver,titanium dioksida
4. **Intellelligent dan Smart Packaging** merupakan bahan kemasan polymer yang di dalamnya telah disisipkan nanosensor dengan tujuan untuk melakukan tugas monitoring terhadap kondisi produk pangan yang ada di alamnya. Mampu mendeteksi keberadaan E.coli, atau Salmonella dalam individu kemasan. Mampu melaporkan bahwa suatu isi kemasan sudah kadaluwarsa atau mulai membusuk

#### **Regulasi dan keamanan produk nano**

- Nanoteknologi memiliki potensi pemanfaatan tetapi juga memiliki resiko kesehatan dan pencemaran lingkungan.
- Karena Nano partikel hanya tunduk pada hukum Quantum, maka baik perbedaan bentuk dan ukurannya memiliki sifat yang berbeda, sehingga sangat sulit melakukan standard assessment
- Terjadi tantangan baru
- terhadap risk assessment dan
- risk management dengan nano partikel.
- Untuk itu diperlukan tersedianya data, prosedur assessment yang masih harus disesuaikan.
- Parameter regulasi yang ada tidak sesuai lagi, perlu diperbaharui
- Relevansi threshold berdasarkan konsentrasi dan berat masa, perlu ditinjau dan diperbaharui
- Risk assessment perlu dilakukan case by case

Tantangan dalam Penggunaan Nanopartikel dalam Industri Makanan. Nanopartikel harus aman bagi tubuh manusia dan tidak menyebabkan reaksi alergi atau toksik.

Penggunaan nanopartikel dalam produk makanan harus mematuhi regulasi yang ketat untuk memastikan keamanan dan kualitas produk. Masih diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memahami sepenuhnya dampak penggunaan nanopartikel dalam makanan bagi kesehatan manusia.

## **8. Industri Konstruksi**

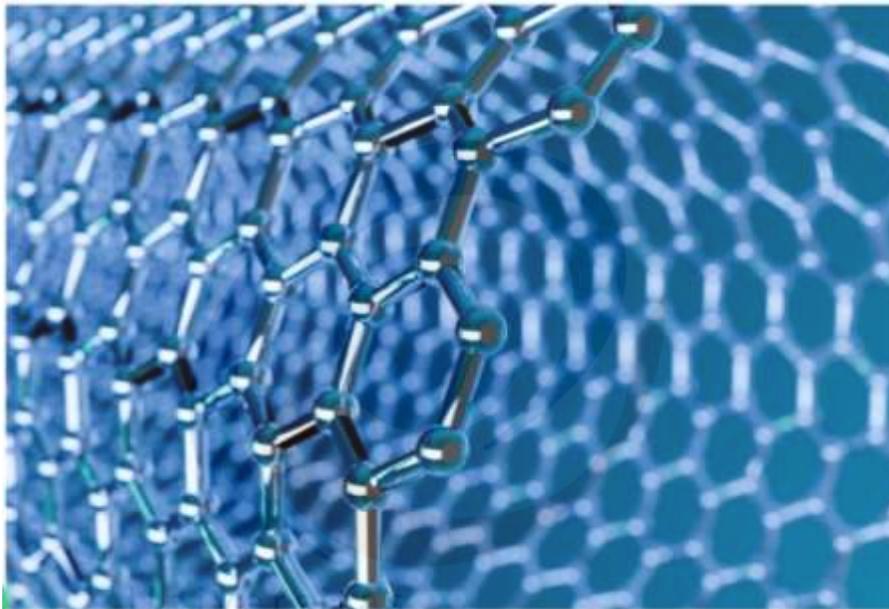
Nanopartikel telah mengubah cara industri konstruksi membangun, memungkinkan pengembangan material yang lebih kuat, lebih tahan lama, dan lebih berkelanjutan. Dengan terus berkembangnya teknologi nanopartikel, diharapkan aplikasinya dalam industri konstruksi akan terus meningkat, membawa inovasi yang signifikan dalam desain, kekuatan, dan efisiensi bangunan.

Berikut adalah beberapa aplikasi nanopartikel dalam industri konstruksi: Nanopartikel digunakan dalam material konstruksi untuk meningkatkan kekuatan, tahan lama, dan sifat isolasi termal atau akustik. Nanopartikel perak digunakan dalam cat untuk memberikan sifat anti-bakteri pada permukaan. Nanopartikel digunakan dalam campuran beton untuk meningkatkan kekuatan, ketahanan aus, dan ketahanan terhadap retak. Nanopartikel digunakan dalam cat bangunan untuk meningkatkan daya tahan terhadap cuaca, bahan kimia, dan rayap. Nanopartikel digunakan dalam produksi kaca untuk meningkatkan kekuatan, kejernihan, dan daya tahan terhadap goresan.

Nanopartikel digunakan dalam pengembangan panel surya untuk meningkatkan efisiensi konversi energi surya menjadi listrik. Nanopartikel digunakan dalam bahan insulasi untuk meningkatkan efisiensi energi bangunan. Nanopartikel digunakan dalam bahan bangunan untuk memberikan sifat anti-karat dan tahan terhadap korosi. Nanopartikel digunakan dalam bahan bangunan untuk mencegah pertumbuhan bakteri dan jamur yang merugikan bangunan. Nanopartikel digunakan dalam sensor untuk memantau kondisi bangunan, seperti kelembaban, suhu, dan kekuatan structural.

Nanopartikel digunakan dalam teknologi bangunan pintar untuk mengatur penggunaan energi dan meningkatkan efisiensi energi. Nanopartikel digunakan dalam pengembangan material bangunan yang ramah lingkungan, seperti material daur ulang atau material yang mengurangi jejak karbon. Nanopartikel digunakan untuk meningkatkan efisiensi konstruksi, mengurangi limbah dan biaya konstruksi.

Konstruksi baja telah menjadi pilar utama dalam industri konstruksi modern. Ketangguhan, kekuatan, dan daya tahan baja membuatnya menjadi bahan yang sangat diandalkan dalam berbagai proyek pembangunan. Namun, dengan berkembangnya teknologi, pintu inovasi terbuka lebar, dan salah satu yang mencuri perhatian adalah penerapan teknologi nanomaterial dalam konstruksi baja. Artikel ini akan membahas secara mendalam mengenai apa itu teknologi nanomaterial, bagaimana nanomaterial mempengaruhi baja, dan dampak serta potensi masa depan penerapannya dalam industri konstruksi.



Gambar 38. Material nano pada baja

## **Bagaimana Nanomaterial Mempengaruhi Baja?**

### **1. Penguatan Struktural**

Salah satu dampak utama nanomaterial pada baja adalah kemampuannya untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan. Penggunaan nanopartikel, seperti nanopartikel karbon, dapat memberikan efek penguatan yang signifikan pada baja, membuatnya lebih tahan terhadap beban dan tegangan.

### **2. Ketahanan Korosi**

Nanomaterial juga dapat meningkatkan ketahanan korosi baja. Dengan menambahkan nanopartikel tertentu ke dalam baja, dapat membentuk lapisan pelindung yang lebih efektif terhadap korosi, memperpanjang umur layanan struktur baja.

### 3. Kelenturan dan Kekakuan yang Ditingkatkan

Penggunaan nanotube, seperti nanotube karbon, dapat memberikan kelebihan dalam meningkatkan kelenturan dan kekakuan baja. Ini penting dalam menanggapi gaya lateral atau gempa, memberikan struktur baja kemampuan untuk menahan deformasi tanpa mengorbankan kekuatan.

### 4. Penurunan Berat Baja

Nanomaterial dapat membantu mengurangi berat baja tanpa mengorbankan kekuatan strukturalnya. Ini memiliki dampak positif dalam pembangunan struktur yang lebih ringan dan efisien, terutama dalam konstruksi bangunan tinggi atau jembatan.

### 5. Kemampuan Konduktivitas dan Pemanas yang Ditingkatkan

Penggunaan nanomaterial juga dapat meningkatkan kemampuan konduktivitas dan pemanas baja. Hal ini dapat memainkan peran penting dalam merancang bangunan yang lebih efisien secara energi dan memiliki manfaat tambahan dalam aplikasi seperti pemanasan lantai atau penggunaan energi panas matahari.

## **Penerapan Teknologi Nanomaterial dalam Konstruksi Baja**

### 1. Nanokomposit Baja

Nanokomposit baja melibatkan penyatuan baja dengan nanopartikel atau nanotube untuk meningkatkan sifat-sifat mekanisnya. Misalnya, nanotube karbon dapat disatukan dengan baja untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan struktural.

### 2. Cat Nanoteknologi

Teknologi nanocat memberikan lapisan pelindung yang sangat efektif pada permukaan baja. Lapisan ini dapat meningkatkan ketahanan korosi dan ketahanan aus, menjadikan baja lebih tahan lama dan memerlukan perawatan yang lebih sedikit.

### 3. Nanofiber dalam Beton Baja

Penambahan nanofiber, seperti nanofiber polimer, dalam beton baja dapat memberikan penguatan tambahan dan meningkatkan sifat lentur dan kekakuan. Ini dapat digunakan dalam elemen-elemen struktural seperti balok atau kolom untuk meningkatkan performa konstruksi.

#### 4. Nanopartikel Anti-Korosi

Penggunaan nanopartikel anti-korosi dalam cat atau lapisan pelindung dapat memberikan perlindungan tambahan terhadap korosi. Ini sangat penting dalam kondisi lingkungan yang keras atau di daerah yang rentan terhadap cuaca ekstrem.

#### **Keuntungan Penerapan Nanomaterial dalam Konstruksi Baja**

##### 1. Meningkatkan Kinerja Mekanis

Penerapan nanomaterial dapat meningkatkan kinerja mekanis baja secara signifikan. Kekuatan, kelenturan, dan ketahanan aus semuanya dapat ditingkatkan, memberikan keunggulan yang jelas dalam konstruksi struktur yang kuat dan tahan lama.

##### 2. Umur Layanan yang Lebih Panjang

Dengan meningkatnya ketahanan korosi dan kekuatan struktural, penggunaan nanomaterial dapat memperpanjang umur layanan struktur baja. Ini mengurangi kebutuhan untuk perawatan dan perbaikan yang sering, menghemat biaya jangka panjang.

##### 3. Efisiensi Energi

Reduksi berat baja dan peningkatan konduktivitas termal dapat berkontribusi pada efisiensi energi bangunan. Struktur yang lebih ringan dapat mengurangi konsumsi energi, sementara kemampuan konduktivitas termal yang meningkat dapat mendukung sistem pengaturan suhu bangunan.

##### 4. Desain yang Lebih Fleksibel

Kemampuan nanomaterial untuk meningkatkan kelenturan dan kekakuan baja memberikan desainer lebih banyak fleksibilitas dalam merancang struktur. Desain yang lebih efisien dan inovatif dapat dihasilkan, memungkinkan proyek-proyek konstruksi yang lebih kreatif.

#### **Tantangan dan Kendala Penerapan Nanomaterial dalam Konstruksi Baja**

##### 1. Biaya Tinggi

Salah satu kendala utama penerapan nanomaterial dalam konstruksi adalah biaya tinggi pembuatan dan penggunaannya. Proses produksi dan pengadaan nanomaterial seringkali melibatkan teknologi canggih dan sumber daya yang mahal.

##### 2. Keterbatasan Pengetahuan dan Regulasi

Keterbatasan pengetahuan dan regulasi terkait penggunaan nanomaterial dalam konstruksi adalah tantangan serius. Penting untuk lebih memahami dampak lingkungan dan kesehatan kerja dari penggunaan nanomaterial, serta mengembangkan regulasi yang memadai.

### 3. Proses Produksi yang Kompleks

Proses produksi nanomaterial dan integrasinya dalam konstruksi baja seringkali kompleks. Perlu pemahaman teknologi dan peralatan khusus, dan ini dapat menjadi hambatan untuk adopsi massal.

### 4. Perubahan Sifat Material

Ketika berurusan dengan skala nanometer, perubahan dalam sifat material dapat sulit untuk diprediksi. Sifat-sifat baru yang muncul atau perubahan dalam respons material terhadap tekanan atau beban tertentu dapat membutuhkan pemahaman mendalam dan penelitian yang cermat.

## **Peningkatan Inovasi dan Riset Lanjutan**

1. Peningkatan Proses Produksi: Riset dan pengembangan lanjutan perlu difokuskan pada peningkatan proses produksi nanomaterial, dengan tujuan mengurangi biaya dan meningkatkan efisiensi.

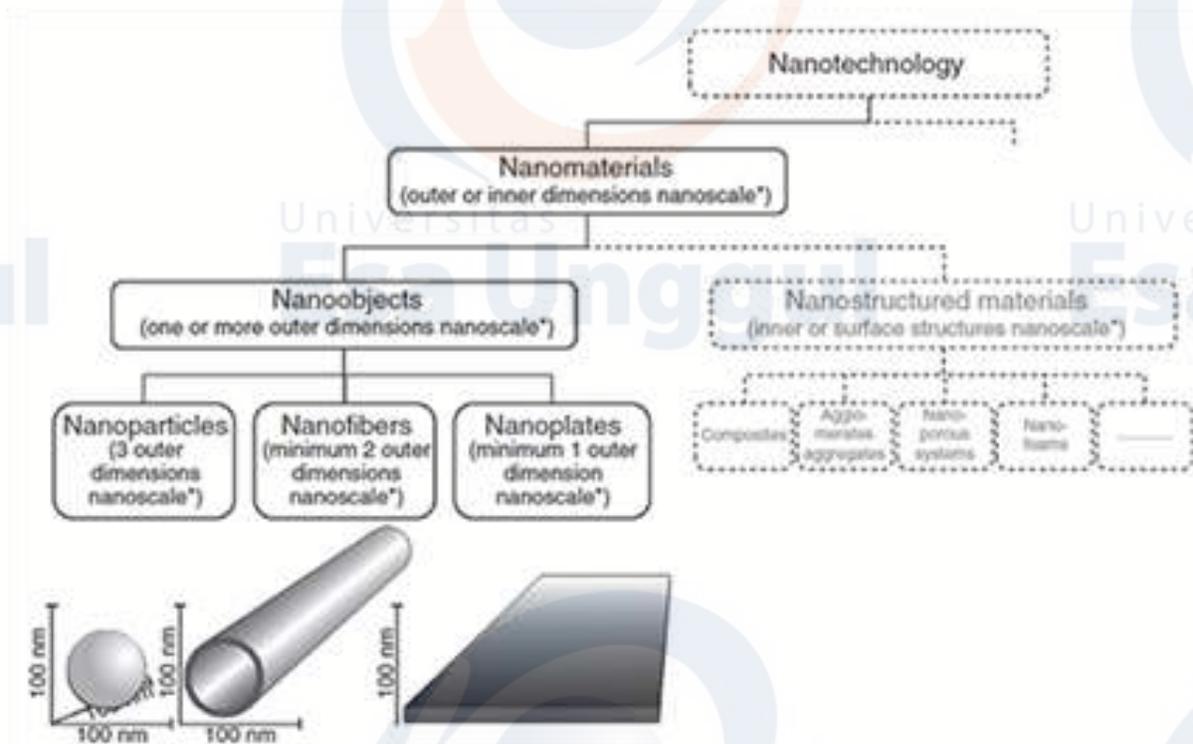
2. Pengembangan Nanomaterial yang Ramah Lingkungan: Pengembangan nanomaterial yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan menjadi prioritas. Memahami dampak lingkungan dan meminimalkan risiko kesehatan kerja adalah langkah kritis menuju penerapan nanomaterial yang aman dan berkelanjutan.

3. Studi yang Mendalam tentang Dampak Lingkungan: Studi mendalam tentang dampak lingkungan dari penggunaan nanomaterial dalam konstruksi baja perlu dilakukan. Hal ini mencakup siklus hidup material, efek pada ekosistem, dan potensi dampak jangka panjang.

4. Kolaborasi Industri dan Akademisi: Kolaborasi yang erat antara industri dan lembaga akademis sangat penting untuk mempercepat inovasi dalam penerapan nanomaterial. Penelitian bersama dan pertukaran pengetahuan dapat membantu mengatasi tantangan dan memajukan teknologi.

Tantangan dalam Penggunaan Nanopartikel dalam Industri Konstruksi. Nanopartikel harus aman bagi lingkungan dan pekerja konstruksi. Penggunaan nanopartikel dalam konstruksi harus mematuhi regulasi yang ketat untuk memastikan keamanan dan kepatuhan. Penggunaan nanopartikel dalam konstruksi harus efisien secara ekonomis dan memberikan nilai tambah yang cukup untuk investasi. Tantangan utama adalah memahami dampak kesehatan dan lingkungan nanopartikel yang digunakan dalam berbagai aplikasi industri. Nanopartikel yang digunakan dalam produk konsumen harus aman dan tidak beracun bagi manusia dan lingkungan. Penggunaan nanopartikel dalam industri perlu mematuhi regulasi yang ketat untuk memastikan keamanan dan kepatuhan.

Kemajuan nanopartikel di berbagai industri membawa dampak positif dalam meningkatkan kualitas produk, efisiensi produksi, dan keberlanjutan lingkungan. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang nanopartikel dan inovasi yang berkelanjutan, diharapkan perkembangan ini akan terus membawa manfaat bagi berbagai sektor industri.



Gambar 39. Dimensi dan sifat nanomaterial

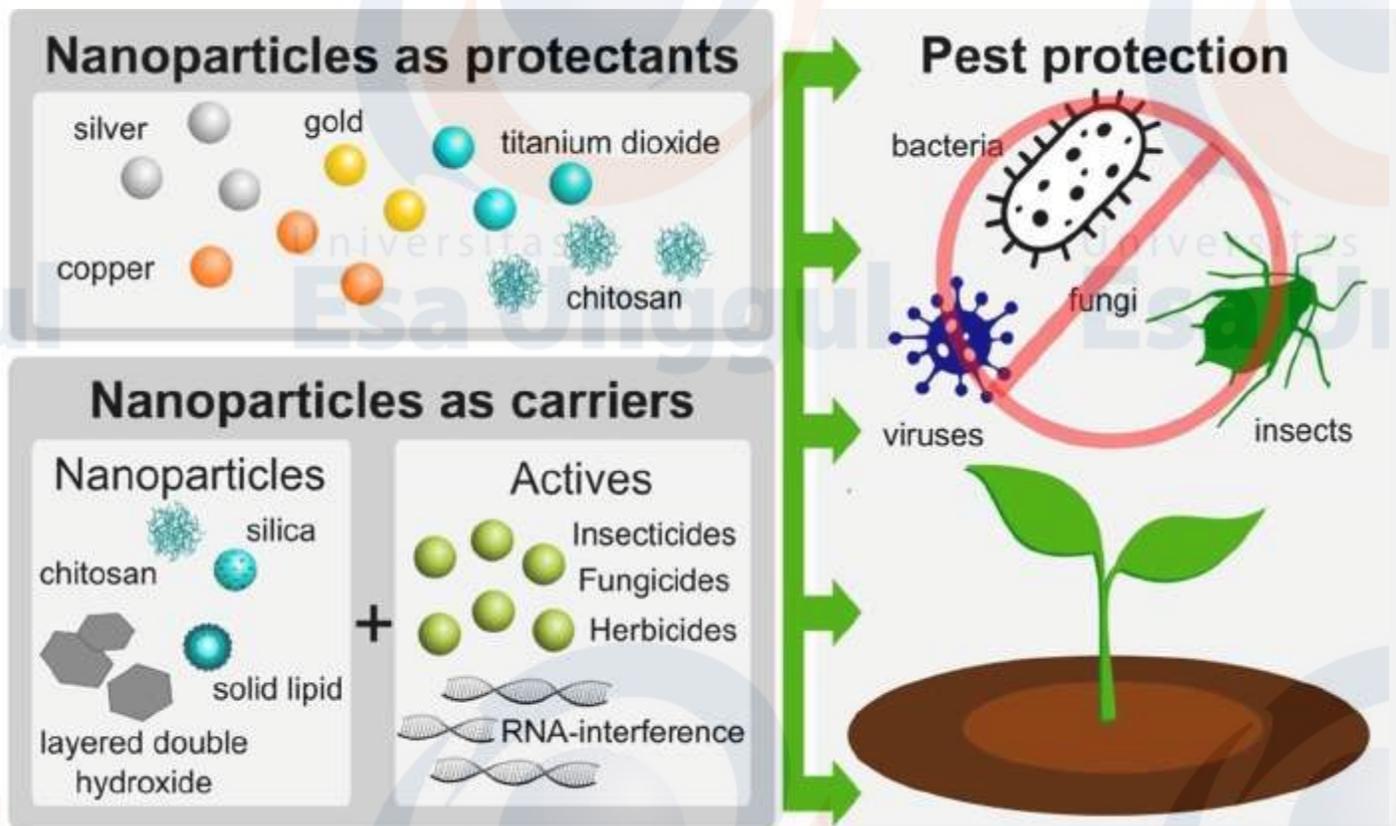
## BAB 8 KEMAJUAN NANOPARTIKEL DI BIDANG PERTANIAN

Kemajuan nanopartikel di bidang pertanian menawarkan potensi besar untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan pertanian. Beberapa aplikasi utama nanopartikel dalam pertanian meliputi:

### **Peningkatan efisiensi pupuk dan pestisida**

Nanopartikel dapat digunakan untuk membuat pupuk dengan pelepasan terkendali, yang memungkinkan nutrisi dilepaskan secara perlahan sesuai kebutuhan tanaman. Ini membantu mengurangi jumlah pupuk yang terbuang dan meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi. Pestisida berbasis nanopartikel dapat meningkatkan efektivitas dalam mengendalikan hama dan penyakit tanaman dengan dosis yang lebih rendah, sehingga mengurangi dampak lingkungan negatif.

Peningkatan efisiensi pupuk dan pestisida melalui penggunaan nanopartikel merupakan salah satu aplikasi paling menjanjikan dari nanoteknologi dalam pertanian. Berikut adalah penjelasan lebih rinci tentang bagaimana nanopartikel dapat meningkatkan efisiensi pupuk dan pestisida. Nanopartikel dapat digunakan untuk membuat pupuk dengan pelepasan terkendali. Ini berarti nutrisi yang terkandung dalam pupuk dilepaskan secara bertahap sesuai kebutuhan tanaman, sehingga mengurangi risiko pencucian dan hilangnya nutrisi ke lingkungan. Nanopartikel dapat dirancang untuk mengikat dan melepaskan nutrisi secara spesifik ke akar tanaman, meningkatkan penyerapan nutrisi oleh tanaman dan mengurangi penggunaan pupuk secara keseluruhan.



Gambar 40. Konsep Teknologi Nano dalam Perlindungan Tanaman

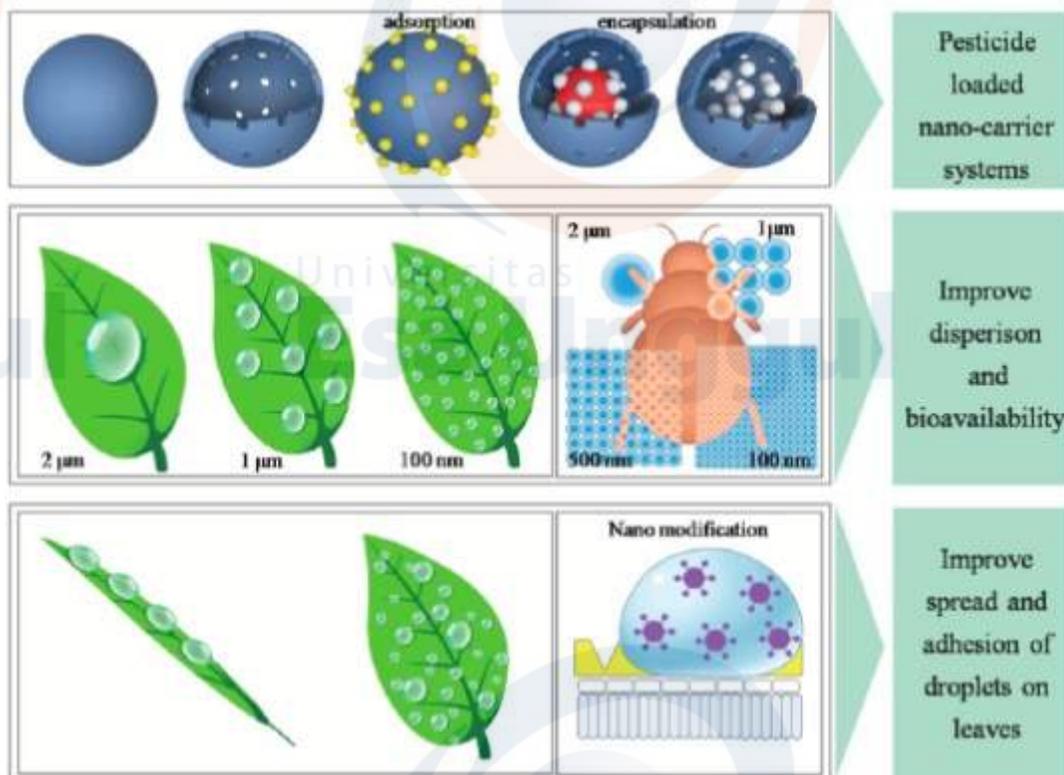
Nanopartikel dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi dalam tanah dan memfasilitasi penyerapan nutrisi oleh tanaman. Misalnya, nanopartikel yang mengandung nutrisi mikro seperti besi, seng, dan mangan dapat lebih mudah diserap oleh tanaman dibandingkan bentuk tradisionalnya. Reduksi Polusi Lingkungan, dengan mengurangi jumlah pupuk yang diperlukan dan mengurangi kehilangan nutrisi ke lingkungan, penggunaan nanopartikel dapat membantu mengurangi polusi tanah dan air yang disebabkan oleh pupuk konvensional.

Pestisida berbasis nanopartikel, pestisida berbasis nanopartikel dapat meningkatkan efektivitas bahan aktif dalam mengendalikan hama dan penyakit tanaman. Nanopartikel dapat memperpanjang waktu pelepasan pestisida dan meningkatkan penetrasi ke dalam jaringan tanaman atau tubuh hama. Karena peningkatan efektivitas, pestisida berbasis nanopartikel seringkali dapat digunakan dalam dosis yang lebih

rendah dibandingkan pestisida konvensional, mengurangi dampak negatif pada lingkungan dan kesehatan manusia.

Penerapan nanoteknologi pada biopestisida dan pestisida nabati (nanobiopestisida) dapat mengurangi dampak negatif pada lingkungan. Beberapa keuntungan penggunaan Nanobiopestisida adalah tingkat efikasi dan keamanan yang tinggi, mengurangi dosis atau konsentrasi penggunaan pestisida pada tanaman, mengurangi residu beracun, dan mengurangi emisi lingkungan di lahan pertanian.

Salah satu contoh pendekatan teknologi ini adalah nano-enkapsulasi. Nano-enkapsulasi mencakup penggunaan berbagai jenis nanopartikel yang dikombinasikan dengan bioinsektisida. Dalam proses ini bioinsektisida secara perlahan tapi efisien (slow release) dilepaskan ke tanaman yang terserang hama. Contoh lainnya yaitu menggunakan suspensi partikel nano (Nano-emulsi), yang dapat berupa air atau minyak dan mengandung suspensi seragam dari partikel nanobiopestisida dalam kisaran 200-400 nm.



Gambar 41. Mekanisme Nano-enkapsulasi Biopestisida

Hasil penelitian nanobioinsektisida yang dilakukan oleh peneliti dari Balai Penelitian Tanaman Industri dan Penyegar (Balitri), menunjukkan bahwa ekstrak buah cabai dan ekstrak daun cengkeh efektif dalam mengendalikan hama PBKo dan karat daun dengan dosis rendah. Hasil penelitian awal telah didapatkan ekstrak cabai jawa (*Piper retrofractum*) dengan dosis 2,5%-3% efektif mengendalikan PBKo (*Hypothenemus hampei*) skala laboratorium dan pengujian ekstrak daun cengkeh (*Syzygium aromaticum*) dosis 0,2% efektif menghambat perkecambahan spora *H. vastatrix* skala laboratorium. Dari hasil penelitian tersebut, dapat dikatakan bahwa teknologi nanobiopestisida berpotensi sebagai pestisida alami yang ramah lingkungan. Hanya saja pestisida alami ini memiliki kelemahan yaitu tidak tahan lama karena sifatnya yang volatil dan mudah terdegradasi oleh cahaya matahari. Oleh karena itu, penelitian dan pengembangan lebih lanjut dibutuhkan untuk mengoptimalkan aplikasi teknologi ini dalam skala lapangan dan tentu saja dapat digunakan oleh petani.

Nanopartikel dapat dirancang untuk menargetkan spesifik jenis hama atau patogen tertentu, sehingga mengurangi dampak pada organisme non-target dan lingkungan. Misalnya, nanopartikel dapat digunakan untuk mengantarkan bahan aktif langsung ke sistem pencernaan hama. Penggunaan nanopartikel dapat membantu mengurangi perkembangan resistensi hama terhadap pestisida karena mekanisme kerja yang lebih kompleks dan efektif. Penggunaan nanopartikel dapat meningkatkan efisiensi pupuk dan pestisida, mengurangi biaya dan dampak lingkungan. Mengurangi penggunaan bahan kimia dan polusi, mendukung praktik pertanian yang lebih berkelanjutan.

Tantangannya antara lain, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami dampak jangka panjang nanopartikel terhadap kesehatan manusia dan lingkungan. Regulasi yang tepat juga diperlukan untuk memastikan penggunaan yang aman. Pengembangan dan produksi nanopartikel mungkin lebih mahal dibandingkan produk konvensional, meskipun biaya ini dapat turun seiring dengan perkembangan teknologi. Dengan kemajuan dalam penelitian dan pengembangan, nanopartikel berpotensi besar untuk merevolusi cara kita menggunakan pupuk dan pestisida dalam pertanian, membuatnya lebih efisien, efektif, dan ramah lingkungan.

## **Pemantauan dan Diagnostik Tanaman**

Pemantauan dan Diagnostik Tanaman dengan sensor berbasis nanoteknologi dapat digunakan dalam sensor untuk memantau kesehatan tanaman, kelembaban tanah, dan tingkat nutrisi secara real-time. Sensor ini dapat memberikan informasi penting untuk pengelolaan pertanian yang lebih presisi. Pemantauan dan diagnostik tanaman menggunakan teknologi nanopartikel merupakan salah satu inovasi yang dapat memberikan solusi presisi dalam pertanian. Berikut adalah cara nanopartikel digunakan untuk meningkatkan pemantauan dan diagnostik tanaman:

Sensor Berbasis Nanoteknologi dengan pemantauan kesehatan tanaman, nanosensor: Nanosensor dapat dimasukkan ke dalam tanah atau disematkan pada tanaman untuk memantau berbagai parameter kesehatan tanaman seperti kelembaban, kadar nutrisi, dan tingkat pH. Informasi ini dikirimkan secara real-time ke perangkat pemantauan sehingga petani dapat mengambil tindakan yang tepat dan cepat. Nanopartikel dapat dimodifikasi untuk menghasilkan fluoresensi atau sinyal optik saat berinteraksi dengan senyawa tertentu di dalam tanaman. Ini memungkinkan deteksi dini penyakit atau defisiensi nutrisi dengan cara memantau perubahan warna atau intensitas sinyal.

Nanosensor yang ditempatkan di dalam tanah dapat secara akurat mengukur kadar kelembaban dan mengirimkan data ini ke sistem manajemen air otomatis. Hal ini membantu mengoptimalkan irigasi dan menghindari overwatering atau underwatering. Nanopartikel dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan patogen seperti bakteri, virus, atau jamur dalam tanaman. Biosensor ini bekerja dengan mengidentifikasi molekul spesifik yang terkait dengan patogen tersebut dan memberikan sinyal ketika patogen terdeteksi.

Nanopartikel dapat digunakan dalam sensor untuk mendeteksi VOCs yang dilepaskan oleh tanaman yang terinfeksi atau stres. Deteksi dini VOCs ini memungkinkan penanganan cepat sebelum kerusakan lebih lanjut terjadi. Nanopartikel dapat digunakan untuk mengumpulkan dan menganalisis sampel kecil dari jaringan tanaman, memberikan informasi rinci tentang status nutrisi dan kesehatan tanaman. Perangkat mikrofluidik yang menggunakan nanopartikel dapat melakukan analisis cepat dan tepat terhadap sampel

tanaman, memberikan diagnosa instan yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan.

Nanopartikel dapat dirancang untuk mendeteksi dan mengukur tingkat stres pada tanaman yang disebabkan oleh faktor lingkungan seperti kekeringan, suhu ekstrem, atau serangan patogen. Informasi ini penting untuk mengelola kesehatan tanaman secara proaktif.

Nanosensor dan diagnostik berbasis nanopartikel memberikan tingkat akurasi yang tinggi dalam pemantauan dan diagnosa tanaman, memungkinkan tindakan yang lebih tepat dan cepat. Dengan pemantauan dan diagnosa yang tepat waktu, petani dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan meningkatkan hasil panen. Deteksi dini hama dan penyakit dapat mengurangi kebutuhan akan pestisida dan herbisida, mendukung pertanian yang lebih ramah lingkungan.

Teknologi berbasis nanopartikel mungkin memiliki biaya awal yang tinggi, yang bisa menjadi penghalang bagi petani kecil atau di negara berkembang. Implementasi dan pemeliharaan sensor berbasis nanopartikel memerlukan pemahaman teknologi yang lebih dalam, yang mungkin membutuhkan pelatihan tambahan bagi petani. Penggunaan nanopartikel dalam pemantauan dan diagnostik tanaman membuka jalan bagi praktik pertanian presisi yang lebih efisien, efektif, dan berkelanjutan. Dengan terus berkembangnya teknologi ini, potensi untuk meningkatkan hasil pertanian dan mengurangi dampak lingkungan semakin besar.

### **Penghantaran Materi Genetik**

Nanopartikel dapat digunakan untuk menghantarkan bahan genetik ke dalam tanaman, memungkinkan teknik rekayasa genetika yang lebih efisien dan spesifik. Nanopartikel dapat membantu dalam penghantaran bahan kimia untuk melawan patogen atau memperbaiki kesehatan tanaman tanpa merusak tanaman itu sendiri. Penghantaran gen dan obat melalui teknologi nanopartikel adalah salah satu aplikasi nanoteknologi yang sangat inovatif di bidang pertanian. Berikut adalah cara-cara utama bagaimana nanopartikel digunakan untuk penghantaran gen dan obat dalam tanaman.

Nanopartikel dapat digunakan sebagai vektor untuk menghantarkan DNA atau RNA ke dalam sel tanaman. Vektor ini melindungi bahan genetik selama proses penghantaran dan membantu memastikan bahwa bahan genetik mencapai target yang

diinginkan. Nanopartikel memungkinkan transfeksi (pengenalan bahan genetik ke dalam sel) yang lebih efisien dibandingkan metode konvensional seperti biolistik atau *Agrobacterium*-mediated transformation. Nanopartikel dapat menembus dinding sel tanaman dengan lebih mudah dan mengantarkan DNA atau RNA langsung ke dalam inti sel.

Nanopartikel dapat digunakan untuk menghantarkan molekul RNAi ke dalam tanaman. RNAi adalah teknologi yang dapat "mematikan" gen tertentu, memungkinkan para ilmuwan untuk mempelajari fungsi gen tersebut atau untuk mengembangkan tanaman yang tahan terhadap hama atau penyakit. Penggunaan nanopartikel dalam penghantaran RNAi memungkinkan penghantaran yang lebih spesifik dan efisien, mengurangi kemungkinan efek off-target dan meningkatkan keberhasilan silencing gen.

#### **Penggantian pestisida dan herbisida sintetik**

Nanopartikel dapat digunakan untuk merumuskan pestisida dan herbisida sehingga bahan aktif dapat dilepaskan secara bertahap dan terkendali. Ini mengurangi kebutuhan akan aplikasi berulang dan mengurangi dampak lingkungan. Nanopartikel dapat dirancang untuk mengenali dan mengikat target spesifik seperti hama atau gulma, meningkatkan efektivitas dan mengurangi efek samping pada organisme non-target. Nanopartikel dapat digunakan untuk menghantarkan nutrisi mikro yang diperlukan dalam jumlah kecil namun esensial untuk pertumbuhan tanaman, seperti besi, seng, dan mangan.

Penghantaran yang tepat dapat meningkatkan kesehatan tanaman dan hasil panen. Nanopartikel juga dapat digunakan untuk menghantarkan fitohormon (hormon tumbuhan) seperti auxin atau sitokinin, yang dapat mengatur pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Ini bisa digunakan untuk menginduksi rooting atau mempercepat pematangan buah.

Nanopartikel dapat mengantarkan agen antimikroba atau antifungal langsung ke area yang terinfeksi, meningkatkan efektivitas pengendalian patogen dan mengurangi kerusakan pada tanaman. Nanopartikel dapat dirancang untuk melepaskan agen antimikroba atau antifungal secara bertahap, memberikan perlindungan jangka panjang terhadap infeksi patogen.

Penghantaran gen dan obat melalui nanopartikel meningkatkan efisiensi dan spesifisitas, mengurangi kebutuhan akan bahan kimia dalam jumlah besar.

- Keberlanjutan: Dengan penggunaan bahan yang lebih sedikit dan penargetan yang lebih baik, teknologi ini mendukung praktik pertanian yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.
- Pengembangan Tanaman Baru: Teknologi ini memungkinkan pengembangan tanaman yang lebih tahan terhadap hama, penyakit, dan kondisi lingkungan yang buruk, serta peningkatan nilai gizi tanaman.

Tantangannya adalah dampak jangka panjang dari nanopartikel pada kesehatan manusia dan lingkungan perlu diteliti lebih lanjut. Regulasi yang tepat diperlukan untuk memastikan penggunaan yang aman. Pengembangan dan produksi nanopartikel mungkin memerlukan investasi yang signifikan dalam infrastruktur dan teknologi, yang bisa menjadi penghalang bagi penerapan luas, terutama di negara berkembang.

Dengan kemajuan dalam penelitian dan pengembangan, penggunaan nanopartikel untuk penghantaran gen dan obat memiliki potensi besar untuk merevolusi pertanian, membuatnya lebih efisien, berkelanjutan, dan produktif.

Penggunaan teknologi nano pada pupuk akan memungkinkan pelepasan nutrisi yang terkandung pada pupuk akan dikontrol. Jadi hanya nutrisi yang akan benar-benar diserap oleh tanaman yang dilepaskan. Sehingga tidak terjadi kehilangan nutrisi pada target yang tidak dikehendaki seperti tanah, air dan mikroorganisme. Pada pupuk nano, nutrisi dapat berupa enkapsulasi nanomaterial, pelapisan oleh lapisan pelindung yang tipis atau dilepaskan dalam bentuk emulsi dari nanopartikel.

Perkembangan teknologi nanoteknologi banyak kontribusi pada pengembangan material material baru yang lebih kecil dan lebih detail. Pengembangan nanoteknologi pada pupuk baik itu pupuk kimia maupun organik akan dapat membantu meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk maupun pada pestisida. Lebih jauh lagi, jika penggunaan pada pestisida yang langsung pada target akan meminimalisir berkembangnya mekanisme resistensi pada hama dan mengurangi kematian serangga non target. Hal ini tentu akan membawa dampak positif bagi produksi pertanian, karena banyak kasus sebelumnya dimana terjadi ledakan hama tertentu akibat penggunaan pestisida yang kurang tepat.

Penggunaan nano pada pupuk organik diharapkan menjadi jawaban tentang bagaimana caranya agar pupuk organik ini bisa bersaing dengan pupuk kimia yang sudah lama beredar di masyarakat baik dari sifat toksisitasnya maupun kemampuannya bertahan dalam dengan teknologi slow release. Selain itu ukuran pori tanaman yang kecil akan sangat sulit untuk menyerap unsur hara dalam pupuk dengan maksimal. Ukuran diameter stomata yang sangat kecil memaksa penyerapan unsur dalam pupuk membutuhkan waktu untuk memecah molekul yang besar menjadi molekul kecil. Ukuran stomata setiap tumbuhan berbeda tergantung jenis dan spesies.

Nanoteknologi dapat digunakan untuk mendegradasi residu pupuk baik itu di air, udara maupun di tanah melalui mekanisme fotokatalis oksida logam dengan menggunakan materi berbau oksida semikonduktor seperti titanium oksida TiO<sub>2</sub> dan Zinc oksida (ZnO). Materi ini dapat menyerap foton dan menginisiasi proses reduksi oksidasi redoks sehingga akan memecah molekul organik kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana. Melalui proses fotokatalisis, residu pestisida dapat diubah menjadi mineral yang bermanfaat dan tidak membahayakan lingkungan. Melalui rekayasa nanoteknologi, bahan alam berkhasiat obat herbal dapat dimanfaatkan sebagai obat biofarmasi.

Begitu pula bahan tanaman yang berpotensi sebagai pengendali hama dapat dimanfaatkan sebagai pestisida organik yang efektif, efisien dan ramah lingkungan dengan memanfaatkan teknologi berbasis nano. Berdasarkan penelitian limbah tanaman legume memiliki kandungan unsur hara yang sangat tinggi yang dibutuhkan tanaman diantaranya yaitu; C (Karbon) sebesar 59,31% yang berarti terdapat carbon yang tinggi pada kulit singkong, pada H (Hidrogen) sebesar 9,78%, O (Oksigen) sebesar 28,74% , N (Nitrogen) sebesar 3,06 % , S (Sulfur) sebesar 0,11% dan H<sub>2</sub>O (Air) sebesar 11,4%. Jika ditelaah secara seksama, kandungan di dalam kulit kacang-kacangan tersebut memiliki kandungan Nitrogen sebesar 3.06 % -- 3.08 % , Phospor 3.0 % -3.5 % , dan Kalium sebesar 2.5% -- 2.7 % (Syekhfani, 2015).

Penerapan nanoteknologi dalam bidang pertanian terutama dalam pupuk ini sangat efektif mengingat selama ini perlu waktu untuk suatu tanaman menyerap unsur hara dalam tanaman, dengan komposisi bahan material berukuran nano sehingga lebih cepat dan mudah masuk dalam sistem metabolisme tanaman untuk memperoleh hasil

yang maksimal. Penerapan teknologi nano di sektor pertanian masih sangat minim. Dengan metode Top Down (Pembuatan Partikel Besar menjadi Partikel Nano) diharapkan Nanotech Kathasi menjadi produk pupuk cair yang lebih efisien karena ukuran partikel mineralnya yang sangat kecil sehingga mudah untuk diserap oleh tanaman untuk meningkatkan tingkat kesuburan dan produksi tanaman.



Gambar 42. Perkembangan nanoteknologi pertanian mendukung Future Agriculture

## **Pembersihan kontaminan**

Nanopartikel dapat digunakan untuk membersihkan kontaminan dari tanah, meningkatkan kesuburan tanah, dan mengurangi polusi. Nanoteknologi dapat digunakan untuk memurnikan air irigasi, menghilangkan kontaminan dan patogen, serta meningkatkan efisiensi penggunaan air. Pengelolaan tanah dan air dengan menggunakan teknologi nanopartikel menawarkan solusi inovatif untuk meningkatkan produktivitas pertanian sekaligus menjaga keberlanjutan lingkungan. Berikut adalah cara-cara utama nanopartikel digunakan dalam pengelolaan tanah dan air:

Nanopartikel dapat digunakan untuk menghilangkan kontaminan dari tanah, seperti logam berat (misalnya, timbal, merkuri), pestisida, dan bahan kimia berbahaya lainnya. Nanopartikel ini dapat mengikat dan menetralkan polutan, membuat tanah lebih subur dan aman untuk pertanian. Nanopartikel dapat digunakan untuk mendukung proses bioremediasi, yaitu penggunaan mikroorganisme untuk menguraikan polutan di tanah. Nanopartikel dapat menyediakan nutrisi tambahan atau enzim yang mempercepat degradasi polutan.

Penggunaan nanopartikel dalam pupuk dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Misalnya, nanopartikel yang mengandung nitrogen, fosfor, atau kalium dapat lebih efisien diserap oleh tanaman dibandingkan dengan pupuk konvensional. Nanopartikel dapat digunakan sebagai amendemen tanah untuk memperbaiki struktur tanah, meningkatkan retensi air, dan meningkatkan aerasi, sehingga menciptakan kondisi yang lebih baik untuk pertumbuhan tanaman.

Nanopartikel dapat digunakan dalam sistem pemurnian air untuk menghilangkan kontaminan seperti logam berat, patogen, dan senyawa organik dari air irigasi. Ini memastikan bahwa air yang digunakan untuk irigasi bebas dari bahan berbahaya yang dapat merusak tanaman dan tanah. Nanopartikel dengan sifat antimikroba dapat digunakan untuk mendesinfeksi air irigasi, membunuh bakteri dan virus yang mungkin ada dalam air, sehingga melindungi tanaman dari penyakit yang disebarkan melalui air.

Nanopartikel dapat digunakan dalam sensor untuk memantau kadar kelembaban tanah secara real-time. Informasi ini dapat digunakan untuk mengatur irigasi secara presisi, mengurangi penggunaan air berlebih dan meningkatkan efisiensi penggunaan air. Nanopartikel dapat dimasukkan ke dalam tanah sebagai nanogel yang mampu menyerap

dan melepaskan air secara perlahan. Ini membantu menjaga kelembaban tanah dalam kondisi optimal untuk pertumbuhan tanaman, terutama di daerah yang rentan terhadap kekeringan.

Keuntungan:

- Efisiensi Tinggi: Penggunaan nanopartikel dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, pestisida, dan air, mengurangi biaya dan dampak lingkungan.
- Peningkatan Produktivitas: Dengan meningkatkan kesuburan tanah dan efisiensi penggunaan air, nanopartikel dapat membantu meningkatkan hasil panen.
- Keberlanjutan Lingkungan: Penggunaan nanopartikel dalam pengelolaan tanah dan air dapat mengurangi polusi dan mendukung praktik pertanian yang lebih berkelanjutan.

Tantangan:

- Keamanan dan Regulasi: Penting untuk memastikan bahwa nanopartikel tidak menimbulkan risiko kesehatan bagi manusia dan lingkungan. Regulasi yang tepat diperlukan untuk memastikan penggunaan yang aman.
- Biaya dan Aksesibilitas: Pengembangan dan implementasi teknologi nanopartikel mungkin mahal, dan akses terhadap teknologi ini bisa menjadi tantangan bagi petani kecil atau di negara berkembang.
- Kompleksitas Teknologi: Penggunaan teknologi nanopartikel memerlukan pemahaman yang mendalam dan pelatihan bagi petani, yang mungkin membutuhkan investasi dalam pendidikan dan pelatihan.

Pengelolaan tanah dan air dengan teknologi nanopartikel memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan dalam pertanian. Dengan kemajuan penelitian dan pengembangan, aplikasi ini dapat memberikan manfaat yang signifikan bagi pertanian modern.

Nanopartikel dapat membantu meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan seperti kekeringan, suhu ekstrem, dan serangan patogen. Penggunaan nanopartikel dalam pertanian masih dalam tahap penelitian dan pengembangan di banyak negara, tetapi hasil awal menunjukkan potensi yang sangat menjanjikan. Namun, penting untuk terus mengkaji dampak lingkungan dan kesehatan dari penggunaan nanopartikel ini untuk memastikan bahwa teknologi ini aman dan berkelanjutan.

Peningkatan kualitas dan ketahanan tanaman dengan menggunakan teknologi nanopartikel menawarkan berbagai manfaat untuk pertanian, termasuk tanaman yang lebih sehat, hasil panen yang lebih tinggi, dan ketahanan yang lebih baik terhadap berbagai stres lingkungan. Berikut adalah cara nanopartikel dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas dan ketahanan tanaman:

### **Peningkatan Kualitas Tanaman**

Nanopartikel dapat digunakan untuk menghantarkan nutrisi penting seperti nitrogen, fosfor, dan kalium langsung ke sel tanaman, meningkatkan efisiensi penyerapan dan mengurangi kebutuhan akan pupuk konvensional. Nanopartikel yang mengandung mikronutrien seperti seng, mangan, dan besi dapat meningkatkan kualitas nutrisi tanaman, menghasilkan tanaman yang lebih sehat dan bernilai gizi tinggi.

Nanopartikel dapat digunakan untuk menghantarkan fitohormon seperti auxin, gibberellin, dan cytokinin secara tepat ke bagian tanaman yang membutuhkan. Ini dapat mengoptimalkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman, termasuk pembungaan, pematangan buah, dan perakaran. Penggunaan nanopartikel untuk penghantaran pengatur tumbuh dapat membantu dalam pengaturan tinggi tanaman, ukuran daun, dan jumlah cabang, sehingga menghasilkan tanaman dengan struktur yang lebih diinginkan untuk hasil panen yang optimal.

### **Peningkatan Ketahanan Tanaman**

Nanopartikel dapat digunakan untuk menghantarkan agen pelindung atau pestisida langsung ke bagian tanaman yang diserang hama atau patogen, meningkatkan efektivitas perlindungan dan mengurangi kebutuhan akan pestisida kimia. Penggunaan nanopartikel untuk menghantarkan RNA interferensi (RNAi) dapat membantu dalam “mematikan” gen patogen yang esensial untuk infeksi, sehingga meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit. Nanopartikel dapat digunakan untuk menghantarkan senyawa pelindung atau antioksidan ke tanaman yang mengalami stres akibat kondisi lingkungan seperti kekeringan, suhu ekstrem, atau salinitas tinggi. Ini membantu tanaman bertahan dalam kondisi lingkungan yang tidak menguntungkan.

Penggunaan nanopartikel dalam bentuk nanogel di sekitar akar tanaman dapat meningkatkan retensi air di tanah, membantu tanaman tetap terhidrasi selama periode kekeringan. Nanopartikel dapat digunakan sebagai vektor untuk menghantarkan gen

yang mengkode ketahanan terhadap stres abiotik atau biotik ke dalam tanaman. Ini dapat menghasilkan tanaman transgenik yang lebih tahan terhadap berbagai kondisi stres.

#### Keuntungan dan Tantangan

##### Keuntungan:

- Efisiensi dan Efektivitas: Penggunaan nanopartikel memungkinkan penghantaran nutrisi, hormon, dan agen pelindung yang lebih efisien dan efektif, meningkatkan kualitas dan ketahanan tanaman.
- Pengurangan Bahan Kimia: Dengan meningkatkan ketahanan tanaman dan efisiensi penggunaan nutrisi, penggunaan nanopartikel dapat mengurangi kebutuhan akan pupuk dan pestisida kimia, mendukung pertanian yang lebih ramah lingkungan.
- Peningkatan Produktivitas: Tanaman yang lebih sehat dan tahan terhadap stres cenderung menghasilkan panen yang lebih tinggi dan berkualitas lebih baik.

##### Tantangan:

- Keamanan dan Regulasi: Dampak jangka panjang penggunaan nanopartikel pada tanaman, tanah, dan lingkungan perlu diteliti lebih lanjut. Regulasi yang tepat diperlukan untuk memastikan penggunaan yang aman.
- Biaya dan Aksesibilitas: Teknologi nanopartikel mungkin mahal, terutama pada tahap awal pengembangan dan implementasi. Akses terhadap teknologi ini bisa menjadi tantangan bagi petani kecil atau di negara berkembang.
- Kompleksitas Teknologi: Implementasi teknologi nanopartikel memerlukan pemahaman dan pelatihan khusus, yang mungkin memerlukan investasi dalam pendidikan dan pelatihan bagi petani.

Dengan penelitian dan pengembangan yang terus berlanjut, teknologi nanopartikel memiliki potensi besar untuk meningkatkan kualitas dan ketahanan tanaman, membawa manfaat signifikan bagi sektor pertanian dan memastikan keberlanjutan produksi pangan di masa depan.

## **BAB 9 KEMAJUAN NANOPARTIKEL DALAM MENANGANI MASALAH LINGKUNGAN**

Penggunaan nanopartikel dalam menangani masalah lingkungan menawarkan berbagai solusi inovatif yang dapat membantu mengurangi polusi, meningkatkan efisiensi energi, dan mendukung keberlanjutan. Berikut adalah beberapa kemajuan utama nanopartikel dalam menangani masalah lingkungan:

### **Remediasi Lingkungan**

Nanopartikel seperti oksida besi, karbon nanotube, dan nanopartikel perak dapat digunakan untuk menghilangkan logam berat (misalnya, timbal, arsenik) dan senyawa organik beracun dari air. Nanopartikel ini memiliki luas permukaan yang tinggi, memungkinkan adsorpsi yang lebih efisien dari kontaminan. Nanopartikel TiO<sub>2</sub> digunakan dalam proses fotokatalisis untuk menguraikan senyawa organik beracun dan mikroorganisme patogen dalam air menggunakan sinar UV. Ini membantu dalam pemurnian air limbah industri dan air minum.

Nanopartikel seperti nZVI (nanoscale zero-valent iron) digunakan untuk mengurangi dan menghilangkan logam berat dari tanah yang terkontaminasi. Teknologi ini efektif dalam memperbaiki lahan yang terkontaminasi oleh aktivitas industri dan pertambangan. Nanopartikel dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi bioremediasi dengan menyediakan nutrisi atau enzim tambahan yang mempercepat degradasi polutan oleh mikroorganisme.

Remediasi lingkungan dengan menggunakan teknologi nanopartikel mencakup berbagai metode inovatif untuk membersihkan air, tanah, dan udara dari polutan dan kontaminan. Berikut adalah beberapa metode utama dan contoh aplikasi penggunaan nanopartikel dalam remediasi lingkungan:

### **Remediasi Air**

Nanopartikel seperti oksida besi (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), oksida seng (ZnO), dan oksida titanium (TiO<sub>2</sub>) sangat efektif dalam mengadsorpsi logam berat seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg) dari air. Luas permukaan yang tinggi dan sifat reaktif nanopartikel memungkinkan penyerapan yang efisien. Karbon nanotube (CNTs) dapat digunakan untuk menghilangkan polutan organik seperti fenol, pestisida, dan senyawa organik yang

sulit terurai lainnya. CNTs memiliki kapasitas adsorpsi yang sangat tinggi karena strukturnya yang unik.

Nanopartikel titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) digunakan dalam proses fotokatalisis untuk menguraikan senyawa organik berbahaya dan mikroorganisme patogen dalam air ketika terpapar sinar UV. Proses ini menghasilkan radikal bebas yang menghancurkan kontaminan, menjadikannya metode yang efektif untuk pemurnian air limbah. Selain  $\text{TiO}_2$ , nanopartikel seng oksida ( $\text{ZnO}$ ) dan kadmium sulfida ( $\text{CdS}$ ) juga digunakan sebagai fotokatalis dalam proses pemurnian air, menawarkan alternatif untuk berbagai kondisi lingkungan.

Nanopartikel perak ( $\text{AgNPs}$ ) memiliki sifat antimikroba yang kuat dan digunakan untuk mendisinfeksi air dengan membunuh bakteri, virus, dan mikroorganisme patogen. Ini membuatnya berguna dalam pengolahan air minum dan air limbah.

### **Remediasi Tanah**

Nanopartikel besi nol-valen ( $\text{nZVI}$ ) digunakan secara luas untuk mengurangi dan menghilangkan kontaminan seperti klorinasi senyawa organik (misalnya, PCB dan TCE) dan logam berat dari tanah.  $\text{nZVI}$  bekerja dengan mereduksi kontaminan menjadi bentuk yang kurang beracun dan lebih mudah dihilangkan. Nanopartikel katalis, seperti nanopartikel paladium, dapat mempercepat reaksi kimia yang menguraikan kontaminan organik kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dan tidak berbahaya.

Nanopartikel dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi bioremediasi dengan menyediakan nutrisi atau enzim yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk menguraikan kontaminan. Contohnya, nanopartikel yang mengandung nutrisi penting seperti nitrogen atau fosfor dapat meningkatkan aktivitas mikroba dalam tanah yang terkontaminasi.

### **Remediasi Udara**

Nanopartikel  $\text{TiO}_2$  dan  $\text{ZnO}$  dapat digunakan dalam perangkat pemurni udara untuk menguraikan senyawa organik volatil (VOCs) dan polutan gas lainnya seperti  $\text{NO}_x$  dan  $\text{SO}_x$  ketika terpapar sinar UV atau sinar matahari. Ini membantu mengurangi polusi udara dalam ruangan dan di luar ruangan.

Nanopartikel seperti CNTs dan graphene dapat digunakan untuk mengadsorpsi gas berbahaya dari udara, termasuk formaldehida, amonia, dan hidrogen sulfida,

sehingga meningkatkan kualitas udara. Filter udara berbasis nanofiber dan nanomembran sangat efektif dalam menghilangkan partikel halus (PM2.5 dan PM10) dan polutan gas dari udara. Filter ini memiliki struktur pori yang sangat halus yang memungkinkan penyaringan partikel dan polutan dengan efisiensi tinggi.

#### **Keuntungan:**

- **Efisiensi Tinggi:** Nanopartikel memiliki luas permukaan yang sangat besar dan sifat reaktif yang tinggi, membuatnya sangat efisien dalam mengadsorpsi dan menguraikan kontaminan.
- **Fleksibilitas Aplikasi:** Nanopartikel dapat digunakan dalam berbagai media (air, tanah, udara) dan untuk berbagai jenis kontaminan (organik, anorganik, mikrobiologis).
- **Teknologi Ramah Lingkungan:** Banyak proses berbasis nanopartikel, seperti fotokatalisis, tidak memerlukan bahan kimia beracun dan dapat dilakukan di bawah kondisi lingkungan yang lebih ringan.

#### **Tantangan:**

- **Keamanan dan Regulasi:** Dampak jangka panjang dari penggunaan nanopartikel terhadap kesehatan manusia dan lingkungan masih perlu diteliti lebih lanjut. Regulasi yang ketat diperlukan untuk memastikan bahwa nanopartikel digunakan dengan aman.
- **Biaya dan Aksesibilitas:** Produksi dan penggunaan nanopartikel mungkin mahal, terutama pada skala besar, yang dapat menjadi hambatan bagi implementasi luas, terutama di negara berkembang.
- **Pengelolaan Limbah Nanopartikel:** Penggunaan nanopartikel dapat menghasilkan limbah nanopartikel, yang perlu dikelola dengan hati-hati untuk mencegah polusi sekunder.

Dengan kemajuan penelitian dan pengembangan, teknologi nanopartikel memiliki potensi besar untuk menawarkan solusi yang efektif dan berkelanjutan dalam remediasi lingkungan, membantu mengurangi polusi dan mendukung kesehatan ekosistem.

#### **Pengendalian Emisi dan Polusi Udara**

Penggunaan nanokatalis dalam konverter katalitik kendaraan dapat meningkatkan efisiensi konversi gas beracun (seperti NO<sub>x</sub>, CO, dan HC) menjadi gas yang lebih tidak berbahaya. Nanopartikel logam seperti platinum, palladium, dan rhodium sering digunakan dalam aplikasi ini. Penambahan nanopartikel ke dalam bahan bakar dapat meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi emisi polutan.

Nanofilter dan membran berbasis nanopartikel dapat digunakan untuk menghilangkan partikel halus dan polutan gas dari udara dalam ruang tertutup, seperti dalam sistem HVAC (heating, ventilation, and air conditioning). Nanopartikel TiO<sub>2</sub> dapat digunakan dalam perangkat pemurni udara untuk menguraikan polutan organik dan mikroba patogen di udara saat terpapar sinar UV.

Pengendalian emisi dan polusi udara menggunakan teknologi nanopartikel menawarkan solusi yang inovatif dan efektif. Berikut adalah beberapa metode utama dan contoh aplikasi penggunaan nanopartikel dalam pengendalian emisi dan polusi udara:

#### **Pengurangan Emisi Kendaraan**

Nanopartikel logam seperti platinum (Pt), palladium (Pd), dan rhodium (Rh) digunakan dalam konverter katalitik kendaraan untuk mengubah gas beracun (seperti nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), karbon monoksida (CO), dan hidrokarbon (HC)) menjadi gas yang kurang berbahaya seperti nitrogen (N<sub>2</sub>), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), dan air (H<sub>2</sub>O). Nanopartikel ini meningkatkan luas permukaan katalis, sehingga meningkatkan efisiensi reaksi kimia. Nanopartikel cerium oksida (CeO<sub>2</sub>) digunakan untuk mendukung logam mulia dalam konverter katalitik, meningkatkan efisiensi konversi dan stabilitas termal katalis.

Penambahan nanopartikel ke dalam bahan bakar (misalnya, nanopartikel aluminium, cerium oksida) dapat meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi emisi polutan. Aditif ini membantu dalam proses pembakaran yang lebih bersih dengan meningkatkan pembakaran bahan bakar yang lebih sempurna.

#### **Pemurnian Udara dalam Ruangan**

Filter udara berbasis nanofiber dan nanomembran sangat efektif dalam menghilangkan partikel halus (PM<sub>2.5</sub> dan PM<sub>10</sub>) dan polutan gas dari udara dalam ruang tertutup. Struktur pori yang sangat halus dari filter ini memungkinkan penyaringan partikel dan polutan dengan efisiensi tinggi. Grafena dan derivatifnya digunakan dalam filter

udara untuk menghilangkan polutan gas dan partikel berbahaya dengan efisiensi tinggi. Grafena memiliki sifat adsorpsi yang sangat baik dan daya tahan yang tinggi.

Nanopartikel titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) digunakan dalam perangkat pemurni udara untuk menguraikan senyawa organik volatil (VOCs), polutan gas, dan mikroorganisme patogen di udara saat terpapar sinar UV. Proses fotokatalisis ini menghasilkan radikal bebas yang menghancurkan kontaminan. Nanopartikel seng oksida ( $\text{ZnO}$ ) dan kadmium sulfida ( $\text{CdS}$ ) juga digunakan sebagai fotokatalis dalam pemurnian udara, menawarkan alternatif untuk berbagai kondisi lingkungan.

### **Pengendalian Polusi Udara di Luar Ruangan**

Nanopartikel katalis digunakan dalam sistem pengendalian emisi industri untuk menguraikan gas beracun seperti  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ , dan VOCs. Contohnya, nanopartikel perovskit digunakan dalam pengolahan emisi untuk meningkatkan efisiensi konversi gas berbahaya menjadi senyawa yang lebih aman. Penggunaan nanopartikel dalam pengendalian asap industri dapat membantu mengurangi partikel dan polutan gas yang dilepaskan ke atmosfer.

Nanopartikel seperti karbon aktif dan zeolit digunakan dalam perangkat pemurni udara ambient untuk mengadsorpsi polutan gas seperti  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ , dan ozon. Sifat adsorptif nanopartikel ini membantu mengurangi konsentrasi polutan di udara luar. Perangkat berbasis fotokatalis dengan nanopartikel  $\text{TiO}_2$  dapat dipasang di area perkotaan untuk menguraikan polutan gas dan senyawa organik di udara luar saat terpapar sinar matahari.

### **Keuntungan dan Tantangan**

#### **Keuntungan:**

- **Efisiensi Tinggi:** Nanopartikel memiliki luas permukaan yang sangat besar dan sifat reaktif yang tinggi, membuatnya sangat efisien dalam mengadsorpsi dan menguraikan polutan.
- **Aplikasi Luas:** Nanopartikel dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari konverter katalitik kendaraan hingga filter udara dan perangkat pemurni udara.
- **Teknologi Ramah Lingkungan:** Banyak proses berbasis nanopartikel, seperti fotokatalisis, tidak memerlukan bahan kimia beracun dan dapat dilakukan di bawah kondisi lingkungan yang lebih ringan.

### **Tantangan:**

- **Keamanan dan Regulasi:** Dampak jangka panjang dari penggunaan nanopartikel terhadap kesehatan manusia dan lingkungan masih perlu diteliti lebih lanjut. Regulasi yang ketat diperlukan untuk memastikan bahwa nanopartikel digunakan dengan aman.
- **Biaya dan Aksesibilitas:** Produksi dan penggunaan nanopartikel mungkin mahal, terutama pada skala besar, yang dapat menjadi hambatan bagi implementasi luas.
- **Pengelolaan Limbah Nanopartikel:** Penggunaan nanopartikel dapat menghasilkan limbah nanopartikel, yang perlu dikelola dengan hati-hati untuk mencegah polusi sekunder.

Dengan penelitian dan pengembangan yang berkelanjutan, teknologi nanopartikel memiliki potensi besar untuk mengurangi emisi dan polusi udara secara signifikan, mendukung kesehatan manusia, dan melindungi lingkungan.\

### **Energi Terbarukan dan Efisiensi Energi**

Nanopartikel seperti quantum dots dan nanopartikel perovskite dapat meningkatkan efisiensi konversi energi pada panel surya, memungkinkan produksi listrik yang lebih efektif dari energi matahari. Nanopartikel dapat digunakan untuk membuat lapisan transparan pada panel surya, meningkatkan penyerapan cahaya tanpa mengurangi transparansi.

Nanopartikel dapat digunakan dalam baterai lithium-ion untuk meningkatkan kapasitas penyimpanan dan kecepatan pengisian. Material nano seperti graphene dan nanopartikel silikon membantu meningkatkan kinerja baterai. Nanopartikel juga digunakan dalam superkapasitor untuk meningkatkan densitas energi dan daya, memungkinkan penyimpanan energi yang lebih efisien.

### **Pengolahan Limbah**

Nanopartikel dapat digunakan sebagai katalis dalam proses pengolahan air limbah untuk mempercepat degradasi senyawa organik beracun, seperti phenol dan dye industri. Nanopartikel dapat ditambahkan ke dalam sistem pengolahan limbah biologis untuk meningkatkan aktivitas mikroorganisme yang menguraikan limbah organik. Nanopartikel dapat digunakan untuk memecah limbah padat menjadi komponen yang lebih kecil dan

lebih mudah diolah, mengurangi volume limbah yang harus dibuang ke tempat pembuangan akhir. Teknologi berbasis nanopartikel dapat digunakan untuk mendaur ulang material seperti plastik dan logam, mengurangi kebutuhan akan bahan baku baru dan mengurangi limbah.

Pembangunan dan pengoperasian pembangkit panas bumi dapat berdampak pada Sustainable Development Goals (SDGs) Poin 6: Air Bersih dan Sanitasi. Poin 6 dari SDGs bertujuan untuk memastikan ketersediaan dan pengelolaan air dan sanitasi yang berkelanjutan untuk semua. Air dan sanitasi sangat penting untuk kesehatan manusia dan planet ini. Poin 6 tidak hanya membahas isu-isu yang berkaitan dengan air minum, sanitasi, dan kebersihan (WASH), tetapi juga kualitas dan keberlanjutan sumber daya air di seluruh dunia.

Pembangkit listrik tenaga panas bumi dapat berdampak pada kualitas dan ketersediaan sumber daya air, tergantung pada teknologi dan metode yang digunakan. Misalnya, jika air yang digunakan dalam proses panas bumi berasal dari sumber air bersih, hal ini dapat berdampak pada ketersediaan air bersih di daerah tersebut. Selain itu, jika air yang digunakan dalam proses ini tidak dikelola dengan baik setelah digunakan, hal ini dapat berdampak pada kualitas air.

Geothermal plants dan nanopartikel silika memiliki hubungan yang menarik dan saling menguntungkan. Lumpur geotermal yang dihasilkan oleh geothermal plants memiliki kandungan silika yang tinggi. Kandungan silika ini berpotensi menjadi bahan baku dalam sintesis nanopartikel silika. Nanopartikel silika ini kemudian dapat dimodifikasi secara kimia dan fisika untuk berbagai kegunaan.

Salah satu kegunaan menarik dari nanopartikel silika adalah sebagai adsorben untuk menyerap polutan organik seperti nitrat dan polutan anorganik seperti logam berat dan zat warna. Dengan demikian, nanopartikel silika dapat membantu mengurangi berbagai jenis limbah, baik organik maupun anorganik, dan berkontribusi pada upaya pelestarian lingkungan. Ini adalah contoh sempurna dari bagaimana limbah dari satu proses (geothermal plants) dapat digunakan untuk menghasilkan solusi untuk masalah lain (pencemaran limbah).

## Keuntungan dan Tantangan

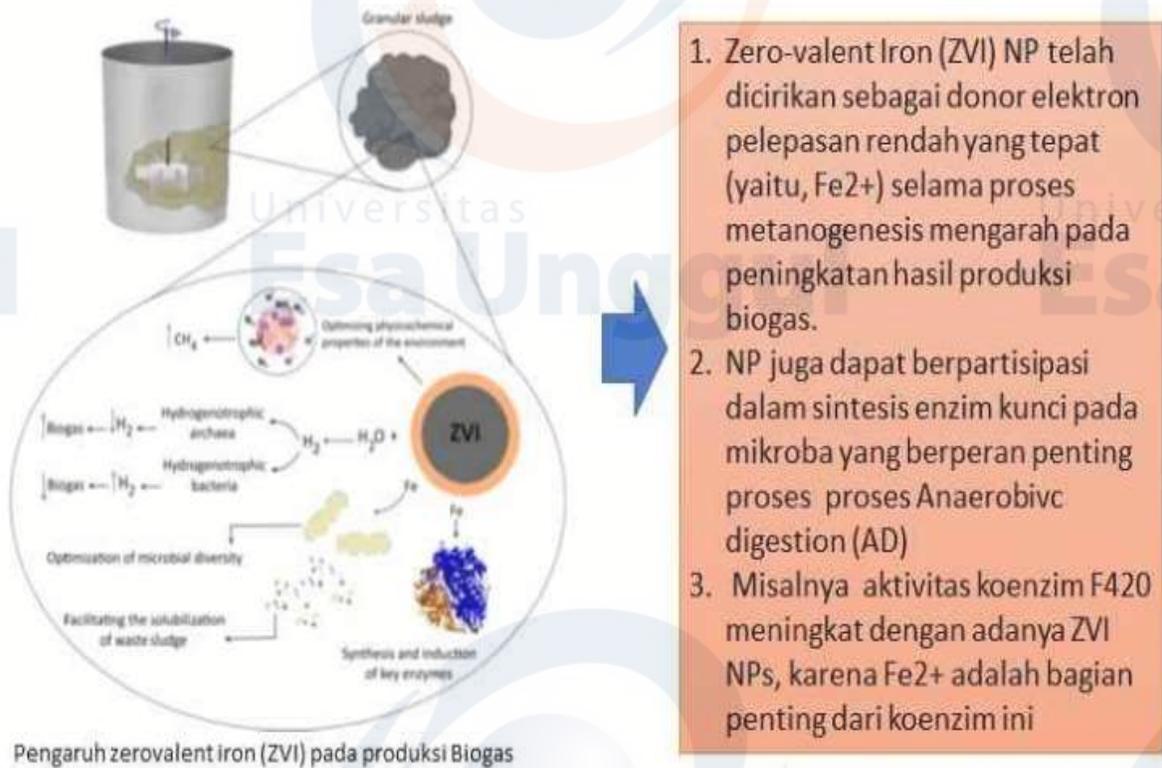
### Keuntungan:

- **Efisiensi Tinggi:** Nanopartikel memiliki luas permukaan yang tinggi dan reaktivitas yang tinggi, sehingga sangat efisien dalam mengadsorpsi dan menguraikan polutan.
- **Fleksibilitas Aplikasi:** Teknologi nanopartikel dapat digunakan dalam berbagai aplikasi lingkungan, mulai dari pemurnian air dan udara hingga pengolahan limbah dan penyimpanan energi.
- **Pengurangan Polusi:** Penggunaan nanopartikel dapat secara signifikan mengurangi emisi polutan dan kontaminan dari berbagai sumber industri dan kendaraan.

### Tantangan:

- **Keamanan dan Regulasi:** Dampak jangka panjang dari penggunaan nanopartikel terhadap kesehatan manusia dan lingkungan perlu diteliti lebih lanjut. Regulasi yang ketat diperlukan untuk memastikan penggunaan yang aman.
- **Biaya dan Aksesibilitas:** Pengembangan dan produksi nanopartikel mungkin mahal, terutama pada tahap awal, yang bisa menjadi hambatan bagi implementasi luas.
- **Pengelolaan Limbah Nanopartikel:** Penggunaan nanopartikel dapat menghasilkan limbah nanopartikel, yang perlu dikelola dengan hati-hati untuk mencegah polusi sekunder.

Dengan kemajuan teknologi dan penelitian yang terus berlangsung, penggunaan nanopartikel dalam menangani masalah lingkungan memiliki potensi besar untuk memberikan solusi yang lebih efisien, efektif, dan berkelanjutan.



Gambar 43. Produksi biogas oleh nanopartikel

## BAB 10 MASA DEPAN NANOTEKNOLOGI

### **Kemajuan dalam nanosains dan nanoteknologi.**

Kemajuan nanosains dan nanoteknologi di berbagai bidang ilmu pengetahuan telah berkembang ke berbagai arah, mulai dari mikro hingga nano, hingga ukuran skala yang lebih kecil dengan mikroskop yang berbeda dalam fisika, dari materi curah ukuran mikro hingga titik karbon ukuran kecil dalam kimia, dari komputer berukuran ruangan hingga laptop berukuran ramping dalam ilmu komputer, dan mengamati secara mendalam perilaku inti sel untuk mempelajari biomolekul tunggal yang rumit pada tingkat nano dalam ilmu biologi.

Hanya dalam beberapa dekade, nanoteknologi dan nanosains telah menjadi hal yang sangat penting dalam aplikasi industri dan perangkat medis, seperti biosensor diagnostik, sistem pengiriman obat, dan probe pencitraan. Misalnya, dalam industri makanan, bahan nano telah dieksploitasi untuk meningkatkan secara drastis produksi, pengemasan, umur simpan, dan ketersediaan hayati nutrisi. Sebaliknya, struktur nano seng oksida menunjukkan aktivitas antimikroba terhadap bakteri yang terbawa makanan, dan sejumlah besar bahan nano yang berbeda saat ini digunakan untuk tujuan diagnostik sebagai sensor makanan untuk mendeteksi kualitas dan keamanan makanan.



Gambar 44. Peralatan untuk pembuatan nanomaterial di pusat Riset nanoteknologi ITB

## **Potensi kemajuan Nanoteknologi di Indonesia**

Di Indonesia, nanoteknologi telah mulai mendapatkan perhatian yang signifikan, meskipun masih dalam tahap awal perkembangan dibandingkan dengan beberapa negara maju. Beberapa inisiatif dan perkembangan penting dalam nanoteknologi di Indonesia antara lain: **Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)** dan **Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)** merupakan dua lembaga utama yang aktif dalam penelitian dan pengembangan nanoteknologi di Indonesia. **Pusat Penelitian Fisika LIPI** memiliki beberapa proyek yang berfokus pada nanoteknologi, seperti pengembangan nanopartikel untuk aplikasi kesehatan dan lingkungan.

Beberapa universitas di Indonesia telah mulai menawarkan program studi dan kursus yang berfokus pada nanoteknologi, baik di tingkat sarjana maupun pascasarjana. Contohnya, Institut Teknologi Bandung (ITB) dan Universitas Indonesia (UI) memiliki program penelitian yang berkaitan dengan nanoteknologi. Indonesia telah menjalin kerjasama dengan negara-negara lain dalam bidang nanoteknologi, baik dalam bentuk penelitian bersama maupun program pelatihan. Kerjasama ini membantu mempercepat transfer teknologi dan peningkatan kapasitas sumber daya manusia di bidang nanoteknologi.

Beberapa inovasi nanoteknologi dari Indonesia telah mulai diterapkan di berbagai bidang. Misalnya, penggunaan nanopartikel dalam pengembangan bahan antibakteri, pengolahan air, dan peningkatan efisiensi energy. Penggunaan nanomaterial dalam industri, seperti dalam pembuatan cat dengan sifat khusus atau bahan bangunan yang lebih kuat dan tahan lama. Pemerintah Indonesia mulai memberikan perhatian lebih pada nanoteknologi melalui berbagai kebijakan dan program yang mendukung penelitian dan pengembangan teknologi tinggi. Program-program ini bertujuan untuk mendorong inovasi dan meningkatkan daya saing Indonesia di pasar global.

Beberapa perusahaan swasta di Indonesia telah mulai mengadopsi nanoteknologi dalam produk dan proses mereka. Dukungan dari sektor swasta sangat penting untuk menerjemahkan hasil penelitian menjadi produk komersial yang dapat dinikmati masyarakat. Meskipun masih dalam tahap awal, potensi nanoteknologi di Indonesia sangat besar. Dengan dukungan yang terus meningkat dari pemerintah, akademisi, dan

industri, nanoteknologi dapat memainkan peran penting dalam memajukan teknologi dan meningkatkan kualitas hidup di Indonesia.



Gambar 45. Perusahaan PT Nanotech Indonesia Global yang didirikan Prof, Nurul Taufiqurochman

Potensi nanoteknologi di Indonesia sangat besar dan dapat membawa banyak manfaat bagi berbagai sektor. Berikut adalah beberapa alasan mengapa nanoteknologi memiliki potensi besar di Indonesia. Indonesia memiliki kekayaan sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan dalam penelitian dan pengembangan nanoteknologi. Misalnya, bahan-bahan mineral yang dapat diolah menjadi nanomaterial untuk berbagai aplikasi.

Nanoteknologi dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas sektor pertanian, misalnya dengan pengembangan pupuk nano dan pestisida yang lebih efektif dan ramah lingkungan. Dengan populasi yang besar, penerapan nanoteknologi dalam bidang kesehatan dapat memberikan dampak signifikan. Ini termasuk pengembangan diagnostik yang lebih cepat dan akurat, serta terapi medis yang lebih efektif.

Nanoteknologi dapat digunakan untuk mengatasi masalah lingkungan, seperti pengolahan air limbah dan polusi udara. Di bidang energi, nanoteknologi dapat membantu dalam pengembangan sumber energi terbarukan dan peningkatan efisiensi energi. Penggunaan nanomaterial dapat meningkatkan kualitas dan daya tahan produk industri, mulai dari elektronik, tekstil, hingga bahan bangunan. Ini dapat meningkatkan daya saing produk Indonesia di pasar global. Adanya peningkatan investasi dalam penelitian dan pengembangan nanoteknologi di universitas dan lembaga penelitian dapat menghasilkan inovasi baru yang dapat dikomersialkan dan memberikan keuntungan ekonomi. Kebijakan pemerintah yang mendukung pengembangan teknologi tinggi, termasuk nanoteknologi, akan mendorong lebih banyak investasi dan inisiatif dalam bidang ini. Program-program pemerintah dapat menyediakan dana dan infrastruktur yang diperlukan untuk penelitian dan pengembangan nanoteknologi. Kolaborasi dengan negara-negara maju dalam bidang nanoteknologi dapat membantu transfer teknologi dan pengetahuan, serta mempercepat perkembangan nanoteknologi di Indonesia. Dengan memanfaatkan potensi ini, nanoteknologi dapat menjadi salah satu pilar utama dalam pembangunan ekonomi dan peningkatan kualitas hidup di Indonesia. Investasi yang tepat dalam penelitian, pengembangan, dan penerapan nanoteknologi dapat membawa manfaat jangka panjang bagi masyarakat dan ekonomi negara.

### **Resiko penggunaan teknologi nano**

Fenomena pada skala nano sangat berbeda dengan fenomena yang terjadi pada dimensi yang lebih besar. Maka proses-proses yang baru diidentifikasi dan produk-produknya dapat berdampak pada manusia, dan lingkungan secara umum. terhadap risiko kesehatan baru, yang mungkin melibatkan mekanisme gangguan yang sangat berbeda terhadap fisiologi manusia dan spesies lingkungan. Kemungkinan-kemungkinan ini mungkin terfokus pada nasib nanopartikel bebas yang dihasilkan dalam proses nanoteknologi dan dilepaskan ke lingkungan secara sengaja atau tidak sengaja, atau benar-benar dikirimkan langsung ke individu melalui fungsi produk berbasis nanoteknologi. Yang menjadi perhatian khusus adalah individu-individu yang pekerjaannya menempatkan mereka dalam kontak teratur dan berkelanjutan dengan nanopartikel bebas.

Inti permasalahan risiko kesehatan ini adalah kenyataan bahwa evolusi telah menentukan bahwa spesies manusia telah mengembangkan mekanisme perlindungan terhadap agen lingkungan, baik hidup atau mati, proses ini ditentukan oleh sifat agen yang biasa ditemui, dimana ukuran merupakan hal yang penting. Paparan nanopartikel yang memiliki karakteristik yang belum pernah ditemui sebelumnya mungkin menantang mekanisme pertahanan normal yang terkait dengan, misalnya, sistem kekebalan dan inflamasi. Mungkin juga terdapat dampak lingkungan dari produk nanoteknologi, terkait dengan proses dispersi dan persistensi nanopartikel di lingkungan.

Kapan pun potensi risiko baru teridentifikasi, maka perlu dilakukan analisis ekstensif terhadap sifat risiko, yang kemudian, jika diperlukan, dapat digunakan dalam proses manajemen risiko. Sudah diterima secara luas bahwa risiko yang terkait dengan nanoteknologi perlu dianalisis dengan cara ini. Banyak organisasi internasional (misalnya Forum Nanoteknologi Asia Pasifik 2005), badan pemerintah di Uni Eropa (Komisi Eropa 2004), Lembaga Nasional (misalnya De Jong et al 2005, Roszek et al 2005, Dewan Sains dan Teknologi Nasional AS 2004, IEEE 2004, US National Institute of Environmental Health Sciences 2004), organisasi non-pemerintah (misalnya UN-NGLS 2005), lembaga dan masyarakat terpelajar (misalnya Institute of Nanotechnology 2005, Australian Academy of Sciences 2005, METI 2005, UK Royal Society dan Royal Academy of Engineering 2004) dan individu (misalnya Oberdörster dkk 2005, Donaldson dan Stone 2003) telah menerbitkan laporan mengenai keadaan nanoteknologi saat ini, dan sebagian besar menarik perhatian pada kebutuhan akan analisis risiko yang menyeluruh. Dewan Eropa telah menyoroti perlunya memberikan perhatian khusus terhadap potensi risiko sepanjang siklus hidup produk berbasis nanoteknologi dan Komisi Eropa telah memberikan sinyal.

Definisi ini menunjukkan adanya dua kondisi untuk nanoteknologi. Yang pertama adalah masalah skala: nanoteknologi berkaitan dengan penggunaan struktur dengan mengendalikan bentuk dan ukurannya pada skala nanometer. Masalah kedua berkaitan dengan kebaruan: nanoteknologi harus menangani hal-hal kecil dengan cara yang memanfaatkan beberapa sifat karena skala nano

## DAFTAR PUSTAKA

- Dehghani, M., Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., Panahi, H. K. S., & Nizami, A. S. (2019). A state-of-the-art review on the application of nanomaterials for enhancing biogas production. *Journal of environmental management*, 251, 109597.
- Abdelwahab, T. A. M., Mohanty, M. K., Sahoo, P. K., & Behera, D. (2020). Application of nanoparticles for biogas production: Current status and perspectives. *Energy sources, part a: recovery, utilization, and environmental Effects*, 1-13.
- Abdelsalam, E. M., & Samer, M. (2019). Biostimulation of anaerobic digestion using nanomaterials for increasing biogas production. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 18, 525-541.
- Hijazi, O., Abdelsalam, E., Samer, M., Attia, Y. A., Amer, B. M. A., Amer, M. A., ... & Bernhardt, H. (2020). Life cycle assessment of the use of nanomaterials in biogas production from anaerobic digestion of manure. *Renewable Energy*, 148, 417-424.
- Topolska, K.; Florkiewicz, A.; Filipiak-Florkiewicz, A. Functional Food—Consumer Motivations and Expectations. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, 18, 5327. [CrossRef] [PubMed]
- Alongi, M.; Anese, M. Re-thinking functional food development through a holistic approach. *J. Funct. Foods* 2021, 81, 104466. [CrossRef]
- Dias, M.C.; Pinto, D.; Silva, A.M.S. Plant flavonoids: Chemical characteristics and biological activity. *Molecules* 2021, 26, 5377. [CrossRef] [PubMed]
- Karak, P. Biological activities of flavonoids: An overview. *Int. J. Pharm. Sci. Res.* 2019, 10, 1567–1574.
- Singh, A.R.; Desu, P.K.; Nakkala, R.K.; Kondi, V.; Devi, S.; Alam, M.S.; Hamid, H.; Athawale, R.B.; Kesharwani, P. Nanotechnology based approaches applied to nutraceuticals. *Drug Deliv. Transl. Res.* 2022, 12, 485–499. [CrossRef] [PubMed]
- Sahoo, M.; Vishwakarma, S.; Panigrahi, C. Nanotechnology: Current applications and future scope in food. *Food Front.* 2021, 2, 3–22. [CrossRef]
- He, X.; Deng, H.; Hwang, H. The current application of nanotechnology in food and agriculture. *J. Food Drug Anal.* 2019, 27, 1–21. [CrossRef] [PubMed]

- McClements, D.J.; Öztürk, B. Utilization of Nanotechnology to Improve the Handling, Storage and Biocompatibility of Bioactive Lipids in Food Applications. *Foods* 2021, 10, 365. [CrossRef]
- Sampathkumar, K.; Tan, K.; Loo, S. Developing nano-delivery systems for agriculture and food applications with nature-derived polymers. *IScience* 2020, 23, 101055. [CrossRef]
- Joye, I.J. Cereal biopolymers for nano-and microtechnology: A myriad of opportunities for novel (functional) food applications. *Trends Food Sci. Technol.* 2019, 83, 1–11. [CrossRef]
- Torchilin, V.P. Micellar nanocarriers: Pharmaceutical perspectives. *Pharm. Res.* 2007, 24, 1–16. [PubMed]
- Atanase, L.I. Micellar Drug Delivery Systems Based on Natural Biopolymers. *Polymers* 2021, 13, 477. [PubMed]
- Zhu, L.B.; Xu, W.L.; Zhang, W.W.; Wu, M.C.; Li, W.Z.; Ge, F.; Tao, Y.G.; Song, P. De novo synthesis of pH-responsive, self assembled, and targeted polypeptide nano-micelles for enhanced delivery of doxorubicin. *Nanotechnology* 2021, 32, 295707.
- Yang, Y.; Guo, Y.; Sun, R.; Wang, X.H. Self-assembly and-carotene loading capacity of hydroxyethyl cellulose-graft-linoleic acid nanomicelles. *Carbohydr. Polym.* 2016, 145, 56–63.
- Cheema, M.; Mohan, M.S.; Campagna, S.R. The association of low-molecular-weight hydrophobic compounds with native casein micelles in bovine milk. *J. Dairy Sci.* 2015, 98, 5155–5163.
- Du, Z.; Li, Q.; Li, J. Self-assembled egg yolk peptide micellar nanoparticles as a versatile emulsifier for food-grade oil-in-water Pickering nanoemulsions. *J. Agri. Food Chem.* 2019, 67, 11728–11740.
- Chung, J.E.; Tan, S.; Gao, S.J. Self-assembled micellar nanocomplexes comprising green tea catechin derivatives and protein drugs for cancer therapy. *Nat. Nanotechnol.* 2014, 9, 907–912.
- Chen, S.; Wu, J.; Tang, Q. Nano-micelles based on hydroxyethyl starch-curcumin conjugates for improved stability, antioxidant and anticancer activity of curcumin. *Carbohydr. Polym.* 2020, 228, 115398.

- Mohan, M.S.; Jurat-Fuentes, J.L.; Harte, F. Binding of vitamin A by casein micelles in commercial skim milk. *J. Dairy Sci.* 2013, 96, 790–798. [CrossRef]
- Aguilar-Pérez, K.M.; Avilés-Castrillo, J.I.; Medina, D.I.; Parra-Saldivar, R.; Iqbal, H.M.N. Insight into nanoliposomes as smart nanocarriers for greening the twenty-first century biomedical settings. *Front. Bioeng. Biotech.* 2020, 8, 579536. [CrossRef]
- Su, C.; Liu, Y.; He, Y.; Gu, J. Analytical methods for investigating in vivo fate of nanoliposomes: A review. *J. Pharm. Anal.* 2018, 8, 219–225. [CrossRef] [PubMed]
- Reza, M.M.; Johnson, C.; Hatziantoniou, S.; Demetzos, C. Nanoliposomes and their applications in food nanotechnology. *J. Liposome Res.* 2008, 18, 309–327. [PubMed]
- Mozafari, M.R.; Khosravi-Darani, K.; Borazan, G.G. Encapsulation of food ingredients using nanoliposome technology. *Int. J. Food Prop.* 2008, 11, 833–844.
- Lu, H.; Zhang, S.; Wang, J.; Chen, Q. A review on polymer and lipid-based nanocarriers and its application in nano-pharmaceutical and food-based systems. *Front. Nutr.* 2021, 8, 783831. [PubMed]
- Subramani, T.; Ganapathyswamy, H. An overview of liposomal nano-encapsulation techniques and its applications in food and nutraceutical. *J. Food Sci. Technol.* 2020, 57, 3545–3555. [PubMed]
- Akhavan, S.; Assadpour, E.; Katouzian, I.; Jafari, S.M. Lipid nano scale cargos for the protection and delivery of food bioactive ingredients and nutraceuticals. *Trends Food Sci. Technol.* 2018, 74, 132–146.
- Yang, J.; Ciftci, O.N. Development of free-flowing peppermint essential oil-loaded hollow solid lipid micro- and nanoparticles via atomization with carbon dioxide. *Food Res. Int.* 2016, 87, 83–91.
- Baldim, I.; Rosa, D.M.; Souza, C.; DaAna, R.; Durazzo, A.; Lucarini, M.; Oliveira, W.P. Factors Affecting the Retention Efficiency and Physicochemical Properties of Spray Dried Lipid Nanoparticles Loaded with *Lippia sidoides* Essential Oil. *Biomolecules* 2020, 10, 693.