

INOVASI LAPISAN NANO SEBAGAI SOLUSI UNTUK MESIN OTOMOTIF

¹Achmad Aqilah Abdurohman, ²Lion Bima, ³Ahmad Ramdhani, ⁴Rizqi Asshofan,
⁵Riny Yolandha Parapat

Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Bandung

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

²Email: rinnyyolandha@itenas.ac.id

Abstrak (Indonesia)

Teknologi nano *coating* adalah inovasi dalam dunia teknik mesin yang menawarkan solusi efektif untuk meningkatkan performa dan daya tahan komponen otomotif. Dengan memanfaatkan partikel berukuran nanometer, nano *coating* memberikan perlindungan superior terhadap gesekan, korosi, dan panas, sekaligus meningkatkan efisiensi bahan bakar serta memperpanjang umur komponen seperti torak, silinder, dan *bearing*. Manuskrip nano *coating* membahas pengaruh berbagai jenis nanomaterial, seperti nano molibdenum, *tungsten disulfide*, nano grafit, nano zirconium dioksida, nano titanium nitrida dan titanium dioksida, yang diaplikasikan pada komponen mesin. Melalui analisis mikroskopis dan tinjauan literatur, ditemukan bahwa nano *coating* mampu meningkatkan kekerasan permukaan, menyebarkan panas secara merata, serta mengurangi tingkat keausan dan gesekan. Dengan demikian, nano *coating* menjadi solusi potensial untuk mendukung keberlanjutan dan efisiensi industri otomotif.

Sejarah Artikel

Submitted: 31 Desember 2024

Accepted: 3 Januari 2025

Published: 8 Januari 2025

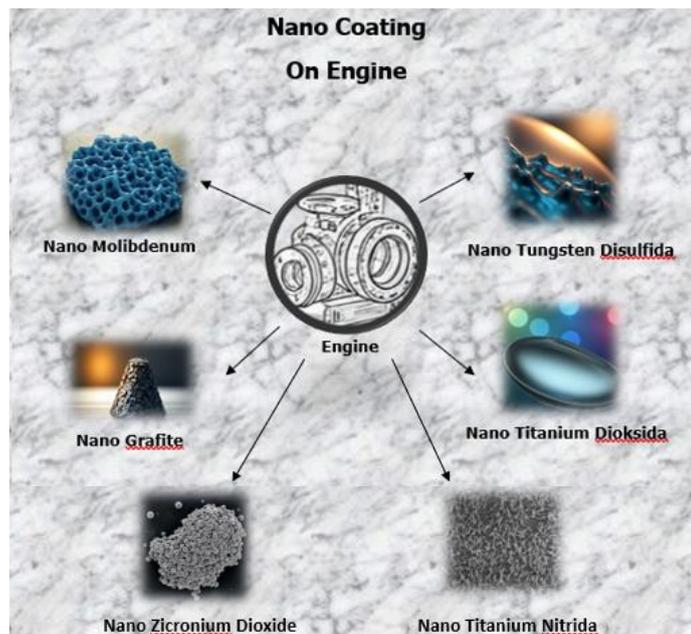
Kata Kunci

Nano *coating*, Nanoteknologi, Efisiensi Mesin, Komponen Otomotif, Gesekan, Keausan, Korosi

1. Pendahuluan

Teknologi Nano adalah cabang ilmu pengetahuan yang berfokus pada manipulasi dan rekayasa materi pada skala nanometer (1 nanometer = 1 miliar bagian dari meter) (Feng & Cao, 2016). Di tingkat nano, sifat-sifat fisik dan kimia materi dapat berbeda secara signifikan dibandingkan dengan sifat materi pada skala makroskopik (terlihat secara mata telanjang).

Gambar 1 menunjukkan konsep penggunaan nano *coating* pada mesin, yang dimana pada Gambar 1 terdapat macam-macam material nano yang umum digunakan pada komponen-komponen mesin otomotif.



Gambar 1 Nano *coating* pada komponen mesin

Teknologi nano penting karena memiliki potensi untuk mengubah banyak aspek kehidupan kita, dari kesehatan hingga lingkungan, dengan memberikan solusi untuk berbagai tantangan besar di dunia modern.

Industri otomotif sekarang menghadapi berbagai tantangan, mulai dari kebutuhan akan efisiensi bahan bakar yang lebih baik hingga tuntutan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Dengan semakin ketatnya regulasi lingkungan dan meningkatnya kesadaran konsumen terhadap keberlanjutan, produsen otomotif dituntut untuk berinovasi dalam desain dan material mesin. Salah satu inovasi yang menjanjikan adalah penerapan nanoteknologi pada dunia industri atau teknik mesin, khususnya lapisan nano, yang dapat meningkatkan performa dan daya tahan komponen mesin.

Lapisan nano, yang terdiri dari material dengan ukuran partikel dalam skala nanometer, menawarkan sifat unik yang tidak ditemukan pada material konvensional. Dengan kemampuan untuk meningkatkan kekuatan, mengurangi gesekan, dan meningkatkan ketahanan terhadap korosi, lapisan nano menjadi solusi potensial untuk berbagai masalah yang dihadapi dalam desain mesin otomotif modern.

Teknologi nano telah memberikan kontribusi signifikan dalam berbagai aspek teknik mesin. Beberapa aplikasi teknologi nano yang menonjol di bidang nano mencakup penggunaan *nano-coating* pada komponen mesin, seperti torak, dinding silinder, dan bearing, untuk mengurangi gesekan dan keausan. Selain itu, pelumas nano yang berbasis nanopartikel, seperti graphene atau nanopartikel logam, juga digunakan untuk meningkatkan pelumasan pada mesin, yang mengarah pada pengurangan panas dan gesekan serta memperpanjang umur komponen.

Pada bidang material, penggunaan material komposit nano, seperti nanotube karbon atau nanopartikel logam, memungkinkan penciptaan komponen mesin yang ringan namun kuat (Baig dkk., 2016). Teknologi nano juga dimanfaatkan untuk membuat pelapisan anti-korosi dan anti-oksidasi yang dapat melindungi komponen-komponen seperti knalpot, *boiler*, atau turbin dari kerusakan akibat korosi, oksidasi, dan suhu tinggi.

2. Lapisan nano dalam komponen mesin

Nano coating pada mesin kendaraan adalah sebuah teknologi pelapisan yang menggunakan partikel berukuran sangat kecil (nanometer) untuk membentuk lapisan pelindung pada berbagai komponen mesin (Mita dkk., 2024). Lapisan nano memiliki sifat yang sangat kuat dan tahan lama, sehingga dapat memberikan perlindungan ekstra pada mesin kendaraan. Gambar 2 menunjukkan salah satu pengaplikasian *nano coating* pada rok torak untuk menurunkan koefisien gesekan antara rok piston dengan dinding silinder mesin.



Gambar 2 Aplikasi *nano coating* (Kotia & Chowdary, 2020)

Nano coating sangat penting dalam komponen kendaraan karena memberikan berbagai manfaat yang signifikan. Salah satunya adalah perlindungan terhadap korosi, di mana lapisan nano menciptakan penghalang efektif terhadap kelembapan, zat kimia, dan kotoran yang dapat menyebabkan kerusakan pada komponen mesin (Shafique & Luo, 2019). Selain itu, nano

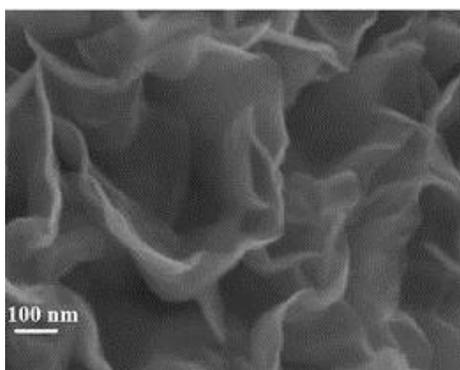
coating juga berfungsi untuk mengurangi gesekan antara komponen-komponen mesin, yang pada gilirannya meningkatkan efisiensi serta memperpanjang umur pakai mesin. Beberapa jenis nano *coating* bahkan dapat membantu meningkatkan pelepasan panas, menjaga temperatur mesin tetap stabil, dan mencegah terjadinya *overheating*.

3. Jenis-jenis nanomaterial dalam lapisan nano untuk komponen mesin

Lapisan nano pada mesin otomotif menggunakan jenis nanomaterial yang dapat meningkatkan kinerja dan daya tahan komponen mesin. Berikut adalah beberapa jenis material yang umum digunakan dalam aplikasi lapisan nano pada mesin otomotif:

3.1 Nano molibdenum

Nano molibdenum merujuk pada partikel molibdenum yang diperkecil ukurannya hingga skala nanometer (biasanya antara 1 hingga 100 nm). Pada skala nano, molibdenum memiliki sifat-sifat yang berbeda dibandingkan dengan bentuknya yang lebih besar, seperti peningkatan kekuatan mekanik, ketahanan terhadap korosi, serta konduktivitas panas dan listrik yang lebih baik. Pada Gambar 3 menampilkan morfologi pada skala 100 nm, dari bentuk struktur lembaran (*sheet-like*) yang bergelombang, berkerut dan saling tumpang tindih seperti lembaran tipis yang melipat-lipat secara acak. Strukturnya memberikan indikasi luas permukaan yang sangat besar.



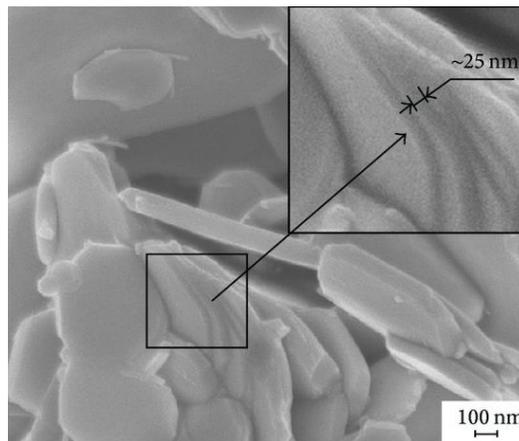
Gambar 3 Hasil karakteristik dengan SEM nano molibdenum (Zhao, 2020)

Nano molibdenum sering digunakan dalam berbagai aplikasi teknologi tinggi, termasuk dalam pelapisan dan material komposit, untuk meningkatkan ketahanan terhadap keausan, korosi, dan suhu tinggi. Dalam industri otomotif dan mesin, nano molibdenum dapat digunakan dalam pelumas nano untuk mengurangi gesekan dan meningkatkan umur komponen mesin. Selain itu, karena sifatnya yang tahan terhadap suhu tinggi, nano molibdenum juga banyak digunakan dalam aplikasi yang memerlukan material dengan daya tahan ekstrim, seperti dalam komponen mesin pesawat, turbin, dan peralatan industri lainnya.

3.2 Nano tungsten disulfida

WS_2 (*Tungsten Disulfide*) adalah salah satu jenis nanomaterial yang terdiri dari senyawa tungsten (W) dan belerang (S). Senyawanya termasuk dalam kategori material 2D (dua dimensi) karena strukturnya yang sangat tipis, sering kali terdiri dari lapisan-lapisan atom tunggal atau lapisan tipis yang tersusun dalam bentuk struktur kristal heksagonal (Long, 2016).

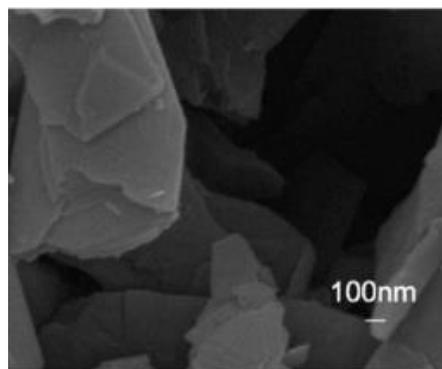
Gambar 4 merupakan gambar tangkapan SEM dari nano tungsten disulfida dengan skala 100 nm, memperlihatkan struktur berlapis yang seperti bentuk tumbuhan. Terlihat lembaran-lembaran tipis bertumpuk, yang merupakan karakteristik struktur kristal heksagonal.



Gambar 4 Hasil karakteristik dengan SEM nano tungsten disulfida (Vladimir, 2014)

3.3 Nano grafit

Nano grafit merujuk pada bentuk grafit yang memiliki ukuran partikel dalam skala nanometer, biasanya antara 1 hingga 100 nm. Sebagai salah satu bentuk karbon, grafit pada skala nano memiliki sifat-sifat unik yang membedakannya dari grafit pada ukuran mikroskopis (Terrones dkk., 2010). Nano grafit dikenal karena ketahanannya yang luar biasa terhadap panas, konduktivitas listrik yang sangat baik, serta sifat pelumasan yang efektif. Pada Gambar 5 materialnya memiliki morfologi pada skala 100 nm yang khas, yaitu struktur berlapis atau *layered structure*. Terlihat partikel-partikel yang cenderung pipih dan beberapa di antaranya menunjukkan lapisan-lapisan diantara lapisannya.



Gambar 5 Hasil karakteristik dengan SEM nano grafit (Niu & Qu, 2018)

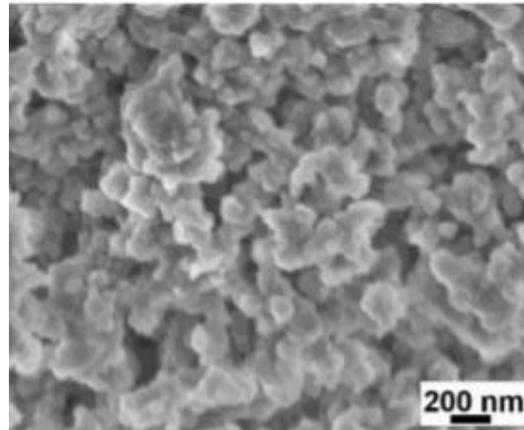
Karena struktur lapisan-lapisannya yang terorganisir secara kristal, nano grafit memiliki keunggulan dalam mengurangi gesekan dan keausan. Oleh karena itu, nano grafit sering digunakan dalam aplikasi pelumas, seperti pelumas berbasis nano dalam mesin kendaraan dan industri, yang dapat mengurangi gesekan antar komponen, memperpanjang umur pakai mesin.

3.4 Nano titanium dioksida (TiO₂)

Nano titanium dioksida (TiO₂) adalah salah satu nanomaterial yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi teknologi, termasuk dalam lapisan nano untuk komponen mesin (McIntyre, 2012). Partikel TiO₂ pada skala nano memiliki sifat-sifat yang berbeda dari bentuknya yang lebih besar, seperti kemampuan untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi, kekerasan, dan daya tahan terhadap suhu tinggi.

Jurnal Ilmiah Sain dan Teknologi

- ◆ Pada Gambar 6 partikel TiO₂ terlihat permukaan pada skala 200 nm menunjukkan partikel-partikel yang cenderung berbentuk bulat atau *spherical*. Bentuknya tidak seragam, ada yang cenderung bulat, lonjong atau tidak beraturan. Partikel-partikel yang saling berdekatan dan membentuk aglomerat atau gumpalan. Permukaan partikel terlihat kasar dan tidak licin.

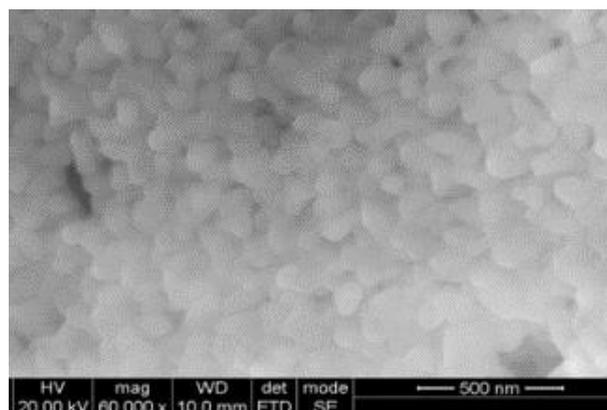


Gambar 6 Hasil karakteristik dengan SEM nano titanium dioksida (Kehinde, 2012)

3.5 Nano zirconium dioksida

Zirkonium dioksida adalah logam berwarna putih keabu-abuan, berbentuk kristal (struktur kristal yang tidak teratur), lunak, dapat ditempa dan diulur bila murni, juga tahan terhadap udara bahkan api. Bahan zirkonium dioksida termasuk keramik teknik yang mempunyai sifat ketegasan (*brittle*) yang tinggi dan resistansi tinggi terhadap berbagai jenis asam dan alkali, air laut dan agen lain-lain, memiliki titik lebur yang sangat tinggi (>2000°C) (Putri, 2019).

Pada Gambar 7 terlihat pada skala 500 nm partikel-partikel ZrO₂ berbentuk butiran-butiran kecil yang padat. Bentuknya cenderung bulat dan sedikit lonjong yang saling menempel satu dengan yang lainnya. Dengan permukaan bulat yang tampak halus dengan bentuk yang lebih membulat.



Gambar 7 Hasil karakteristik dengan SEM nano zirconium dioksida (Selvam dkk., 2013)

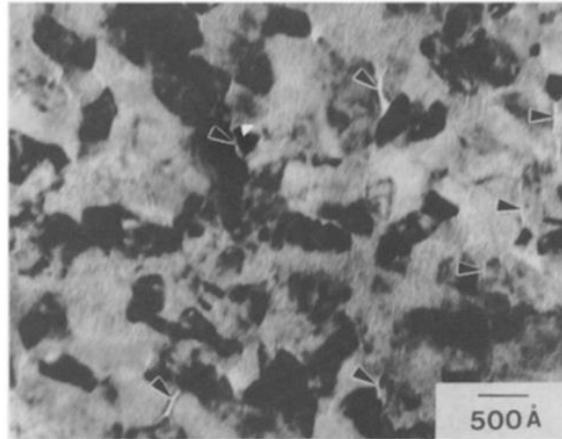
3.6 Nano Titanium Nitrida

Titanium nitride (TiN) merupakan material yang memiliki sifat unggul, seperti ketahanan terhadap keausan, korosi, dan erosi, serta kemampuan sebagai penghalang difusi. Selain itu, warna emasnya yang khas menjadikannya populer untuk aplikasi

Jurnal Ilmiah Sain dan Teknologi

dekoratif. Material titanium nitrida sering digunakan dalam bentuk lapisan tipis yang dihasilkan melalui proses *sputtering* reaktif (Wu dkk., 1990).

Gambar 8 menunjukkan bentuk permukaan nano titanium nitride pada skala 50 nm. Partikel-partikel TiN terlihat memiliki bentuk permukaan *equiaxed* atau bentuk dan ukuran yang mirip ke segala arah dan cenderung berbentuk bulat melonjong yang sedikit tidak beraturan.

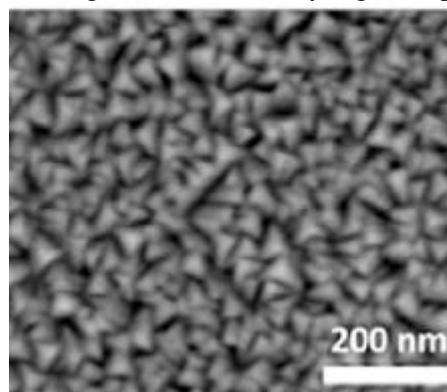


Gambar 8 Hasil karakteristik dengan SEM nano titanium nitrida (TiN) (Wu dkk., 1990)

4. Cara kerja nano *coating* dalam pelapisan mesin

Nano *coating* memiliki sejumlah karakteristik unggul yang membuatnya sangat efektif dalam berbagai aplikasi teknik. Salah satu sifat utamanya adalah kemampuannya meningkatkan kekerasan permukaan, yang memperkuat daya tahan material terhadap beban mekanis dan deformasi. Lapisan nano juga menawarkan ketahanan aus yang tinggi, berkat struktur mikro yang homogen serta penguatan dispersi dari partikel nano yang tersebar merata. Selain itu, nano *coating* memiliki stabilitas termal yang baik, sehingga mampu mempertahankan performa optimal meskipun bekerja pada suhu tinggi. Karakteristik lainnya meliputi ketahanan terhadap korosi dan oksidasi, yang memberikan perlindungan tambahan terhadap lingkungan kerja ekstrem. Dengan tekstur halus dan distribusi material yang seragam, nano *coating* juga meningkatkan stabilitas mekanis dan memperbaiki sifat tribologi material, seperti mengurangi gesekan dan meningkatkan efisiensi operasional.

Gambar 9 menunjukkan struktur granular lapisan nano TiN dengan bentuk segitiga atau piramidal dan distribusi ukuran yang relatif seragam menunjukkan bahwa proses deposisi yang digunakan menghasilkan lapisan dengan karakteristik yang cukup terkontrol.



Gambar 9 Hasil karakteristik dengan SEM nano titanium nitrida (Mahajan dkk., 2024)

Manfaat dari karakteristik unggul nano *coating* sangat terasa dalam aplikasi pelapisan mesin. Ketahanan aus yang luar biasa memperpanjang masa pakai komponen, mengurangi frekuensi penggantian, dan menurunkan biaya pemeliharaan. Kekerasan dan ketahanan korosi yang tinggi memungkinkan lapisan nano *coating* bertahan dalam lingkungan kerja ekstrem, seperti suhu tinggi dan ekspos terhadap bahan kimia. Sifat tribologis yang superior membantu mengurangi gesekan, meningkatkan efisiensi operasional, dan menjaga stabilitas fungsi mesin dalam jangka panjang. Dengan kombinasi sifat-sifatnya, nano *coating* TiN menjadi solusi yang efektif untuk meningkatkan performa dan keandalan mesin, terutama dalam aplikasi otomotif dan industri berat, sekaligus memberikan manfaat ekonomi yang signifikan bagi pengguna.

5. Kesimpulan

Nano *coating* memberikan dampak signifikan dalam meningkatkan kinerja dan daya tahan komponen mesin otomotif. Penerapan teknologi nano *coating* mampu mengurangi gesekan, keausan, dan korosi, sekaligus meningkatkan efisiensi termal dan umur pakai komponen. Jenis-jenis nanomaterial seperti nano molibdenum, *tungsten disulfide*, nano grafit, dan titanium dioksida memberikan kontribusi unik sesuai dengan sifat masing-masing. Pada manuskrip nano *coating* menegaskan bahwa nano *coating* merupakan solusi inovatif dan ekonomis untuk menjawab tantangan efisiensi bahan bakar, pengurangan emisi, dan ketahanan komponen dalam industri otomotif modern.

Daftar pustaka

- Baig, Z., Mamat, O., & Mustapha, M. (2016). Recent Progress on the Dispersion and the Strengthening Effect of Carbon Nanotubes and Graphene-Reinforced Metal Nanocomposites: A Review: Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences: Vol 43, No 1. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10408436.2016.1243089>
- Feng, P., & Cao, W. (2016). Properties, Application and Synthesis Methods of Nano-Molybdenum Powder. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, 4(9), Article 9. <https://doi.org/10.4236/msce.2016.49004>
- Kehinde. (2012). Fig. 3. SEM images of (a-b) TiO₂ nanoparticles and (c-d) carbon coated... ResearchGate.
- Kotia, A., & Chowdary, K. (2020, Juli 25). Carbon nanomaterials as friction modifiers in automotive engines: Recent progress and perspectives—ScienceDirect.
- Lely Susita R M, Bambang Siswanto, Ihwanul Aziz, & Taufik. (2012). Deposition of nitride layer on pin and ring piston surface by using DC sputtering technique. 185.
- Long, H. (2016). Study of two dimensional materials and its nonlinear optical applications. <https://theses.lib.polyu.edu.hk/handle/200/8814>
- McIntyre, R. A. (2012). Common Nano-Materials and Their Use in Real World Applications. *Science Progress*, 95(1), 1–22. <https://doi.org/10.3184/003685012X13294715456431>
- Mita, F., Jumarni, A., Wati, R., Patimah, A., & Rahman, D. Y. (2024). Perkembangan Penerapan Nanoteknologi di Bidang Pelapisan (Coating). *Jurnal Penelitian Fisika dan Terapannya (JUPITER)*, 5(2), 1–29. <https://doi.org/10.31851/jupiter.v5i2.14518>
- Niu, M., & Qu, J. (2018). Fig. 3 SEM morphology of nano-graphite with different diameters: (A)... ResearchGate.
- Selvam, N. C. S., Manikandan, A., Kennedy, L. J., & Vijaya, J. J. (2013). Comparative investigation of zirconium oxide (ZrO₂) nano and microstructures for structural, optical and photocatalytic properties. *Journal of Colloid and Interface Science*, 389(1), 91–98. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2012.09.014>

- Shafique, M., & Luo, X. (2019). Nanotechnology in Transportation Vehicles: An Overview of Its Applications, Environmental, Health and Safety Concerns. *Materials*, 12(15), Article 15. <https://doi.org/10.3390/ma12152493>
- Terrones, M., Botello-Méndez, A. R., Campos-Delgado, J., López-Urías, F., Vega-Cantú, Y. I., Rodríguez-Macías, F. J., Elías, A. L., Muñoz-Sandoval, E., Cano-Márquez, A. G., Charlier, J.-C., & Terrones, H. (2010). Graphene and graphite nanoribbons: Morphology, properties, synthesis, defects and applications. *Nano Today*, 5(4), 351–372. <https://doi.org/10.1016/j.nantod.2010.06.010>
- Vladimir. (2014). SEM images and XRD pattern for tungsten disulfide and molybdenum. Research Gate. https://www.researchgate.net/figure/SEM-images-and-XRD-pattern-for-tungsten-disulfide-a-c-and-molybdenum-disulfide-b-d_fig1_286911494
- Zhao. (2020). Scanning electron microscope (SEM) images of molybdenum disulfide... ResearchGate.