

Original paper

KAJIAN LITERATUR PERKEMBANGAN NANOMATERIAL DITINJAU DARI SIFAT DAN APLIKASINYA

Nursanti Anjune Mukti¹, Priyono²

¹Laboratorium Fisika material, Departemen Fisika, Universitas Diponegoro

²Program Studi Fisika, Departemen Fisika, Universitas Diponegoro

Email: priyono@lecturer.undip.ac.id

Received: 9 Mei 2025; revised: 11 Juni 2025; accepted: 5 Juli 2025

ABSTRAK

Kajian ini menyajikan studi literatur dari perkembangan nanomaterial baik berupa definisi sejarah, tipe-tipe dimensi penyusun nanomaterial, sifat-sifat yang ada di dalam nanomaterial, karakteristik berupa morfologi dan ukuran partikel dengan menggunakan berbagai perangkat uji seperti SEM, TEM, dan lain sebaginya. Kajian ini juga menjelaskan beberapa metode yang dapat digunakan dalam preparasi nanomaterial baik anorganik dan organik, serta beberapa penerapan aplikasi dalam bidang nanomaterial dengan menggunakan material logam. Kajian ini juga membahas tentang beberapa struktur material nano pada 0 Dimensi (0-D), 1 dimensi (1-D), 2 dimensi (2-D), dan 3 dimensi (3-D), beserta beberapa manfaat dan aplikasinya.

Kata kunci: nanomaterial, sifat, karakteristik, preparasi, aplikasi nanomaterial

PENDAHULUAN

Banyak istilah dalam bidang nano yang berkembang di kalangan peneliti dan juga masyarakat umum seperti pada nanomaterials, nanoscience, dan nanotechnology. Sejarah nanomaterial (NM) dimulai segera setelah big bang ketika nanopartikel dan struktur nano terbentuk di meteorit awal. Kemudian, alam menciptakan banyak nanopartikel dan struktur nano lainnya. Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian NM telah menarik minat yang luar biasa dari para ilmuwan dan insinyur di seluruh dunia.

Istilah "NM" biasanya mengacu pada bahan dengan dimensi eksternal atau struktur internal, diukur dalam skala nano yang menunjukkan sifat unik tambahan atau berbeda. NM dapat menunjukkan sifat optik, mekanik, magnetik, konduktif, dan sportif yang unik, berbeda dari zat kimia yang sama dalam ukuran yang lebih besar. Pemahaman yang lebih baik tentang sifat-sifat NM

membuka jalan untuk mensintesis bahan baru di masa depan dan memiliki potensi untuk meningkatkan kualitas hidup. NM perlakuan dikomersialkan, mulai muncul sebagai komoditas, dan digunakan dalam banyak aplikasi dan produk teknologi inovatif, termasuk berbagai produk konsumen. Namun, berbagai jenis NM seperti organik, anorganik, karbon, dan NM berbasis komposit menampilkan karakteristik fisik, kimia, dan biologis yang berbeda, yang dapat dimanfaatkan untuk aplikasi tertentu [1].

Pada tahun 1857, Michael Faraday melaporkan sintesis larutan koloid Au NP yang disebut "emas aktif". Emas dalam partikel yang sangat halus, yang menjadi terhambur dan menghasilkan cairan merah ruby dan tidak berwarna kuning lagi. Pada tahun 1940-an, silika dalam bentuk Nanopartikel (NP) banyak diproduksi dan dijual di Amerika Serikat dan Jerman sebagai pengganti karbon hitam untuk penguat karet. Feynman menyatakan bahwa prinsip-prinsip

Fisika, sejauh yang bisa dilihat, tidak menutup kemungkinan implementasinya pada atom demi atom yang disusun satu per satu dan membuat mesin berskala nano.

Orang pertama yang merumuskan dan menggunakan istilah nanoteknologi ke dalam dunia ilmiah adalah ilmuwan Jepang bernama Taniguchi. Nanoteknologi terutama terdiri dari pemrosesan, pemisahan, konsolidasi, dan deformasi bahan oleh satu atom atau satu molekul. Namun, istilah ini tidak digunakan lagi sampai tahun 1981, ketika Eric Drexler, seorang insinyur Amerika, tanpa sadar menggunakan istilah Taniguchi sebelumnya dalam sebuah makalah tentang nanoteknologi pada tahun 1981. Gagasan wawasan tentang nanoteknologi dikembangkan lebih lanjut oleh Drexler. Pada awal 1980-an, prasyarat teknis untuk sains pada skala nano mulai ditemukan, dan menghasilkan dampak besar pada pengembangan nanoteknologi lebih lanjut.

Penemuan Scanning Probe Microscope oleh Gerd Binnig dan Scanning Tunneling Microscope oleh Heinrich Rohrer di IBM's Zurich lab memungkinkan para ilmuwan untuk "melihat" atom individu untuk pertama kalinya. Binnig dan Rohrer memenangkan Hadiah Nobel untuk penemuan ini pada tahun 1986. Terobosan lain mendorong pengembangan nanosains pada tahun 1990 di saat para ilmuwan di IBM berhasil memanipulasi atom tunggal.

Pada tahun 1991, Sumio Iijima menemukan carbon nanotube (CNT) dan berbagi Kavli Prize dalam nanosains pada tahun 2008 untuk pencapaian ini dan lainnya di lapangan. CNT menunjukkan sifat luar biasa dalam hal kekuatan, listrik, dan konduktivitas termal. Pada tahun yang sama, 1991, C.T. Kresge dkk. [2] di Mobil Oil menemukan bahan katalitik berstruktur nano MCM-41 dan MCM-48, yang sekarang digunakan dalam penyulingan minyak mentah serta untuk pengiriman obat, pengolahan air, dan berbagai aplikasi lainnya. Moungi Bawendi dari MIT pada

tahun 1992 menemukan metode untuk sintesis terkontrol nanocrystals [2]. Pada tahun 2003, Naomi Halas dkk. mengembangkan Aurum (Emas) nanoshells, yang menyerap cahaya inframerah dekat. Ini berfungsi sebagai platform untuk penemuan terintegrasi, diagnosis, dan pengobatan kanker payudara tanpa biopsi invasif, operasi, radiasi destruktif atau kemoterapi [1].

Material berstruktur nano adalah material yang memiliki dimensi dalam kisaran 1 sampai 100 nm. Material tersebut menarik karena sebagian besar bahan dapat dikembangkan pada skala nano. Material dalam skala nanometer mampu mencampur perilaku klasik dan kuantum dengan menawarkan jembatan antara cabang klasik dari ilmu material yang dapat dirancang baik dengan pendekatan bottom up dan top down. Ini memberikan lebih banyak fleksibilitas dalam hal desain. Bahan berstruktur nano sering memiliki sifat listrik, kimia, struktural, dan magnetik yang unik yang jauh berbeda dari sifat mikronya. Jumlah dimensi pada skala nanometrik membantu menentukan jenis struktur nano. Misalnya, ketika struktur nano memiliki semua dimensi pada skala nanometrik maka itu adalah dimensi nol (0-D), dan jika memiliki dua maka itu adalah satu dimensi (1-D). Nanofiber, nanodots, CNT, fullerene, nanosheets, nonodiscs, nanoballs, nanocoils, dan nanoflowers adalah beberapa contoh struktur nano.

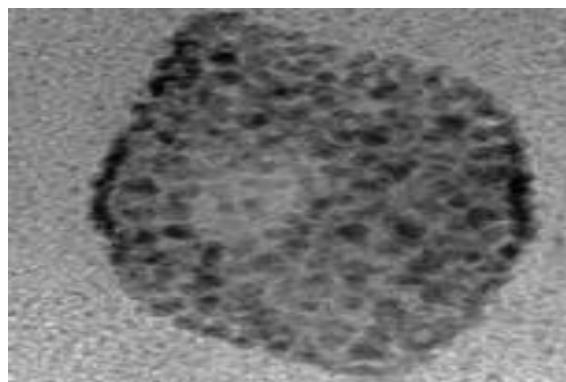
PEMBAHASAN

Struktur nano 0-D

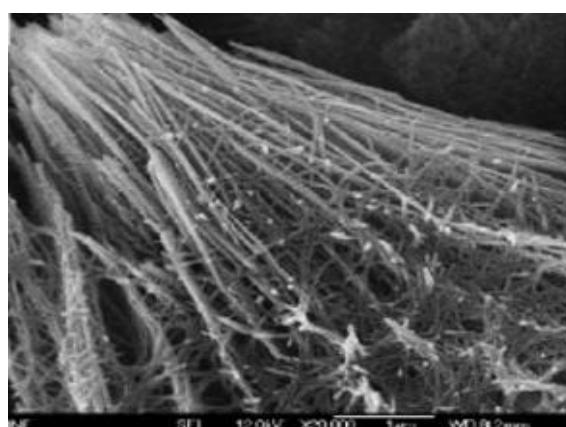
Struktur nano dengan semua dimensi dalam rentang ukuran nanometrik disebut sebagai struktur nano 0-D seperti nanodots. Selama satu dekade terakhir, banyak kemajuan telah dibuat di bidang bahan berstruktur nano 0-D dengan banyak metode fisik dan kimia [2]. Gambar 1 adalah sebuah contoh bentuk kumpulan dari titik-titik kuantum yang membentuk kubus yang berongga jika di uji melalui uji SEM.

Struktur nano 1-D

Struktur nano 1-D adalah struktur nano dengan satu dimensi lebih umum daripada dimensi lainnya. Beberapa contoh struktur nano 1-D termasuk nanotube, nanorods, nanoneedles, dan nanowires. Struktur nano 1D menyediakan sistem yang baik untuk menyelidiki ketergantungan transportasi listrik dan termal atau sifat mekanik pada pengurangan dimensi dan ukuran. Struktur nano 1-D juga berfungsi penting dalam interkoneksi dan unit fungsional dalam fabrikasi perangkat elektronik, optoelektronik, elektrokimia, dan elektromekanis dengan dimensi nanoscale [2]. Gambar 2 menampilkan citra SEM struktur nano 1-D Titania.



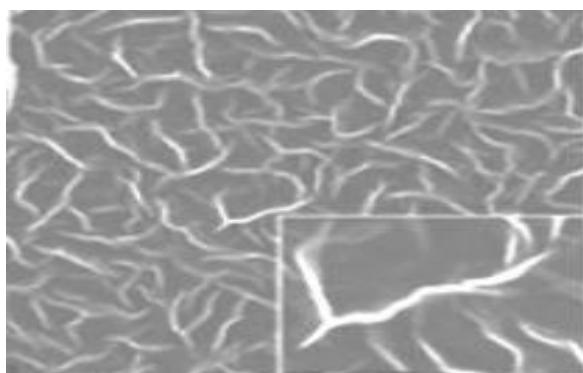
Gambar 1. Citra SEM dari nanodots membentuk kubus berongga.



Gambar 2. Citra SEM struktur nano 1-D Titania dengan perlakuan suhu yang berbeda dan kemudian dikalsinasi pada 500 °C selama 1 jam [2].

Struktur nano 2-D

Struktur nano ini memiliki dua dimensi di luar rentang ukuran nanometrik dan karenanya menampilkan struktur seperti bidang. Struktur nano 2-D biasanya diterapkan pada aplikasi seperti thin film, nanocoatings, dan nanolayers. Gambar 3 menampilkan citra SEM untuk struktur nano 2-D yaitu nanowalls.



Gambar 3. Citra SEM untuk struktur nano 2-D yaitu *nanowalls*.

Struktur nano 3-D

Struktur nano 3-D memiliki tiga dimensi di luar rentang ukuran nanometrik. Struktur nano 3-D yang khas dapat mencakup distribusi nanopartikel atau nanokristal yang berbeda, kelompok nanofiber (nano wire) dan tabung nano (nanotube). Struktur nano 3-D memiliki beragam aplikasi di berbagai bidang seperti katalisis, bahan magnetik, dan bahan elektroda untuk baterai.



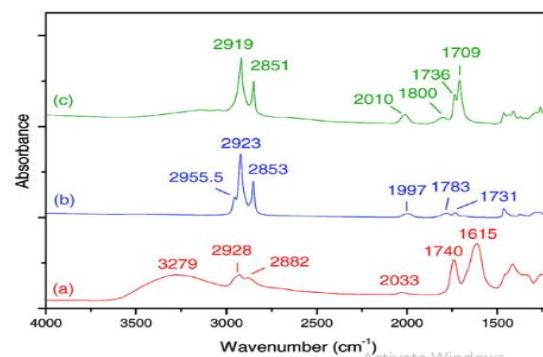
Gambar 4. Fitur morfologi ZnO modified metal organic frameworks (MOFS) dengan perbesaran 1000x.

Teknik karakterisasi studi morfologi, seperti mikroskop optik terpolarisasi (POM), SEM dan TEM. Teknik SEM didasarkan pada prinsip pemindaian elektron, dan menyediakan semua informasi yang tersedia tentang NP pada skala nano untuk mempelajari tidak hanya morfologi nanomaterial mereka, tetapi juga dispersi NP dalam jumlah besar atau matriks. Gambar 4 menampilkan Fitur morfologi ZnO modified metal organic frameworks (MOFS). TEM didasarkan pada prinsip transmitansi elektron, sehingga dapat memberikan informasi material curah dari perbesaran yang sangat rendah hingga yang lebih tinggi. Morfologi yang berbeda dari NP emas dipelajari melalui teknik ini.

Karakteristik struktural adalah hal yang paling penting untuk mempelajari komposisi dan sifat bahan ikatan. Ini memberikan informasi yang beragam tentang sifat massal dari materi pelajaran. XRD, energy dispersive X-ray (EDX), XPS, IR, Raman, BET, dan penganalisis ukuran Zeta. XRD adalah salah satu teknik karakterisasi yang paling penting untuk mengungkapkan sifat struktural NP. Ini memberikan informasi yang cukup tentang kristalinitas dan fase NP. Ini juga memberikan gambaran kasar tentang ukuran partikel melalui rumus Debye Scherer. Teknik ini bekerja dengan baik dalam identifikasi NP tunggal dan multifase. Teknik EDX yang digunakan untuk menentukan komposisi unsur NP BiVO₄ berbentuk bunga semu yang disintesis secara ultra-sonokimia. XPS dianggap sebagai teknik yang paling sensitif dan digunakan secara luas untuk menentukan rasio unsur yang tepat dan sifat ikatan yang tepat dari unsur-unsur dalam bahan NP dapat digunakan dalam studi profil kedalaman untuk mengetahui komposisi keseluruhan dan variasi komposisi dengan kedalaman. Karakterisasi getaran nanopartikel biasanya dipelajari melalui Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) dan Raman. Teknik-teknik ini adalah yang paling berkembang dan layak dibandingkan dengan metode

analisis unsur lainnya. Rentang yang paling penting untuk NP adalah wilayah sidik jari, yang memberikan informasi tanda tangan tentang materi.

Gambar 5 menerangkan bahwa fungsionalisasi Pt NP (ukuran rata-rata 1,7 nm) dan interaksinya dengan substrat Alumina dipelajari melalui teknik FTIR dan XPS. FTIR mengkonfirmasi fungsionalisasi karena menunjukkan puncak vibrasi khas dari karboksilasi C–O 2033 cm⁻¹, masing-masing selain puncak O–H yang lebih luas pada 3280 cm⁻¹. Tingkat fungsionalisasi terungkap dari nilai pergeseran merah pita FTIR.

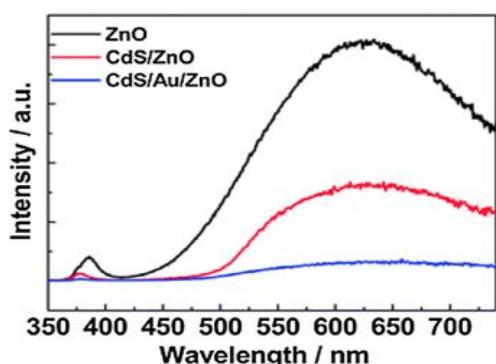


Gambar 5. Spektrum FTIR platina (1,7 nm) (a) terekstraksi dari poliol, (b) Pt tersalut didekanetiol, dan (c) Pt tersalut [3].

Penentuan ukuran partikel dan karakterisasi luas permukaan dapat menggunakan teknik uji SEM, TEM, XRD, dan AFM. Metode zeta potential size analyzer Dynamic Light Scattering (DLS) dapat digunakan untuk menemukan ukuran nanopartikel pada tingkat rendah. Teknik DLS untuk menyelidiki variasi ukuran NP silika dengan penyerapan protein dari serum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran meningkat dengan perolehan lapisan protein.

Karakterisasi optik didasarkan pada hukum Bir-Lambert yang terkenal dan prinsip-prinsip cahaya dasar tentang penyerapan, reflektansi, pendaran dan sifat fosforensi dari NP logam dan semikonduktor memiliki warna yang berbeda. Oleh karena itu, metode ini paling selaras dengan aplikasi yang berhubungan dengan masalah spektrum tampak.

Spektrometer reflektansi UV/vis-difusi yang digambarkan pada Gambar 5 adalah perangkat lengkap yang dapat digunakan untuk mengukur penyerapan optik, transmitansi, dan reflektansi [3] yang dapat digunakan untuk memperlihatkan fotoluminen absorbansi dan transmitansi dari suatu material. Gambar 6 menunjukkan spektrum PL khas yang murni dan dimodifikasi ZnO NP. Jelas dari gambar ini bahwa NP ZnO murni menunjukkan intensitas PL yang tinggi dibandingkan dengan NP ZnO termodifikasi CdS. Komposit CdS/Au/ZnO yang disematkan emas menunjukkan intensitas yang paling rendah. Pendinginan dari ZnO murni ke CdS/Au/ZnO dapat dikaitkan dengan penurunan laju rekombinasi muatan dan masa pakai fotoeksiton yang lebih besar dalam kasus terakhir [3].



Gambar 6. Fotoluminesensi (PL) spektrum murni ZnO, Cds/ZnO, dan Cds/Au/ZnO diukur dengan panjang gelombang eksitasi 270 nm pada suhu normal.

Sifat listrik dapat diamati dari perbedaan padatan tiga dimensi isotropic, yang mana adalah hal penting. Sistem mesoskopik terkecil adalah kelompok kecil atom yang disebut titik kuantum (Quantum dot), yang menunjukkan sifat transpor berdimensi nol (nonkonduktor) karena volume sampel kurang dari vector gelombang Fermi elektron, 10 nm untuk sebagian besar logam. Sebagai ukuran sampel meningkat melampaui proses ini hanya dalam satu atau dua dimensi, kawat

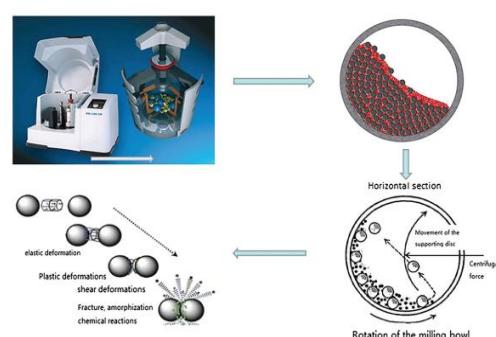
kuantum (satu dimensi) atau sumur kuantum (dua dimensi). Sistem dimensi tereduksi, seperti kabel kuantum dan sumur, dengan jauh lebih sedikit dari 105 atom. Misal pada perhitungan struktur pita pada saat diameter nanotube zigzag semikonduktor meningkat, celah pita menutup, sesuai dengan graphene semimetalik [4].

Sifat magnetik dapat diamati dalam ukuran kisaran 10 hingga 100nm, dan biasanya dalam keadaan superparamagnetic. Misalnya pada pelapis hard-disk magnetic dengan susunan partikel kobalt, kromium dan platinum atau tantalum antara 10 dan 20 nm yang dipisahkan secara magnetis oleh kromium, dengan padatan penyimpanan sekitar 30-35Gbits/in² [4].

METODE PRODUKSI BAHAN NANOMATERIAL: TOP-DOWN

Mechanical Milling

Metode *mechanical milling* bersifat hemat biaya untuk memproduksi bahan pada tingkat skala nano dari bahan curah untuk menghasilkan campuran fase yang berbeda, dan dapat memproduksi nanokomposit. Gambar 7 menampilkan prinsip kerja metode *Ball Milling*.



Gambar 7. Prinsip kerja metode Ball Milling dengan adanya bola bola baja yang sangat keras mampu membuat butiran dalam skala nanometer.

Mechanical milling digunakan untuk memproduksi paduan aluminium yang diperkuat oksida dan karbida, pelapis semprot tahan aus, paduan nano berbasis

aluminium/nikel/magnesium/tembaga, dan banyak bahan nanokomposit lainnya. Bahan nano karbon yang digiling bola dianggap sebagai kelas bahan nano baru yang memberikan peluang untuk memenuhi remediasi lingkungan, penyimpanan energi, dan permintaan konversi energi [5].

Electrospinning

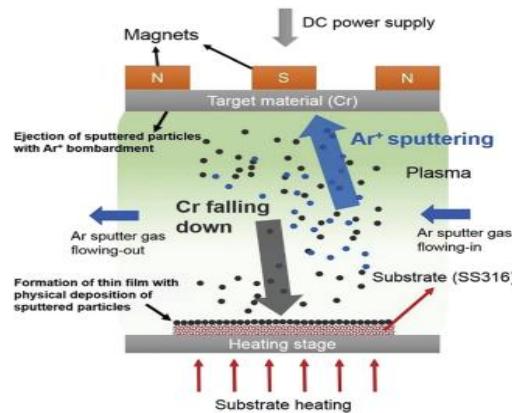
Electrospinning digunakan untuk memproduksi nanofibers dari berbagai macam bahan, biasanya polimer. Dalam *electrospinning* koaksial, pemintal terdiri dari dua kapiler koaksial. Dalam kapiler ini, dua cairan kental, atau cairan kental sebagai cangkang dan cairan tidak kental sebagai intinya, dapat digunakan untuk membentuk arsitektur nano core-shell dalam medan listrik. *Electrospinning* koaksial adalah pendekatan top-down yang efektif dan sederhana untuk mencapai serat *ultrathin core-shell* dalam skala besar. Panjang bahan nano ultra tipis ini dapat diperpanjang hingga beberapa centimeter. Metode ini telah digunakan untuk pengembangan bahan *core-shell* dan polimer berongga, anorganik, organik, dan hybrid.

Sputtering

Sputtering adalah proses yang digunakan untuk menghasilkan nanomaterial melalui bombardir permukaan padat dengan partikel berenergi tinggi seperti plasma atau gas. *Sputtering* dianggap metode yang efektif untuk memproduksi film tipis nanomaterial. Proses ini dapat dilakukan dengan cara yang berbeda, seperti menggunakan magnetron, dioda frekuensi radio, dan sputtering dioda DC. Dalam proses deposisi sputtering, ion gas energik membombardir permukaan target, menyebabkan ejeksi fisik cluster atom kecil tergantung pada insiden energi gas-ion.

Secara umum, sputtering dilakukan dalam ruang yang dievakuasi, dimana gas sputtering dimasukkan. Tegangan tinggi diterapkan pada target katoda dan elektron bebas bertabrakan dengan gas untuk menghasilkan ion gas. Ion bermuatan positif

berakselerasi kuat dalam medan listrik menuju target katoda, yang terus menerus dipukul oleh ion-ion ini, menghasilkan ejeksi atom dari permukaan target. Gambar 8 menampilkan skema diagram dari proses sputtering magnet DC.



Gambar 8. Skema diagram dari proses sputtering magnet DC. Pada proses ini ion gas membombardir permukaan target, menyebabkan ejeksi fisik cluster atom kecil dalam skala nanometer.

Metode arc discharge

Metode *arc discharge* digunakan untuk menghasilkan berbagai bahan berstruktur nano berbasis karbon, seperti *fullerene*, *carbon nanohorns* (CNHs), CNT, *few-layer graphene* (FLG), dan nanopartikel karbon sferis amorf.

Berbagai bahan nano berbasis karbon dikumpulkan dari posisi yang berbeda selama metode *arc discharge*, karena mekanisme pertumbuhannya berbeda. Multi-Walled Carbon Nanotube (MWCNT), tinggi partikel grafit polihedral kemurnian, grafit pirolitik, dan partikel nano-grafit dapat dikumpulkan dari endapan atau endapan anoda atau katoda pada kedua elektroda. Metode ini dapat digunakan untuk mencapai struktur nano graphene secara efisien. Kondisi yang ada selama sintesis graphene dapat mempengaruhi sifat-sifatnya. Lembaran graphene yang dibuat melalui metode pengelupasan arc discharge hidrogen ditemukan lebih unggul dalam hal konduktivitas listrik dan memiliki stabilitas

termal yang baik dibandingkan dengan yang diperoleh melalui *arc discharge* argon [5].

Ablasi laser

Sintesis ablati laser melibatkan generasi nanopartikel menggunakan sinar laser yang kuat yang mengenai bahan target. Selama proses ablati laser, bahan sumber atau prekursor menguap karena energi tinggi dari iradiasi laser, menghasilkan pembentukan partikel nano. Memanfaatkan ablati laser untuk menghasilkan nanopartikel logam mulia dapat dianggap sebagai teknik hijau, karena tidak memerlukan zat penstabil atau bahan kimia lainnya. Berbagai macam nanomaterial dapat diproduksi melalui teknik ini, seperti nanopartikel logam, karbon nanomaterials, komposit oksida, dan keramik.

METODE PRODUKSI BAHAN NANOMATERIAL: BOTTOM-UP

Deposi uap kimia (CVD)

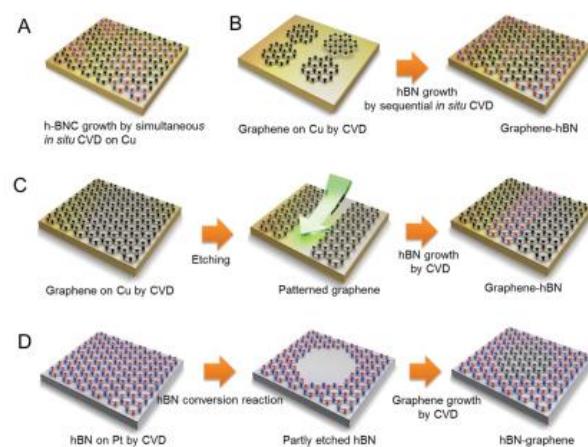
Metode deposisi uap kimia memiliki arti penting dalam pembuatan nanomaterial berbasis karbon. Dalam CVD, film tipis terbentuk pada permukaan substrat melalui reaksi kimia prekursor fase uap. Prekursor dianggap cocok untuk CVD jika memiliki volatilitas yang memadai, kemurnian kimia yang tinggi, stabilitas yang baik selama penguapan, biaya rendah, tidak berbahaya, dan umur simpan yang lama. Proses dekomposisinya biasanya tidak menghasilkan kotoran sisa. Misalnya, dalam pembuatan nanotube karbon melalui CVD, substrat ditempatkan dalam oven dan dipanaskan hingga suhu tinggi. Selanjutnya, gas yang mengandung karbon (seperti hidrokarbon) secara perlahan dimasukkan ke dalam sistem sebagai prekursor. Pada suhu tinggi, dekomposisi gas melepaskan atom karbon yang bergabung kembali untuk membentuk nanotube karbon pada substrat. Namun, pilihan katalis memainkan peran penting dalam morfologi dan jenis nanomaterial yang diperoleh.

Dalam preparasi graphene berbasis CVD, katalis Ni dan Co menyediakan FLG, sedangkan katalis Cu menyediakan graphene monolayer. Secara keseluruhan, CVD adalah metode yang sangat baik untuk memproduksi nanomaterial berkualitas tinggi, dan terkenal untuk produksi nanomaterial dua dimensi. Gambar 9 menampilkan heterostruktur Hbn melalui berbagai teknik.

Metode solvothermal dan hidrotermal

Proses hidrotermal adalah salah satu metode yang paling terkenal dan banyak digunakan untuk menghasilkan bahan berstruktur nano. Dalam metode hidrotermal, bahan berstruktur nano diperoleh melalui reaksi heterogen yang dilakukan dalam media berair pada tekanan dan suhu tinggi di sekitar titik kritis dalam wadah tertutup.

Sedangkan, metode solvothermal sebenarnya mirip dengan metode hidrotermal. Satu-satunya perbedaan adalah metode solvothermal dilakukan dalam media yang tidak berair. Metode hidrotermal dan solvothermal adalah metode yang menarik dan berguna untuk menghasilkan berbagai nano-geometri material, seperti nanofiber, batang nano, lembaran nano, dan nanosfer.



Gambar 9. Heterostruktur Hbn melalui berbagai Teknik. (A) Pertumbuhan CVD In Situ Simultan, (B) Pertumbuhan CVD In Situ Berurutan, (C) Pertumbuhan yang dibantu Litografi, dan (D) Pertumbuhan konversi.

Metode Sol-Gel

Metode sol-gel adalah teknik kimia basah yang banyak digunakan untuk pengembangan nanomaterial. Metode ini digunakan untuk pengembangan berbagai jenis nanomaterial berbasis oksida logam berkualitas tinggi. Metode ini disebut metode sol-gel karena selama sintesis nanopartikel oksida logam, prekursor cair diubah menjadi sol, dan sol akhirnya diubah menjadi struktur jaringan yang disebut gel. Prekursor konvensional untuk generasi nanomaterial menggunakan metode sol-gel adalah alkoksida logam.

METODE PRODUKSI UNTUK NANOMATERIAL BERBASIS ORGANIK

Metode template

Metode template membuat bahan nano organik dengan memaksa molekul masuk ke template untuk menciptakan bahan nano yang sesuai pola template. Misalnya pada pembuatan nanotube C_{60} dengan metode template namun dengan prosedur celup dan kering. Ini biasanya dilakukan dengan menyelupkan template AAO berulang kali ke dalam larutan C_{60} dan menguapkan pelarut selama interval antara pencelupan [6].

Metode free template – Proses uap

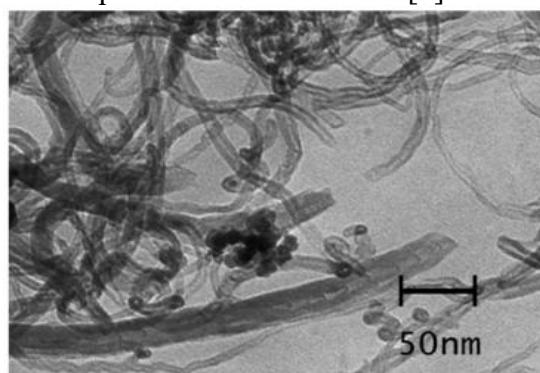
Terdapat juga metode free template dalam persiapan bahan nano 1-D organik dengan deposisi uap. Metode deposisi uap fisik berbantuan adsorben (PVD). Adsorben seperti aluminium oksida netral atau silika gel, dimasukkan ke dalam metode PVD untuk mengontrol derajat kejenuhan. Pendekatan ini banyak digunakan untuk oligomer dan semikonduktor organik dengan berat molekul kecil, misalnya mensintesis nanocrystals dari copper phthalocyanine (CuPc) dengan teknik transportasi uap fisik [6].

APLIKASI DAN PEMANFAATAN

Adsorpsi pewarna

Fugetsu dkk. (2004) telah meneliti adsorpsi esosin kebiruan, etidium bromide, acridine orange dan orange G sebagai pewarna khas menggunakan CNT. Awang dkk. menunjukkan kemampuan adsorpsi yang tinggi untuk pewarna kationik metilen biru relative terhadap asam anionic merah pada konsentrasi awal 10 ppm suhu 298K. Untuk sistem dengan pewarna tunggal, CNT berdinding banyak memberikan kontribusi kemampuan adsorpsi maksimal metilen biru dan asam merah 183 pada 59,70 dan 45,20 mg/g, masing-masing. pH larutan di semua pengujian dipertahankan pada nilai pH 6,0.

Untuk sistem dengan dua pewarna, efek sinergis karena daya tarik elektronik di antara dua pewarna tercatat pada konsentrasi 183 merah kurang asam (10,0 mg/L), yang mendorong adsorpsi dua pewarna pada CNT berdinding banyak. Struktur serta muatan permukaan pewarna memberikan peran penting dalam kemampuan adsorpsi karbon nanotube untuk berbagai pewarna. CNT memisahkan pewarna anionik yang memiliki struktur planar secara maksimal [5].



Gambar 10. Citra TEM dari nanotube yang dimodifikasi secara magnetik [5].

Gambar 10 adalah citra TEM dari CNT berdinding banyak yang dimodifikasi secara magnetik. pH optimal untuk menghilangkan seluruh pewarna kationik yang diperiksa dari larutan berair tercatat 7. Data eksperimen ini telah diperiksa menggunakan model Langmuir. Kemampuan

adsorpsi nanokomposit ini dengan Janus green dan methylene blue masing-masing tercatat 250 mg/g dan 48,1 mg/g [5].

Nanomaterial berbasis graphene dapat digunakan secara efektif untuk adsorpsi pewarna dari air limbah. Peningkatan rasio permukaan terhadap berat bersama dengan stabilitas kimia yang unggul memungkinkan nanomaterial berbasis graphene menjadi kandidat potensial untuk adsorpsi kontaminan anorganik dan organik dari larutan berair. Molekul organik yang berbeda memfungsikan nanomaterial graphene oxide melalui gaya non-kovalen sebelumnya telah disiapkan dan digunakan dalam pengolahan air [6,7].

Nanomaterial berbasis karbon untuk adsorpsi logam berat

Grafena sebagai lapisan atom karbon memiliki potensi yang baik dalam menghilangkan logam berat dari air limbah. Teknik konvensional pembuatan nanomaterial graphene termasuk konversi karbon nanotube, oksidasi-reduksi kimia, dan pengelupasan mekanis.

Grafena serta oksida graphene secara luas dilaporkan untuk menghilangkan logam berat dari air limbah. Untuk menghilangkan konsentrasi ion logam berat yang sangat rendah dalam air secara efisien, bahan komposit berbasis oksida graphene secara luas diteliti sebagai bahan penyerap canggih karena efektivitasnya yang unggul dan peningkatan afinitas untuk ion logam yang berbeda.

CNT adalah adsorben standar untuk pemurnian air. Namun, beberapa komentar tentang keamanannya sangat penting. Biasanya, CNT dibutuhkan dalam volume besar untuk adsorpsi kontaminan air dengan konsentrasi yang sangat tinggi. Oleh karena itu, perlu dipahami jenis CNT yang digunakan dan jumlah nanomaterial yang digunakan. Ada beberapa penelitian tentang penerapan nanotube karbon untuk menghilangkan logam berat dari air limbah. Beberapa peneliti telah memurnikan serta

memfungsikan CNT menggunakan berbagai pendekatan.

Rekayasa CNT dengan permukaan yang sesuai serta muatan permukaan dapat secara signifikan meningkatkan efisiensinya dalam proses adsorpsi logam berat. Ketika digunakan dengan agen fungsionalisasi yang tepat, bahan nano ini bisa menjadi pemurni yang sangat efisien untuk mengubah air limbah menjadi air minum.

Beberapa penelitian telah mengkonfirmasi bahwa MWCNT yang dibuat menggunakan pemanasan gelombang mikro dapat memisahkan Zn(II) dari larutan air, dan laju penyisihan dapat mencapai lebih tinggi dari 99% (konsentrasi awal: 10 mg/L). CNT difungsikan dapat menyerap beberapa logam berat dari air [7].

Nanomaterial berbasis karbon untuk adsorpsi surfaktan

Berbagai bentuk grafena, yaitu grafena oksida (GO) serta grafena oksida tereduksi (r-GO), digunakan oleh Prediger dkk. untuk adsorpsi surfaktan non-ionik (TX-100). Hasil pengujian menegaskan bahwa baik r-GO dan GO menunjukkan kapasitas adsorpsi maksimum untuk surfaktan TX-100 dari bahan yang diperiksa berbeda. Menurut Gao dkk., membandingkan efisiensi penghilangan tiga surfaktan kationik termasuk hexadecyltrimethylammonium bromide (CTAB), tetradecyl dimethyl benzyl ammonium chloride (TDBAC), dan dodecyl dimethyl benzyl ammonium chloride (DDBAC) oleh karbon nanotube yang berbeda. Hasil pengujian menegaskan bahwa efisiensi penyisihan maksimum hexadecyltrimethylammonium bromide (konsentrasi awal: 100 mg/L) oleh CNT multi-dinding murni dengan diameter luar kurang dari 8 nm adalah $50,36 \pm 0,56\%$. OH-MWCNTs dengan diameter luar kurang dari 8 nm hampir $22,72 \pm 0,21\%$. Surfaktan kationik aromatik dapat dengan mudah dihilangkan oleh CNT, relatif terhadap mereka yang tidak memiliki cincin benzene karena interaksi π - π yang kuat.

Untuk mengoptimalkan proses adsorpsi, pengaruh parameter seperti konsentrasi surfaktan, pH, sonikasi, suhu, waktu, dan konsentrasi nanomaterial dievaluasi. Hasil yang diperoleh dicatat lebih unggul daripada yang dilakukan oleh graphene oxide dan bahan lainnya, merekomendasikan bahwa modifikasi GO meningkatkan proses adsorpsi [7].

Nanomaterial berbasis karbon untuk aplikasi membran

Nanomaterial yang berbeda seperti karbon nanotube dan graphenes tercatat memiliki aplikasi yang luas dalam membran dan bahan filter. Interior CNT nonpolar yang difungsikan menawarkan daya tarik yang kuat terhadap molekul air polar dan juga menolak garam serta polutan. Karakteristik aforestasi bersama dengan penggunaan energi yang rendah dan fungsi pembersihan diri dan antifouling ternyata membran CNT adalah pengganti yang luar biasa untuk teknik pengolahan air konvensional. CNT umum sebagai membran terpisah yang dikenal sebagai membran nanotube karbon vertikal.

Membran CNT matriks campuran dapat dibuat dengan mendoping bahan nano ini ke dalam membran polimer yang berlaku seperti ultrafiltrasi, nanofiltrasi, dan reverse osmosis untuk proses pemisahan yang lebih baik. Dengan demikian, para ilmuwan umumnya mengkategorikan membran CNT sebagai ultrafiltrasi (UF), nanofiltrasi (NF), reverse osmosis, dan membran nano-enhanced. Selain itu, CNT rekayasa membuat janji luar biasa dalam aplikasi pemurnian air. CNT yang direkayasa dengan fungsi yang sesuai berfungsi sebagai titik lampiran di mana beragam konstituen air alami dapat berlabuh.

Membran komposit nanopartikel magnesium silikat yang dimodifikasi r-GO nanosheets pada membran poliakrilonitril menunjukkan selektivitas yang unggul untuk pemisahan molekul kecil dari air, baik interaksi elektrostatik dan penyaringan fisik

berkontribusi pada penolakan. Membran film tipis nanokomposit (TFN) canggih disintesis dengan proses polimerisasi antarmuka standar, dengan penambahan MWCNT tersulfonasi ke dalam membran TFN poli (piperazine amida) [7].

Nanomaterial berbasis logam dan oksida logam untuk aplikasi fotokatalitik

Fotokatalis semikonduktor titanium dioksida memiliki kemampuan untuk mendegradasi bahan kimia tertentu seperti pewarna dalam air. Nano-TiO₂ banyak digunakan sebagai fotokatalis untuk mendegradasi zat warna di bawah radiasi ultraviolet. NP titanium dioksida dalam pengolahan air limbah memiliki signifikansi progresif yang berlebihan untuk pengelolaan lingkungan air.

Nanopartikel titanium dioksida yang terkonsolidasi dengan material karbon menunjukkan peningkatan aktivitas radiasi matahari, aktivitas fotokatalitik, dan material ini tidak sulit untuk dipisahkan. Wang dkk. [7] menunjukkan bahwa nanotube komposit TiO₂ berbasis perak menunjukkan peningkatan aktivitas fotokatalitik dalam dekomposisi larutan Rhodamin B, relatif terhadap nanopartikel titanium dioksida telanjang. Berdasarkan pemisahan fase air/minyak, nanotube komposit perak-titanium dioksida telah diproduksi dengan teknik electrospinning (ES) dengan banyak situs aktif di bagian luar, yang dapat meningkatkan kemampuan fotokatalitik. Nanopartikel seng oksida menunjukkan perbaikan lingkungan yang menjanjikan serta proses pemurnian air melalui aktivitas fotokatalitik sinergis dengan peningkatan proses oksidasi-reduksi. Penggambaran diagram oksidasi fotokatalitik pewarna MB pada nanopartikel perak yang didukung sol-gel aminosilikat [7].

Film dan array *nanowires* anorganik

Nanofiber semikonduktor adalah bahan yang menjanjikan untuk banyak aplikasi teknologi, seperti transistor efek medan skala nano

berkinerja tinggi, gerbang logika, memori, sensor untuk gas dan biomolekul, perangkat termoelektrik, LED dan laser, serta fotodetektor dan sel surya. Mobilitas pembawa dalam nanofiber semikonduktor berkualitas tinggi mungkin sebanding dengan atau melebihi dari bahan kristal tunggal. Array nanofiber kristal tunggal yang dibuat pada substrat berbiaya rendah, plastik, atau kaca. Ini diharapkan dapat digunakan dalam aplikasi, seperti elektronik yang fleksibel, dapat digunakan pada sensor, dan tag identifikasi frekuensi radio (RFID).

Proses fabrikasi film tipis berskala nanometer harus melibatkan penempatan dan penyelarasan nanofiber karena efektifitas pengangutan pembawa muatannya. Dalam perangkat nanofiber, muatan harus mengalir langsung dari sumber ke elektroda saluran. Sampai saat ini, beberapa pendekatan eksperimental telah dieksplorasi dengan melibatkan penyelarasan berbagai teknologi.

Dewasa ini, nanofiber dalam semikonduktor yang telah disintesis juga digunakan dalam sel surya peka pewarna sebagai bahan anoda pengumpul elektron. Susunan padat nanofiber kristal ZnO yang diorientasikan dan melekat pada substrat konduktor disintesis dengan proses dua langkah. Pertama, substrat timah oksida yang didoping fluor dilapisi dengan lapisan tipis nanopartikel ZnO, berdiameter kisaran 3 – 4 nm, dengan cara dip-coating dalam larutan nanopartikel pekat. Saat ini, efisiensi matahari penuh hanya sebesar 1,5% karena dibatasi terutama oleh luas permukaan susunan nanofiber. Meningkatkan efisiensi sel nanofiber ke tingkat yang kompetitif sangat tergantung pada pencapaian spektrum yang lebih tinggi dan luas melalui peningkatan luas permukaan. Oleh karena itu, desain elektroda nanowire dengan area yang jauh lebih besar tersedia untuk adsorpsi pewarna yang lebih baik. Pewarna nanowire sebagai sel surya peka cahaya adalah varian yang menjanjikan dari perangkat fotovoltaik eksitonik [8].

KESIMPULAN

Dari pemaparan di atas, dapat disimpulkan bahwa nanomaterial biasanya mengacu pada bahan dengan dimensi eksternal atau struktur internal, diukur dalam skala nano yang menunjukkan sifat berbeda-beda tergantung bahan yang di terapkan. Sifat yang biasanya muncul dan yang telah dipaparkan dalam kajian ini ada sifat optik, elektrik dan mekanik, dan banyak sekali sifat-sifat yang dapat muncul dari berbagai bahan nanomaterial. Metode untuk membuat material berskala nanometer yang digunakan juga beragam mulai dari mechanical milling, electrospinning, hidrotermal, dan sol-gel dengan menggunakan berbagai karakter uji.

Aplikasi yang dikaji dari materi nanomaterial ini beragam dari mulai aplikasi adsorbsi pewarna yang menggunakan bahan CNT yang dapat digunakan sebagai pemisah pewarna anionik. Untuk aplikasi bidang adsorpsi surfaktan dari nanocomposite CNT/r-GO (grafena oksida) dari beberapa penelitian menyebutkan bahwa nanocomposite tersebut dapat digunakan untuk proses pemisahan dari molekul air. Hasil kajian kajian ini dapat memberi gambaran yang lebih mendalam tentang nanomaterial untuk berbagai aspek fisis serta manfaatnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sudha PN, Sangeetha K, Vijayalakshmi K, Barhoum A. *Chapter 12 - Nanomaterials history, classification, unique properties, production and market.* In *Emerging Applications of Nanoparticles and Architecture Nanostructures. Current Prospects and Future Trends Micro and Nano Technologies.* Elsevier. 2018.
- [2] Gbordzoe S. *Synthesis And Characterization Of Zero, One And Two Dimensional Metallic And Ceramic Nanostructures.* Theses. North Carolina Agricultural and Technical State University. 2013.

- [3] Khan I, Saeed K, Khan I. Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arab. J. Chem.* 2019;12(7):908–931.
- [4] Lalena JN, Cleary DA, Duparc OBMH. *Principles of Inorganic Materials Design*. USA: John Wiley & Sons. 2010.
- [5] Baig N, Kammakakam I, Falath W. Nanomaterials: a review of synthesis methods, properties, recent progress, and challenges. *Mater. Adv.* 2021;2(6):1821–1871.
- [6] Dong H and Hu W. *Organic Nanomaterials*. in *Springer Handbook of Nanomaterials*. Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. 2013.
- [7] Saleem H and Zaidi SJ. Developments in the Application of Nanomaterials for Water Treatment and Their Impact on the Environment. *Nanomaterials*. 10(9):1764.
- [8] Talapin DV. *Engineered Nanomaterials as Soluble Precursors for Inorganic Films*. in *Solution Processing of Inorganic Materials*. USA: John Wiley & Sons, Inc. 2008.