

APLIKASI NANOCOATING PADA BODY OTOMOTIF UNTUK MENINGKATKAN PERFORMA DAN DAYA TARIK VISUAL

Muhammad Erlangga Saputra¹⁾, Ferdiansyah²⁾, Rafi Aqso Suganda³⁾, Ade Arif⁴⁾, Riny Yolanda Parapat⁵⁾

^{1), 2), 3), 4)}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Institut Teknologi Nasional

⁵⁾Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Institut Teknologi Nasional

Jl. PHH.H. Mustopa No.23 - Bandung

Email: rinyyolanda@itenas.ac.id

Abstrak

Aplikasi nanocoating pada body otomotif telah menjadi solusi inovatif untuk meningkatkan performa dan daya tarik visual kendaraan. Nanocoating, yang terdiri dari partikel nanometer, memberikan lapisan pelindung yang sangat efisien terhadap korosi, goresan, dan kotoran, serta meningkatkan ketahanan terhadap cuaca ekstrem. Selain itu, sifat hidrofobik dari nanocoating memungkinkan air dan kotoran untuk mudah mengalir, menjaga kebersihan dan penampilan kendaraan. Penelitian ini mengeksplorasi efektivitas nanocoating dalam meningkatkan daya tarik visual melalui peningkatan kilau dan warna yang lebih cerah, serta dampaknya terhadap performa, termasuk pengurangan gesekan dan peningkatan efisiensi bahan bakar. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan nanocoating tidak hanya memperpanjang umur kendaraan, tetapi juga memberikan nilai tambah estetis yang signifikan. Dengan demikian, nanocoating merupakan alternatif yang menjanjikan untuk industri otomotif dalam menghadapi tantangan lingkungan dan tuntutan konsumen akan kendaraan yang lebih menarik dan tahan lama.

Sejarah Artikel

Submitted: 31 Desember 2024

Accepted: 7 Januari 2025

Published: 8 Januari 2025

Kata Kunci

1. Pendahuluan

Teknologi nano adalah cabang ilmu pengetahuan dan teknik yang melibatkan manipulasi dan pengendalian material pada skala nanometer (1–100 nanometer). Pada skala ini, sifat-sifat material dapat berbeda secara signifikan dibandingkan dengan skala makroskopiknya. Teknologi ini memanfaatkan fenomena fisik, kimia, dan biologi yang unik di skala nano untuk menciptakan material, perangkat, dan sistem dengan fungsi yang baru dan inovatif.

Teknologi nano sangat terkait dengan dunia quantum karena pada skala tersebut, hukum-hukum fisika klasik tidak lagi cukup untuk menjelaskan perilaku partikel. Dunia nano mencakup objek dengan ukuran sekitar 1 hingga 100 nanometer, seperti molekul, atom, dan partikel subatomik. Pada skala sekecil ini, efek quantum menjadi dominan dan menentukan bagaimana partikel berinteraksi dan berperilaku.

Sensor berbasis teknologi nano yang memiliki sensitivitas tinggi untuk Perkembangan teknologi dalam industri otomotif terus mengalami inovasi, baik dari segi performa mesin maupun aspek estetika kendaraan. Salah satu inovasi terbaru yang menarik perhatian adalah penggunaan nano-coating pada body otomotif. Nano-coating adalah lapisan tipis yang dibuat dari material nano, yang menawarkan berbagai keunggulan, termasuk perlindungan yang lebih baik terhadap kerusakan fisik dan kontaminasi (Czerwinski, 2021).

Teknologi nano coating pada body otomotif, seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.1 merupakan teknologi berbasis material nanopartikel yang memberikan perlindungan dan peningkatan performa permukaan kendaraan.



Gambar 2.1 Ilustrasi hasil pengaplikasian nano coating

Seiring dengan meningkatnya kesadaran konsumen akan kualitas dan penampilan kendaraan, produsen otomotif dituntut untuk menyediakan solusi yang tidak hanya fungsional tetapi juga menarik secara visual. Nano-coating dapat meningkatkan daya tarik visual kendaraan melalui efek kilau yang lebih tinggi dan pilihan warna yang lebih beragam. Selain itu, sifat hydrophobic dan oleophobic dari nano-coating membantu menjaga kebersihan permukaan kendaraan, mengurangi frekuensi perawatan dan pencucian.

Manfaat aplikasi nanocoating pada body otomotif, dengan fokus pada peningkatan performa dan daya tarik visual. Melalui analisis mendalam terhadap karakteristik nano-coating dan dampaknya terhadap kendaraan, diharapkan dapat memberikan wawasan yang berharga bagi produsen dan konsumen dalam memilih solusi pelindung yang optimal.

Nano coating adalah teknologi pelapisan yang menggunakan material pada skala nanometer (1-100 nanometer) untuk menciptakan lapisan tipis di permukaan berbagai material. Teknologi ini dapat diaplikasikan pada berbagai bidang, termasuk otomotif, elektronik, dan tekstil, untuk meningkatkan sifat fungsional dan estetika. Prinsip kerja nano coating bekerja berdasarkan prinsip interaksi antara material nano dan permukaan objek yang dilapisi. Material nano memiliki rasio luas permukaan terhadap volume yang tinggi, sehingga memberikan sifat unik seperti perlindungan dari korosi nanocoating dapat mencegah penetrasi air dan bahan kimia, sehingga mengurangi risiko korosi pada logam, ketahanan terhadap goresan lapisan nano memberikan perlindungan tambahan yang mengurangi kerusakan fisik akibat goresan, dan Sifat hydrophobic dan oleophobic nanocoating sering kali memiliki sifat menolak air dan minyak, menjaga kebersihan permukaan dan memudahkan perawatan.

2. Jenis-jenis nanomaterial yang digunakan

Ada Nano coating biasanya menggunakan material berbasis silika, polimer, atau logam yang diolah pada tingkat nano. Beberapa jenis material yang umum digunakan antara lain:

2.1 Nanopartikel silika (SiO_2)

Nanopartikel silika (SiO_2) dengan bentuk bola (spherical) yang sangat seragam. Ukuran partikel berada dalam skala nano hingga mikro (1 μm pada skala gambar), menunjukkan distribusi partikel yang rapat dan terorganisir. Bentuk bola yang halus dan permukaan yang tidak berpori memberikan indikasi bahwa nanopartikel ini kemungkinan dihasilkan melalui metode seperti sol-gel atau emulsi, yang sering digunakan untuk memproduksi silika dengan tingkat keseragaman tinggi. Nanopartikel silika ini memiliki luas permukaan yang besar dan stabilitas termal serta kimia yang baik, menjadikannya material yang ideal untuk berbagai aplikasi teknologi, termasuk nanocoating. <https://web.whatsapp.com/>

Nanopartikel silika memiliki berbagai aplikasi penting dalam nanocoating untuk body otomotif karena sifatnya yang multifungsi. Salah satu kegunaan utamanya adalah dalam menciptakan lapisan pelindung hidrofobik dan anti-kotoran. Ketika nanopartikel silika dimodifikasi dengan senyawa organik (seperti senyawa silan), permukaannya menjadi sangat hidrofobik. Hal ini menyebabkan air dan kotoran tidak dapat menempel pada body kendaraan, mendukung efek self-cleaning yang mempermudah perawatan kendaraan.

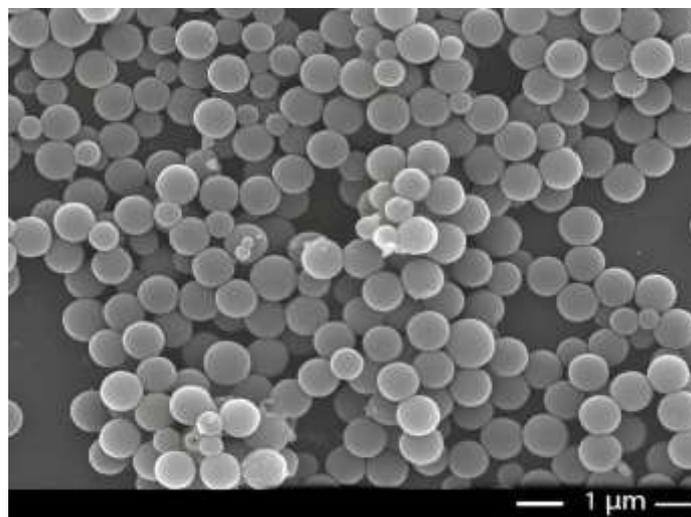
Selain itu, nanopartikel silika juga digunakan untuk meningkatkan ketahanan gores. Ketika dicampurkan ke dalam matriks pelapis, partikel ini bertindak sebagai penguat, memberikan kekuatan mekanis yang lebih tinggi pada lapisan cat atau pelindung. Ini membantu mencegah kerusakan akibat goresan kecil yang sering terjadi pada body kendaraan, menjaga tampilan kendaraan tetap baru dalam jangka waktu yang lebih lama.

Nanopartikel silika memiliki indeks bias yang dapat disesuaikan, yang menjadikannya berguna untuk meningkatkan sifat optik lapisan cat kendaraan, seperti memberikan kilauan atau efek warna tertentu. Selain itu, stabilitas termal nanopartikel ini membantu melindungi permukaan kendaraan dari kerusakan akibat paparan suhu tinggi, terutama di bawah sinar matahari langsung.

Meski nanopartikel silika memiliki banyak keunggulan, tantangan utamanya adalah memastikan dispersi yang merata dalam matriks pelapis. Agregasi partikel dapat mengurangi efektivitas lapisan dan menyebabkan permukaan yang tidak rata. Untuk itu, pengembangan teknologi dispersi dan modifikasi permukaan partikel terus dilakukan. Dengan penelitian yang berkelanjutan, nanopartikel silika memiliki potensi untuk menjadi salah satu material utama dalam nano coating

otomotif, memberikan perlindungan unggul sekaligus meningkatkan estetika kendaraan.

Pada gambar 2.1 tersebut menunjukkan hasil SEM nanopartikel silika (SiO_2) dengan pembesaran tinggi. nanopartikel silika terlihat sebagai butiran bulat yang terdistribusi merata, dengan ukuran yang bervariasi namun umumnya berada dalam rentang nanopartikel. Struktur bulat dan halus ini menunjukkan sifat morfologi silika yang khas, yang dapat berkontribusi pada sifat-sifat fisis dan kimianya, seperti stabilitas dan reaktivitas. Skala yang ditunjukkan adalah 1 mikrometer, memungkinkan penilaian yang lebih tepat mengenai ukuran partikel. Citra ini penting untuk memahami aplikasi silika dalam berbagai bidang, termasuk sebagai bahan pengisi, adsorben, dan dalam pembuatan material komposit, di mana ukuran dan bentuk partikel dapat sangat mempengaruhi kinerja dan sifat akhir produk.



Gambar 2.1 Hasil karakterisasi dengan SEM dari nanopartikel SiO_2 (Geetha Devi, 2016)

2.2 Nanopartikel titanium dioksida (TiO_2)

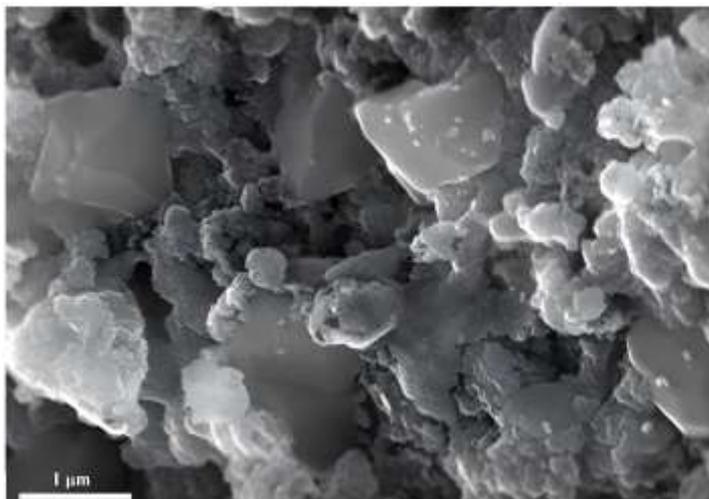
Nanopartikel titanium dioksida (TiO_2) adalah bentuk titanium dioksida yang memiliki ukuran partikel dalam rentang nanometer. Ukuran partikel berada dalam skala nano hingga mikro (1 μm pada skala gambar) nanopartikel ini dikenal karena sifatnya yang unik, termasuk kemampuan untuk menyerap sinar UV dan aktivitas fotokatalitik. TiO_2 sering digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari kosmetik hingga bahan bangunan, berkat sifatnya yang aman dan efektif.

Salah satu keunggulan utama dari nanopartikel TiO_2 adalah kemampuannya untuk menyerap radiasi ultraviolet (UV), yang dapat melindungi permukaan dari kerusakan akibat sinar matahari. Selain itu, TiO_2 memiliki sifat fotokatalitik yang memungkinkan material ini untuk mempercepat reaksi kimia di bawah pencahayaan, berfungsi sebagai agen pembersih dan penghilang bau. Dengan luas permukaan yang besar dan reaktivitas tinggi, nanopartikel ini juga dapat meningkatkan ketahanan dan daya tahan material yang dilapisi.

Dalam konteks nano coating untuk bodi otomotif, nanopartikel TiO_2 memainkan peran penting dalam memberikan perlindungan tambahan. Ketika diterapkan sebagai lapisan pelindung, TiO_2 dapat melindungi bodi kendaraan dari goresan, korosi, dan kerusakan akibat paparan unsur lingkungan seperti air dan garam. Lapisan nano coating berbasis TiO_2 tidak hanya memperpanjang umur bodi kendaraan tetapi juga menjaga penampilan tetap bersih dan mengkilap.

Selain fungsionalitasnya, penggunaan nanopartikel TiO_2 dalam nano coating juga memberikan manfaat estetika. Lapisan ini dapat menciptakan tampilan yang lebih halus dan mengkilap pada permukaan kendaraan. Sifat fotokatalitik dari TiO_2 juga dapat membantu dalam proses pembersihan; lapisan ini dapat memecah kotoran dan noda ketika terpapar cahaya, sehingga memudahkan perawatan kendaraan. Dengan semua manfaat ini, nanopartikel titanium dioksida menjadi pilihan yang semakin diminati dalam industri otomotif untuk meningkatkan kualitas dan daya saing produk.

Pada Gambar 2.2 tersebut menunjukkan hasil SEM nanopartikel TiO_2 menunjukkan partikel-partikel dengan bentuk dan ukuran yang beragam. Ada partikel besar dan tidak beraturan, serta partikel kecil dan lebih bulat. Permukaan partikel terlihat kasar dan berpori. Ukuran partikel bervariasi dari skala nanometer hingga mikrometer. Struktur permukaan yang seperti ini memberikan nanopartikel TiO_2 luas permukaan yang besar, sehingga sangat berguna untuk aplikasi seperti katalis dan sensor. Secara keseluruhan, gambar SEM ini memberikan gambaran awal tentang bentuk dan ukuran nanopartikel TiO_2 . Untuk informasi yang lebih detail, dibutuhkan analisis lebih lanjut menggunakan teknik seperti TEM dan XRD.



Gambar 2.2 Hasil karakterisasi dengan SEM dari nanopartikel TiO₂ (Ivan Mironyuk, 2017)

2.3 Nanopartikel aluminium oksida (Al₂O₃)

Nanopartikel aluminium oksida (Al₂O₃), juga dikenal sebagai alumina, merupakan senyawa yang umum digunakan dalam berbagai aplikasi industri berkat sifat fisik dan kimianya yang unggul. Dalam bentuk nanopartikel, aluminium oksida memiliki ukuran partikel berada dalam skala nano hingga mikro (2 μm pada skala gambar), biasanya dalam rentang nanometer, yang memberikan keunggulan dalam meningkatkan kekuatan, ketahanan, dan stabilitas material.

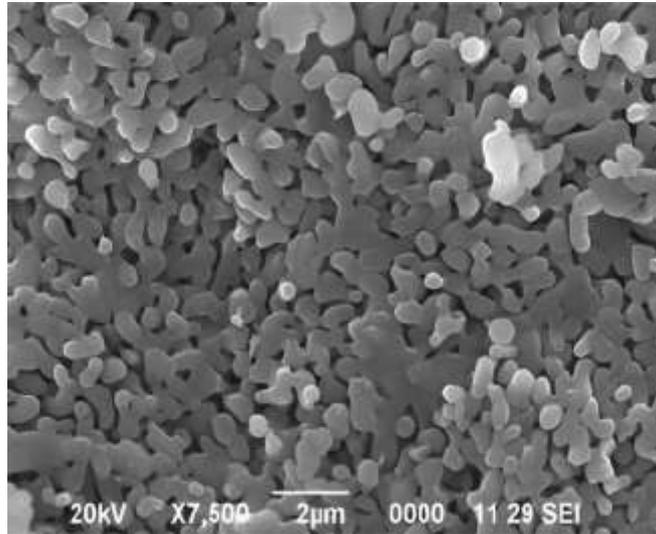
Nanopartikel Al₂O₃ dikenal memiliki sifat mekanis yang sangat baik, termasuk kekuatan yang tinggi dan ketahanan terhadap aus. Selain itu, alumina juga memiliki sifat termal yang unggul, sehingga dapat bertahan pada suhu tinggi tanpa mengalami degradasi. Sifat ini menjadikannya ideal untuk aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap panas dan gesekan. Selain itu, nanopartikel Al₂O₃ juga bersifat inert, yang berarti tidak bereaksi dengan banyak bahan kimia, sehingga meningkatkan ketahanan korosi.

Dalam konteks nano coating untuk bodi otomotif, nanopartikel aluminium oksida memainkan peran penting dalam memberikan perlindungan ekstra. Ketika digunakan dalam formulasi coating, Al₂O₃ dapat meningkatkan ketahanan terhadap goresan, benturan, dan kerusakan akibat lingkungan. Lapisan yang dihasilkan tidak hanya melindungi bodi kendaraan tetapi juga meningkatkan daya tahannya terhadap berbagai kondisi cuaca, sehingga memperpanjang umur pemakaian kendaraan.

Nanopartikel Al₂O₃ juga memberikan manfaat estetika pada bodi otomotif. Lapisan nanocoating yang mengandung alumina dapat menciptakan permukaan yang halus dan mengkilap, meningkatkan daya tarik visual kendaraan. Selain itu, nanopartikel ini membantu dalam memudahkan proses pembersihan. Permukaan yang dilapisi dengan Al₂O₃ cenderung lebih mudah dibersihkan dan memiliki sifat hidrofobik, sehingga air dan kotoran tidak mudah menempel. Dengan semua keunggulan ini, nanopartikel aluminium oksida menjadi pilihan yang semakin populer dalam industri otomotif untuk meningkatkan kualitas dan daya saing produk.

Pada Gambar 2.3 tersebut menunjukkan hasil SEM nanopartikel aluminium oksida (Al₂O₃), nanopartikel terlihat sebagai struktur yang beragam, dengan bentuk dan ukuran yang bervariasi. Permukaan partikel tampak kasar dan tidak merata, yang menunjukkan sifat morfologi kompleks dari aluminium oksida. Dengan pembesaran 7.500 kali dan skala 2 mikrometer, memberikan wawasan mendalam tentang distribusi ukuran dan bentuk partikel, yang penting untuk memahami aplikasi potensialnya dalam berbagai bidang,

seperti katalisis, penyimpanan energi, dan bahan komposit. Citra ini juga memungkinkan analisis lebih lanjut mengenai sifat fisik dan kimia dari nanopartikel yang dapat mempengaruhi kinerjanya dalam aplikasi industri.



Gambar 1 Hasil karakterisasi dengan SEM dari nanopartikel Al_2O_3 (Lajapathi Chellappan NEHRU, 2016)

2.4 Nanopartikel zink oksida (ZnO)

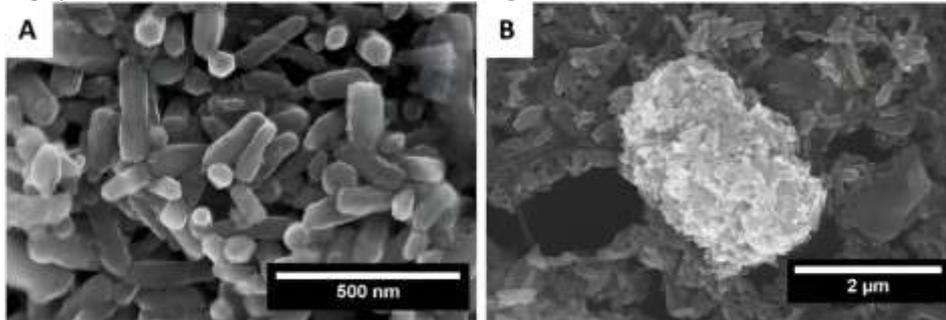
Nanopartikel zinc oksida (ZnO) adalah senyawa anorganik yang sering digunakan dalam berbagai aplikasi berkat sifat fisik dan kimianya yang unggul. Dalam bentuk nanopartikel, ZnO memiliki Ukuran partikel berada dalam skala nano hingga mikro, biasanya dalam rentang nanometer, yang memberikan keunggulan dalam meningkatkan kinerja dan fungsi material. Zinc oksida dikenal memiliki sifat semikonduktor dan transparansi yang baik terhadap cahaya, yang menjadikannya ideal untuk berbagai aplikasi, termasuk dalam industri otomotif.

Salah satu keunggulan utama dari nanopartikel ZnO adalah kemampuannya untuk menyerap radiasi ultraviolet (UV), sehingga dapat melindungi permukaan dari kerusakan akibat sinar matahari. Selain itu, ZnO juga memiliki sifat antibakteri dan antimikroba, yang membantu mencegah pertumbuhan mikroorganisme pada permukaan yang dilapisi. Dengan sifat ini, nanopartikel zinc oksida tidak hanya meningkatkan ketahanan material, tetapi juga menjaga kebersihan dan kesehatan permukaan.

Dalam konteks nano coating untuk bodi otomotif, nanopartikel ZnO berperan penting dalam memberikan perlindungan tambahan. Ketika diterapkan sebagai lapisan pelindung, ZnO dapat melindungi bodi kendaraan dari goresan, korosi, dan kerusakan akibat paparan unsur lingkungan seperti air dan garam. Lapisan nano coating berbasis ZnO tidak hanya memperpanjang umur bodi kendaraan tetapi juga menjaga penampilan tetap bersih dan terjaga.

Selain perlindungan, nanopartikel zinc oksida juga memberikan manfaat estetika pada bodi otomotif. Lapisan nano coating yang mengandung ZnO dapat menciptakan tampilan yang lebih halus dan berkilau, meningkatkan daya tarik visual kendaraan. Sifat hidrofobik dari ZnO juga membantu dalam mengusir air dan kotoran, sehingga permukaan lebih mudah dibersihkan. Dengan semua keunggulan ini, nanopartikel zinc oksida menjadi pilihan yang semakin diminati dalam industri otomotif untuk meningkatkan kualitas dan daya saing produk.

Pada Gambar 2.4 tersebut menunjukkan hasil SEM nanopartikel zink oksida (ZnO) Gambar A: Menunjukkan kumpulan nanopartikel ZnO yang memiliki bentuk batang (rod-like) yang cukup seragam. Ukuran partikelnya relatif kecil, sekitar beberapa ratus nanometer, seperti yang ditunjukkan oleh skala 500 nm. Bentuk batang ini sering kali diamati pada nanopartikel ZnO dan dapat memberikan sifat-sifat unik seperti rasio aspek yang tinggi, yang dapat mempengaruhi sifat optik dan elektroniknya. Gambar B: Menampilkan agregasi atau kumpulan nanopartikel ZnO yang lebih besar. Struktur agregatnya terlihat seperti bunga atau kelompok bunga. Ukuran agregat ini lebih besar dibandingkan partikel individu pada Gambar A, seperti yang ditunjukkan oleh skala 2 μm . Struktur agregat ini dapat terbentuk karena adanya gaya interaksi antara partikel ZnO, seperti gaya van der Waals atau ikatan hidrogen.



Gambar 2.4 Hasil karakterisasi dengan SEM dari nanopartikel ZnO (mfgrobots, 2020)

2.5 Grafena dan oksida grafena

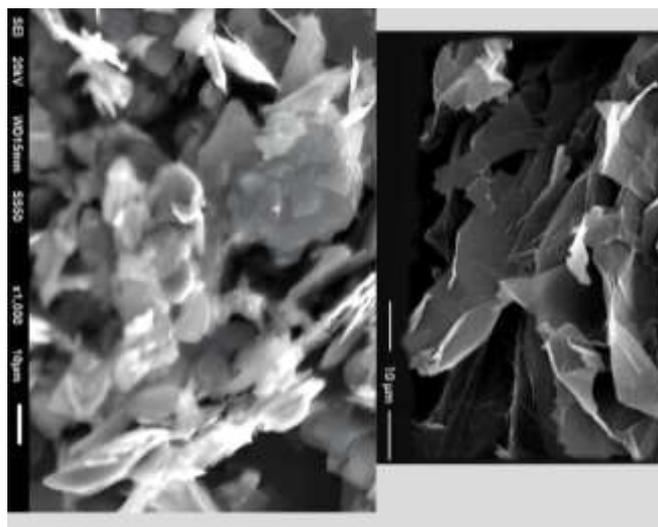
Graphene adalah material yang terdiri dari satu lapisan atom karbon yang tersusun dalam struktur dua dimensi berbentuk kisi. Dengan ukuran partikel yang berada pada skala nano hingga mikro (sekitar 10 μm dalam gambar), graphene memiliki kekuatan yang luar biasa—lebih kuat dari baja meskipun sangat ringan. Selain itu, material ini memiliki konduktivitas listrik dan termal yang sangat baik, menjadikannya bahan yang ideal untuk berbagai aplikasi, mulai dari elektronik hingga komposit. Dalam citra mikroskopis, lapisan-lapisan graphene terlihat saling tumpang tindih, menggambarkan kompleksitas dan sifat unik material ini.

Salah satu penggunaan inovatif graphene adalah dalam pengembangan nano coating untuk body mobil. Nano coating merupakan lapisan pelindung tipis yang diaplikasikan pada permukaan kendaraan untuk memperkuat ketahanan dan meningkatkan daya tarik visual. Dengan penambahan graphene dalam campuran nano coating, kekuatan dan daya tahan lapisan pelindung ini dapat meningkat secara signifikan. Graphene membentuk penghalang yang efektif terhadap kelembaban, bahan kimia, dan faktor lingkungan yang dapat merusak permukaan kendaraan.

Penggunaan nano coating berbasis graphene pada bodi otomotif menawarkan sejumlah manfaat. Pertama, lapisan ini dapat meningkatkan ketahanan terhadap korosi, yang sangat penting dalam memperpanjang umur kendaraan. Selain itu, graphene juga dapat meningkatkan daya tahan terhadap goresan dan benturan, menjaga tampilan kendaraan tetap prima meskipun dalam kondisi penggunaan yang berat. Keunggulan lain adalah kemampuan graphene dalam mengelola panas, yang berkontribusi pada kestabilan suhu komponen otomotif.

Pada gambar 2.5 tersebut menunjukkan hasil SEM nanopartikel grafena dan oksida grafena lembaran-lembaran tipis Struktur utama yang terlihat adalah lembaran-lembaran tipis yang tumpang tindih. Ini adalah karakteristik khas dari material berbasis grafit, termasuk grafena dan oksida grafena. Lembaran-lembaran ini sangat tipis, hanya beberapa atom tebal. Permukaan berkerut Permukaan lembaran-lembaran tersebut terlihat berkerut

dan tidak rata. Ini menunjukkan adanya defek atau ketidaksempurnaan pada struktur kristal, yang sering terjadi pada material 2D seperti grafena. Kerutan ini dapat meningkatkan luas permukaan spesifik material, yang berguna untuk berbagai aplikasi. Agregasi partikel Lembaran-lembaran tipis ini cenderung membentuk agregat atau tumpukan. Hal ini disebabkan oleh gaya antar molekul yang lemah antara lembaran-lembaran tersebut. Agregasi ini dapat mempengaruhi sifat fisik dan kimia dari material. Untuk membedakan antara grafena dan oksida grafena secara pasti berdasarkan gambar SEM saja, agak sulit. Keduanya memiliki struktur dasar yang sama, yaitu lembaran-lembaran tipis karbon. Namun, oksida grafena umumnya memiliki lebih banyak gugus fungsi oksigen pada permukaannya, yang dapat mempengaruhi morfologi dan sifat permukaannya.



Gambar 2.5 Hasil karakterisasi dengan SEM dari nanopartikel grafena dan oksida grafena (Alibaba, 2015)

2.6 Nanopartikel perak (Ag)

Nanopartikel perak (Ag) memiliki permukaan yang kasar dan tidak rata, dengan ukuran partikel yang berada dalam skala nano, antara 200 nm hingga 1 μm , seperti yang terlihat pada gambar. Morfologi ini menunjukkan adanya agregasi partikel nano, yang biasanya terjadi karena gaya van der Waals antar partikel. Pada gambar, distribusi partikel bervariasi di beberapa area; di sebagian area, partikel terlihat lebih padat, sementara di area lainnya lebih terbuka dengan rongga di antaranya. Morfologi dan distribusi ini memberikan luas permukaan yang besar, yang dapat meningkatkan sifat fungsional, seperti aktivitas antimikroba dan ketahanan terhadap korosi.

Nanopartikel perak memiliki berbagai aplikasi penting dalam pengembangan nano coating untuk body mobil. Salah satu sifat utama nanopartikel perak adalah kemampuannya yang kuat dalam melawan mikroorganisme. Ion perak (Ag^+) dapat merusak membran sel mikroorganisme, sehingga lapisan yang mengandung nanopartikel ini membantu menjaga kebersihan permukaan kendaraan, terutama di area yang sering disentuh, seperti pegangan pintu. Selain itu, nanopartikel perak juga berfungsi melindungi kendaraan dari korosi. Dengan membentuk lapisan pelindung, perak mencegah oksidasi logam yang disebabkan oleh paparan lingkungan ekstrem, sehingga memperpanjang umur dan mempertahankan estetika kendaraan.

Nanopartikel perak juga berkontribusi pada sifat self-cleaning dalam nano coating. Ketika digabungkan dengan bahan lain seperti titanium dioksida, nanopartikel ini dapat menciptakan efek hidrofobik atau fotokatalitik, yang memungkinkan kotoran terlepas

hanya dengan bantuan air. Hal ini membuat permukaan body mobil tetap bersih dan mengurangi frekuensi pembersihan. Selain itu, nanopartikel perak memberikan kilau metalik pada lapisan cat kendaraan, meningkatkan daya tarik visualnya.

Meski menjanjikan, penggunaan nanopartikel perak dalam nanocoating juga menghadapi beberapa tantangan. Stabilitas partikel dalam matriks pelapis sering menjadi masalah, selain biaya produksi yang tinggi dan potensi dampak lingkungan akibat pelepasan nanopartikel. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan penggunaannya. Dengan adanya inovasi yang terus berkembang, aplikasi nano coating berbasis perak dapat semakin mendukung perkembangan industri otomotif, baik dari segi fungsionalitas, estetika, maupun keberlanjutan.

Pada Gambar 2.6 tersebut menunjukkan hasil SEM nanopartikel perak Ag. Agregasi partikel dari keempat gambar, terlihat jelas bahwa nanopartikel perak cenderung membentuk agregat atau kumpulan partikel. Hal ini menunjukkan adanya gaya tarik-menarik antara partikel perak, seperti gaya van der Waals. Agregasi ini dapat mempengaruhi sifat fisik dan kimia dari nanopartikel, seperti luas permukaan spesifik dan reaktivitas. Bentuk partikel bentuk partikel perak yang dihasilkan beragam, mulai dari bentuk agak bulat hingga bentuk yang lebih tidak beraturan. Variasi bentuk ini mungkin dipengaruhi oleh kondisi sintesis, seperti konsentrasi prekursor, suhu, dan waktu reaksi. ukuran Partikel ukuran partikel perak yang dihasilkan juga bervariasi, dengan beberapa partikel yang berukuran lebih besar dari yang lain. Perbedaan ukuran ini dapat dilihat dari skala yang tertera pada masing-masing gambar, yaitu 200 nm dan 1 μm . Ukuran partikel yang kecil adalah karakteristik khas dari nanopartikel dan dapat memberikan sifat-sifat unik, seperti efek ukuran kuantum.

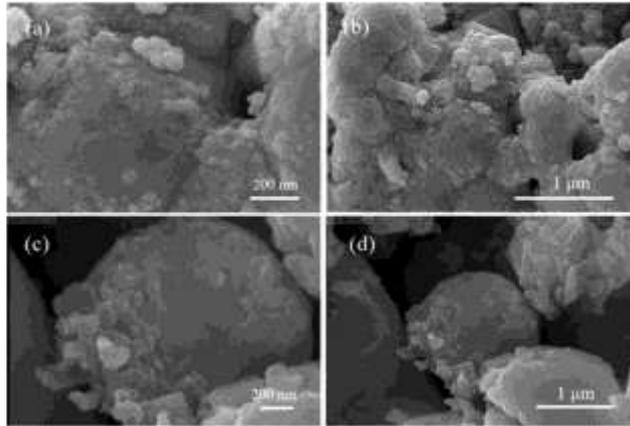
Pada Gambar 2.6 Hasil karakterisasi dengan SEM dari nanopartikel Ag (Mojgan Goudarzi) :

Pada Gambar 2.6 (a), pada skala 200 nm, gambar ini menunjukkan morfologi permukaan nanopartikel dengan detail yang sangat halus. Nanopartikel terlihat memiliki tekstur granular dan cenderung membentuk aglomerasi (pengelompokan partikel kecil). Struktur ini menunjukkan bahwa partikel memiliki ukuran di kisaran nanometer.

Pada Gambar 2.6 (b), pada skala 1 μm , ini memperlihatkan aglomerasi nanopartikel dengan lebih jelas. Nanopartikel saling berinteraksi membentuk kumpulan partikel besar. Permukaan tampak tidak rata dengan banyak partikel kecil menempel pada partikel yang lebih besar.

Pada Gambar 2.6 (c), pada skala 200 nm, detail individu darinanopartikel lebih terlihat. Partikel menunjukkan morfologi bulat atau sedikit tidak beraturan dengan struktur permukaan kasar. Ini konsisten dengan karakteristik nanopartikel yang disintesis menggunakan metode tertentu seperti reduksi kimia.

Pada Gambar 2.6 (d), pada skala 1 μm , gambar ini memperlihatkan nanopartikel Ag yang membentuk aglomerasi lebih besar. Tampaknya, struktur partikel memiliki distribusi ukuran yang tidak seragam, di mana beberapa partikel lebih besar dan beberapa lebih kecil.



Gambar 2.6 Hasil karakterisasi dengan SEM dari nanopartikel Ag (Mojgan Goudarzi, 2016)

2.7 Nanopartikel carbon nanotubes (CNTs)

Carbon Nanotubes (CNTs), yaitu tabung-tabung nano yang berbentuk panjang, fleksibel, dan berliku-liku dengan diameter dalam skala nano ($1\ \mu\text{m}$ pada skala gambar). CNTs pada gambar (a), (b), dan (c) tampak membentuk jaringan kompleks yang saling berhubungan, sementara pada gambar (d) terlihat distribusi CNTs yang lebih terorganisir dan menyerupai serat panjang. Struktur ini memberikan luas permukaan yang besar dan sifat mekanis yang unggul, seperti kekuatan tarik tinggi dan elastisitas. Selain itu, sifat konduktivitas listrik dan termal CNTs yang luar biasa membuatnya sangat berguna dalam berbagai aplikasi material maju.

CNTs memiliki peran penting dalam pengembangan nanocoating untuk body otomotif, terutama karena sifat uniknya yang dapat meningkatkan performa material pelapis. Salah satu manfaat utama adalah peningkatan kekuatan mekanis. Ketika CNTs ditambahkan ke matriks pelapis, mereka dapat memperkuat material tersebut, memberikan ketahanan terhadap goresan, tekanan, dan deformasi, sehingga melindungi body kendaraan dari kerusakan fisik.

Selain itu, CNTs memiliki konduktivitas listrik dan termal yang tinggi. Dalam nanocoating otomotif, sifat ini membantu mendistribusikan panas secara merata pada permukaan kendaraan, yang penting untuk mencegah kerusakan akibat suhu ekstrem. Konduktivitas listrik juga dapat digunakan untuk membuat body kendaraan antistatis, yang berguna dalam mengurangi penumpukan debu dan meningkatkan efisiensi energi, terutama pada kendaraan listrik.

CNTs dapat meningkatkan ketahanan korosi pada nanocoating. Jaringan tabung nano ini mampu menciptakan lapisan pelindung yang mencegah penetrasi air, oksigen, atau bahan kimia korosif ke lapisan logam di bawahnya. Kombinasi ini juga memungkinkan pelapis menjadi lebih hidrofobik, membuat air dan kotoran sulit menempel pada permukaan kendaraan. Hal ini mendukung efek self-cleaning yang menjaga kebersihan dan estetika kendaraan.

Meskipun CNTs memiliki banyak keunggulan, tantangan utamanya adalah memastikan dispersi yang merata dalam matriks pelapis. Agregasi CNTs dapat mengurangi performa material secara keseluruhan. Biaya produksi yang relatif tinggi juga menjadi penghalang dalam penggunaan komersial secara luas. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan teknologi manufaktur CNTs agar lebih ekonomis dan memastikan kompatibilitas dengan berbagai bahan pelapis. Dengan mengatasi tantangan ini, CNTs dapat menjadi komponen kunci dalam nanocoating otomotif yang lebih tahan lama, efisien, dan inovatif.

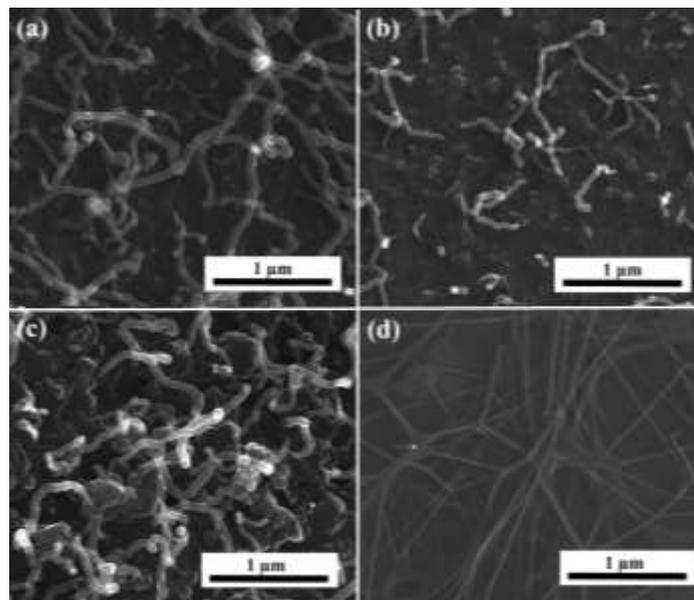
Pada Gambar 2.7 tersebut menunjukkan hasil SEM nanopartikel carbon nanotubes (CNTs) :

Gambar 2.7 (a), terlihat bahwa Carbon Nanotubes (CNTs) membentuk jaringan yang kompleks dan saling berhubungan. Struktur ini dihasilkan dari susunan CNTs yang berkeluk-luk dan fleksibel, menciptakan ikatan antara tabung-tabung nano. Jaringan kompleks ini memberikan CNTs sifat mekanis yang unik, termasuk kemampuan menahan tekanan eksternal dan ketahanan terhadap deformasi. Selain itu, struktur ini meningkatkan stabilitas material secara keseluruhan, menjadikannya ideal untuk aplikasi seperti membran filtrasi dan penguatan komposit.

Gambar 2.7 (b) menunjukkan karakteristik fleksibilitas CNTs yang memungkinkan mereka membentuk konfigurasi yang tidak teratur namun tetap saling terikat. Fleksibilitas ini memungkinkan CNTs untuk beradaptasi dengan berbagai lingkungan dan tekanan fisik tanpa kehilangan integritas strukturalnya. Dalam aplikasi praktis, sifat ini memungkinkan CNTs digunakan sebagai bahan dasar untuk sensor, bahan perekat konduktif, atau bahkan perangkat penyerap energi.

Gambar 2.7 (c) menampilkan distribusi CNTs yang membentuk struktur yang sangat padat dengan konektivitas yang tinggi. Kepadatan ini memberikan CNTs sifat mekanis yang unggul, termasuk kekuatan tarik yang luar biasa. Selain itu, konektivitas tinggi dalam jaringan ini memungkinkan konduktivitas listrik dan termal yang optimal. Hal ini menjadikan CNTs pilihan ideal untuk aplikasi dalam perangkat elektronik, seperti baterai, kapasitor super, dan pemrosesan energi.

Gambar 2.7 (d), CNTs tampak membentuk struktur yang lebih terorganisir dan menyerupai serat panjang. Konfigurasi ini meningkatkan arah konduksi listrik dan termal, serta memberikan stabilitas mekanis yang lebih tinggi dibandingkan struktur acak pada gambar sebelumnya. Struktur serat panjang ini cocok untuk aplikasi seperti kabel konduktif ringan, material penguatan untuk pesawat terbang, atau komponen elektronik fleksibel. Organisasi yang teratur juga memungkinkan integrasi lebih baik dalam sistem mikroelektronik.



Gambar 2.7 Hasil karakterisasi dengan SEM dari nanopartikel CNTs (Piotr Kamedulski, 2020).

3. Proses Pembuatan

3.1 Identifikasi nanomaterial dan fungsinya

Nanocoating dibuat untuk meningkatkan sifat pelindung permukaan otomotif, seperti ketahanan terhadap goresan, air, korosi, dan sinar UV. Beberapa nanomaterial yang umum digunakan meliputi Nano Silika (SiO_2) yang bersifat hidrofobik, Titanium Dioksida (TiO_2) dengan kemampuan self-cleaning dan fotokatalitik, serta Aluminium Oksida (Al_2O_3) yang memberikan ketahanan abrasi. Penelitian tentang nanomaterial ini telah dilakukan oleh berbagai ilmuwan, seperti Akira Fujishima yang memelopori studi fotokatalis TiO_2 . Selain itu, Zinc Oxide (ZnO) banyak digunakan untuk perlindungan UV, sementara Silver Nanoparticles (Ag) menawarkan sifat antibakteri, yang telah dikembangkan oleh ilmuwan seperti Ravindra Pratap Singh.

Material canggih lainnya, seperti Carbon Nanotubes (CNTs), ditemukan oleh Sumio Iijima pada 1991, dan Graphene, dengan sifat kekuatan tinggi dan konduktivitas yang luar biasa, telah diterapkan secara luas di industri otomotif. Identifikasi dan pemilihan material ini memungkinkan pengembangan pelapis yang memenuhi kebutuhan spesifik, baik untuk estetika maupun ketahanan. Perusahaan seperti BASF dan Toyota telah memainkan peran besar dalam mengadopsi nanomaterial ini untuk formulasi pelapis otomotif.

3.2 Sintesis dan dispersi nanomaterial

Proses awal pembuatan nanocoating adalah sintesis dan dispersi nanomaterial untuk memastikan distribusi partikel yang seragam. Metode sol-gel digunakan untuk menghasilkan nanopartikel seperti SiO_2 dan TiO_2 , yang diperkenalkan oleh K. C. Walter. Untuk memastikan nanopartikel tidak menggumpal, ultrasonikasi digunakan, sering kali dibantu dengan surfaktan seperti SDS atau Triton X-100. Teknik ini banyak diterapkan oleh tim riset di Fraunhofer Institute dan digunakan oleh BASF dalam produksi massal nanocoating.

Setelah proses sintesis, nanomaterial didispersikan dalam larutan pelarut seperti etanol atau resin berbasis polimer. Campuran ini kemudian distabilkan untuk mencegah aglomerasi partikel selama aplikasi. Dispersi yang baik sangat penting untuk memastikan bahwa pelapis memberikan sifat yang diinginkan secara konsisten di seluruh permukaan otomotif. Penelitian ini terus berkembang dengan kontribusi dari berbagai universitas, seperti MIT dan Stanford University.

3.3 Formulasi dan aplikasi coating

Langkah selanjutnya adalah mencampur nanomaterial dengan binder atau resin untuk membuat formulasi pelapis. Binder seperti akrilik, epoksi, atau poliuretan sering digunakan untuk menciptakan lapisan yang kuat dan fleksibel. Formulasi ini juga dapat mencakup aditif seperti photoinitiator atau agen pengeras untuk meningkatkan daya tahan. Perusahaan seperti PPG Industries dan DuPont telah menjadi pionir dalam menciptakan pelapis berbasis nanoteknologi yang dirancang khusus untuk aplikasi otomotif.

Aplikasi pelapis ini dilakukan menggunakan metode seperti spray coating, dip coating, atau roll coating. Misalnya, Toyota menggunakan teknik semprot untuk memberikan perlindungan seragam pada kendaraan. Setelah aplikasi, pelapis dikeringkan menggunakan metode curing UV atau thermal. Penelitian oleh Cambridge University menunjukkan bahwa curing UV dapat mempercepat pengeringan tanpa mengurangi kualitas pelapis, menjadikannya pilihan utama dalam industri otomotif.

3.4 Uji kinerja dan validasi

Sebelum nanocoating digunakan secara komersial, pengujian dilakukan untuk memastikan efektivitasnya. Uji ketahanan hidrofobik, seperti yang dikembangkan oleh

Wilhelm Barthlott melalui konsep Lotus Effect, mengukur kemampuan pelapis dalam menahan air. Selain itu, ketahanan terhadap goresan diuji menggunakan alat seperti Taber Abraser, sementara perlindungan UV dan korosi dievaluasi di bawah kondisi lingkungan ekstrem.

Proses validasi ini dilakukan oleh perusahaan besar seperti AkzoNobel dan BASF, yang mengadopsi teknologi nanocoating untuk perlindungan jangka panjang pada kendaraan. Hasil uji ini memastikan bahwa nanocoating tidak hanya memberikan perlindungan yang optimal tetapi juga meningkatkan daya tarik estetika kendaraan. Perkembangan teknologi ini terus mendorong inovasi dalam industri otomotif.

3.5 Proses pembuatan nanocoating

Proses pembuatan lapisan tipis melalui metode sol-gel dimulai dengan solusi precursors, di mana bahan dasar seperti garam logam atau senyawa lainnya dilarutkan dalam pelarut untuk membentuk solusi cair. Tahap pertama dalam proses sol-gel adalah sol, di mana solusi precursors diolah menjadi partikel halus yang terdispersi dalam cairan. Setelah itu, proses gel terjadi ketika sol mengalami pengeringan atau pengolahan kimia lebih lanjut, menghasilkan material semi-padat yang dapat digunakan untuk pembuatan lapisan.

Metode coating yang digunakan meliputi dip-coating, di mana substrat dicelupkan ke dalam sol atau gel sehingga lapisan terbentuk saat cairan menempel dan mengering di permukaan; spin-coating, di mana benda dilapisi diputar dengan kecepatan tinggi untuk menyebarkan sol atau gel secara merata; dan electrodeposition, yang menggunakan arus listrik untuk menarik partikel dari solusi dan menempelkannya pada permukaan benda, menghasilkan lapisan yang lebih terkendali dan homogen. Setelah salah satu metode coating diaplikasikan, material gel terbentuk sebagai lapisan tipis di permukaan benda.

Langkah berikutnya adalah pengeringan dan penyembuhan lapisan gel, di mana lapisan ini harus dikeringkan dan dipanaskan untuk menghilangkan pelarut dan menyelesaikan proses pembentukan lapisan padat. Proses penyembuhan memastikan lapisan yang dihasilkan memiliki kekuatan dan ketahanan yang baik. Akhirnya, hasilnya adalah lapisan tipis yang stabil dan siap digunakan, baik sebagai pelapis anti-korosi, pelapis hidrofilik atau hidrofobik, atau untuk aplikasi lainnya.



Gambar 3.1 Proses pembuatan nano coating

4. Proses aplikasi

4.1 Proses aplikasi nano coating pada body otomotif

Aplikasi nano coating pada body mobil melibatkan beberapa langkah untuk memastikan lapisan nano menempel dengan baik dan memberikan perlindungan yang optimal. Berikut adalah proses umum yang dilakukan:

- Pembersihan

Permukaan body kendaraan harus dibersihkan secara menyeluruh untuk menghilangkan debu, kotoran, minyak, dan sisa-sisa lainnya. Pembersihan ini dapat dilakukan dengan menggunakan sabun khusus dan air, serta alat seperti kain mikrofiber.



Gambar 3.1 Proses Pembersihan permukaan (Freepik 2024)

- Penghilangan goresan dan noda

Jika terdapat goresan atau noda yang membandel, perlu dilakukan pengamplasan atau penggunaan polish untuk menghaluskan permukaan. Hal ini bertujuan untuk memastikan lapisan nano dapat menempel secara maksimal



Gambar 3.2 Proses Pembersihan goresan dan noda dengan metode polish (Harsya Fikmazi, 2021)

- Pengeringan

Setelah dibersihkan, permukaan kendaraan harus dikeringkan dengan baik. Kelembaban yang tersisa dapat mengganggu proses aplikasi nanocoating dan memengaruhi daya rekatnya.



Gambar 3.3 Proses Pengeringan (Ryan Fasha, 2023)

Aplikasi nano coating pada body otomotif

- **Pemilihan Metode Aplikasi**

Ada beberapa metode untuk menerapkan nano coating, antara lain *spray coating* penyemprotan larutan nano secara merata ke seluruh permukaan kendaraan, dip coating merendam bagian yang ingin dilapisi ke dalam larutan nano, spin coating memutar objek untuk distribusi lapisan yang merata.

- **Penyemprotan atau Penerapan**

Lapisan nano diterapkan secara merata pada body kendaraan. Penting untuk memastikan bahwa setiap bagian tubuh kendaraan mendapatkan lapisan yang konsisten.

Pengeringan dan penguapan

Setelah proses pengaplikasian, lapisan nano perlu dikeringkan. Ini biasanya melibatkan proses penguapan di mana pelarut dalam larutan nano menguap, meninggalkan lapisan pelindung di permukaan. Waktu pengeringan dapat bervariasi tergantung pada jenis nano coating yang digunakan.

Proses curing

Beberapa jenis nano coating memerlukan proses curing untuk meningkatkan daya rekat dan ketahanan lapisan. Proses ini dapat dilakukan dengan memaparkan kendaraan pada suhu tertentu atau menggunakan sinar UV untuk memperkuat lapisan pelindung.

Inspeksi akhir

Setelah seluruh proses aplikasi selesai, inspeksi akhir dilakukan untuk memastikan bahwa lapisan nano coating telah diterapkan dengan baik. Pengecekan meliputi kelicinan permukaan, ketebalan lapisan, dan keseragaman distribusi.

Perawatan pasca Aplikasi

Setelah aplikasi, disarankan untuk membiarkan kendaraan tidak terkena air selama beberapa hari untuk memastikan lapisan nano coating dapat berfungsi dengan optimal. Selain itu, petunjuk perawatan dari produsen nano coating harus diikuti untuk menjaga keawetan dan efektivitas lapisan. Dengan mengikuti langkah-langkah ini, aplikasi nano coating pada body otomotif dapat dilakukan dengan efektif, memberikan perlindungan yang optimal dan meningkatkan daya tarik visual kendaraan

Kesimpulan

Aplikasi nano coating pada body otomotif terbukti secara signifikan meningkatkan daya tahan kendaraan terhadap faktor eksternal seperti korosi, goresan, dan paparan sinar UV. Selain itu, nano coating memberikan hasil akhir yang lebih mengkilap dan estetik, sehingga meningkatkan daya tarik visual kendaraan. Penggunaan nanomaterial seperti titanium dioksida dan silika berkontribusi pada peningkatan performa aerodinamis dan pengurangan kebutuhan perawatan rutin. Dengan demikian, nano coating dapat menjadi solusi inovatif bagi industri otomotif dalam menghadapi tantangan keawetan dan estetika, sekaligus mengurangi biaya perawatan jangka Panjang.

Nano coating merupakan teknologi pelapisan berbasis nanoteknologi yang memberikan berbagai keunggulan untuk body otomotif. Teknologi ini mampu melindungi permukaan kendaraan dari ancaman lingkungan seperti goresan, korosi, paparan sinar UV, dan bahan kimia. Dengan sifat hidrofobik dan oleofobik, nano coating mencegah penyerapan air, minyak, dan kotoran, sehingga memperpanjang umur cat kendaraan dan memberikan perlindungan yang lebih baik dibandingkan pelapis konvensional.

Selain perlindungan, nano coating juga meningkatkan daya tarik visual kendaraan. Teknologi ini memberikan efek kilap yang tinggi, menjaga warna cat tetap cerah, dan memperbaiki tampilan mikro-cacat pada permukaan kendaraan. Dengan demikian, estetika kendaraan tetap terjaga dalam jangka waktu yang lebih lama, menjadikannya lebih menarik secara visual dan bernilai lebih tinggi.

Keunggulan lain dari nano coating adalah efisiensi perawatan. Dengan sifat self-cleaning, body mobil yang dilapisi nano coating menjadi lebih mudah dibersihkan, mengurangi kebutuhan pencucian intensif, dan menurunkan biaya perawatan jangka panjang. Selain itu, nano coating memiliki daya tahan tinggi terhadap abrasi dan perubahan suhu ekstrem, menjadikannya solusi inovatif yang ramah lingkungan dan mampu memenuhi kebutuhan konsumen di industri otomotif modern.

DAFTAR PUSTAKA

- Czerwinski, A. (2021). Nanocoating Technology in Automotive Applications. *Journal of Materials Science*,
- Geetha Devi, K. (2016). Characterization of Silica Nanoparticles for Coating Applications. *International Journal of Nanotechnology*,
- Ivan Mironyuk, A. (2017). Properties of Titanium Dioxide Nanoparticles and Their Applications. *Materials Science and Engineering*,
- Lajapathi Chellappan NEHRU, K. (2016). Alumina Nanoparticles: A Review on Their Properties and Applications. *Journal of Nanomaterials*
- Mudalige, T., Qu, H., Van Haute, D., Ansar, S. M., Paredes, A., & Ingle, T. (2019). Characterization of Nanomaterials. Dalam *Nanomaterials for Food Applications* (hlm. 313–353). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814130-4.00011-7>
- Maharjan, S., Liao, K.-S., Wang, A. J., Barton, K., Haldar, A., Alley, N. J., Byrne, H. J., & Curran, S. A. (2020). Self-cleaning hydrophobic nanocoating on glass: Ascalable manufacturing process. *Materials*
- Nanomaterials: Types, properties, recent advances, and toxicity concerns. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 25,100319. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100319>
- Xu, W. C., Shi, J. Z., Li, D. L., Cao, G. R., Feng, M. K., & Wang, K. T. (2015). Application of surface modification in hydrophobic and oleophobic materials research. *Materials Research Innovations*, 19(sup10),S10-207-S10-210. <https://doi.org/10.1179/1432891715Z.0000000002148>

Sajid, M. (2022). Nanomaterials: Types, properties, recent advances, and toxicity concerns. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 25, 100319. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100319>

Thakur, A., & Kumar, A. (2022). Self-healing nanocoatings for automotive application. Dalam *Nanotechnology in the Automotive Industry* (hlm. 403–427). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90524-4.00019-0>