

**NANO TEKNOLOGI DALAM PROSES MANUFAKTUR UNTUK
MENINGKATKAN PRESISI DAN KEKUATAN MATERIAL DALAM MESIN 3D
PRINTING**

¹Ridwan, ²Diaz Waluya Pratama, ³Riny Yolandha Parapat
Program studi Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Bandung
Email : rinyyolandha@itenas.ac.id

Abstract (English)

Nanotechnology has opened up new opportunities in improving the performance of manufacturing processes, especially in 3D PRINTING technology. In this context, the use of nanoparticles in print materials allows for a significant increase in the precision and strength of the print. This study aims to review the application of nanotechnology to materials used in 3D PRINTING machines, as well as its impact on print quality and manufacturing process efficiency. Increased precision is achieved through nanoparticles that allow control of the structure at the microscopic level, resulting in highly detailed prints with minimal defects. Additionally, the use of nanoparticles, such as graphene and carbon nanofibers, strengthens the mechanical properties of the material, making it more resistant to stress, friction, and other environmental factors. that nanotechnology in 3D PRINTING improves the efficiency of the production process through material savings, higher product durability, and expands the potential for applications in the automotive, aerospace, and medical industries. Thus, the integration of nanotechnology in 3D PRINTING manufacturing not only improves the quality of materials and final products but also opens up wider innovation opportunities in various industrial sectors.

Article History

Submitted: 31 Desember 2024

Accepted: 3 Januari 2025

Published: 8 Januari 2025

Key Words**Abstrak (Indonesia)**

Nano teknologi telah membuka peluang baru dalam meningkatkan performa proses manufaktur, terutama dalam teknologi cetak tiga dimensi 3D PRINTING. Dalam konteks ini, penggunaan nanopartikel dalam material cetak memungkinkan peningkatan presisi dan kekuatan hasil cetakan secara signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk meninjau penerapan nano teknologi pada material yang digunakan dalam mesin 3D PRINTING, serta dampaknya terhadap kualitas cetakan dan efisiensi proses manufaktur. Peningkatan presisi dicapai melalui partikel nano yang memungkinkan kendali struktur pada tingkat mikroskopis, menghasilkan hasil cetakan dengan detail tinggi dan minim cacat. Selain itu, penggunaan nanopartikel, seperti graphene dan nano serat karbon, memperkuat sifat mekanis material, menjadikannya lebih tahan terhadap tekanan, gesekan, dan faktor lingkungan lainnya. bahwa nano teknologi dalam 3D PRINTING meningkatkan efisiensi proses produksi melalui

Sejarah Artikel

Submitted: 31 Desember 2024

Accepted: 3 Januari 2025

Published: 8 Januari 2025

Kata Kunci

penghematan material, ketahanan produk yang lebih tinggi, serta memperluas potensi aplikasi dalam industri otomotif, dirgantara, dan medis. Dengan demikian, integrasi nano teknologi dalam manufaktur 3D PRINTING tidak hanya memperbaiki kualitas material dan produk akhir tetapi juga membuka peluang inovasi yang lebih luas dalam berbagai sektor industri.

1. Pendahuluan

Teknologi nano adalah cabang ilmu pengetahuan yang menitik beratkan pada manipulasi material pada skala nanometer ($1 \text{ nanometer} = 10^{-9} \text{ meter}$). Pada skala ini, sifat-sifat material dapat mengalami perubahan signifikan dibandingkan dengan sifat-sifatnya pada skala makroskopik. Teknologi ini memungkinkan peningkatan kekuatan mekanik, konduktivitas listrik, dan reaktivitas kimia material, sehingga menjadi terobosan penting dalam berbagai bidang, termasuk manufaktur. Dalam konteks teknologi 3D printing, teknologi nano memainkan peran krusial dalam meningkatkan kualitas dan efisiensi proses produksi.

Pertama, teknologi nano dapat meningkatkan presisi dengan menciptakan material yang memiliki struktur halus hingga skala nanometer. Dengan kontrol pada skala atomik, komponen yang sangat detail dapat dihasilkan, yang sangat bermanfaat bagi industri elektronik dan biomedis. Selain itu, material berbasis nano dapat dirancang untuk menyusun diri sendiri (*self-assembly*) dengan struktur yang sangat presisi, sehingga mengurangi kebutuhan metode produksi kompleks. Teknologi ini juga mampu meningkatkan kekuatan material, misalnya dengan penggunaan nanokomposit. Penambahan nanopartikel pada material dasar seperti resin atau polimer dapat meningkatkan kekuatan, kekerasan, dan ketahanan aus tanpa menambah berat. Nanotube karbon dan nanopartikel logam juga memberikan kontribusi besar dalam memperkuat daya tahan material terhadap tekanan, regangan, serta memberikan sifat anti-korosi.

Lebih jauh, teknologi nano mendukung efisiensi energi dan sumber daya dengan menciptakan material yang ringan namun tetap kuat, mengurangi kebutuhan bahan baku dan energi selama proses produksi. Teknologi ini juga membuka peluang untuk aplikasi inovatif, seperti pencetakan *scaffold* biomaterial untuk regenerasi jaringan manusia dalam industri medis. Dalam industri otomotif dan kedirgantaraan, nanomaterial digunakan untuk membuat suku cadang yang lebih ringan dan kuat, yang pada gilirannya meningkatkan efisiensi bahan bakar. Teknologi nano tidak hanya meningkatkan performa, tetapi juga memperluas batasan inovasi dalam berbagai sektor industri.



Gambar 1 Ilustrasi proses manufaktur dalam mesin 3D printing

Pada Gambar 1 ilustrasi menunjukkan aplikasi nanoteknologi dalam proses manufaktur, terutama dalam meningkatkan presisi dan kekuatan material dalam mesin 3D printing. Lengan robotik presisi tinggi yang terlihat sedang memanipulasi struktur nano menggambarkan peran teknologi nano-manipulasi dalam menyusun material pada skala atom atau molekul. Struktur molekul di pusat gambar melambangkan partikel nano, seperti carbon nanotubes (CNT) atau nano alumina, yang dapat digunakan untuk memperkuat material cetak 3D, menjadikannya lebih ringan namun tetap kuat. Lingkungan futuristik dengan perangkat otomatisasi dan panel kontrol digital mengilustrasikan integrasi teknologi *robotik* dan kecerdasan buatan untuk memonitor dan mengoptimalkan proses manufaktur. Nanoteknologi ini memungkinkan pengembangan material multifungsi dengan sifat unggul, seperti daya tahan tinggi, konduktivitas termal atau listrik yang baik, serta kemampuan responsif terhadap lingkungan, sehingga mempercepat inovasi di berbagai industri, mulai dari *aerospace* hingga alat medis.

Komposit adalah kombinasi dari dua atau lebih material yang berbeda dalam bentuk mikroskopik, yang terdiri dari berbagai macam campuran atau gabungan antara serat dan matriks. Saat ini, bahan komposit yang diperkuat dengan serat menjadi material teknik yang banyak digunakan, karena memiliki kekuatan dan kekakuan spesifik yang jauh lebih tinggi dibandingkan material teknik konvensional.

Seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi cetak 3D, kebutuhan akan material yang berkualitas tinggi dan memiliki ketahanan yang baik semakin mengemuka, terutama dalam aplikasi industri dan medis. Kedua bidang ini menuntut produk yang tidak hanya memiliki struktur yang kokoh tetapi juga presisi yang sangat baik untuk memenuhi standar keselamatan dan fungsionalitas yang tinggi. Dalam industri, komponen yang diproduksi melalui teknologi cetak 3D harus mampu menahan beban besar, tahan lama, dan memiliki tingkat detail yang tinggi agar dapat digunakan dalam mesin dan peralatan kompleks. Sementara di sektor medis, material cetakan harus memenuhi syarat biokompatibilitas dan ketahanan jangka panjang untuk digunakan dalam implan atau alat-alat kesehatan lainnya. Oleh karena itu, kualitas dan kekuatan material cetakan menjadi faktor penting yang perlu ditingkatkan seiring dengan tuntutan di kedua bidang tersebut.

Salah satu pendekatan terbaru yang menawarkan solusi untuk tantangan ini adalah penerapan nanoteknologi dalam proses manufaktur 3D *PRINTING*. Teknologi ini memungkinkan penggabungan nanopartikel ke dalam material cetakan untuk menciptakan sifat mekanis yang unggul dan karakteristik material yang lebih stabil. Nanopartikel seperti logam, karbon, atau polimer khusus memiliki dimensi yang sangat kecil namun kuat, sehingga ketika dicampurkan ke dalam bahan dasar, dapat meningkatkan sifat mekanis material cetakan secara signifikan. Hal ini mencakup peningkatan ketahanan material terhadap gaya tarik dan tekan, ketahanan terhadap suhu tinggi, serta stabilitas terhadap deformasi. Dengan keunggulan ini, material yang diperkuat dengan nanopartikel menjadi lebih ideal untuk digunakan dalam kondisi yang membutuhkan daya tahan ekstra dan ketelitian bentuk yang tinggi.

Penggunaan material nanokomposit, yaitu kombinasi dari material dasar dengan nanopartikel, juga terbukti memberikan banyak manfaat pada hasil cetakan 3D. Selain memberikan kekuatan yang lebih besar, nanokomposit memungkinkan terciptanya produk dengan detail geometris yang lebih halus dan presisi yang lebih tinggi, yang merupakan elemen penting dalam banyak aplikasi teknis dan medis. Misalnya, dalam aplikasi medis, nanokomposit memungkinkan penciptaan implan yang lebih ringan namun tetap kuat, serta memungkinkan detail mikro pada struktur permukaan yang dibutuhkan untuk integrasi dengan jaringan tubuh. Di industri, penerapan nanoteknologi ini memungkinkan pembuatan komponen dengan desain kompleks dan tahan lama. Dengan berbagai manfaat ini, nanoteknologi dalam

3D *PRINTING* tidak hanya meningkatkan kualitas cetakan, tetapi juga membuka jalan bagi inovasi yang lebih besar dalam sektor manufaktur di berbagai bidang.

2. Aplikasi nano teknologi dalam bidang 3D printing

Teknologi nano dan konsep dunia kuantum saling berkaitan dalam menjelaskan serta memanfaatkan sifat unik material pada skala nano. Pada skala ini, hukum-hukum fisika klasik sering kali digantikan oleh efek kuantum yang memungkinkan desain material dengan sifat presisi tinggi. Sebagai contoh, kuantisasi energi pada material nano menghasilkan tingkat energi diskret, yang memungkinkan perancangan sifat tertentu, seperti konduktivitas listrik atau termal, sesuai kebutuhan. Efek permukaan yang dominan pada material nano juga meningkatkan reaktivitas atom-atom permukaan, menghasilkan kekuatan adhesi yang lebih baik. Selain itu, fenomena quantum tunneling memungkinkan elektron berpindah melalui penghalang energi, mendukung pengembangan material superkonduktif atau meningkatkan sifat listrik untuk komponen elektronik 3D printing.

Aplikasi konsep quantum dalam 3D printing mencakup penggunaan nanomaterial dengan sifat unik, seperti graphene yang ringan tetapi sangat kuat dan konduktif secara listrik, serta quantum dots yang memungkinkan pencetakan komponen optik dan elektronik dengan presisi tinggi. Teknologi ini juga diterapkan pada metode cetak presisi tinggi berbasis laser dan elektron, seperti SLS (Selective Laser Sintering) atau EBM (Electron Beam Melting), yang memanfaatkan efek kuantum untuk menghasilkan detail sub-mikron dengan efisiensi tinggi. Selain itu, efek plasmonik pada nanopartikel logam memungkinkan pengendalian cahaya yang presisi, meningkatkan akurasi pencetakan berbasis fotolitografi nano.

Lima aplikasi utama teknologi nano dalam 3D printing mencakup penggunaan nanomaterial untuk penguatan filamen dan resin, nanolitografi untuk pencetakan presisi tinggi, dan penambahan nanopartikel untuk memberikan sifat multifungsi pada material. Misalnya, nanotube karbon atau graphene ditambahkan pada filamen untuk meningkatkan kekuatan mekanik dan termal tanpa menambah berat. Nanolitografi berbasis plasmonik digunakan untuk mencetak struktur pada skala sub-nanometer, cocok untuk komponen elektronik mikro. Penambahan nanopartikel seperti titanium dioksida atau perak juga memberikan ketahanan panas, sifat anti-korosi, atau sifat antibakteri, yang sangat bermanfaat untuk aplikasi medis dan industri berat.

Selain itu, nanokomposit menciptakan material baru dengan sifat fungsional, seperti elastisitas tinggi atau pengendalian sifat listrik, yang berguna untuk pencetakan sirkuit elektronik *fleksibel*. Quantum dots juga menjadi inovasi penting untuk mencetak material elektronik atau optik dengan sifat spesifik, seperti LED atau sensor presisi tinggi. Dengan memanfaatkan efek kuantum dan nanoteknologi, 3D printing tidak hanya menghasilkan material yang lebih kuat dan presisi tetapi juga membuka jalan untuk inovasi dalam bidang medis, elektronik, otomotif, dan kedirgantaraan.

Untuk menjawab tantangan tersebut, penerapan nanoteknologi dalam manufaktur cetak 3D muncul sebagai solusi yang inovatif. Teknologi ini memungkinkan integrasi nanopartikel ke dalam material dasar cetak untuk menghasilkan sifat mekanis yang lebih baik dan struktur yang lebih stabil. Berbagai jenis nanopartikel, seperti logam, karbon, atau polimer khusus, mampu memberikan peningkatan signifikan pada ketahanan terhadap beban, suhu tinggi, dan deformasi. Dengan menggunakan material nanokomposit gabungan material dasar dan nanopartikel proses cetak 3D dapat menghasilkan produk dengan kekuatan dan presisi yang lebih tinggi. Nanokomposit memungkinkan terciptanya detail geometris yang halus, struktur yang lebih kokoh, dan daya tahan yang sesuai untuk berbagai kebutuhan industri dan medis. Potensi nanoteknologi dalam 3D *PRINTING* ini diharapkan dapat membuka jalan bagi inovasi

lebih lanjut di sektor manufaktur, memberikan solusi material yang lebih unggul untuk berbagai aplikasi teknis dan medis.

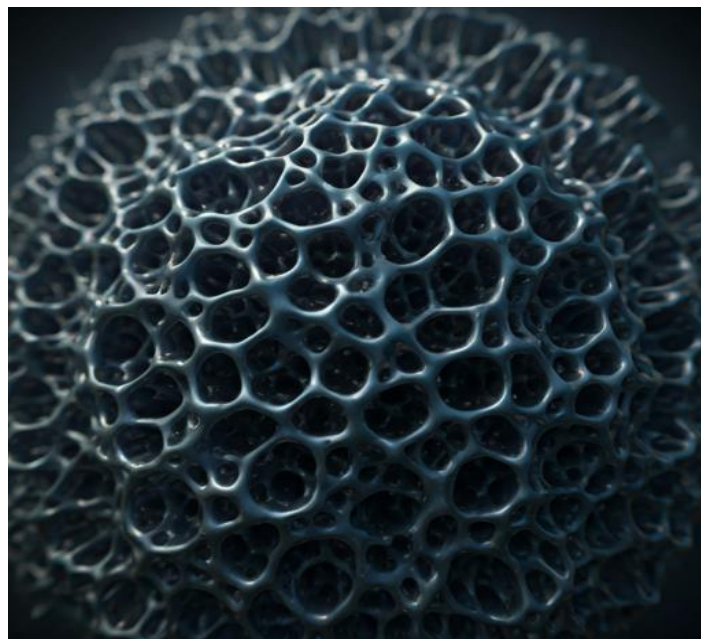


Gambar 2 Proses pencetakan 3D dari desain hingga pencetakan

Pada Gambar 2 menjelaskan alur proses kerja dalam teknologi 3D printing, dimulai dari desain hingga menghasilkan objek cetak. Tahap pertama adalah 3D model, di mana desain objek dibuat menggunakan perangkat lunak CAD (*Computer-Aided Design*). Model ini kemudian diubah menjadi STL file, format standar untuk 3D printing yang mendefinisikan geometri objek melalui mesh berbasis segitiga. File STL tersebut diproses oleh slicing software, yang membagi model menjadi lapisan-lapisan tipis dan menentukan jalur cetak (tool path) untuk printer. Setelah itu, file yang telah diproses dikirim ke 3D printer, di mana printer membangun objek secara bertahap berdasarkan lapisan-lapisan tersebut. Proses ini menghasilkan 3D object yang merupakan versi fisik dari model digital awal. Alur ini menunjukkan integrasi teknologi digital dan manufaktur modern dalam menciptakan objek 3D dengan presisi tinggi.

3. Jenis nano material dalam mesin 3D printing

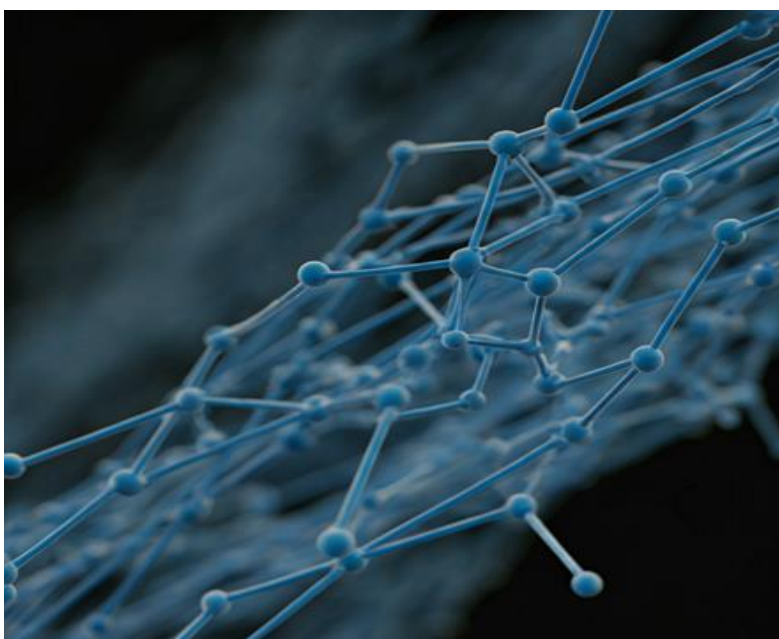
3.1 *Polymer Powders* Material bubuk polimer ini digunakan dalam cetak 3D berbasis bubuk, seperti *selective laser sintering* (SLS). Material ini memungkinkan pembuatan objek yang kuat dan tahan lama.



Gambar 3 Struktur nano SEM polimer

Pada Gambar 3 menjelaskan material nano berbasis polimer dalam teknologi manufaktur canggih, seperti 3D printing berbasis nanoteknologi, memiliki struktur dan sifat pada skala nanometer yang memberikan peningkatan signifikan pada performa material. Penambahan nanopartikel pada polimer dapat meningkatkan kekuatan mekanik, menjadikan material lebih tahan terhadap tegangan. Selain itu, struktur nano memberikan kontrol yang lebih baik atas presisi dimensi, memungkinkan resolusi cetak 3D yang lebih tinggi. Kinerja termal dan elektrik juga ditingkatkan, dengan konduktivitas atau isolasi yang disesuaikan sesuai kebutuhan aplikasi spesifik. Dengan modifikasi pada level nano, nano-polimer mampu memberikan performa yang lebih unggul dan lebih andal dalam berbagai aplikasi industri.

3.2 *Filaments* Bentuk material cetak 3D yang sering digunakan dalam fused deposition modeling (FDM), di mana *filamen* dilelehkan dan didepositkan lapis demi lapis.

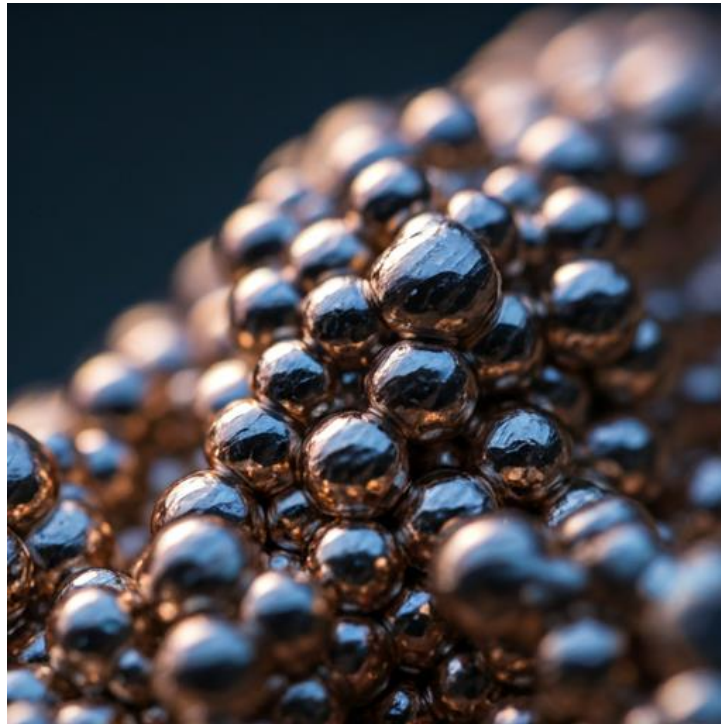


Gambar 4 struktur nano SEM *Filament*

Pada Gambar 4 menjelaskan Filamen nano dalam konteks nanoteknologi memainkan peran penting dalam meningkatkan presisi dan kekuatan material dalam mesin 3D printing. Filamen nano, seperti karbon nanotube (CNT) atau graphene, digunakan untuk memperkuat material cetakan. Mereka meningkatkan kekuatan tarik dan ketahanan material dengan mendistribusikan beban secara merata dan mengurangi konsentrasi tegangan pada titik-titik tertentu. Selain itu, *filamen* nano memungkinkan kontrol yang lebih baik terhadap struktur material pada skala mikroskopis, memungkinkan detail yang sangat kecil dicetak dengan akurasi tinggi. Hal ini sangat penting dalam aplikasi yang memerlukan toleransi ketat dan detail halus.

Penggunaan filament nano juga memungkinkan pengurangan bobot material cetakan tanpa mengurangi kekuatannya, yang sangat penting dalam industri seperti aerospace dan otomotif. Selain itu, filamen nano meningkatkan sifat termal material cetakan, seperti konduktivitas termal dan stabilitas termal, sehingga produk lebih tahan terhadap suhu tinggi dan perubahan suhu. Filamen nano juga dapat memberikan fungsionalitas tambahan, seperti sifat antibakteri, konduktivitas listrik, atau sifat magnetik pada produk cetakan. Ini membuka peluang untuk aplikasi yang lebih luas, termasuk dalam bidang medis dan elektronik. Dengan berbagai peran tersebut, filamen nano membantu mendorong batasan teknologi 3D printing, memungkinkan produksi komponen yang lebih kuat, presisi, dan multifungsi.

3.3 Metals Material logam digunakan dalam proses cetak 3D untuk aplikasi industri, terutama pada manufaktur komponen yang membutuhkan ketahanan dan kekuatan tinggi, seperti di industri otomotif dan penerbangan.



Gambar 5 struktur nano SEM komposit logam dan polimer

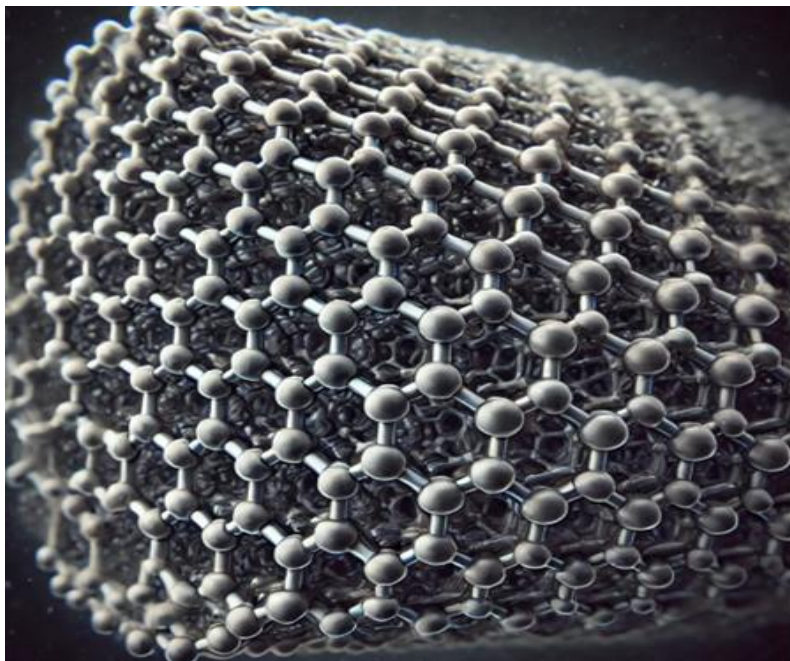
Pada Gambar 5 menjelaskan Nanokomposit dalam konteks 3D *PRINTING* adalah material yang terdiri dari bahan dasar (seperti polimer, logam, atau keramik) yang dipadukan dengan partikel nano untuk meningkatkan sifat mekanis, termal, dan struktural dari hasil cetakan. Partikel nano yang digunakan dalam nanokomposit memiliki dimensi dalam skala nanometer, yang membuatnya mampu memperbaiki dan memperkuat sifat material dasar secara signifikan meskipun digunakan dalam jumlah kecil. Dalam 3D *PRINTING*, nanokomposit digunakan untuk memenuhi berbagai kebutuhan aplikasi, terutama di industri yang memerlukan kualitas tinggi pada produk akhir. Beberapa contoh nanopartikel yang umum digunakan adalah:

4. Struktur nano yang digunakan pada mesin 3D printing

Struktur nano yang digunakan dalam mesin 3D printing sangat penting untuk meningkatkan kualitas dan performa material cetakan. Berikut adalah beberapa struktur nano utama yang sering digunakan:

4.1 Nanotube Karbon (CNTs)

Nanotube Karbon (CNTs) memiliki kekuatan dan modulus elastisitas yang tinggi, menjadikannya pilihan ideal untuk memperkuat material dasar. Ketika digunakan dalam 3D *PRINTING*, CNTs dapat meningkatkan ketahanan tarik dan kekakuan struktur cetakan, yang sangat berguna dalam pembuatan komponen otomotif atau medis yang membutuhkan daya tahan tinggi.

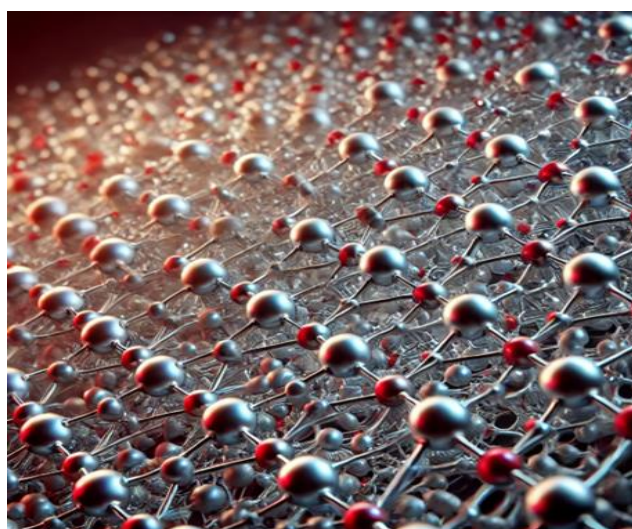


Gambar 6 Nanotube CNTs

Pada Gambar 6 menjelaskan Nano Carbon Nanotube (CNT) adalah struktur berbentuk tabung yang terbuat dari atom karbon yang diatur dalam pola heksagonal, mirip dengan lembaran graphene yang digulung. CNT memiliki kekuatan tarik yang luar biasa, hingga 100 kali lebih kuat dibandingkan dengan baja, namun dengan berat yang jauh lebih ringan. Selain itu, CNT juga memiliki konduktivitas yang sangat tinggi, baik untuk panas maupun listrik, menjadikannya material yang sangat efisien dalam aplikasi termal dan elektronik. Lebih jauh, CNT dikenal karena elastisitasnya; meskipun sangat fleksibel, struktur CNT tetap stabil dan tidak mudah rusak, menjadikannya ideal untuk berbagai aplikasi teknis dan industri.

4.2 Partikel Nano Silika dan Alumina

Digunakan untuk meningkatkan stabilitas termal dan kekuatan material. Kedua jenis nanopartikel ini sering ditambahkan ke polimer untuk menghasilkan material yang lebih tahan panas dan tidak mudah aus, menjadikannya ideal untuk aplikasi teknik.

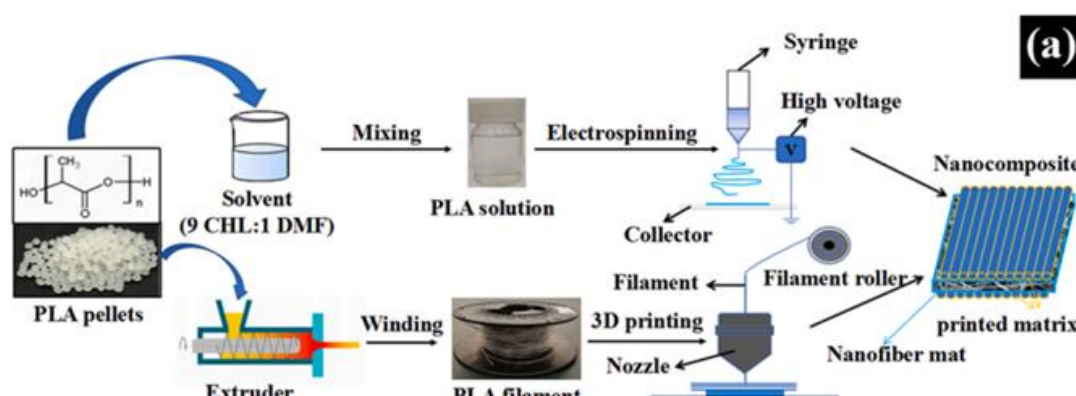


Gambar 7 Struktur nano SEM alumina

Pada Gambar 7 menjelaskan Nano Alumina (Al_2O_3) adalah nanomaterial berbasis oksida aluminium yang memiliki peran penting dalam proses manufaktur, termasuk pada mesin 3D printing. Dalam 3D printing, Nano Alumina dapat dicampurkan ke dalam resin atau material pencetakan untuk mengurangi deformasi selama proses pencetakan dan memastikan material mengeras secara merata, berkat konduktivitas termalnya yang baik. Ini meningkatkan presisi cetak dan mengurangi risiko retakan mikro. Selain itu, Nano Alumina meningkatkan kekuatan tekan dan kekerasan material, menjadikannya lebih tahan terhadap abrasi dan ideal untuk komponen bergerak atau permukaan kontak.

Penggunaan Nano Alumina dalam proses manufaktur juga meningkatkan kecepatan dan efisiensi, dengan membantu menciptakan lapisan yang lebih tipis dan padat, serta hasil cetakan yang lebih halus dengan mengisi celah mikroskopis dalam material. Manfaat penggunaan Nano Alumina mencakup presisi yang lebih tinggi dengan toleransi dimensi yang ketat, kekuatan dan ketahanan material yang lebih baik, efisiensi biaya dan waktu dengan mengurangi cacat cetakan dan mempercepat proses manufaktur. Selain itu, fleksibilitas material ini memungkinkan Nano Alumina dicampur dengan berbagai jenis polimer, resin, atau logam dalam 3D printing, membuka peluang untuk aplikasi yang lebih luas dan inovatif.

Dalam proses pencetakan 3D, suhu *nosel*, suhu alas, kerapatan isi, dan jarak pencetakan merupakan faktor signifikan yang memengaruhi sifat komponen cetak 3D FFF. Dalam penelitian ini, kami memilih tiga parameter (suhu nosel (210°C , 220°C , 230°C), suhu tempat tidur (40°C , 50°C , 60°C), kerapatan garis pengisi (80%, 100%, 120%)) untuk memeriksa efeknya pada adhesi antarmuka. Jarak pencetakan tidak disertakan karena sulit untuk disesuaikan secara tepat. Oleh karena itu, kami menggunakan jarak nosel (pencetakan) yang konstan ($\sim 0,2$ mm) dalam semua proses pencetakan. Dalam semua kasus, filamen diproses dengan printer 3D *CraftBot Plus* (*CraftUnique*, Hungaria) dengan diameter nosel 0,4 mm. Tinggi lapisan dan kecepatan pencetakan masing-masing dipertahankan pada 0,2 mm dan 50 mm/s untuk semua percobaan. Proses persiapan terperinci dari nanokomposit cetak 3D

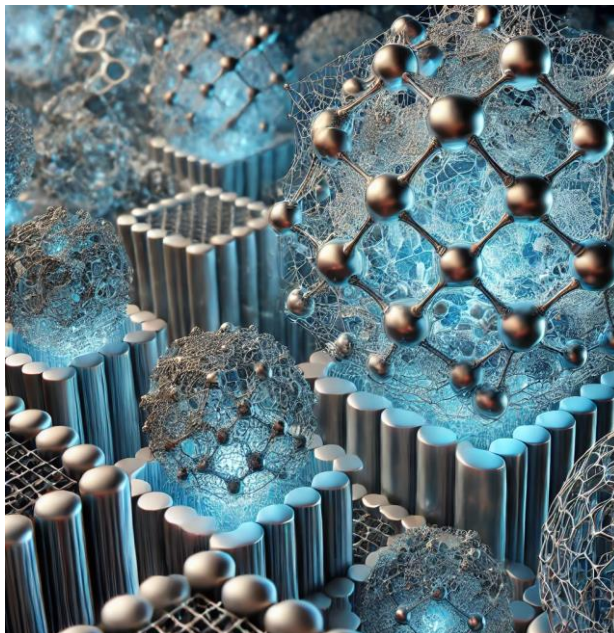


Gambar 8 Proses 3D PRINTING

4.3 karakteristik nano material 3D printing

Sejarah nanomaterial (NM) dimulai segera setelah *big bang* ketika nanopartikel dan struktur nano terbentuk di *meteorit* awal. Kemudian, alam menciptakan banyak nanopartikel dan struktur nano lainnya. Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian NM telah menarik minat yang luar biasa dari para ilmuwan dan insinyur di seluruh dunia. Istilah "NM" biasanya mengacu pada bahan dengan dimensi *eksternal* atau struktur internal, diukur dalam skala nano yang menunjukkan sifat unik tambahan atau berbeda. NM dapat menunjukkan sifat optik, mekanik, magnetik, konduktif, dan sportif yang unik dan berbeda dari zat kimia yang sama dalam ukuran yang lebih besar. Pemahaman yang lebih baik tentang sifat-sifat NM membuka jalan untuk mensintesis bahan baru di masa depan dan memiliki potensi untuk meningkatkan kualitas hidup. NM perlahan-lahan dikomersialkan, mulai muncul sebagai komoditas, dan

digunakan dalam banyak aplikasi dan produk teknologi inovatif, termasuk berbagai produk konsumen. Namun, berbagai jenis NM (yaitu, organik, anorganik, karbon, dan NM berbasis komposit) menampilkan karakteristik fisik, kimia, dan biologis yang berbeda, yang dapat dimanfaatkan untuk aplikasi tertentu.



Gambar 9 karakteristik nano material pada 3D printing

Pada Gambar 9 menggambarkan karakteristik nano-material dalam 3D printing. Struktur ini menampilkan detail seperti nanotube karbon, partikel nano, dan tekstur berpori yang khas untuk meningkatkan presisi dan kekuatan material. Sifat futuristiknya mengilustrasikan penerapan teknologi tinggi dalam proses manufaktur.

4.4 Peran nano material dalam mesin 3D printing

Nano komposit memiliki peran signifikan dalam meningkatkan kualitas dan performa material cetak pada teknologi 3D printing. Salah satu peran utamanya adalah meningkatkan kekuatan dan kekakuan material. Penambahan nanopartikel, seperti nanotube karbon atau nanopartikel silika, mampu meningkatkan kekuatan tarik dan kekakuan material, membuat hasil cetakan menjadi lebih kokoh dan tahan lama. Selain itu, nano komposit juga memberikan ketahanan panas dan stabilitas termal yang lebih baik. Material ini cocok untuk aplikasi industri yang membutuhkan daya tahan terhadap suhu tinggi, sehingga menjadikannya ideal untuk cetakan yang digunakan dalam kondisi ekstrem.

Selain kekuatan mekanis, nano komposit juga memberikan peningkatan pada sifat konduktivitas listrik dan termal. Misalnya, *graphene* sebagai bahan konduktif memungkinkan objek hasil cetakan dapat mengalirkan listrik atau panas, sehingga memperluas aplikasinya dalam bidang elektronik cetak dan pemanasan. Selain itu, nano komposit dapat meningkatkan ketahanan terhadap keausan dan korosi, membuat hasil cetakan lebih tahan lama, terutama dalam lingkungan yang keras atau ekstrem. Keunggulan lain yang ditawarkan adalah material ringan namun tetap kuat, berkat nanopartikel yang memperkuat struktur tanpa menambah bobot, sehingga ideal untuk industri otomotif dan dirgantara.

Terakhir, nano komposit juga memungkinkan modifikasi permukaan material untuk fungsi khusus. Beberapa nanopartikel dapat memberikan sifat tambahan seperti *hidrofobik*, anti-bakteri, atau meningkatkan adhesi antar lapisan dalam proses pencetakan. Hal ini membuka peluang inovasi baru, khususnya pada aplikasi yang membutuhkan fitur permukaan

unik, seperti perangkat medis atau produk dengan perlindungan lingkungan tertentu. Nano komposit dengan sifat multifungsi ini menjadikan teknologi 3D printing semakin unggul dan adaptif di berbagai sektor.

6. Kelebihan nano material dalam mesin 3D printing

Manufaktur aditif (AM) adalah serangkaian teknologi fabrikasi yang dengannya model digital 3D diubah menjadi objek nyata dengan menambahkan lapisan demi lapisan dalam proses yang dikendalikan komputer, dan ini bertentangan dengan teknologi subtraktif seperti proses penggilingan tradisional. AM juga termasuk dalam apa yang disebut Industri 4.0. Dikenal juga sebagai pencetakan 3D, AM berpotensi mengganggu metode manufaktur tradisional dengan menawarkan beberapa keunggulan dibandingkan metode tersebut, seperti pencetakan injeksi, pengecoran, dan pemesinan.

Nanomaterial memiliki sifat luar biasa yang memberikan keunggulan signifikan dalam proses manufaktur menggunakan teknologi 3D printing. Salah satu sifat utama nanomaterial adalah kekuatan mekaniknya yang tinggi, seperti yang dimiliki oleh nanotube karbon dan *graphene*. Meskipun memiliki bobot yang ringan, material ini memiliki kekuatan tarik yang jauh melebihi baja, menjadikannya ideal untuk menciptakan komponen struktural yang tahan tekanan tinggi dan deformasi. Keunggulan ini memungkinkan pengembangan material yang kuat namun tetap ringan, sangat cocok untuk aplikasi di industri otomotif dan dirgantara. Selain itu, rasio luas permukaan terhadap volume yang tinggi pada nanopartikel meningkatkan reaktivitas material dan pengikatan antar lapisan cetak, sehingga menghasilkan produk dengan presisi serta integritas struktural yang lebih baik.

Selain kekuatan mekanik, nanomaterial juga menawarkan konduktivitas listrik dan termal yang sangat tinggi. Misalnya, *graphene* dan nanotube karbon dapat digunakan untuk mencetak komponen elektronik atau penghantar panas dengan tingkat presisi tinggi. Hal ini memungkinkan pengembangan produk dengan efisiensi termal lebih baik dan distribusi panas yang optimal selama proses manufaktur. Tidak hanya itu, nanomaterial juga memiliki sifat optik unik, seperti pada *quantum dots* yang mampu memancarkan cahaya dengan panjang gelombang tertentu. Sifat ini memungkinkan pencetakan perangkat optik, seperti sensor, elemen *fotonik*, atau layar LED, yang presisi hingga level *atomik*.

Nanomaterial juga unggul dalam hal ketahanan terhadap korosi dan keausan. Penggunaan nanopartikel logam, seperti titanium dioksida atau silika nano, dapat meningkatkan daya tahan produk dalam lingkungan keras, termasuk suhu tinggi atau paparan bahan kimia. Sifat ini sangat bermanfaat untuk aplikasi seperti cetakan alat berat, komponen industri kimia, atau perangkat yang digunakan di lingkungan ekstrem. Dengan kombinasi sifat-sifat unik ini, nanomaterial membuka peluang baru dalam pengembangan produk inovatif melalui teknologi 3D printing, memberikan manfaat yang melampaui batasan manufaktur tradisional.

Penggunaan nanomaterial dalam proses manufaktur memberikan perubahan signifikan terhadap sifat mekanik material. Sebelum menggunakan nanomaterial, material konvensional seperti plastik atau logam standar memiliki kekuatan mekanik yang relatif rendah, sehingga mudah retak, terdistorsi, atau mengalami deformasi di bawah tekanan tinggi. Rasio kekuatan terhadap berat pada material ini juga cenderung rendah, membatasi penggunaannya dalam aplikasi yang membutuhkan material yang kokoh dan tahan lama. Namun, setelah penggunaan nanomaterial seperti nanotube karbon atau *graphene*, kekuatan mekanik meningkat secara signifikan. Material menjadi lebih tahan terhadap tekanan, benturan, dan deformasi, sehingga mampu menahan kondisi operasional yang lebih ekstrem.

Selain meningkatkan kekuatan, nanomaterial juga mengubah rasio berat material secara drastis. Sebelum menggunakan nanomaterial, untuk mencapai tingkat kekuatan tertentu, material sering kali memiliki berat yang tinggi, seperti pada logam berat seperti baja. Hal ini

membatasi efisiensi material untuk aplikasi yang membutuhkan bobot rendah, seperti dalam kedirgantaraan atau otomotif. Dengan nanomaterial, material menjadi jauh lebih ringan tanpa mengorbankan kekuatannya. Misalnya, nanokomposit atau graphene memungkinkan terciptanya material dengan rasio kekuatan terhadap berat yang sangat tinggi, sehingga dapat mengurangi konsumsi energi dan meningkatkan performa pada berbagai aplikasi.

Transformasi sifat material ini membuat nanomaterial menjadi inovasi penting dalam teknologi manufaktur. Penambahan nanomaterial tidak hanya menghasilkan material yang lebih kuat dan ringan, tetapi juga memperluas cakupan aplikasi material tersebut. Hal ini memberikan peluang baru untuk desain yang lebih efisien dan berkelanjutan, memungkinkan perkembangan teknologi di berbagai sektor, termasuk transportasi, kedirgantaraan, dan alat berat.

7. Prospek massa depan dalam nano material 3D printing

Nanoteknologi memiliki potensi besar untuk merevolusi material dalam 3D printing dengan menciptakan material multifungsi. Di masa depan, pengembangan nanokomposit akan memungkinkan material memiliki sifat konduktivitas tinggi untuk aplikasi elektronik, ketahanan terhadap suhu *ekstrem* untuk komponen industri berat dan kedirgantaraan, serta sifat biokompatibilitas untuk aplikasi medis seperti implan atau perangkat wearable. Material berbasis *graphene* dan nanopartikel logam diprediksi menjadi unggulan, karena mampu menggabungkan sifat-sifat tersebut dalam satu material yang ringan namun kuat.

Selain itu, nanoteknologi juga membuka peluang untuk mencetak struktur dengan presisi sub-nanometer, menghadirkan era baru dalam manufaktur presisi tinggi. Metode seperti nanolitografi akan menjadi lebih efisien, memungkinkan pencetakan komponen skala nano dengan akurasi atomik. Hal ini akan sangat bermanfaat dalam pembuatan perangkat optik, elektronik, dan bio-medis dengan detail luar biasa. Contohnya, perangkat canggih seperti microchip 3D dan sensor pintar dapat dicetak dengan tingkat presisi yang sebelumnya tidak terbayangkan.

Prospek penerapan nanoteknologi dalam 3D printing tidak hanya menghadirkan material dan teknologi baru, tetapi juga mendorong inovasi di berbagai sektor. Dengan kemampuan mencetak komponen yang lebih kuat, ringan, dan presisi, teknologi ini akan mempercepat pengembangan produk canggih, meningkatkan efisiensi produksi, dan membuka peluang aplikasi baru, mulai dari alat kesehatan hingga teknologi luar angkasa. Penerapan nanoteknologi ini menjanjikan revolusi besar dalam industri manufaktur global.

Kesimpulan

Peningkatan Presisi Cetak Penerapan nano teknologi dalam material 3D *PRINTING* secara signifikan meningkatkan presisi hasil cetakan. Partikel nano pengendalian struktur material pada tingkat mikroskopis, yang menghasilkan objek dengan resolusi tinggi dan detail lebih baik, mengurangi kesalahan cetak dan meningkatkan kualitas produk akhir.

Peningkatan Kekuatan dan Ketahanan Material Penambahan nanopartikel, seperti nano serat karbon atau graphene, pada material cetak memperkuat sifat mekanisnya. Ini membuat hasil cetakan lebih kuat, tahan terhadap tegangan, serta lebih tahan lama, terutama pada aplikasi industri yang menuntut daya tahan tinggi.

Penghematan Material dan Efisiensi Proses Dengan penggunaan nano teknologi, jumlah material yang digunakan dapat diminimalkan karena nanopartikel meningkatkan kualitas dan kekuatan dengan jumlah sedikit. Ini berdampak pada efisiensi proses produksi dan pengurangan limbah.

Aplikasi Luas di Industri Hasil peningkatan presisi dan kekuatan dengan nano teknologi membuat 3D *PRINTING* semakin relevan untuk sektor-sektor seperti otomotif, dirgantara, dan medis, di mana standar kekuatan dan ketahanan sangat tinggi.

Kontribusi pada Inovasi *Desain* dan *Fungsionalitas* Nano teknologi tidak hanya memperbaiki kualitas mekanis, tetapi juga membuka potensi untuk mencetak komponen dengan fungsi tambahan seperti konduktivitas listrik, ketahanan korosi, dan sifat anti bakteri.

DAFTAR PUSTAKA

- Andi Rusnaenah, Isma Wulansari, & Nur Azizah Kurniasari. (2023). Edukasi Penggunaan Komposit Polimer ABS / Nanopartikel Untuk Meningkatkan Spesifikasi Pada Salah Satu Produk Komponen Mobil Core Tray. *Jurnal Serambi Engineering*, 9(1), 7616–7622. <https://doi.org/10.32672/jse.v9i1.719>
- Clarissa, W. H.-Y., Chia, C. H., Zakaria, S., & Evyan, Y. C.-Y. (2022). Recent advancement in 3-D *PRINTING*: Nanocomposites with added functionality. *Progress in Additive Manufacturing*, 7(2), 325–350. <https://doi.org/10.1007/s40964-021-00232-z>
- Colorado, H. A., Gutierrez-Velasquez, E. I., Gil, L. D., & De Camargo, I. L. (2024). Exploring the advantages and applications of nanocomposites produced via vat photopolymerization in additive manufacturing: A review. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.1007/s42114-023-00808-z>
- Coppola, B., Cappetti, N., Di Maio, L., Scarfato, P., & Incarnato, L. (2018). 3D *PRINTING* of PLA/clay Nanocomposites: Influence of *PRINTING* Temperature on Printed Samples Properties. *Materials*, 11(10), 1947. <https://doi.org/10.3390/ma11101947>
- He, H., & Molnár, K. (2021). Fabrication of 3D printed nanocomposites with electrospun nanofiber interleaves. *Additive Manufacturing*, 46, 102030. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2021.102030>
- Mondal, D., Haghpanah, Z., Huxman, C. J., Tanter, S., Sun, D., Gorbet, M., & Willett, T. L. (2021). mSLA-based 3D *PRINTING* of acrylated epoxidized soybean oil—Nano-hydroxyapatite composites for bone repair. *Materials Science and Engineering: C*, 130, 112456. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2021.112456>
- Pareta, R., & Muchtadi, T. (t.t.). *APLIKASI TEKNOLOGI NANO PADA KONDISI PROSES PEMBUATAN SARI BUAH STROBERI TERHADAP KARAKTERISTIK PANGAN FUNGSIONAL*.
- Prasetyo, K. W. (2020). *APLIKASI NANOTEKNOLOGI DALAM INDUSTRI HASIL HUTAN* (Application Of Nanotechnology In Forest Products Industry). *Jurnal Akar*, 9(1), 13–24. <https://doi.org/10.36985/jar.v9i1.189>
- Yamamoto, B. E., Trimble, A. Z., Minei, B., & Ghasemi Nejhad, M. N. (2019). Development of multifunctional nanocomposites with 3-D *PRINTING* additive manufacturing and low graphene loading. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 32(3), 383–408. <https://doi.org/10.1177/0892705718759390>
- Zainal, M. T., Mohd Yasin, M. F., & Abdul Wahid, M. (2016). OPTIMIZING FLAME SYNTHESIS OF CARBON NANOTUBES: EXPERIMENTAL AND MODELLING PERSPECTIVES. *Jurnal Teknologi*, 78(8–4). <https://doi.org/10.11113/jt.v78.9595>