

POTENSI NANOKOMPOSIT DALAM MENGOPTIMALKAN DESAIN BODI KENDARAAN MODERN

¹ Jalu Nur Septiyanto , ¹ Abdul Azis , ¹ Naufal Syafiqri , ¹ Faridz Farhat Firdaus ,
² Riny Yolandha Parapat

¹ Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional

² Program Studi Teknik Kimia Institut Teknologi Nasional Bandung

Jl. PHH.H. Mustopa No.23 – Bandung

² Email : rinyyolandha@itenas.ac.id

Abstrak

Perkembangan nanokomposit akhir-akhir ini berkembang sangat pesat sehingga mendapatkan perhatian khusus dari para ilmuwan. Hal ini memicu perkembangan material nanokomposit di segala bidang terutama dalam industri otomotif. Dalam era industri otomotif yang terus berkembang ini, kebutuhan akan material yang lebih efisien dan inovatif menjadi semakin mendesak. Salah satu solusi yang menjanjikan adalah penggunaan nano komposit. Material ini dapat menawarkan kombinasi kekuatan yang tinggi, berat yang ringan, serta ketahanan akan berbagai faktor lingkungan seperti korosi dan suhu ekstrem. Nano komposit adalah material yang terdiri dari matriks polimer, logam, atau keramik yang diperkuat dengan nanopartikel atau *nanofiller*. Aplikasi di dunia otomotif salah satunya adalah pada komponen kendaraan, seperti *dashboard*, *bumper*, *trim interior*, tutup mesin dan lampu.

Sejarah Artikel

Submitted: 2 Januari 2025

Accepted: 7 Januari 2025

Published: 8 Januari 2025

Kata Kunci

Potensi Nanokomposit Dalam Mengoptimalkan Desain Bodi Kendaraan Modern

PENDAHULUAN

Teknologi nano dalam konteks teknik mesin mengacu pada aplikasi ilmu dan teknik yang bekerja pada skala nanometer untuk mengembangkan material, perangkat, dan sistem dengan sifat-sifat yang sangat spesifik dan unik. Pada skala ini, sifat fisik dan kimia material berubah secara signifikan dibandingkan dengan skala makroskopik, memungkinkan inovasi baru dalam desain dan pembuatan mesin, perangkat, dan komponen. Teknologi nano memiliki potensi besar untuk memajukan bidang teknik mesin dengan menciptakan material yang lebih kuat, lebih ringan, lebih efisien, dan lebih ramah lingkungan. Inovasi yang berasal dari nanoteknologi dapat meningkatkan kinerja mesin, mengurangi biaya operasional, dan memperpanjang umur komponen mesin. Ciri khas teknologi nano adalah kemampuannya untuk memanipulasi atom dan molekul secara langsung. Pada skala ini, bahan dan sistem memiliki sifat fisik, kimia, dan biologi yang berbeda, yang memungkinkan terciptanya inovasi baru (Manurung, n.d.).

Teknologi nano memiliki potensi besar dalam berbagai bidang, termasuk dalam teknik mesin. Pada skala nanometer, material dan sistem menunjukkan sifat-sifat unik yang tidak terlihat pada skala makroskopik, yang memungkinkan inovasi dalam desain dan pembuatan komponen mesin. Terdapat lima aplikasi teknologi nano dalam bidang teknik mesin yaitu Nanomaterial untuk Komponen Mesin yang Lebih Kuat dan Ringan, Peningkatan Efisiensi Pelumasan dan Pengurangan Gesekan, Peningkatan Konduktivitas Termal pada Sistem Pendingin Mesin, Pengembangan Sensor dan Instrumen Nano untuk Pemantauan Kinerja Mesin dan Material Nanostruktur untuk Peningkatan Kinerja Turbin dan Mesin Pembakaran.

Dunia Kuantum mengacu pada prinsip-prinsip fisika yang berlaku pada skala atom dan sub-atom, di mana efek kuantum seperti ketidakpastian Heisenberg, superposisi, dan keterikatan (entanglement) menjadi sangat relevan. Pada skala ini, sifat materi dan energi tidak

lagi mengikuti hukum-hukum fisika klasik, melainkan hukum-hukum yang khas untuk dunia mikroskopis, yang sulit dipahami dalam kerangka pemikiran sehari-hari. Teknologi nano dan dunia kuantum saling berhubungan dalam beberapa cara penting, terutama karena efek kuantum menjadi sangat kuat dan terlihat pada skala nanometer. (*Just a Moment...*, n.d.)

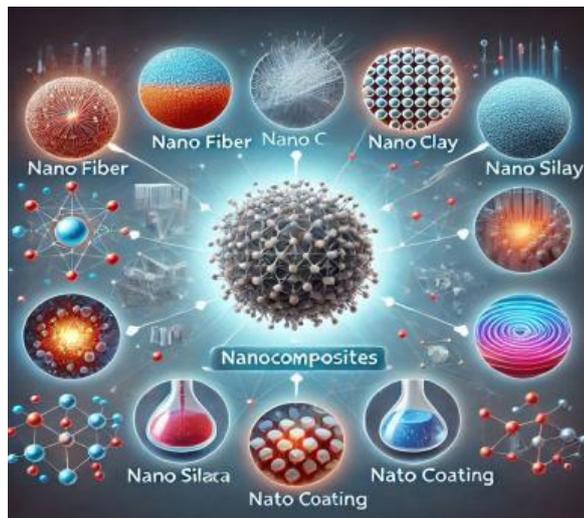
Pada skala nanometer, ukuran objek menjadi sangat kecil, dan fenomena kuantum mulai mendominasi sifat-sifat material. Contoh efek kuantum yang relevan pada skala nano termasuk tunneling kuantum, superposisi dan interferensi. Misalnya, pada transistor nano, efek tunneling dapat terjadi, di mana partikel (seperti elektron) "menembus" penghalang energi meskipun secara klasik tidak cukup energi untuk melakukannya. Hal ini memengaruhi cara kita mendesain dan menggunakan perangkat semikonduktor. Teknologi nano berperan sangat penting dalam mengembangkan aplikasi berbasis fisika kuantum. Ini karena material pada skala nano sering kali memperlihatkan perilaku kuantum yang tidak terlihat pada skala makroskopik, yang memungkinkan inovasi teknologi yang lebih efisien dan canggih.

Nanofiber: "Nanofiber, yang sering kali terbuat dari polimer atau karbon, memiliki diameter yang sangat kecil—hanya beberapa nanometer—dan digunakan untuk memperkuat material komposit, seperti pada pelapis mobil, untuk meningkatkan kekuatan tarik dan ketahanan terhadap benturan."

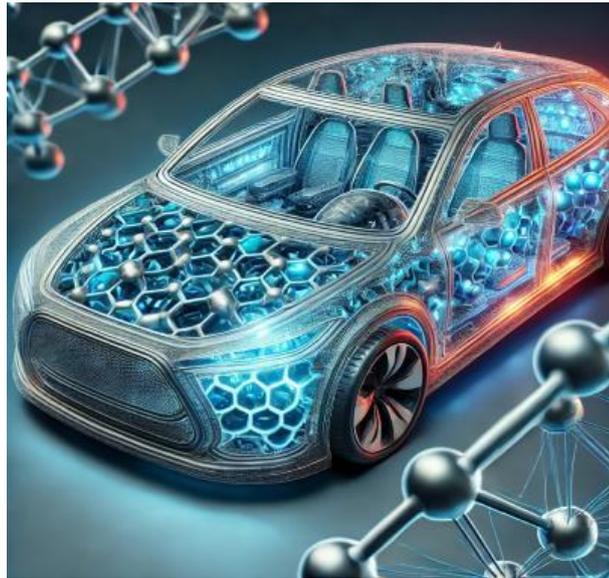
Nanoclay: "Nanoclay, dengan partikel berbentuk lembaran tipis pada skala nanometer, ditambahkan ke dalam polimer untuk meningkatkan sifat barrier, kekuatan mekanik, dan ketahanan termal, yang menjadikannya ideal untuk aplikasi seperti pelindung panas dalam komponen otomotif."

Nano Silica dan Nano Coating: "Nanomaterial seperti nano silica, yang memiliki partikel berukuran sangat kecil, digunakan dalam pelapisan untuk meningkatkan daya tahan terhadap goresan dan korosi pada permukaan kendaraan, sementara nano coating memberikan lapisan pelindung yang lebih tipis dan efektif terhadap cuaca ekstrem."

Gambar 1 adalah ilustrasi dari nano komposit seperti nano fiber, nano clay, nano silay, nano silaca, dan nano coating.



Gambar 1. Ilustrasi nano partikel pada bodi kendaraan



Gambar 2. Ilustrasi nano partikel pada bodi kendaraan

1. Nanocomposite

Nanokomposit adalah material komposit yang memiliki setidaknya satu komponennya dalam skala nanometer (1–100 nm). Komponen nano ini, seperti *nanotube* karbon, nanopartikel logam, atau nanoclay, dimasukkan ke dalam matriks material utama, yang dapat berupa polimer, logam, atau keramik. Penambahan material nano ini bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik, termal, kimia, dan fungsional material tersebut tanpa penambahan massa yang signifikan (Manurung, n.d.).

Keunggulan nanokomposit berasal dari interaksi antara partikel nano dengan matriksnya, yang menghasilkan sifat unggul seperti kekuatan yang lebih tinggi, kekakuan yang lebih baik, dan stabilitas termal yang lebih baik dibandingkan material konvensional. Misalnya, nanokomposit polimer yang dipadukan dengan graphene atau nanotube karbon telah terbukti meningkatkan kekuatan tarik dan ketahanan terhadap benturan, sehingga sering digunakan dalam aplikasi industri, termasuk otomotif dan dirgantara (Manurung, n.d.).

Namun, nanokomposit juga menghadapi tantangan, seperti kesulitan dalam memastikan distribusi partikel nano yang merata di dalam matriks dan biaya produksi yang tinggi. Selain itu, penelitian tentang dampak jangka panjang nanomaterial terhadap kesehatan dan lingkungan masih berlangsung. Meski begitu, potensi aplikasi nanokomposit sangat luas, mulai dari komponen kendaraan ringan, perangkat medis, hingga konstruksi material canggih (Goyal et al., 2014).

2. Aplikasi nanokomposit dalam bidang teknik mesin

Nanokomposit dalam bidang teknik mesin sangat berguna karena dapat meningkatkan sifat mekanik dan fungsional material untuk berbagai aplikasi. Berikut adalah beberapa contoh aplikasi nanokomposit dalam teknik mesin:

- **Bahan struktural yang kuat dan ringan:**
Nanokomposit yang menggunakan material seperti serat karbon, serat kaca, atau bahan penguat lainnya, yang diperkuat dengan nanopartikel, dapat menghasilkan bahan struktural yang lebih ringan namun sangat kuat. Ini sangat berguna untuk komponen pesawat terbang, kendaraan, dan alat berat yang membutuhkan kekuatan tinggi tanpa menambah berat. (Waliyudin, 2022)
- **Peningkatan ketahanan aus dan korosi:**

Dalam aplikasi teknik mesin, seperti pada bagian mesin atau alat yang bekerja di lingkungan keras, nanokomposit digunakan untuk meningkatkan ketahanan aus dan korosi. Misalnya, penambahan nanopartikel keramik seperti aluminium oksida (Al_2O_3) pada komposit dapat meningkatkan ketahanan permukaan terhadap keausan. (Waliyudin, 2022)

- Pelapis anti-karat dan anti-slip:
Nanokomposit juga digunakan dalam pembuatan pelapis pelindung untuk komponen mesin yang terpapar suhu tinggi atau lingkungan agresif, seperti bagian mesin mobil atau alat mesin industri. Nano-pelapis ini memberikan perlindungan tambahan terhadap oksidasi, korosi, serta memperbaiki sifat anti-slip pada permukaan. (Waliyudin, 2022)
- Pengembangan bahan komposit untuk komponen mesin otomotif:
Dalam industri otomotif, penggunaan nanokomposit dapat mengurangi bobot komponen mesin dan meningkatkan efisiensinya. Komposit berbasis nanoteknologi dapat digunakan pada sistem transmisi, poros, hingga rangka kendaraan untuk memberikan performa yang lebih baik sambil menghemat bahan bakar.
- Penyerap energi dan vibrasi:
Nanokomposit yang menggabungkan nanopartikel dengan polimer atau logam dapat menghasilkan material yang lebih baik dalam menyerap energi dan getaran. Ini berguna untuk mengurangi kebisingan dan keausan pada komponen yang bekerja dalam kondisi getaran tinggi, seperti mesin atau alat berat. (Nuryadin, 2020)

3.1 Aplikasi nano komposit pada bodi kendaraan

- Pengaplikasian pada rangka motor
Pada Gambar 3 menunjukkan sebuah contoh penggunaan material CNT pada rangka bagian belakang yang guna untuk memangkas bobot keseluruhan sepeda motor dan memperbaiki handling untuk bermanuver saat digunakan.



Gambar 3. Penggunaan nano cnt pada rangka sepeda motor

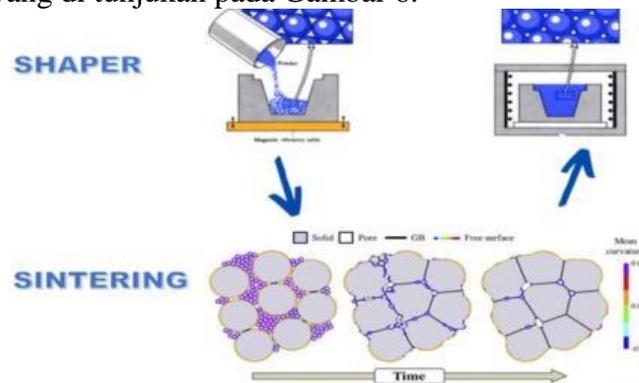
- Pengaplikasiannya diterapkan pada bodi atau aksesoris bodi tambahan seperti Gambar 4. Pada lembaran graphene diberi resin untuk memperkuat bentuk dan sebagai media pelekat agar bentuknya sesuai dengan desain.



Gambar 4. Bagian *engine hood* mobil

Gambar 5. Proses pembuatan bodi karbon material pada kendaraan

- Proses press atau pemadatan grafite nano komposite
Seperti contoh di atas pada rangka sepeda motor itu melewati proses shaper atau pembentukan serbuk grafite dengan unsur pengikat seperti resin yang akan terjadi pada proses sintering yang di tunjukan pada Gambar 6.

Gambar 6. Proses pemadatan grafite (*Sintered Metal Filter Manufacturer | HENGKO, n.d.*)

3. Jenis-jenis nanomaterial yang digunakan dalam bodi kendaraan modern

Nanomaterial digunakan dalam bodi kendaraan untuk meningkatkan performa, efisiensi, dan daya tahan. Berikut adalah jenis-jenis nanomaterial yang sering digunakan dalam bodi kendaraan beserta fungsinya:

4.1 Nanokomposit polimer

Matriks polimer memiliki komposisi yang diperkuat dengan nanopartikel, seperti nanoclay, karbon *nanotube* (CNT), atau nanopartikel silika. Nanokomposit polimer memiliki fungsi sebagai berikut :

- Ringan: Mengurangi berat kendaraan untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar.
- Tahan Benturan: Meningkatkan kekuatan dan ketahanan terhadap deformasi.
- Tahan Panas dan Korosi: Cocok untuk komponen bodi yang terpapar suhu tinggi atau lingkungan korosif. (Jamalpour et al., 2018).

Gambar 7 menunjukkan gambar SEM dari nanokomposit polimer termoplastik. Gambar tersebut memberikan gambaran visual tentang struktur permukaan material pada skala nanometer. Dalam konteks peningkatan mutu coating pada bodi kendaraan, gambar ini mengindikasikan beberapa hal penting. Pertama, struktur permukaan yang homogen dan rapat pada nano komposit dapat meningkatkan daya adhesi antara coating dan permukaan bodi kendaraan, sehingga membuat coating lebih tahan terhadap gesekan, goresan, dan pengaruh lingkungan. Kedua, porositas yang rendah pada permukaan nano komposit mampu mengurangi risiko korosi, karena air dan zat korosif lainnya sulit menembus lapisan coating dan mencapai

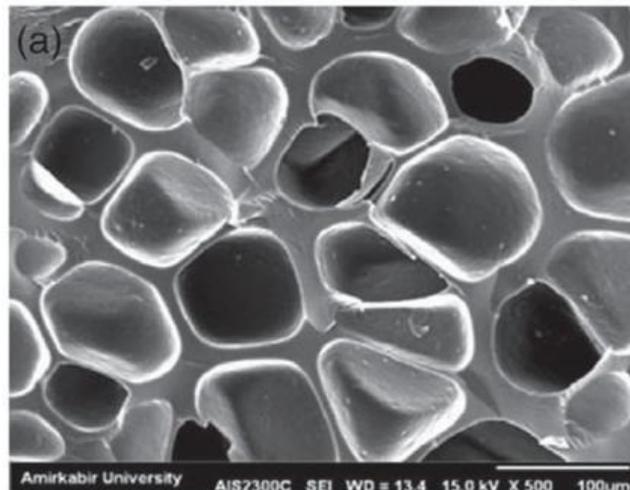
permukaan logam kendaraan. Ketiga, struktur yang fleksibel dari nano komposit memberikan daya tahan lebih terhadap benturan dan perubahan suhu, yang penting untuk menjaga tampilan bodi kendaraan tetap baik dalam jangka waktu panjang. Terakhir, struktur permukaan yang halus dan rata mampu memberikan tampilan yang lebih mengkilap dan elegan pada bodi kendaraan, meningkatkan estetika keseluruhan.

Contoh aplikasi nanokomposit polimer pada bodi kendaraan yaitu ada pada *bumper*, panel bodi, dan *dashboard*. Struktur pada nanokomposit polimer yaitu terdiri dari matriks polimer (seperti polipropilena atau epoksi) yang diperkuat dengan pengisi nanoskala, seperti nanoclay, karbon *nanotube* (CNT), atau nanopartikel logam. Matriks menyediakan fleksibilitas, sementara pengisi memberikan kekuatan mekanis dan sifat tambahan.

Karakteristik pada nanokomposit polimer yaitu :

- Ringan: Mengurangi berat keseluruhan kendaraan.
- Kekuatan Tinggi: Memiliki modulus elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan polimer murni.
- Tahan Panas dan Kimia: Cocok untuk lingkungan ekstrem.
- Multifungsi: Dapat menggabungkan sifat mekanis, termal, dan listrik.

Pada Gambar 7 sem nano komposit polimer ukuran zoom dengan ukuran 100 μm .



Gambar 7. SEM nanokomposit polimer termoplastik (Jamalpour et al., 2018)

4.2 Carbon nanotube (CNT)

Komposisi pada *Carbon Nanotube* (CNT) yaitu tabung karbon dengan diameter nanometer dan sifat mekanis serta listrik yang sangat baik. Fungsi pada CNT yaitu :

- Penguatan Mekanis: Meningkatkan kekuatan tarik dan kekakuan material bodi.
- Konduktivitas Listrik: Digunakan dalam pelapis antistatik atau sensor kendaraan.
- Ringan: Menurunkan berat total kendaraan.

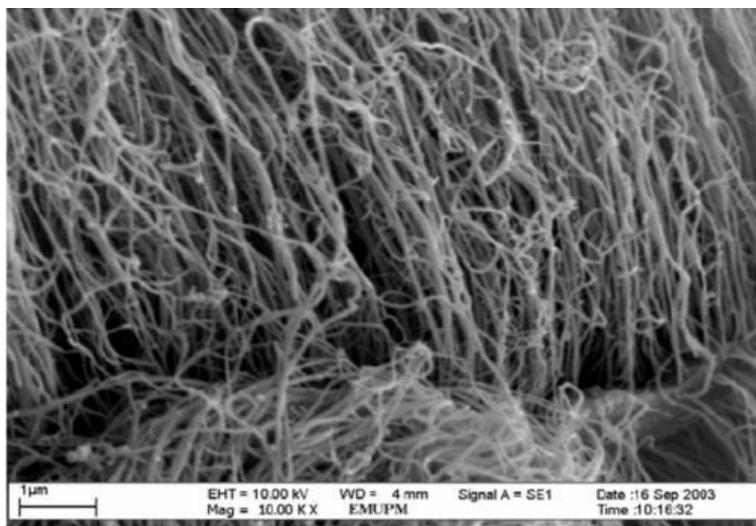
Contoh aplikasi CNT pada bodi kendaraan adalah pada material komposit untuk pintu dan kerangka bodi. Struktur pada CNT yaitu tabung silinder nano dengan dinding yang terdiri dari lembaran karbon grafit (grafena) yang digulung dan terdapat dua jenis utama CNT yaitu :

- *Single-walled nanotubes* (SWNT): Memiliki satu lapisan grafena. (*SYNTHESIS OF CARBON NANOTUBES FOR ACETYLENE DETECTION*, n.d.)
- *Multi-walled nanotubes* (MWNT): Terdiri dari beberapa lapisan grafena yang terkonduksi secara konsentris.

Karakteristik pada CNT yaitu :

- Kekuatan Luar Biasa: Modulus elastisitas mencapai 1 TPa (lebih kuat dari baja).
- Konduktivitas Listrik dan Termal: Lebih tinggi dibandingkan logam konvensional.
- Elastisitas Tinggi: Mampu kembali ke bentuk semula setelah deformasi.

◆ Pada Gambar 8 menunjukkan gambar SEM dari nano komposit *carbon nano tube* dengan ukuran zoom 1 μm . Pada gambar tersebut memberikan gambaran jelas tentang struktur serat karbon yang sangat kecil dan panjang. Struktur inilah yang menjadi kunci dalam meningkatkan mutu bodi kendaraan. Carbon nanotube memiliki kekuatan tarik yang sangat tinggi, jauh melebihi serat karbon konvensional. Ketika ditambahkan ke dalam material komposit bodi kendaraan, nanotube ini akan membentuk jaringan yang kuat dan ringan. Hal ini memungkinkan bodi kendaraan menjadi lebih kuat, tahan terhadap benturan, dan lebih ringan. Bobot kendaraan yang lebih ringan akan berdampak positif pada efisiensi bahan bakar dan performa kendaraan secara keseluruhan. Selain itu, sifat konduktif dari nanotube juga dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kemampuan disipasi panas pada bodi kendaraan, sehingga dapat meningkatkan kinerja komponen elektronik di dalamnya. Dengan demikian, penggunaan carbon nanotube pada bodi kendaraan merupakan salah satu inovasi yang menjanjikan untuk menghasilkan kendaraan yang lebih aman, efisien, dan berteknologi tinggi.



Gambar 8. SEM *carbon nanotubes* (*SYNTHESIS OF CARBON NANOTUBES FOR ACETYLENE DETECTION*, n.d.)

4.3 Grafena

Komposisi grafena yaitu lembar karbon 2D dengan ketebalan satu atom yang memiliki fungsi sebagai berikut :

- Kekuatan Tinggi: Menambah daya tahan bodi terhadap benturan.
- Konduktivitas Termal: Membantu dalam disipasi panas.
- Konduktivitas Listrik: Berguna untuk aplikasi elektronik, seperti sistem pencahayaan.

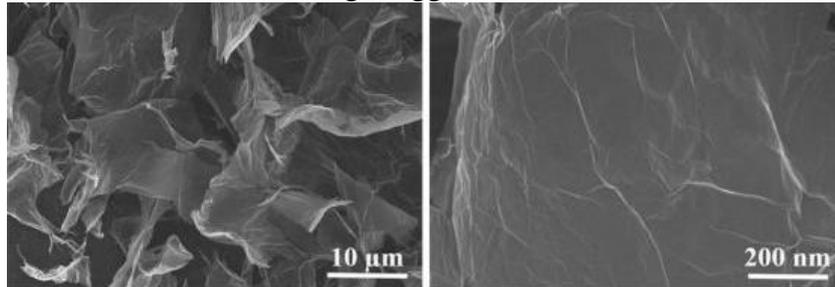
Contoh aplikasi grafena pada bodi kendaraan yaitu pada pelapis anti gores dan konduktif. Struktur grafena yaitu lembar karbon 2D setebal satu atom dengan ikatan sp^2 yang sangat kuat antara atom karbon dan mempunyai struktur sarang lebah heksagonal. (Siburian et al., 2018)

Karakteristik grafena yaitu:

- Kekuatan Tinggi: Kekuatan tarik hingga 130 GPa, membuatnya sangat cocok untuk memperkuat material.
- Konduktivitas Listrik: Lebih baik daripada tembaga.
- Konduktivitas Termal: Dapat menyebarkan panas secara efisien.
- Ringan: Sangat tipis namun sangat kuat.

Gambar 9 menunjukkan gambar SEM dari grafena dengan ukuran zoom 10 μm dan 200 μm . Gambar tersebut menampilkan struktur lembaran tipis yang sangat tipis dan fleksibel. Struktur inilah yang menjadi kunci dalam meningkatkan mutu bodi kendaraan. Grafena

memiliki kekuatan tarik yang sangat tinggi, konduktivitas listrik dan termal yang sangat baik, serta sifat yang sangat ringan. Ketika ditambahkan ke dalam material komposit bodi kendaraan, grafena akan membentuk jaringan yang kuat dan ringan. Hal ini memungkinkan bodi kendaraan menjadi lebih kuat, tahan terhadap benturan, dan lebih ringan. Bobot kendaraan yang lebih ringan akan berdampak positif pada efisiensi bahan bakar dan performa kendaraan secara keseluruhan. Selain itu, sifat konduktif dari grafena juga dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kemampuan disipasi panas pada bodi kendaraan, sehingga dapat meningkatkan kinerja komponen elektronik di dalamnya. Dengan demikian, penggunaan grafena pada bodi kendaraan merupakan salah satu inovasi yang menjanjikan untuk menghasilkan kendaraan yang lebih aman, efisien, dan berteknologi tinggi.



Gambar 9. SEM grafena (Siburian et al., 2018)

4.4 Nanopartikel logam

Jenis nanopartikel logam yaitu nanopartikel seperti perak, aluminium, atau titanium dioksida. Nanopartikel Logam memiliki fungsi sebagai berikut :

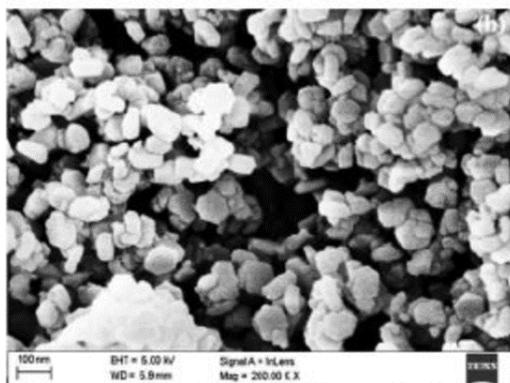
- Anti-Korosi: Titanium dioksida digunakan sebagai pelapis pelindung.
- Anti-Bakteri: Perak nanoskala untuk interior bodi yang higienis.
- Reflektivitas Tinggi: Digunakan dalam cat kendaraan untuk warna lebih cerah dan tahan lama.

Contoh aplikasi nanopartikel logam pada kendaraan yaitu lapisan cat, pelapis kaca, dan pelindung bodi. Struktur pada nanopartikel logam adalah partikel logam dengan ukuran nanometer (1-100 nm), biasanya berbentuk bola, tabung, atau lembaran dan terdiri dari atom-atom logam seperti perak, emas, aluminium, atau tembaga.

Karakteristik pada nanopartikel logam yaitu :

- Efek Plasmonik: Memberikan warna unik (misalnya, nanopartikel emas dapat menghasilkan warna merah atau biru).
- Tahan Korosi: Meningkatkan umur material bodi.
- Anti-Mikroba: Efektif untuk aplikasi interior kendaraan.

Gambar 10 adalah gambar SEM dari nanopartikel logam. dengan ukuran zoom 100 nm. Gambar tersebut menampilkan partikel-partikel yang sangat kecil dan memiliki bentuk yang tidak beraturan. Struktur inilah yang menjadi kunci dalam meningkatkan kualitas bodi kendaraan. Nanopartikel logam memiliki luas permukaan yang sangat besar dan sifat kimia yang unik. Ketika ditambahkan ke dalam material komposit bodi kendaraan, nanopartikel logam akan tersebar secara merata dan membentuk jaringan yang kuat di antara serat penguat. Hal ini menyebabkan peningkatan kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan ketahanan terhadap korosi pada material komposit, sehingga bodi kendaraan menjadi lebih kuat, tahan lama, dan lebih tahan terhadap pengaruh lingkungan. Selain itu, beberapa jenis nanopartikel logam juga memiliki sifat konduktif yang dapat meningkatkan kemampuan disipasi panas pada bodi kendaraan. Dengan demikian, penggunaan nanopartikel logam pada bodi kendaraan merupakan salah satu inovasi yang menjanjikan untuk menghasilkan kendaraan yang lebih ringan, kuat, tahan lama, dan memiliki kinerja yang lebih baik.



Gambar 10. SEM nanopartikel logam (*Review Nanopartikel ZnO*, n.d.)

4.5 Nanofiber

Komposisi nanofiber seperti serat dengan diameter nanometer, biasanya berbasis karbon atau keramik yang memiliki fungsi sebagai berikut :

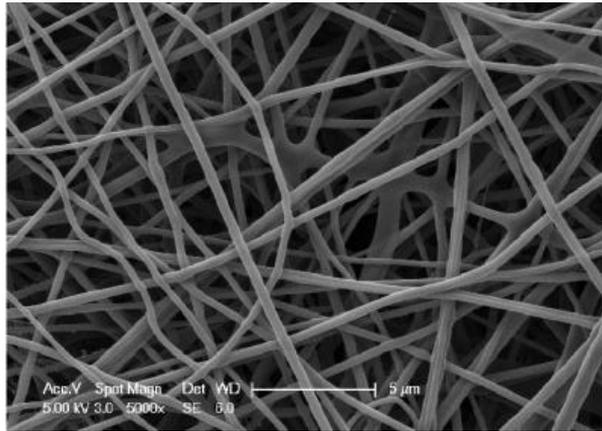
- Ringan: Mengurangi bobot kendaraan.
- Tahan Panas: Digunakan dalam bagian bodi yang terpapar panas.
- Penguatan Mekanis: Digunakan dalam struktur komposit.

Contoh aplikasi nanofiber pada bodi kendaraan yaitu pada komponen interior dan bodi kendaraan balap. Struktur nanofiber yaitu serat berbentuk tabung dengan diameter skala nanometer (10-100 nm) dan dibuat dari berbagai bahan, seperti karbon, polimer, atau keramik. Pada Gambar 11 yang ada dibawah ini yaitu sem nanofiber. (Oktay et al., 2014)

Karakteristik nanofiber yaitu :

- Kekuatan Tinggi: Ideal untuk memperkuat material komposit.
- Permukaan Besar: Meningkatkan adhesi antara material dan matriks.
- Ringan: Mengurangi berat tanpa mengorbankan kekuatan.

Pada Gambar 11 yaitu gambar SEM dari nanofiber ukuran zoom yang ada pada gambar yaitu 5 μm . memperlihatkan struktur serat yang sangat halus dan saling terjalin. Struktur ini sangat menarik untuk diaplikasikan pada industri otomotif, khususnya pada komponen bodi kendaraan. Nanofiber memiliki sifat yang unik, yaitu kekuatan tarik yang tinggi namun dengan bobot yang sangat ringan. Ketika diaplikasikan pada material komposit bodi kendaraan, nanofiber akan membentuk jaringan yang kuat dan fleksibel. Hal ini memungkinkan bodi kendaraan menjadi lebih kuat, tahan terhadap benturan, dan lebih ringan. Bobot kendaraan yang lebih ringan akan berdampak positif pada efisiensi bahan bakar dan performa kendaraan secara keseluruhan. Selain itu, sifat nanofiber yang berpori juga dapat meningkatkan penyerapan energi saat terjadi benturan, sehingga dapat meningkatkan keamanan penumpang. Dengan demikian, penggunaan nanofiber pada bodi kendaraan merupakan salah satu inovasi yang menjanjikan untuk menghasilkan kendaraan yang lebih aman, efisien, dan berteknologi tinggi.



Gambar 11. SEM nanofiber (Oktay et al., 2014)

4.6 Nanoclay

NanoClay memiliki peran untuk Meningkatkan kekakuan dan ketahanan termal komponen polimer, sehingga bodi kendaraan menjadi lebih ringan namun tetap kokoh. Komposisi nanoclay yaitu partikel tanah liat dengan struktur nanoskala, seperti montmorillonite dan memiliki fungsi seperti berikut :

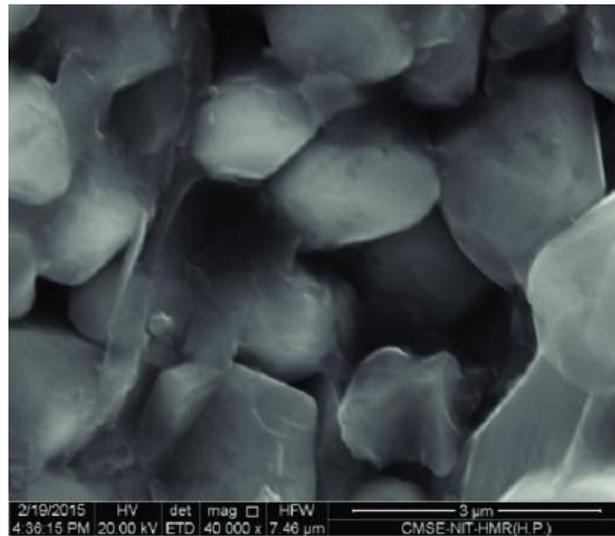
- Kekakuan Tinggi: Memperkuat polimer untuk aplikasi bodi.
- Tahan Api: Digunakan pada bagian kendaraan yang memerlukan perlindungan tambahan.

Contoh aplikasi nanoclay pada bodi kendaraan yaitu panel bodi luar dan interior. Struktur nanoclay adalah lapisan silikat dengan ketebalan skala nanometer dan terdiri dari lembaran nano yang terdispersi dalam matriks polimer.

Nanoclay memiliki karakteristik seperti :

- Kekakuan Tinggi: Memperbaiki kekuatan material tanpa menambah berat.
- Tahan Panas: Digunakan untuk melindungi kendaraan dari suhu tinggi.
- Tahan Api: Mengurangi risiko kebakaran.

Gambar 12 adalah gambar SEM dari nanoclay dengan ukuran zoom 3 μm , dimana gambar tersebut memperlihatkan struktur partikel yang sangat kecil dan berlapis-lapis. Struktur inilah yang menjadi kunci dalam meningkatkan mutu bodi kendaraan. Nanoclay memiliki sifat yang unik, yaitu permukaannya yang sangat luas dan kemampuannya untuk membentuk lapisan yang sangat tipis. Ketika ditambahkan ke dalam material komposit bodi kendaraan, nanoclay akan tersebar secara merata dan membentuk lapisan-lapisan yang sangat tipis di antara serat penguat. Hal ini menyebabkan peningkatan kekuatan tarik dan modulus elastisitas material komposit, sehingga bodi kendaraan menjadi lebih kuat dan tahan terhadap deformasi. Selain itu, nanoclay juga dapat meningkatkan sifat penghalang terhadap air dan gas, sehingga dapat melindungi komponen kendaraan dari korosi dan kerusakan akibat paparan lingkungan. Dengan demikian, penggunaan nanoclay pada bodi kendaraan merupakan salah satu inovasi yang menjanjikan untuk menghasilkan kendaraan yang lebih kuat, tahan lama, dan ringan.



Gambar 12. SEM nanoclay (*Preparation and Mechanical Properties of Nanoclay-MWCNT/Epoxy Hybrid Nanocomposites*, n.d.) (Kumar & Gupta, 2021)

4.7 Silika nano

Silika nano memiliki peran untuk membantu meningkatkan daya tahan cat kendaraan terhadap abrasi dan cuaca ekstrem. Komposisi silika nano adalah nanopartikel silika amorf. Fungsi dari silika nano :

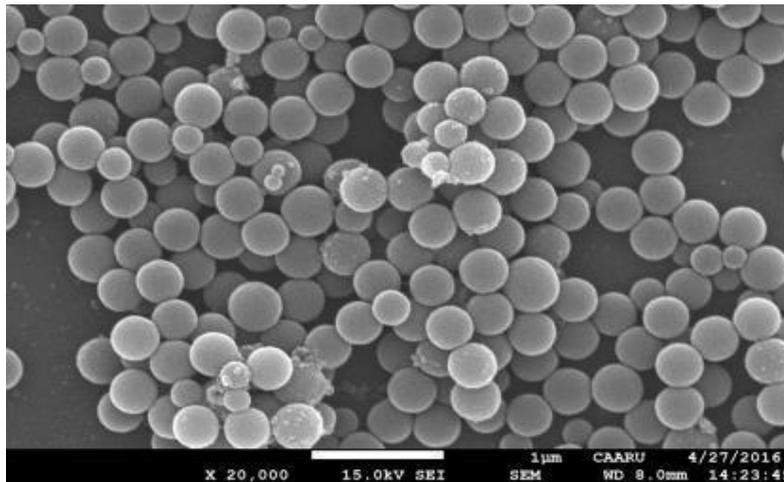
- Peningkatan durabilitas: Digunakan dalam pelapis cat untuk membuat bodi lebih tahan gores.
- Kekuatan mekanis: Menambah daya tahan bodi kendaraan terhadap tekanan.

Contoh aplikasi pada bodi kendaraan yaitu pada cat pelindung dan pelapis kaca. Struktur pada silikat nano yaitu partikel silika amorf dengan ukuran nanometer, sering berbentuk bola dan dapat didispersikan dalam matriks polimer atau cairan pelapis.

Karakteristik silika nano adalah :

- Tahan gores: Meningkatkan ketahanan terhadap goresan pada pelapis cat kendaraan.
- Transparan: Cocok untuk pelapis kaca atau cat.
- Durabilitas tinggi: Memberikan perlindungan jangka panjang.

Gambar 13 menunjukkan gambar SEM dari silika nano dengan ukuran zoom 1 μm . Gambar tersebut menampilkan partikel-partikel berbentuk bola yang sangat kecil. Struktur inilah yang menjadi kunci dalam meningkatkan kualitas bodi kendaraan. Silika nano memiliki luas permukaan yang sangat besar dan sifat kimia yang unik. Ketika ditambahkan ke dalam material komposit bodi kendaraan, silika nano akan tersebar secara merata dan membentuk jaringan yang kuat di antara serat penguat. Hal ini menyebabkan peningkatan kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan ketahanan terhadap goresan pada material komposit, sehingga bodi kendaraan menjadi lebih kuat, tahan lama, dan memiliki permukaan yang lebih halus. Selain itu, silika nano juga dapat meningkatkan sifat isolasi termal dan ketahanan terhadap api pada bodi kendaraan, sehingga dapat meningkatkan keamanan dan kenyamanan penumpang. Dengan demikian, penggunaan silika nano pada bodi kendaraan merupakan salah satu inovasi yang menjanjikan untuk menghasilkan kendaraan yang lebih ringan, kuat, tahan lama, dan memiliki tampilan yang lebih menarik.



Gambar 13. SEM siilika nano (P et al., 2019)

4.8 Nano coatings

Komposisi nano coating adalah pelapis berbasis nanomaterial seperti silika, TiO_2 , atau karbon. Fungsinya yaitu :

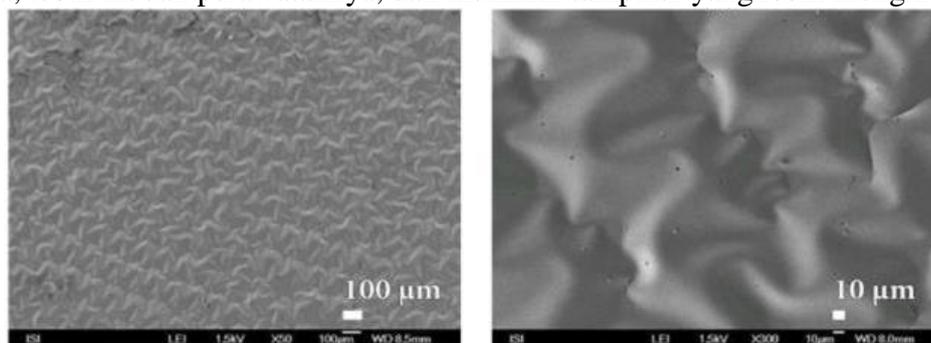
- Anti-Gores dan hidrofobik: Pelapis untuk mencegah goresan dan penumpukan kotoran.
- Tahan Korosi: Melindungi bodi kendaraan dari kerusakan lingkungan.
- Peningkatan Estetika: Memberikan efek kilap lebih lama.

Contoh aplikasinya adalah cat bodi dan pelapis kaca. Struktur nano coatings adalah lapisan tipis berbasis nanomaterial seperti TiO_2 , ZnO , atau karbon dan biasanya diterapkan melalui teknik semprot atau deposisi uap (CVD).

Karakteristik nano coatings seperti :

- Hidrofobik: Menolak air dan kotoran, memudahkan perawatan kendaraan.
- Tahan Korosi: Melindungi bodi dari oksidasi.
- Tahan UV: Mengurangi kerusakan akibat paparan sinar matahari.

Gambar 14 adalah gambar SEM dari nano coating dengan ukuran zoom $100\ \mu\text{m}$ dan $10\ \mu\text{m}$ dimana gambar tersebut menunjukkan struktur permukaan yang sangat halus dan seragam pada skala nanometer. Struktur inilah yang menjadi kunci dalam meningkatkan kualitas bodi kendaraan. Nano coating merupakan lapisan tipis yang terdiri dari partikel-partikel berukuran nanometer yang melapisi permukaan bodi kendaraan. Lapisan ini menciptakan permukaan yang sangat halus dan rapat, sehingga sulit bagi kotoran, air, atau bahan kimia untuk menempel. Hal ini membuat bodi kendaraan menjadi lebih mudah dibersihkan, lebih tahan terhadap goresan, dan lebih tahan terhadap korosi. Selain itu, nano coating juga dapat memberikan efek hidrofobik, sehingga air akan mudah mengalir di permukaan bodi kendaraan dan mencegah terbentuknya noda air. Dengan demikian, penggunaan nano coating pada bodi kendaraan merupakan salah satu inovasi yang menjanjikan untuk menghasilkan kendaraan yang lebih tahan lama, lebih mudah perawatannya, dan memiliki tampilan yang lebih mengkilap.



Gambar 14. SEM nano Coatings (Tayel et al., 2022)

4.9 Nano-oksida logam

Jenis nano-oksida logam adalah titanium dioksida (TiO_2), seng oksida (ZnO), atau aluminium oksida (Al_2O_3). Fungsinya adalah :

- Tahan UV: Melindungi cat dan bodi kendaraan dari sinar ultraviolet.
- Antimikroba: Untuk aplikasi interior kendaraan.
- Tahan Api: Menambah perlindungan terhadap suhu tinggi.

Secara ringkas, gambar SEM tersebut menggambarkan potensi besar dari nano oksida logam dalam meningkatkan kualitas bodi kendaraan. Struktur partikelnya yang unik memungkinkan pembuatan bodi kendaraan dengan sifat mekanik dan kimia yang lebih baik.

Beberapa contoh nano oksida logam yang sering digunakan dalam industri otomotif antara lain:

- Titanium dioksida (TiO_2): Memiliki sifat fotokatalitik yang dapat menguraikan polutan organik dan membuat permukaan bodi kendaraan menjadi self-cleaning.
- Zink oksida (ZnO): Memiliki sifat antibakteri dan dapat digunakan untuk mencegah pertumbuhan bakteri pada permukaan bodi kendaraan.
- Aluminium oksida (Al_2O_3): Meningkatkan kekerasan dan ketahanan abrasi pada permukaan bodi kendaraan.

Contoh aplikasi pada bodi kendaraan yaitu cat kendaraan, pelapis interior, dan sistem pencahayaan. Strukturnya yaitu partikel oksida logam seperti titanium dioksida (TiO_2) atau seng oksida (ZnO) dalam ukuran nanometer dan sering berbentuk bola atau cluster.

Karakteristiknya adalah :

- Tahan Panas: Melindungi material dari degradasi termal.
- Efek Fotokatalitik: Membersihkan diri dari kotoran melalui reaksi kimia.
- Tahan UV: Melindungi cat dan pelapis dari kerusakan akibat sinar ultraviolet.

Pada Gambar 15 yaitu gambar SEM dari nano-oksida logam dengan ukuran zoom $1\ \mu\text{m}$ yang menampilkan partikel-partikel yang sangat kecil dan memiliki bentuk yang tidak beraturan. Struktur inilah yang menjadi kunci dalam meningkatkan kualitas bodi kendaraan. Nano oksida logam memiliki luas permukaan yang sangat besar dan sifat kimia yang unik. Ketika ditambahkan ke dalam material komposit bodi kendaraan, nano oksida logam akan tersebar secara merata dan membentuk jaringan yang kuat di antara serat penguat. Hal ini menyebabkan peningkatan kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan ketahanan terhadap korosi pada material komposit, sehingga bodi kendaraan menjadi lebih kuat, tahan lama, dan lebih tahan terhadap pengaruh lingkungan. Selain itu, beberapa jenis nano oksida logam juga memiliki sifat antibakteri dan dapat meningkatkan kebersihan permukaan bodi kendaraan. Dengan demikian, penggunaan nano oksida logam pada bodi kendaraan merupakan salah satu inovasi yang menjanjikan untuk menghasilkan kendaraan yang lebih tahan lama, lebih higienis, dan memiliki kinerja yang lebih baik.



Gambar 15. SEM nano-oksida logam (*Glucose Bio Sensor Base Nanocomposite Graphene/Tio₂ - IOPscience, n.d.*)

4.10 Dendritik nano polimer

Komposisi dendritik Nano Polimer adalah polimer dengan struktur dendritik berbasis nano. Fungsinya yaitu :

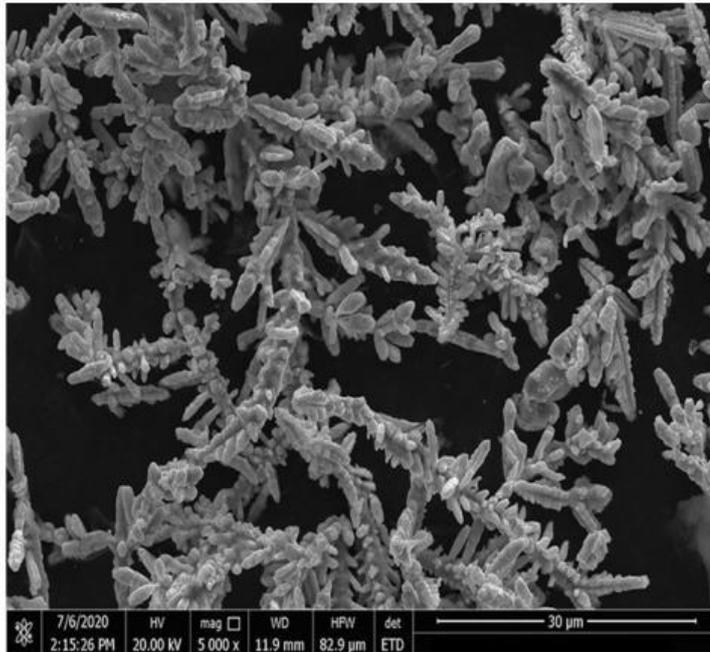
- Peredam Suara: Digunakan untuk meningkatkan kenyamanan akustik di dalam kendaraan.
- Ringan: Mengurangi berat kendaraan tanpa mengorbankan kekuatan.

Contoh aplikasi pada bodi kendaraan yaitu pada interior bodi dan bahan isolasi. Strukturnya adalah polimer bercabang seperti pohon dengan struktur berulang yang sangat teratur dan mempunyai inti pusat dengan banyak cabang bercabang ke luar.

Karakteristiknya yaitu :

- Kepadatan Tinggi: Sifat mekanis yang kuat.
- Isolasi Akustik: Membantu mengurangi kebisingan dalam kendaraan.
- Ringan: Cocok untuk komponen interior kendaraan.

pada Gambar 16 terdapat dendritik nano polimer dengan ukuran zoom 30 μm, Gambar tersebut menampilkan struktur yang unik, menyerupai cabang-cabang pohon. Struktur dendritik ini memberikan luas permukaan yang sangat besar dan sifat mekanik yang unik. Ketika ditambahkan ke dalam material komposit bodi kendaraan, dendritik nano polimer akan membentuk jaringan tiga dimensi yang kuat dan fleksibel. Hal ini menyebabkan peningkatan kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan ketahanan terhadap benturan pada material komposit, sehingga bodi kendaraan menjadi lebih kuat, tahan lama, dan lebih ringan. Selain itu, struktur dendritik juga dapat meningkatkan sifat isolasi termal dan ketahanan terhadap api pada bodi kendaraan, sehingga dapat meningkatkan keamanan dan kenyamanan penumpang. Dengan demikian, penggunaan dendritik nano polimer pada bodi kendaraan merupakan salah satu inovasi yang menjanjikan untuk menghasilkan kendaraan yang lebih ringan, kuat, tahan lama, dan memiliki sifat fungsional yang lebih baik.



Gambar 16. SEM dendritik platinum (Song et al., 2006)

4. Tantangan dan batasan

Nanokomposit memainkan peran penting dalam mengoptimalkan desain komponen bodi otomotif dengan menawarkan solusi yang ringan, meningkatkan sifat mekanis, dan meningkatkan daya tahan. Namun, ada beberapa tantangan dan keterbatasan yang perlu diatasi untuk aplikasi yang lebih luas (Goyal et al., 2014).

1. Tantangan:

- Masalah dispersi: Salah satu tantangan utama adalah memastikan dispersi nanopartikel yang seragam dalam matriks polimer. Dispersi yang buruk dapat menyebabkan sifat yang tidak seragam dan titik lemah pada material, sehingga membatasi kinerjanya (Goyal et al., 2014)
- Biaya dan skalabilitas: Memproduksi nanokomposit dalam skala industri mahal karena kompleksitas yang terlibat dalam proses manufaktur seperti dispersi grafena. Tingginya biaya nanomaterial dan tantangan teknis dalam meningkatkan produksi membuatnya sulit untuk diadopsi secara luas (Goyal et al., 2014)
- Kesulitan pemrosesan: Nanokomposit seringkali memerlukan peralatan khusus dan metode pemrosesan untuk memastikan integrasi nanopartikel yang tepat. Hal ini menambah kompleksitas dan biaya produksi, terutama saat mencoba memenuhi permintaan volume tinggi dari industri otomotif (Goyal et al., 2014).
- Masalah lingkungan dan kesehatan: Dampak jangka panjang nanomaterial terhadap kesehatan dan lingkungan masih menjadi masalah yang perlu diperhatikan. Masih ada penelitian yang sedang berlangsung tentang bagaimana nanopartikel berinteraksi dengan tubuh manusia dan lingkungan, yang dapat menimbulkan tantangan regulasi dan etika (Goyal et al., 2014).

2. Keterbatasan:

- Kinerja mekanis: Meskipun nanokomposit dapat meningkatkan sifat-sifat tertentu seperti kekuatan tarik dan kekakuan, nanokomposit mungkin masih belum cukup untuk sepenuhnya menggantikan logam tradisional dalam aplikasi bertekanan tinggi. Hal ini khususnya relevan dalam komponen

otomotif yang sangat penting bagi keselamatan, di mana kinerja logam masih belum tertandingi (Goyal et al., 2014).

- Sensitivitas suhu: Beberapa nanokomposit sensitif terhadap suhu tinggi, yang dapat membatasi penggunaannya di area seperti komponen mesin atau area yang terpapar panas ekstrem. Meningkatkan stabilitas termal merupakan area utama untuk pengembangan di masa mendatang (Goyal et al., 2014).

5. Contoh dan studi kasus

Dengan mempertimbangkan keselamatan penumpang mobil, penting untuk mengembangkan material berstruktur nano yang dapat menawarkan kekuatan tinggi untuk menahan benturan intensitas tinggi saat terjadi tabrakan. Ringan juga akan menyebabkan berkurangnya konsumsi bahan bakar dan dengan demikian penghematan dalam pengoperasian (S. Sathiya, dan R. Anitha.,2020)

Contoh pada bodi kendaraan :

- Sebuah studi oleh perusahaan otomotif besar menguji panel bodi kendaraan yang terbuat dari resin epoksi yang diperkuat dengan CNT.

Panel berbasis CNT menunjukkan peningkatan kekuatan hingga 50% dibandingkan dengan panel komposit konvensional tanpa CNT, serta pengurangan berat sekitar 20%. Ini menghasilkan kendaraan yang lebih ringan dan lebih hemat bahan bakar tanpa mengorbankan kekuatan dan keamanan.

6. Prospek masa depan

Pada prospek masa depan diharapkan penggunaan material nano komposit ini bisa menekan penggunaan biji besi dan sejenisnya, pada lain hal pun penggunaan material ini dapat memangkas beban komponen juga biaya produksi yang tidak lagi menggunakan alat press hidrolis daya tekan tinggi. Seperti pada pengaplikasian, pada material ini harus terus di kembangkan dengan mengimprove dari cara produksinya dan metalurginya karna pada saat laporan ini di buat, perkembangan penggunaan material ini masih dalam RnD jadi pada beberapa pabrik otomotif belum memproduksinya secara massal. Di satu sisilainnya mengapa pengembangan material ini tidak pesat dikarenakan biaya produksi yang mahal.

Pada Gambar 17 salah contoh pabrik motor asal eropa yaitu ducati yang menerapkan lengan ayun yang bermaterial karbon komposite pada motor balapnya. Dan pabrik mobil asal eropa yaitu mclaren yang membuat chasis dan body dari gabungan material karbon komposite dan CNT pada versi ultimate seri 720s seperti pada gambar 18 dan 19.



Gambar 17. *Swingarm carbon* (AutoNetmagz, 2017)



Gambar 18. Chassis mclaren carbon (AutoNetmagz, 2017)



Gambar 19. Body carbon mclaren carbon (AutoNetmagz, 2017)

KESIMPULAN

Dengan penggunaan nano komposit pada desain bodi kendaraan akan meningkatkan kekuatan material nya dan meringankan berat tanpa mengorbankan kekuatan struktur. Penggunaan nano komposit akan meningkatkan ketahanan terhadap korosi, degradasi material serta memparpanjang umur pakai bodi kendaraan. Meskipun biaya pemeliharaan awal terbilang lebih tinggi namun ketahanan dan umur panjang menggunakan nanokomposit akan mengurangi biaya pemeliharaan dan penggantian part bodi selanjutnya. Namun penggunaan nanokomposit pada bodi kendaraan memiliki beberapa tantangan dan batasan nya seringkali memerlukan peralatan khusus. Hal ini akan meningkatkan biaya produksi terutama memenuhi permintaan volume tinggi di industri otomotif. Meskipun nano komposit meningkatkan kekuatan ternyata masih belum cukup untuk menggantikan logam tradisional dalam aplikasi bertekanan tinggi, selain itu nano komposit sensitif terhadap suhu yang tinggi sehingga membatasi pengguna nya seperti area yang terpapar panas ekstrim.

REFERENSI

- Chowdhury, M. I. S., Autul, Y. S., Rahman, S., & Hoque, M. E. (2022). 11—Polymer nanocomposites for automotive applications. In M. E. Hoque, K. Ramar, & A. Sharif (Eds.), *Advanced Polymer Nanocomposites* (pp. 267–317). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824492-0.00010-6>
- Goyal, R., Sharma, M., & Amberiya, U. K. (2014). Innovative Nano Composite Materials and Applications in Automobiles. *International Journal of Engineering Research*, 3(1).
- Malaki, M., Xu, W., Kasar, A. K., Menezes, P. L., Dieringa, H., Varma, R. S., & Gupta, M. (2019). Advanced Metal Matrix Nanocomposites. *Metals*, 9(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/met9030330>

- Delogu, F., Gorrasi, G., & Sorrentino, A. (2017). Fabrication of polymer nanocomposites via ball milling: Present status and future perspectives. *Progress in Materials Science*, 86, 75–126. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2017.01.003>
- Elmarakbi, A. (2013). *Advanced Composite Materials for Automotive Applications: Structural Integrity and Crashworthiness*. John Wiley & Sons.
- Hassan, T., Salam, A., Khan, A., Khan, S. U., Khanzada, H., Wasim, M., Khan, M. Q., & Kim, I. S. (2021b). Functional nanocomposites and their potential applications: A review. *Journal of Polymer Research*, 28(2), 36. <https://doi.org/10.1007/s10965-021-02408-1>
- Khan, F., Hossain, N., Mim, J. J., Rahman, S. M., Iqbal, Md. J., Billah, M., & Chowdhury, M. A. (2024). Advances of composite materials in automobile applications – A review. *Journal of Engineering Research*. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.02.017>
- Kumar, A., Jayeoye, T. J., Mohite, P., Singh, S., Rajput, T., Munde, S., Eze, F. N., Chidrawar, V. R., Puri, A., Prajapati, B. G., & Parihar, A. (2024). Sustainable and consumer-centric nanotechnology-based materials: An update on the multifaceted applications, risks and tremendous opportunities. *Nano-Structures & Nano-Objects*, 38, 101148. <https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2024.101148>
- Lu, G., & Yu, T. X. (2003). *Energy Absorption of Structures and Materials*. Elsevier.
- Sandra, V., Stojanovic, B., Ivanović, L., Miladinovic, S., & Milojević, S. (2019). APPLICATION OF NANOCOMPOSITES IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY. *Mobility and Vehicle Mechanics (MVM)*. <https://doi.org/10.24874/mvm.2019.45.03.05>
- Merancang Material Karbon Nanotube Rapi dan Komposit dengan Karakterisasi Porosimetrik. (n.d.). Retrieved October 30, 2024, from <https://id.mfgrobots.com/material/nanomaterials/1006011323.html>
- Moussa, S. I., Mekawy, Z., Dakroury, G., Mousa, A., & Allan, K. (2022). Linear and Non Linear Recognition for the Sorption of ^{60}Co and $^{152+154}\text{Eu}$ Radionuclides onto Bio CuO Nanocomposite. *Journal of Polymers and the Environment*, 31. <https://doi.org/10.1007/s10924-022-02735-4>
- Porsche Mission R, Konsep Mobil Balap Listrik Masa Depan Berteknologi Canggih. (n.d.). Soundandmachine.Com. Retrieved October 30, 2024, from <https://www.soundandmachine.com/artikel/22366/Porsche-Mission-R-Konsep-Mobil-Balap-Listrik-Masa-Depan-Berteknologi-Canggih/>
- <https://doi.org/10.1038/s41598-022-25667-4>
- <http://repository.widyatama.ac.id/xmlui/handle/123456789/15260>
- <http://repository.widyatama.ac.id/xmlui/handle/123456789/15260>
- <http://repository.widyatama.ac.id/xmlui/handle/123456789/15260>
- <http://repository.widyatama.ac.id/xmlui/handle/123456789/15260>
- Glucose Bio Sensor Base Nanocomposite Graphene/Tio₂—*IOPscience*. (n.d.). Retrieved December 4, 2024, from <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1818/1/012038>
- Goyal, R., Sharma, M., & Amberiya, U. K. (2014). Innovative Nano Composite Materials and Applications in Automobiles. *International Journal of Engineering Research*, 3(1).
- Jamalpour, S., Ghaffarian, S. R., & Jangizehi, A. (2018). Effect of matrix–nanoparticle supramolecular interactions on the morphology and mechanical properties of polymer foams. *Polymer International*, 67(7), 859–867. <https://doi.org/10.1002/pi.5536>
- Just a moment... (n.d.). Retrieved December 18, 2024, from https://www.researchgate.net/profile/Anak-Gunawan/publication/381434035_Fisika_Modern_Misteri_Alam_Semesta_dan_Teori_Keajaiban_Quantum_Penulis/links/666d338ea54c5f0b946602e8/Fisika-Modern-

- ◆ [Misteri-Alam-Semesta-dan-Teori-Keajaiban-Quantum-Penulis.pdf?__cf_chl_tk=xgmkkmszjkAtKC8JEOI2V84NWxW8Qn8yqZtcajWTdFw-1734493055-1.0.1.1-2BrjHmueYKmwmv8p5UcGJ9HAPVzaMdN_0CTeAYzm.1M](#)
- Kumar, S., & Gupta, A. (2021). Preparation and mechanical properties of Nanoclay-MWCNT/Epoxy hybrid nanocomposites. *Journal of Applied Research in Technology & Engineering*, 2(1), Article 1. <https://doi.org/10.4995/jarte.2021.14239>
- Manurung, P. G. (n.d.). *Nanomaterial: Tinjauan Ilmu Masa Kini*. Penerbit Andi.
- Nuryadin, B. W. (2020). *Pengantar Fisika Nanomaterial: Teori dan Aplikasi* [Teaching Resource]. UIN Sunan Gunung Djati Bandung. <https://etheses.uinsgd.ac.id/31575/>
- Okday, B., Kayaman-Apohan, N., & Erdem-Kuruca, S. (2014). Fabrication of nanofiber mats from electrospinning of functionalized polymers. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 64(1), 012011. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/64/1/012011>
- P, D., Laad, M., Sangita, & Singh, R. (2019). An overview of use of nanoadditives in enhancing the properties of pavement construction binder bitumen. *World Journal of Engineering*, 16(1), 132–137. <https://doi.org/10.1108/WJE-04-2018-0136>
- Preparation and mechanical properties of Nanoclay-MWCNT/Epoxy hybrid nanocomposites*. (n.d.). ResearchGate. Retrieved December 4, 2024, from
- Kumar, Sunil. & Gupta, Arun. (2021). PREPARATION AND MECHANICAL PROPERTIES OF NANOCCLAY MWCNT/EPOXY HYBRID NANOCOMPOSITES. *Journal of Applied Research in Technology & Engineering*.
- Review Nanopartikel ZnO :Metode Sintesis Nanopartikel dan Aplikasi dalam Dunia Kesehatan*. (n.d.). ResearchGate. Retrieved December 4, 2024, from https://www.researchgate.net/publication/351990932_Review_Nanopartikel_ZnO_Metode_Sintesis_Nanopartikel_dan_Aplikasi_dalam_Dunia_Kesehatan
- Siburian, R., Sihotang, H., Raja, S. L., Supeno, M., & Simanjuntak, C. (2018). New Route to Synthesize of Graphene Nano Sheets. *Oriental Journal of Chemistry*, 34(1), 182–187.
- Sintered Metal Filter Manufacturer | HENGKO*. (n.d.). Retrieved December 18, 2024, from <https://www.hengko.com/sintered-metal-filter-manufacturers/>
- Song, Y., Jiang, Y.-B., Wang, H., Pena, D. A., Qiu, Y., Miller, J. E., & Shelnett, J. A. (2006). Platinum nanodendrites. *Nanotechnology*, 17(5), 1300. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/17/5/02>
- Tayel, S. A., Abu El-Maaty, A. E., Mostafa, E. M., & Elsaadawi, Y. F. (2022). Enhance the performance of photovoltaic solar panels by a self-cleaning and hydrophobic nanocoating. *Scientific Reports*, 12(1), 21236. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-25667-4>
- Waliyudin, T. (2022). *REPAIR PASSENGER SERVICE UNIT (PSU) PESAWAT HERCULES C-130 A 1341 DENGAN MENGGUNAKAN METODE HAND LAY UP DI PT. PUTRA BANGSA SEJATI* [Program Studi Teknik Mesin, Universitas Widyatama]. <http://repository.widyatama.ac.id/xmlui/handle/123456789/15260>
- Sulaiman, M., Aziza, Y., & Rahmat, M. H. (2018). Pengembangan Nanokomposit Termoplastik yang Diperkuat Serat Kenaf pada Bumper Mobil. *Proton: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Mesin*, 10(2), 1–6. <https://doi.org/10.31328/jp.v10i2.959>

