

STUDI LITERATUR: PERKEMBANGAN NANOMATERIAL

Nursanti A. M. Syafira A., Priyono

Program Studi Magister Fisika, Departemen Fisika, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

E-mail:

Received: 16 Juni 2022; revised: 16 Juli 2022; accepted: 22 Juli 2022

ABSTRACT

Kajian ini memperkenalkan 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 uji SEM, XRD, TEM. Menjelaskan beberapa metode yang dapat digunakan dalam preparasi nanomaterial baik anorganik dan organik, serta beberapa penerapan aplikasi dalam bidang nanomaterial dengan menggunakan material logam.

Kata kunci : nanomaterial, karakteristik, preparasi, aplikasi pada logam

PENDAHULUAN

Banyak istilah umum dalam bidang nano yang berkembang di kalangan penelitian dan juga di kalangan masyarakat pada umumnya 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 dan 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 perlahan-lahan dikomersialkan, mulai muncul sebagai komoditas, dan digunakan dalam banyak aplikasi dan produk teknologi inovatif, termasuk berbagai produk konsumen. Namun, berbagai jenis NM (yaitu, 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, dilaporkan sintesis larutan koloid Au NP yang disebut "emas aktif" oleh Michael Faraday, yang menyatakan bahwa emas berkurang dalam partikel yang sangat halus, yang menjadi tersebar, menghasilkan cairan merah ruby. Berbagai persiapan emas, baik itu ruby, hijau, ungu atau biru terdiri dari zat itu dalam keadaan terbagi logam. Pada tahun 1940-an, silika NP sedang 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 menentang kemungkinan manuver atom demi atom. mengembangkan struktur dengan menggerakkan atom satu per satu dan membuat mesin berskala nano yang "mengatur atom".

Orang pertama yang merumuskan dan menggunakan istilah nanoteknologi ke dalam dunia ilmiah adalah ilmuwan Jepang 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, dan promotor, tanpa sadar menggunakan istilah Taniguchi sebelumnya dalam sebuah makalah tentang nanoteknologi pada tahun 1981. Gagasan wawasan tentang nanoteknologi dikembangkan lebih lanjut oleh Drexler dan diterbitkan dalam bukunya *Kendaraan Penciptaan*. Pada awal 1980-an, prasyarat teknis untuk sains pada skala nano ditemukan, yang menghasilkan dampak besar pada pengembangan nanoteknologi lebih lanjut.

Gerd Binnig dan Heinrich Rohrer di IBM's Zurich lab menemukan mikroskop tunneling scanning, yang 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, dimana para ilmuwan di IBM berhasil memanipulasi atom tunggal.

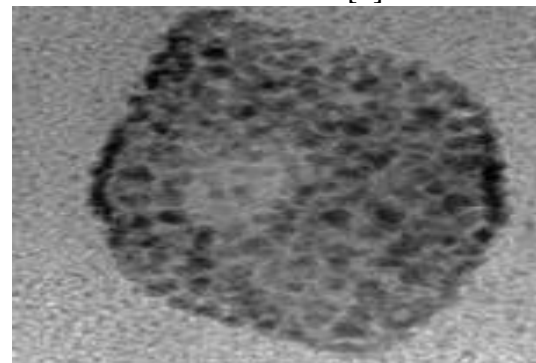
Pada tahun 1991, Sumio Iijima menemukan karbon nanotube (CNT) dan berbagi Hadiah Kavli dalam nanosains pada tahun 2008 untuk kemajuan ini dan kemajuan lainnya di lapangan. CNT, seperti bola bucky, seluruhnya terdiri dari karbon, tetapi dalam bentuk tabung. Menunjukkan sifat luar biasa dalam hal kekuatan, listrik, dan konduktivitas termal antara lain. Pada tahun yang sama, C.T. Kresge dan rekan kerja di Mobil Oil menemukan bahan katalitik berstruktur nano MCM-41 dan MCM-48, yang sekarang berhasil 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 (titik kuantum). Pada tahun 2003, Naomi Halas dan rekan mengembangkan Au nanoshells, yang "disetel" dalam hal ukuran untuk menyerap cahaya inframerah dekat, berfungsi sebagai platform untuk penemuan terintegrasi, diagnosis, dan pengobatan kanker payudara tanpa biopsi invasif, operasi, atau sistemik. 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, mereka mampu mencampur perilaku klasik dan kuantum dengan menawarkan jembatan antara cabang klasik dan biologi dari ilmu material. Mereka dapat dirancang baik dengan pendekatan bottom up dan top down. sehingga memberikan lebih banyak fleksibilitas dalam hal desain. Bahan berstruktur nano sering memiliki sifat listrik, kimia, struktural, dan magnetik yang unik, dengan banyak aplikasi yang mencakup penyimpanan informasi, bahan pelapis untuk tujuan biologis, pencitraan warna, bioproses, pendinginan magnetik, dan banyak lagi. 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). Kawat nano, nanodots, nanotube karbon, titik kuantum, fullerene, nanosheets, nanodisks, nanoballs, nanocoils, nanoflowers adalah beberapa contoh struktur nano [2].

Struktur nano 0-D

Struktur nano dengan semua dimensi dalam rentang ukuran nanometrik disebut sebagai struktur nano 0-D seperti nanodots. Selama dekade terakhir banyak kemajuan telah dibuat di bidang bahan berstruktur nano 0-D dengan banyak metode fisik dan kimia juga telah dikembangkan untuk membuat struktur tersebut [2].



Gambar 1. Citra scanning electron microscope (SEM) dari nanodots membentuk kubus berongga.

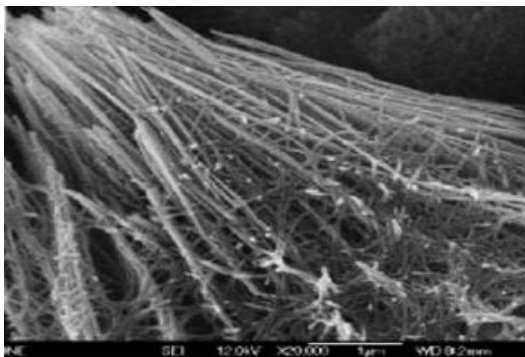
Gambar 1 adalah bentuk kumpulan dari titik-titik kuantum yang membentuk kubus yang berongga jika di uji melalui uji SEM.

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 (atau kurungan kuantum). Struktur nano 1-D juga berfungsi penting dalam interkoneksi dan unit fungsional dalam fabrikasi perangkat elektronik, optoelektronik, elektrokimia, dan elektromekanis dengan dimensi nanoscale [2].

Struktur nano 2-D

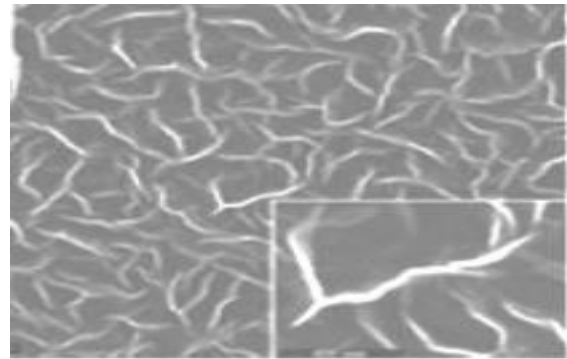
Struktur nano ini memiliki dua dimensi di luar rentang ukuran nanometrik dan karenanya menampilkan struktur seperti bidang. Struktur nano 2-D biasanya diterapkan pada aplikasi seperti *thin film*, *nanocoatings*, dan *nanolayers*.



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

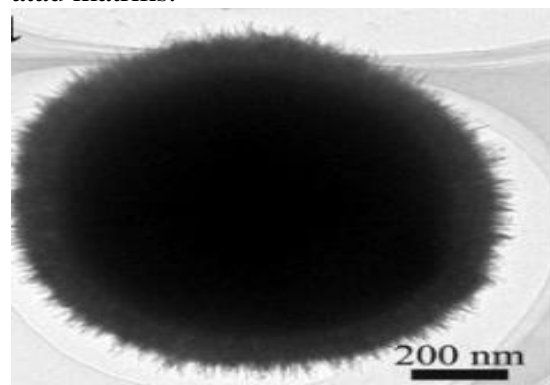
Struktur nano 3-D

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 kawat nano dan tabung nano, dan juga lapisan nano yang berbeda. Struktur nano 3D memiliki beragam aplikasi di berbagai bidang seperti katalisis, bahan magnetik, dan bahan elektroda untuk baterai.



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

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 tingkat skala nano untuk mempelajari tidak hanya morfologi nanomaterial mereka, tetapi juga dispersi NP dalam jumlah besar atau matriks.



Gambar 4. Citra TEM untuk TiO₂ tunggal berbentuk bola.



Gambar 5. Fitur Morfologi ZnO Modified Metal Organic Frameworks (Mofs) dipelajari melalui teknik SEM pada ketebalan 20µm dengan perbesaran 1000x.

TEM didasarkan pada prinsip transmisi 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.

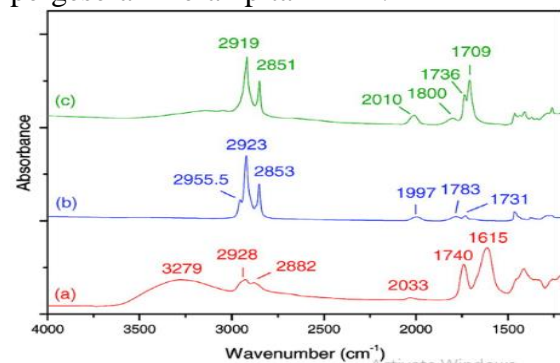


Gambar 6. Beberapa mikrograf TEM yang menunjukkan berbagai morfologi NP emas.

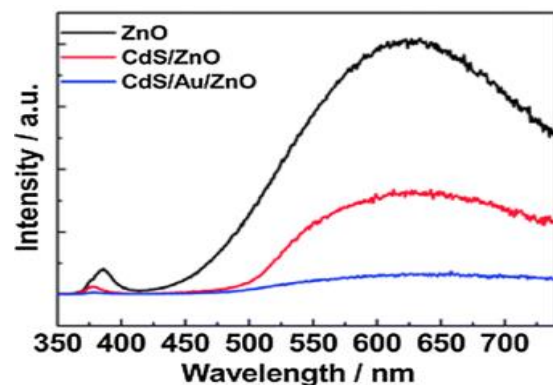
Karakteristik struktural adalah hal yang paling penting untuk mempelajari komposisi dan sifat bahan ikatan. Ini memberikan informasi yang beragam tentang sifat massal dari materi pelajaran. XRD, energy dispersive X-ray (EDX), XPS, IR, Raman, BET, dan penganalisis ukuran Zieta. XRD adalah salah satu teknik 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 spektroskopi FT-IR 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 7 menerangkan bahwa fungsionalisasi Pt NP (ukuran rata-rata 1,7 nm) dan interaksinya dengan substrat alumina dipelajari melalui teknik FT-IR dan XPS. FT-IR mengkonfirmasi fungsionalisasi karena menunjukkan puncak vibrasi khas dari karboksilasi C–O 2033 cm, masing-masing selain puncak O–H yang lebih luas pada 3280 cm. Tingkat fungsionalisasi terungkap dari nilai pergeseran merah pita FT-IR.



Gambar 7. Spektrum FTIR platina (1,7 nm) (a) terekstraksi dari polioliol, (b) Pt tersalut didekanetiol, dan (c) Pt tersalut.



Gambar 8. Fotoluminesensi (PL) spektrum murni ZnO, Cds/ZnO, dan Cds/Au/ZnO diukur dengan panjang gelombang eksitasi 270 nm pada suhu normal.

Dalam ukuran partikel dan karakterisasi luas permukaan dapat menggunakan teknik uji SEM, TEM, XRD dan AFM, tetapi zeta potensial size analyzer (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 fosforesensi dari NP logam dan semikonduktor memiliki warna yang berbeda, menjadikannya paling selaras untuk aplikasi terkait foto. Spektrometer reflektansi UV/vis-difusi (DRS) adalah perangkat lengkap yang dapat digunakan untuk mengukur penyerapan optik, transmisi dan reflektansi [3].

Gambar 8 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]

Sifat Listrik

Dapat diamati dari perbedaan padatan tiga dimensi isotropik adalah hal yang penting. Sistem mesoskopik terkecil adalah kelompok kecil atom yang disebut titik kuantum, 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 rezim 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 zig-zag semikonduktor meningkat, celah pita menutup, sesuai dengan graphene semimetalik [4].

Sifat Magnetik

Dalam ukuran kisaran 10 hingga 100 nm,

domain magnetik tunggal diamati dan biasanya dalam superparamagnetik. 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 PENELITIAN

Metode Top-Down

Mechanical Milling

Metode hemat biaya untuk memproduksi bahan pada tingkat skala nano dari bahan curah untuk menghasilkan campuran fase yang berbeda, dan dapat memproduksi nanokomposit.

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

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 sentimeter. Metode ini telah digunakan untuk pengembangan bahan *core-shell* dan polimer berongga, anorganik, organik, dan hybrid.

Sputtering

Proses yang digunakan untuk menghasilkan nanomaterial melalui membombardir permukaan padat dengan partikel berenergi tinggi seperti plasma atau gas. *Sputtering* dianggap metode yang efektif untuk memproduksi film tipis nanomaterials. Proses sputtering 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 ejsi 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 ejsi atom dari permukaan target.

Metode Arc Discharge/Pelepasan Busur

Metode ini digunakan untuk menghasilkan berbagai bahan berstruktur nano. Ini digunakan untuk memproduksi bahan berbasis karbon, seperti fullerene, carbon nanohorns (CNHs), karbon nanotube, graphene beberapa lapis (FLG), dan nanopartikel karbon sferis amorf.

Berbagai bahan nano berbasis karbon dikumpulkan dari posisi yang berbeda selama metode pelepasan busur, karena mekanisme pertumbuhannya berbeda. 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 pelepasan busur hidrogen ditemukan lebih unggul dalam hal konduktivitas listrik dan memiliki stabilitas termal yang baik dibandingkan dengan yang diperoleh melalui pelepasan argon [5].

Laser Ablation

Sintesis ablasi laser melibatkan generasi nanopartikel menggunakan sinar laser yang kuat yang mengenai bahan target. Selama proses ablasi laser, bahan sumber atau prekursor menguap karena energi tinggi dari iradiasi laser, menghasilkan pembentukan partikel nano. Memanfaatkan ablasi 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 Bottom-Up

Deposisi 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. dekomposisinya seharusnya 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 graphene multilayer, 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.

Metode Solvotermal 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. Metode solvotermal mirip seperti metode hidrotermal. Satu-satunya perbedaan adalah bahwa itu dilakukan dalam media yang tidak berair. Metode hidrotermal dan solvothermal adalah metode yang menarik dan berguna untuk menghasilkan berbagai nano-geometri material, seperti kawat nano, batang nano, lembaran nano, dan nanosfer.

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 untuk Nanomaterial Berbasis Organik

Metode Template

Metode yang 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. Yakni dengan menyelupkan template AAO berulang kali ke dalam larutan C_{60} dan menguapkan pelarut selama interbal antara pencelupan [6].

Metode Free Template – Proses Uap

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].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Adsorpsi Pewarna pada Carbon Nanotube (CNT)

Fugetsu et.al. (2004) telah meneliti adsorpsi eosin kebiruan, etidium bromide, acridine orange dan orange G sebagai pewarna khas menggunakan karbon nanotube. Awang et al. 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 berding 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 berding banyak. Struktur serta muatan permukaan pewarna memberikan peran penting dalam kemampuan adsorpsi karbon nanotube untuk berbagai pewarna: nanotube karbon memisahkan pewarna anionik yang memiliki struktur planar secara maksimal.

Gambar 17 adalah gambar TEM dari CNT berding banyak yang dimodifikasi secara magnetis. 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.

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 [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.

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

Rekayasa karbon nanotube 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 karbon nanotube multiwalled (MWCNTs) 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). Karbon nanotube 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), Prediger et al menggunakan 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 amonium 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 karbon nanotube, relatif terhadap mereka yang tidak memiliki cincin benzena 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 mengategorikan membran CNT sebagai ultrafiltrasi (UF), nanofiltrasi (NF), reverse osmosis, dan membran nano-enhanced. Selain itu, nanotube karbon rekayasa membuat janji luar biasa dalam aplikasi pemurnian air.

Nanotube karbon 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. Larutan berair dari pewarna yang berbeda seperti solo-chrome black (SB), thymol blue (TB), cresol red (CR), methyl blue (MB), dan methyl orange (MO; konsentrasi: 20 M) telah didegradasi secara fotokatalitik memanfaatkan bahan yang disiapkan sebagai katalis selama hampir 50 menit. Dari pewarna yang berbeda, metil biru terdegradasi dengan baik oleh ketiga katalis (titanium dioksida (TiO₂), hafnium oksida (HfO₂)/TiO₂, dan HfO₂ terhidrogenasi yang didoping TiO₂ (H-HfO₂/TiO₂)), dan durasi terpendek dicatat untuk titanium dioksida yang didoping HfO₂ terhidrogenasi dengan 90% dalam waktu sekitar 10 menit. Metil biru menunjukkan absorbansi yang kuat pada 292 nm dan 664 nm dengan puncak bahu pada 245 nm dan 614 nm.

Nanopartikel titanium dioksida yang terkonsolidasi dengan material karbon menunjukkan peningkatan aktivitas radiasi matahari, aktivitas fotokatalitik, dan material ini tidak sulit untuk dipisahkan. Wang dkk. 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

Kawat nano 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 kawat nano semikonduktor berkualitas tinggi mungkin sebanding dengan atau melebihi dari bahan kristal tunggal. Array kawat nano kristal tunggal yang dibuat pada substrat berbiaya rendah, plastik, atau kaca diharapkan dapat digunakan dalam aplikasi, seperti elektronik konsumen yang fleksibel, dapat dikenakan, dan sekali pakai, sensor, dan tag identifikasi frekuensi radio (RFID).

Proses fabrikasi film harus melibatkan penempatan dan penyelarasan kawat nano karena pengangkutan pembawa sepanjang kabel kristal tunggal jauh lebih cepat daripada lompatan kawat ke kawat dalam jaringan kawat nano yang berorientasi acak. Dalam perangkat kawat nano, muatan harus mengalir langsung dari sumber ke elektroda saluran dalam kabel kristal tunggal. Sampai saat ini, beberapa pendekatan eksperimental telah dieksplorasi: penyelarasan berbantuan aliran dalam saluran mikofluida.

Sirkuit elektronik berbasis nanowire dan siap cocok untuk skala panjang yang sangat pendek. Penyelarasan kawat nano semikonduktor dan logam telah berhasil ditunjukkan dengan menerapkan medan listrik DC atau AC ke suspensi kawat nano dan larutan koloid, dielektroforesis telah digunakan untuk menarik kawat nano InP, ZnO, dan PbSe ke arah elektroda dan untuk menyelaraskannya di sepanjang medan listrik. Kawat nano PbSe juga dapat ditumbuhkan langsung pada chip dengan menempelkan nanokristal PbSe yang berorientasi, menghubungkan sumber bias dan elektroda saluran.

Kawat nano semikonduktor yang disintesis larutan juga telah digunakan dalam sel surya peka-pewarna sebagai bahan anoda pengumpul elektron. Susunan padat kawat nano ZnO kristalin yang diorientasikan yang melekat pada substrat konduktor yang disintesis dengan

proses dua langkah. Pertama, substrat timah oksida yang didoping fluor dilapisi dengan lapisan tipis nanopartikel ZnO, berdiameter 3 – 4 nm, dengan cara dip-coating dalam larutan nanopartikel pekat. Kawat nano ditumbuhkan dengan merendam substrat yang diunggulkan dalam larutan berair yang mengandung 25 mM seng nitrat hidrat, 25 mM heksametilenetetramina, dan 5-7 mM polietilenimina pada 92°C selama 2,5 jam. Kimia berair ringan seperti itu memungkinkan fabrikasi murah, sedangkan jalur listrik langsung yang disediakan oleh kawat nano memastikan pengumpulan cepat pembawa fotogenerasi. Topologi teratur yang meningkatkan laju transpor elektron, dan elektroda nanowire dapat menyediakan sarana untuk meningkatkan efisiensi kuantum. Saat ini, efisiensi matahari penuh 1,5% ditunjukkan, yang dibatasi terutama oleh luas permukaan susunan kawat nano. Meningkatkan efisiensi sel kawat nano ke tingkat yang kompetitif tergantung pada pencapaian beban pewarna yang lebih tinggi melalui peningkatan luas permukaan. Strategi sintetik harus diperluas ke desain elektroda nanowire dengan area yang jauh lebih besar tersedia untuk adsorpsi pewarna. Pewarna nanowire - sel surya peka adalah varian yang menjanjikan dari perangkat fotovoltaik eksitonik. Keuntungan dari geometri kawat nano bahkan lebih menarik untuk perangkat hibrida polimer anorganik,107 di mana fase anorganik berorientasi, kontinu, dan kristal dari dimensi yang tepat dapat sangat meningkatkan pengumpulan elektron dan lubang [8].

KESIMPULAN

Dari pemaparan diatas dapat disimpulkan bahwa nanomaterial biasanya mengacu pada bahan dengan dimensi eksternal atau struktur interbal, diukur dalam skala nano yang menunjukkan sifat yg berbeda-beda tergantung bahan yang di terapkan. Sifat yang biasanya muncul dan yang telah di

paparkan dalam kajian ini ada sifat optik, elektrik dan mekanik, dan banyak sekali sifat-sifat yang dapat muncul dari berbagai bahan nanomaterial. Di dalam nanomaterial terdapat pembagian dimensi yakni 0 sampai 3 dimensi, yang masing-masing memiliki ciri-ciri tersendiri. Pada 0 dimensi contohnya pada nanodots, 1 dimensi pada nanotube, nanorods, 2 dimensi pada thin film, 3 dimensi pada penerapan aplikasi katalis. Metode yang digunakan juga beragam mulai dari mechanical milling, electrospinning, hidrotermal, dan sol-gel. Karakterisasinya juga dimulai dari uji XRD, uji SEM yang digunakan untuk menentukan morfologi dan ukuran partikelnya. Aplikasi yang dikaji dari materi Nanomaterial ini beragam dari mulai aplikasi adsorpsi pewarna yang menggunakan bahan CNT yang dapat digunakan sebagai pemisah pewarna anionik yang memiliki struktur planar secara maksimal dari larutan metilen biru. Selanjutnya ada aplikasi untuk adsorpsi surfaktan dari nanocomposite CNT dengan r-GO (grafena oksida) dari beberapa penelitian menyebutkan bahwa nanocomposite tersebut dapat digunakan untuk proses pemisahan dari molekul air. Selanjutnya juga ada aplikasi untuk fotokatalis dari semikonduktor titanium dioksida. Masih banyak lagi aplikasi-aplikasi yang dapat diterapkan dalam Nanomaterial dengan berbagai doping atau komposit material-material dari organik maupun anorganik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sudha PN, Sangeetha K, Vijayalakshmi K, Barhoum A. Chapter 12 - Nanomaterials history, classification, unique properties, production and market. *Emerging Applications of Nanoparticles and Architecture Nanostructures*. 2018:341-384.
- [2] Gbordzoe S. *Synthesis And Characterization Of Zero, One And Two Dimensional Metallic And Ceramic Nanostructures*. Thesis. North Carolina Agricultural and Technical State University. <https://digital.library.ncat.edu/theses/108>
- [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. *Principles of Inorganic Materials Design*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.; 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 & Hu W. Organic Nanomaterials. in *Springer Handbook of Nanomaterials*, R. Vajtai, Ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg;2013:905–940.
- [7] Saleem H & Zaidi SJ. Developments in the Application of Nanomaterials for Water Treatment and Their Impact on the Environment. *Nanomaterials*. 2020;10(9):1764.
- [8] Talapin DV. Engineered Nanomaterials as Soluble Precursors for Inorganic Films. in *Solution Processing of Inorganic Materials*, D. B. Mitzi, Ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.;2008:313–347.