

## Teknologi Nano Dari Bahan Alam Sebagai Prospek Penerapan Konstruksi Berkelanjutan

<sup>1</sup>Nur Azizah Lubis, <sup>2</sup>Mentari Darma Putri

<sup>1,2</sup>Pendidikan Fisika, Universitas Samudra, Langsa, Aceh, Indonesia

Korespondensi: [nurazizahlubis@unsam.ac.id](mailto:nurazizahlubis@unsam.ac.id)

DOI: <https://doi.org/10.70115/ijsta.v2i2.232>

---

### Article Info

#### Article history:

Received : Oct 29, 2024

Revised : Nov 27, 2024

Accepted : Dec 31, 2024

---

#### Keywords:

Nano Technology; Natural Materials, Construction; Literature Review

---

### ABSTRACT

*This research explores the benefits of nanotechnology in the construction sector to improve energy efficiency, reduce environmental impact, and create environmentally friendly materials that can be recycled. Using the literature review method, this research analyzes various study results and secondary data related to the application of nanotechnology in construction materials and the utilization of natural materials as additives. The study shows that the application of nanotechnology in concrete can improve its quality, such as accelerating the curing time, reducing cracking and shrinkage, and lowering environmental impact. In addition, natural materials such as nanocellulose, rice husk ash, and coconut fibers have proven to have great potential in strengthening construction materials. Rice husk ash, with its high silica content, is effective as a substitute for conventional silica, enhancing concrete durability and reducing cracking. Meanwhile, coconut fibers provide advantages in tensile strength, flexibility, and earthquake resistance, making them suitable for use in tropical regions. This research underscores the important role of nanotechnology and natural materials in supporting sustainable construction.*



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

@2024 AHS Publisher

## PENDAHULUAN

Bidang industri konstruksi menghadapi tekanan agar terus berkontribusi pada pembangunan berkelanjutan. Dan hal ini merupakan tantangan besar bagi kemajuan industri konstruksi baik pada saat ini atau pada zaman yang akan datang. Perkembangan industri diseluruh dunia dalam penggunaan beton mengalami peningkatan terus menerus, memperlihatkan beton biasanya banyak digunakan dikawasan industry dan non-industry. Beton biasanya terbuat dari semen, dan hampir di seluruh dunia menggunakan semen sebagai bahan

utamanya, penggunaan semen dalam jumlah besar berdampak besar pada tingkat emisi CO<sub>2</sub> yang meningkat dilingkungan dan akan memiliki dampak rumah kaca (Nugraha, 2021).

Industri semen bertanggung jawab menyumbangkan untuk 6-7% emisi CO<sub>2</sub> per tahunnya, oleh karena itu banyak permintaan dengan mengurangi beberapa banyak semen yang telah dipakai untuk konstruksi, sehingga dihasilkan kualitas yang sebanding pada yang sebelumnya atau bahan yang lebih berkualitas dibandingkan dengan yang lalu (Biricik & Sarier, 2014). Diperlukan revolusi untuk mengubah cara mendesain, merancang bangunan dan mengoperasikan dengan mempertimbangkan dampak-dampaknya terhadap lingkungan, ekonomi dan masyarakat yaitu penggunaan nanoteknologi.

Nanoteknologi merupakan ilmu dimana manusia dapat mempelajari dan menyelidiki berbagai gejala alam dalam ukuran nanometer yaitu  $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$  yang diilustrasikan dengan jika jari-jari bumi adalah 1 meter, oleh karena itu pada bola sepak memiliki jari-jari sekitar 1nm (Dwandaru, 2012). Nanoteknologi adalah ilmu yang menarik, memiliki potensi besar dalam produksi material generasi baru dengan sifat yang lebih baik dan memiliki karakteristik dasar dan unik dari bahan nano yaitu memiliki rasio permukaan volume yang tinggi, yang memberikan aktivitas yang lebih tinggi dalam fenomena yang berhubungan dengan permukaan dibandingkan dengan sistem besar dengan massa yang sama (Papadopoulos & Taghiyari, 2019). Nanoteknologi berfokus pada material yang sangat kecil. Efek permukaan dan ukuran kuantum membuat perilaku material berubah secara signifikan pada ukuran ini, sedangkan material curah memiliki sifat fisik yang tetap (Nagraik et al., 2023).

Nanoteknologi memungkinkan pembuatan bahan konstruksi dengan sifat yang ditingkatkan atau baru, Sebagian besar nanopartikel yang dimasukkan ke dalam beton dan semen akan menutup permukaannya, mempercepat proses pengerasan dan meningkatkan sifatnya selain itu kekuatan yang dapat dihasilkan oleh nanopartikel yang termasuk ke campuran beton juga akan meningkat (Gammampila, 2010). Penerapan partikel nano pada bahan bangunan berbasis semen yang banyak digunakan dalam industri konstruksi memiliki pengaruh sangat besar pada aspek konstruksi berkelanjutan yaitu selama proses pembuatan bahan konstruksi, nanoteknologi diklaim dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, menghemat energi dan ramah lingkungan yang diakibatkan oleh industri semen (Garas et al., 2021; Vinayaq et al., 2016). Untuk itu, harus diambil langkah menuju konstruksi berkelanjutan dengan mengambil keputusan untuk evaluasi dan pemilihan bahan nano dalam campuran semen atau beton berdasarkan kriteria berkelanjutan, yaitu mengurangi konsumsi semen dan energi yang dikonsumsi serta peningkatan kualitas lingkungan dengan mengurangi polusi udara, dan limbah padat dengan penerapan bahan alam untuk mendukung konstruksi berkelanjutan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Lumingkewas menemukan bahwa serat tumbuhan bisa menjadi penguat untuk membuat komposit yang kuat, ringan dan ramah lingkungan yaitu salah satunya serat atau sabut kelapa karena sifat daktail yang dimiliki tinggi lebih dibandingkan dengan serat alami yang lainnya yang dapat mengurangi pengaruh beban gempa, dapat meningkatkan kekuatan tekan dan tarik, dan beton yang dihasilkan lebih ringan dibandingkan dengan beton biasa (Lumingkewas, 2018).

Beberapa penelitian juga telah dilakukan untuk melihat atau mengetahui pengaruh terhadap kuatnya tekan baton yang di hasilkan dari abu sekam (Garas et al., 2021). Salah satu cara terbaik untuk mengurangi kerusakan lingkungan adalah dengan mengubah abu sekam padi menjadi bahan berguna dimana (RHA) kandungan yang dimiliki oleh abu sekam padi (SiO<sub>2</sub>) sebesar 85 hingga 97%. Bahan baku juga dapat dihasilkan pada sekam padi yang nantinya bisa diubah menjadi abu dan berguna serta hemat biaya untuk produksi bahan berbasis silika. (Aminudin & Amaria, 2021; Wahab et al., 2020). Dengan mencampurkan silika ke dalam

campuran beton, tujuannya adalah untuk mengatasi masalah retakan saat beton masih dalam kondisi yang baik, dan mengeras, juga dapat menurunkan terjadinya retakan pada beton (Nahla Naji Hilal, Ibrahim A. S AL-Jumailya, 2015). RHA (sekam padi) jika ditambahkan dengan CDA tidak lebih 15% dapat digunakan untuk menghasilkan mortar dan beton yang baik dan berkualitas serta memiliki keunggulan bobot yang ringan yang membuat beton menjadi bahan konstruksi yang berguna (Mishra & Kumar, 2022).

Berdasarkan uraian di atas memperlihatkan bahwa kombinasi teknologi nano dengan bahan alam menawarkan prospek yang menarik untuk konstruksi yang lebih berkelanjutan. Dalam makalah ini akan dibahas mengenai penerapan teknologi nano dari bahan alam untuk konstruksi berkelanjutan.

## METODE

Penelitian ini menggunakan metode literatur review, yang bertujuan untuk mengeksplorasi manfaat nanoteknologi dalam sektor konstruksi, khususnya terkait efisiensi energi, dampak lingkungan, dan material ramah lingkungan. Proses metode ini melibatkan beberapa tahapan berikut:

### 1. Perumusan Pertanyaan Penelitian

Pertanyaan utama difokuskan pada:

- a. Bagaimana nanoteknologi dapat meningkatkan kualitas material konstruksi, khususnya beton?
- b. Bagaimana bahan alam seperti nanoselulosa, abu sekam padi, dan serat kelapa dapat dimanfaatkan dalam konstruksi berkelanjutan?
- c. Apa dampak penerapan nanoteknologi dan bahan alam terhadap efisiensi energi dan lingkungan?

### 2. Pengumpulan Literatur

Literatur dikumpulkan dari berbagai sumber seperti jurnal ilmiah, buku, prosiding, laporan penelitian, dan artikel akademik yang relevan. Database yang digunakan meliputi Scopus, ScienceDirect, Google Scholar, dan ResearchGate. Kata kunci utama yang digunakan adalah:

- a. "Nanoteknologi dalam konstruksi"
- b. "Bahan alam dalam beton"
- c. "Abu sekam padi sebagai bahan konstruksi"
- d. "Serat kelapa dan material bangunan"
- e. "Konstruksi berkelanjutan dengan nanoteknologi"

### 3. Kriteria Seleksi Literatur

Literatur dipilih berdasarkan:

- a. Relevansi dengan topik penelitian (fokus pada nanoteknologi, beton, dan bahan alam).
- b. Diterbitkan dalam rentang waktu 10 tahun terakhir untuk memastikan data terkini.
- c. Artikel yang mengandung data empiris atau analisis mendalam.
- d. Analisis dan Sintesis Data
- e. Data yang dikumpulkan dianalisis secara deskriptif dan tematik. Proses sintesis dilakukan dengan mengelompokkan temuan berdasarkan:
- f. Aplikasi nanoteknologi pada beton.
- g. Pemanfaatan bahan alam (nanoselulosa, abu sekam padi, serat kelapa) dalam konstruksi.

Dampak nanoteknologi terhadap efisiensi energi dan lingkungan.

### 4. Validasi Temuan

Untuk meningkatkan validitas, temuan dibandingkan dengan beberapa penelitian lain guna memastikan konsistensi hasil dan kesimpulan.

## 5. Penyajian Hasil

Hasil kajian disajikan dalam bentuk narasi tematik yang mencakup pengaruh nanoteknologi pada konstruksi, peran bahan alam, serta dampaknya terhadap lingkungan dan efisiensi energi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Teknologi Nano

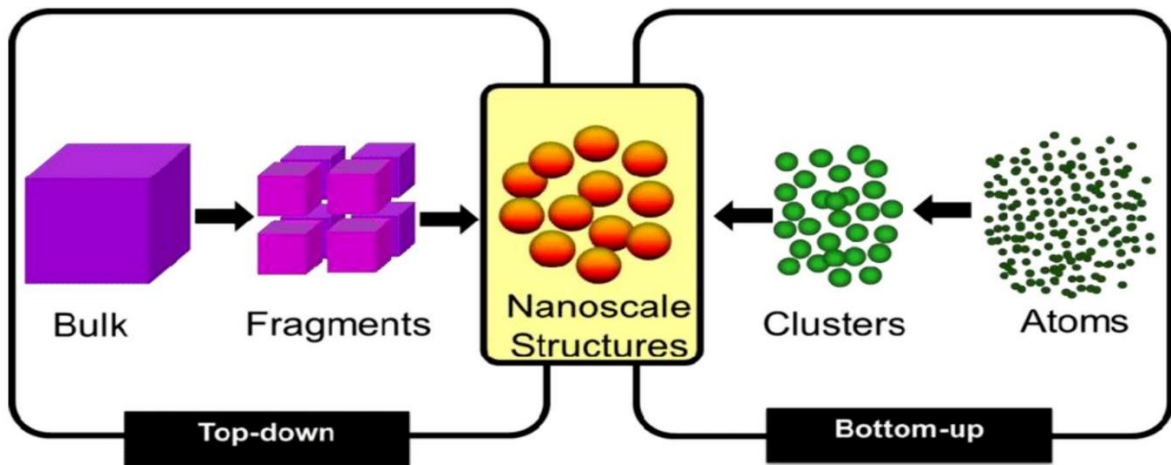
Nanoteknologi merupakan ilmu dan rekayasa yang memeriksa, memantau, dan memodifikasi perilaku dan kinerja material pada skala nano, yaitu antara 1 dan 100 nanometer. Ini adalah proses pembuatan bahan atau perangkat dengan bahan penyusun pada skala atom dan molekul. Nanoteknologi adalah bidang penelitian dan pengembangan teknologi yang bertujuan untuk memahami dan mengendalikan materi pada tingkat molekuler dan dengan demikian mempengaruhi sifat-sifat material secara massal (Lyshevski, 2004). Oleh karena itu, hal ini dapat disimpulkan sebagai pengembangan material baru yang berkinerja tinggi, tahan lama, dari modifikasi struktur molekul material yang sudah ada, dengan demikian, mencapai manfaat yang lebih besar dari kombinasi sebagian besar sifat bahan induk untuk pembangunan berkelanjutan (Olafusi et al., 2019).

Nanoteknologi adalah proses yang menggabungkan unsur-unsur dasar dari fisika, kimia, dan biologi dengan skala yang sangat kecil. Mereka berukuran lebih kecil secara fisik, secara kimia, ikatan baru dan sifat kimia diatur dan tindakan biologis, seperti pengikatan, dibuat pada skala nano. Nanoteknologi menyediakan hubungan antara mekanika klasik dan kuantum dalam area abu-abu yang disebut sistem mesoskopik, dimana mesoskopis merupakan perbatasan antara dunia mikroskopis dan makroskopis (Malik et al., 2023).

Sangat menarik untuk diperhatikan bahwa ukuran minimal sebuah material nano adalah 1 nanometer (1nm), yang digunakan untuk membedakan benda atau partikel dengan ukuran lebih kecil dari pada nanometer. Jika objek memiliki ukuran kurang dari 1 nm. objek tersebut dianggap sebagai bahan atomik yang berarti objek tersebut akan dibedakan antara bahan yang berukuran atomik ( $\sim 10^{-10}$ m) dan bahan yang berukuran nano ( $\sim 10^{-9}$ m). Efek kuantum muncul dan berpengaruh dalam kedua ukuran ini, tetapi cara memanipulasi material dalam kedua ukuran ini berbeda (Dwandaru & Janah, 2018).

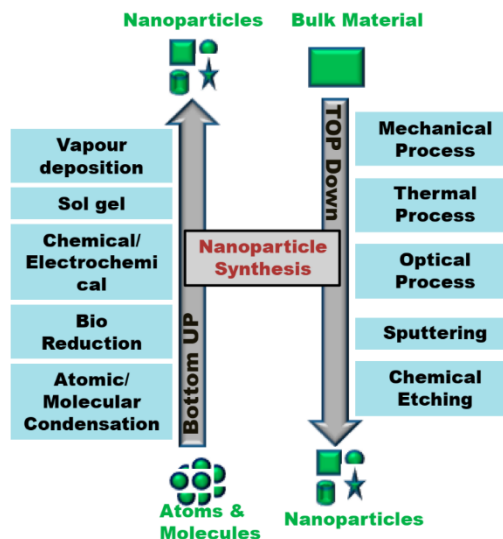
Teknologi mencakup dua (2) pendekatan utama, yaitu :

- 1) Pendekatan *Top Down*, yaitu struktur yang lebih besar dieprkecil dengan ukurannya menjadi skala nano dengan tetap mempertahankan karakteristik awal tanpa kendali tingkat atom, misalnya miniaturisasi dalam bidang elektronik) atau dekonstruksi dari struktur yang lebih besar menjadi bagian-bagian komposit yang lebih kecil.
- 2) Pendekatan *Bottom Up*, yaitu sering disebut sebagai manufaktur molekuler atau nanoteknologi molekuler, di mana bahan yang di buat dari atom atau komponen molekuler melalui proses perakitan sendiri atau perakitan. (Olafusi et al., 2019).



Gambar 1. Ilustrasi Pendekatan *Top Down* dan *Bottom Up* dalam teknologi nano (Olafusi et al., 2019)

Pada dasarnya, pendekatan *top-down* melibatkan penguraian material massal untuk menghasilkan partikel berukuran nano. Selama beberapa dekade terakhir, industri telah mengoptimalkan teknik canggih seperti litografi dan rekayasa presisi untuk mencapai hal ini. Rekayasa presisi membantu sebagian besar industri mikro-elektronik dalam proses produksi secara keseluruhan, dan dengan kombinasi perbaikan, kinerja tinggi dapat dicapai. Ini mencakup penggunaan struktur nano canggih yang berasal dari berlian atau kubik boron nitrida dan sensor untuk mengukur ukuran, dikombinasikan dengan teknologi kontrol numerik dan penggerak servo canggih. Pendekatan *bottom-up* mengacu pada pembentukan struktur nano dari bawah yaitu atom demi atom atau molekul demi molekul dengan metode fisika dan kimia dalam rentang skala nano (1 nm hingga 100 nm) menggunakan manipulasi terkendali perakitan sendiri atom dan molekul (Bayda et al., 2020)



Gambar 2. Konsep teknologi Top Down dan Bottom Up : metode yang berbeda untuk sintesis nanopartikel (Bayda et al., 2020)

## B. Teknologi Nano Dan Konstruksi Berkelanjutan

Dalam skala nano, sifat-sifat bahan dapat berubah secara cepat dan membuka peluang baru dalam bidang industri konstruksi yang dapat menghasilkan material yang lebih ringan, tahan lama, kuat dan lebih hemat energi. Dengan adanya nanoteknologi ini dapat mengubah masa depan industri konstruksi. Secara global bidang industri konstruksi menghadapi tekanan agar terus berkontribusi pada pembangunan berkelanjutan. Dan hal ini merupakan tantangan besar bagi kemajuan industri konstruksi di era sekarang dan kurun waktu yang akan datang

Diperlukan revolusi untuk mengubah cara mendesain, merancang bangunan dan mengoperasikan dengan mempertimbangkan dampak-dampaknya terhadap lingkungan, ekonomi dan masyarakat. Nanoteknologi memiliki peranan penting dalam mencapai tujuan konstruksi berkelanjutan tersebut. Dengan memanfaatkan nanoteknologi, dapat mengurangi konsumsi energi selama proses konstruksi, sehingga dapat meningkatkan nilai efisiensi pada penggunaan sumber daya dan dapat mengurangi berbagai dampak negatif terhadap lingkungan (Garas et al., 2021). Dan nanoteknologi juga berdampak pada pembuatan material konstruksi yang ramah lingkungan yang dapat didaur dengan mudah. Dalam konteks konstruksi berkelanjutan, teknologi nano dari bahan alam menggunakan bahan alami, seperti serat tanaman dan nanoselulosa untuk menciptakan material bangunan yang lebih kuat, lebih ringan, lebih tahan lama dan tentunya lebih hemat energi.

Salah satu material bangunan yang banyak digunakan dalam pembangunan infrastruktur saat ini adalah beton. Beton pada umumnya dibuat dari bahan utama semen. Namun penggunaan semen dalam skala besar sangatlah mempengaruhi aspek konstruksi yang berkelanjutan yaitu terjadinya emisi yang ada di lingkungan CO<sub>2</sub> dan akan memiliki dampak buruk pada efek rumah kaca (Querica & Brouwers, 2010). Penggunaan teknologi nano saat semen dan campuran beton dapat meningkatkan ketahanan mekanis dan masa ketahanan beton. (Nugraha, 2021). Selain itu, akan mempercepat proses pengerasan, menutup permukaan beton, meningkatkan sifat beton, mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan menghemat energi (Garas, et. al, 2021).

Nanoteknologi meningkatkan sifat sebagian besar beton, membantu memperoleh produk akhir yang lebih tipis, waktu pengerasan yang lebih cepat, mencegah keretakan dan mengurangi penyusutan pada beton serta menurunkan tingkat dampak lingkungan (Olafusi et al., 2019). Pemanfaatan bahan alam sebagai bahan pelengkap seperti abu sekampadi, abu tongkol jagung, silika fume, ground granulated blastfurnace, serat kelapa dan sebagainya dalam beton telah meningkatkan karakteristik reologi beton, kinerja ketahanan struktur beton dan pengurangan limbah lingkungan (Olafusi et al., 2017). Selain itu, produksi beton telah secara signifikan membahayakan bumi melalui emisi karbon dioksida, CO<sub>2</sub> selama pembuatan semen Portland (PC). Lima persen CO<sub>2</sub> emisi global terjadi pada produksi beton dengan pembuatan semen menjadi faktor penyebab utamanya.

Sejak terobosan nanoteknologi di bidang konstruksi, berbagai material nano telah diadopsi dalam beton. Nanomaterial telah mencatat terobosan luar biasa dalam bidang konstruksi dan terus menarik minat penelitian dan pengembangan terutama di bidang teknologi beton karena terlihat kemajuan yang nyata dalam peningkatan kinerja dan daya tahan beton. Adapun material bahan nano beton dalam tinjauan konstruksi berkelanjutan adalah (Norhasri et al., 2017) :

### a. Nano Silika

Nano silika merupakan terobosan nanomaterial yang telah diterapkan pada UHPC (beton kinerja ultra tinggi). Secara umum nano silika dihasilkan dari silika berbasis mikro. Reaksi positif yang dihasilkan oleh nano silika pada UHPC (beton kinerja ultra tinggi) mirip dengan silika fume atau mikro silika yaitu dalam hal

peningkatan kekuatan kinerja dan daya tahan. Ukuran nano silika dalam partikel nano berperan sebagai ultra-filler pada beton. Rongga mikro pada beton akan dipadatkan dan diperhalus untuk menghasilkan struktur mikro beton yang rapi. Keunggulan lain dari nano silika adalah rasio air terhadap semen dapat dikontrol dan kekuatan yang ditargetkan dapat dimodifikasi dengan mudah dengan dosis yang terkontrol. penambahan nano silika pada dosis tertentu tidak hanya meningkatkan kekuatan HSC (High Strength Concrete) tetapi juga berperan sebagai bahan pengganti semen. Sekitar 20%–30% kandungan semen dapat dikurangi dengan nano silika. Dengan demikian, nano silika dapat menjadi material alternatif pengganti semen. Namun kelemahan nano silika adalah harga dan ketersediaannya di negara tertentu dan beberapa negara harus mengimpor nano silika untuk digunakan dalam industri beton.

b. Nano Alumina

Silika dan alumina adalah dua (2) bahan kimia utama yang terlibat dalam hidrasi semen. Fungsi silika dalam semen adalah untuk mengubah sifat kekuatan dimana alumina mengontrol waktu pengerasan semen. Nano alumina merupakan produk dari alumina itu sendiri. Meskipun, penelitian terbatas mengenai penggunaan nano alumina dalam beton, penambahannya pada beton khususnya UHPC mempengaruhi setting time. Fungsi nano alumina pada semen adalah mempercepat waktu pengerasan awal UHPC sehingga mengurangi segregasi dan flokulasi pada beton.

c. Nano Kaolin

Nano kaolin adalah produk sampingan dari kaolin. Kaolin atau namakimianya, kaolinit merupakan mineral lempung, bagian dari mineral industri, mempunyai komposisi kimia  $Al_2Y_2HAI_5(OH)_4$ . Ini merupakan salah satu mineral yang berlapis, dengan satu lembaran tetrahedral yang dihubungkan melalui atom oksigen ke lembaran oktahedral alumina octahedral. Batuan yang kaya akan kaolinit dikenal dengan sebutan kaolin atau tanah liat cina. Kaolinit mengandung mineral putih yang juga dikenal sebagai tanah liat phyllosilicate dioctahedral. Ini terbentuk dari tanah liat yang dihasilkan oleh pelapukan kimia mineral aluminium silikat seperti feld. Kaolin setelah perlakuan atau dehidrasi endotermik akan berubah dari tahap kristal menjadi amorf. Transformasi tersebut akan mengubahnya menjadi bentukan baru dari tanah liat yang disebut metakaolin. Tanah liat dapat dianggap sebagai bahan yang murah. Material nano berbahan dasar tanah liat dapat disesuaikan dengan biaya yang memadai. Meskipun terdapat tanah liat di sebagian besar dunia, pedoman dan teknik untuk menerapkan dan membentuk bahan tanah liat menjadi nano masih belum terungkap. Penelitian mengenai kelebihan dan kekurangan nano clay sebagai bahan konstruksi perlu dikaji. Biasanya dalam konstruksi, tanah liat nano diaplikasikan sebagai bahan tambahan untuk meningkatkan sifat beton. Peningkatan kekuatan tekan dan tarik untuk semen mortar yang mengandung nano clay sebagai aditif telah dicatat. Perilaku termal beton juga membaik setelah nano clay ditambahkan sebagai bahan tambahan semen pada pasta.

d. Tanah liat nano

Nano clay adalah nanopartikel mineral silikat berlapis. Tergantung pada komposisi kimia dan morfologi nanopartikel, lempung nano disusun menjadi beberapa kelas seperti montmorillonit, bentonit, kaolinit, hektorit, dan haloisit. Nano clay adalah salah satu bahan paling terjangkau yang telah menunjukkan hasil yang menjanjikan dalam polimer. Tanah liat nano terbuat dari endapan mineral montmorillonit yang diketahui memiliki struktur "trombosit" dengan dimensi rata-rata tebal 1 nm dan lebar 70–150 nm. Struktur unik dari tanah liat montmorillonit adalah ia memiliki beberapa

kualitas yang menjadikannya dasar yang sangat baik untuk manipulasi melalui nanoteknologi. Kualitas ini mencakup stabilitas, ruang antar lapisan, kapasitas hidrasi dan pengembangan yang tinggi, serta reaktivitas kimia yang tinggi.

### C. Konstruksi Hijau Dan Berkelanjutan

Pemanasan global dan krisis energi telah menjadi alasan utama masyarakat global beralih ke konstruksi berkelanjutan dengan teknologi hijau, teknologi bersih, dan energi bersih/hijau telah digunakan sebagai alternatif. Untuk mencapai tujuan berkelanjutan perlu dipahami konsep rumah/bangunan pintar melalui penggunaan prinsip material nanoteknologi maka konstruksi bangunan dapat lebih hemat energi (Sob et al., 2020).

Konstruksi bangunan berkelanjutan menggunakan material struktur nano atau nanopartikel yang memiliki kemampuan untuk mengubah atau memodernisasi konstruksi konvensional menjadi konstruksi berkelanjutan/hijau,, oleh karena itu, rumah/bangunan pintar nano dapat menyelesaikan tujuan membangun rumah energi hijau/bersih (Chausali et al., 2023).

CO<sub>2</sub> Emisi mengalami peningkatan dari industri telah mengakibatkan peningkatan pemanasan global dan menyebabkan penipisan lapisan ozon. Jadi, setiap industri harus beralih dari kebutuhan energi tidak bersih ke energi bersih (X. Huang et al., 2015; Sob et al., 2020). Untuk tujuan ini energi surya telah dipromosikan untuk digunakan pada mobil, rumah, bangunan komersial dan industri. Semua nanomaterial yang digunakan untuk berbagai tujuan dalam konstruksi berkelanjutan atau hijau terangkum pada Tabel dibawah ini :

Tabel 1. Nanomaterial Yang Digunakan Untuk Berbagai Tujuan Dalam Konstruksi Berkelanjutan Atau Hijau (Chausali et al., 2023)

Nanomaterial	Properties	Applications
TiO <sub>2</sub> , ZnO <sub>2</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , CdSe NPs	Photocatalytic capacity	Air purification
Silica aerogel NPs	Lowest thermal conductivity	Aerogel based window (high insulation)
Silicon solar collector	Increased efficiency of solar cells	Electrical energy production
Nanocoating boards	Energy efficiency	Insulation
Self cleaning, depolluting, antimicrobial, UV protection materials	Natural material used	Pollution prevention
Pt NPs	Increased efficiency of fuel cells	Energy production
CNTs	Increased mechanical strength, Lighter and longlasting	Structural materials for building
Nanosilica	Increased compression strength of cement	Structural materials for building,
Nano SiO <sub>2</sub>	Strengthening material	Tile manufacturing
Nano TiO <sub>2</sub> and Nano SiO <sub>2</sub>	Enhance strength and pore structure of concrete	Structural materials for building
Nano copper	Coatings	Resistance to erosion and corrosion
Thin film coatings (nano scale stainless steel)	Bloking of UV rays, sunlight, Cooling	Window curtains, insulation
Nano NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Nano refrigeration oil to increase energy efficiency	Residential air conditioner
Nano TiO <sub>2</sub>	Repel water and dust, prevent icing due to superhydrophobic/hydrophilic surface	Self cleaning material, Protection of building structure. Air pollution reduction
Polymer fullerene on flexible plastic	Nanosolar panels	Charging phones, laptops
Metallic nanostructures	Increased efficiency	LED (light emitting diodes)
Nano TiO <sub>2</sub>	Photocatalytic capacity (oxidation of pollutant into non toxic compounds)	Water purification
TiO <sub>2</sub> NPs	Photocatalytic capacity	Air purification

## **D. Aplikasi Teknologi Nano Bahan Alam Dalam Konstruksi Bangunan**

### **1. Abu Sekam Padi (RHA) Pada Potensi Silika**

Indonesia memiliki banyak silika, bahan yang dapat diperbaharui. Meskipun silika dapat dihasilkan di Indonesia dengan berbagai macam sumber, termasuk pasir kuarsa, penggunaan pasir kuarsa untuk mendapatkan silika akan merusak lingkungan. Selain pasir kuarsa, bagas tebu dan sekam padi adalah sumber silika yang lebih aman.

Saat beton baru dan belum mengeras, penggunaan silika dengan campuran beton dimaksudkan untuk mengatasi masalah retakan. Penambahan material silika ke campuran beton dapat mengurangi retakan beton. Adanya kalsium hidroksida pada ikatan silika dengan dapat membantu beton menjadi lebih tahan terhadap gas, air dan mengurangi retakan serta meningkatkan daya tahan beton. Salah satu bahan silika merupakan jenis padatan nanosilika yang mempunyai sifat unggul dengan adanya berbandingan ukurannya secara keseluruhan. Nanosilika mengasilkan sifat unik seperti luas permukaan yang tinggi, ukuran volume dan ukuran pori yang seragam, toksisitas rendah, biokompatibilitas yang baik, kemampuan merangkul bahan hidrofobik dan hidrofilik, dan sebagainya (L. P. Singh et al., 2014; P. Singh et al., 2019). Karena abu sekam padi mempunyai kandungan silika tertinggi, maka cocok dimanfaatkan sebagai pengganti sumber silika. Sifat luar biasa ini menjadikan abu sekam padi sebagai substituen silika yang paling cocok dibandingkan silika konvensional lainnya.

Sekam padi adalah lapisan luar padi yang menjadi hasil dari samping panen pertanian, yang ditetapkan sebagai silika alami, selain dapat diolah dengan asam sitrat untuk mencapai kemurnian sebelum dibakar sehingga berkontribusi pada pembuatan beton ramah lingkungan (Kantapong et al., 2018). Residu padat abu sekam padi mempunyai reaktivitas pozzolan yang tinggi sehingga banyak mendapat perhatian karena ketersediaannya, ekonomis dengan luas spesifik yang tinggi, kandungan silika yang tinggi, aktivitas pozzolan yang tinggi, fase kristalisasi silika amorf, dan struktur mikro berpori. Oleh karena itu, bahan ini memiliki prospek untuk menjadi bahan pelengkap dan bersifat semen yang menjanjikan (Agwa dkk., 2020 ; H. Huang dkk., 2017 ; Miyandehi dkk., 2016)

Komposisi kimia sekam padi (RHA) mirip dengan komposisi silika fume (SF), namun RHA bukanlah material ultra halus seperti SF. RHA dibakar pada 600- $^{\circ}$ C memperoleh 84% SiO<sub>2</sub> dengan 55,87 silika amorf, dan 28,13 dalam keadaan kristal meningkatkan kuat tekan sebesar 50% dibandingkan dengan beton normal, selain itu, dalam produksi beton, penggunaan RHA sebagai pengganti SF tidak hanya meningkatkan sifat beton tetapi juga mengurangi pencemaran lingkungan dan mengurangi biaya. Beberapa peneliti dari Tiongkok menyelidiki aplikasi RHA dan melaporkan bahwa RHA dapat meningkatkan sifat mekanik dan hidrasi beton, selain ketahanannya yang baik dalam hal impermeabilitas, ketahanan terhadap embun beku, dan ketahanan terhadap serangan bahan kimia (Wang et al., 2017).

Namun, limbah berharga ini biasanya dibiarkan begitu saja di tanah hingga menjadi busuk atau lebih parahnya lagi dibakar untuk dibuang. Oleh karena itu, memanfaatkannya sebagai sampah daur ulang adalah pilihan terbaik dibandingkan membiarkannya dibuang dengan cara yang tidak aman. Metode daur ulang ini memberi kita beberapa keuntungan seperti sumber energi terbarukan, menghemat konsumsi energi, menghindari pembakaran terbuka sehingga melindungi lingkungan kita (Khaidir et al., 2019; Lee et al., 2017). Selain itu, memproduksi abu sekam padi putih dari sampah daur ulang juga jauh lebih murah dibandingkan produksi silika konvensional (Wahab et al., 2020).

### a. Abu Sekam Padi (RHA) Pada Sintesis Nanosilika

#### 1. Perlakuan Awal (Pre-treatment) Pada Sekam Padi

Untuk mengekstrak abu sekam padi dan mengekstrak silika. Secara umum, perawatan awal sekam padi melibatkan pemisahan sekam dari pengotor seperti pasir dan tanah. Setelah itu, sekam diproses menjadi abu sekam atau dibakar selama satu sampai enam selai pada suhu di atas 500°C, di mana pada semua komponen yang dihasilkan pada organik diubah menjadi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan uap udara (H<sub>2</sub>O). Akibatnya hanya abu yang tersisa, yang terdiri dari komponen anorganik (Aminudin & Amaria, 2021). Dalam kondisi ini terjadi pembakaran cangkang dimana seluruh komponen organik ini diubah menjadi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan uap air (H<sub>2</sub>O), sehingga hanya terdapat abu yang mengandung komponen anorganik. Pada pendahuluan di atas telah dijelaskan bahwa komponen utama dari abu sekam padi yaitu silikon. Selanjutnya abu sekam padi dicuci dengan menggunakan asam panas untuk menghilangkan pengotor dan ion logam seperti ion besi, ion kalsium, ion magnesium dan ion aluminium yang terkandung dalam abu tersebut. Abu sekampadi tersebut mengalamiproses pengolahan awal sebagai berikut. Diproduksi menggunakan proses ekstraksi silika. Jika ukuran amplop semakin tipis maka luas permukaan amplop akan bertambah. Luas permukaan bola yang besar dapat meningkatkan efek pencucian asam dan membuat proses pembakaran lebih efisien.

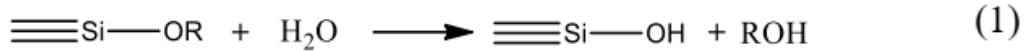
#### 2. Metode Sintesis Nanosilika

Adapun Metode yang paling cocok digunakan untuk membuat nanosilika dari abu sekam padi (RHA) adalah metode sol-gel (Gu et al., 2013). Metode ini melibatkan reaksi kimia dalam larutan prekursor silikat untuk menyebabkan sintesis jaringan polimer anorganik. Pembentukan silika gel ini terjadi pada suhu rendah, melalui reaksi yang membentuk ikatan siloksan (-SiO-Si-) di dalam partikel dan ikatan silanol (Si-OH) di permukaan partikel. Gel kemudian dikeringkan untuk membentuk padatan silika dengan dimensi nanometer (1-100 nm).

Pada pembentukan sol silika dimulai dengan adanya reaksi hidrolisis dan kondensasi prekursor silikat. Partikel SiO<sub>2</sub> yang terdispersi dalam udara disebut sol silika, dan karena permukaannya adsorpsi ion hidroksida, sistem koloid sol stabil. Pada tahap ekstraksi silika dari abu sekam padi, partikel SiO<sub>2</sub> terhidrolisis oleh larutan basa yang kemudian dilanjutkan gelifikasi sol silika.

Gelifikasi terjadi dalam tiga tahap: polimerisasi monomer bertujuan untuk membentuk partikel, pertumbuhan partikel, dan penyatuan partikel dalam rantai cabang yang menyebar ke seluruh lingkungan, untuk meningkatkan viskositas hingga terbentuknya gel. Dalam proses ini, koloid (sol) berubah menjadi fasa cair kontinyu (gel). Proses gelifikasi dilakukan dengan menambahkan larutan asam pada natrium silikat. Larutan asam berfungsi sebagai mengatur kondisi pH di bawah 7 sehingga dapat terbentuk gel silika. Beberapa larutan asam yang telah digunakan selama proses gelifikasi termasuk asam oksalat, CH<sub>3</sub>COOH, asam sitrat, dan HCl. Reaksi kimia pada proses solgel melalui dua tahap yaitu hidrolisis dan kondensasi diperlihatkan seperti gambar berikut :

### Hidrolisis

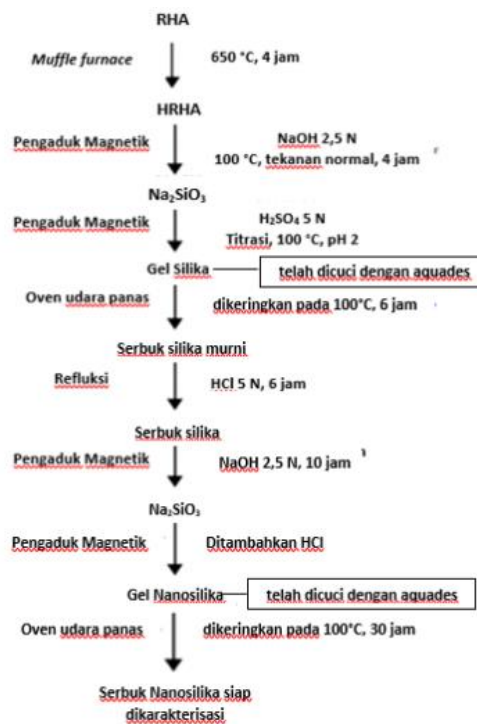


### Kondensasi



Gambar 3. Reaksi kimia proses sol gel silika (Aminudin & Amaria, 2021)

Untuk mendapatkan silika berukuran nanometer, pelarutan basa di lakukan dengan dua langkah yaitu proses pelarutan pertama yang digunakan bertujuan untuk memisahkan silika dari abu sehingga di peroleh silika murni dan proses pelarutan yang kedua yang bertujuan untuk memperoleh nanosilika dari padatan silika murni.



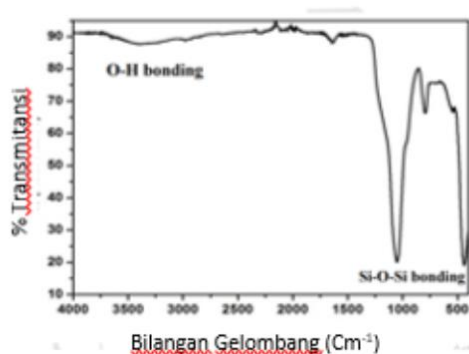
Gambar 4. Alur sintesis nanosilika dengan dua kali pelarutan basa

#### b. Karakterisasi Nanosilika Dari abus Sekam Padi (RHA)

Karakterisasi nanosilika ini dilakukan untuk mengetahui beberapa sifat fisik dan kimia nanosilika yang diolah. Beberapa metode metrologi untuk mengetahui sifat-sifat nanosilika yang diperoleh antara lain *Difraksi sinar-X (XRD)*, *spektroskopi inframerah Fourier transform (FT-IR)*, *spektroskopi sinar-X dispersif energi (EDX)*, dan *scanning electron microscopy (SEM)*, *Mikrograf elektron transmisi (SEM)*.

## 1. Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

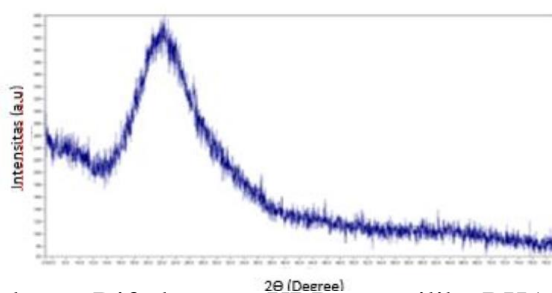
*Fourier-transform Infrared Spectroscopy* (FT-IR) merupakan instrument yang menggunakan prinsip kerja spektroskopi inframerah dan dilengkapi transformasi fourier untuk mengalalisis dan mendeteksi spektrum yang akan dihasilkan. Hasil pengukuran dinyatakan dalam bentuk spektrum, yang mencakup serangkaian puncak atau serapan yang mewakili interaksi energi pada panjang gelombang tertentu khususnya senyawa organik. FTIR juga dapat dipergunakan dengan mengidentifikasi gugus fungsi senyawa anorganik. Setiap puncak dalam spektrum dikaitkan dengan jenis ikatan atau gugus fungsi dalam molekul, misalnya gugus silanol dan siloksan pada senyawa silika. Hasil spektrum dapat dilihat pada Gambar di bawah ini. Berdasarkan gambar yang dilihat, muncul beberapa puncak serapan. Puncak dominan pada 1033  $\text{cm}^{-1}$  diakibatkan oleh adanya getaran asimetris gugus siloksan (Si-O-Si) dan pita lebar pada sekitar 3000-3500  $\text{cm}^{-1}$  disebabkan oleh gugus silanol (Si-OH). Kemudian, puncak kecil dengan luas 1600  $\text{cm}^{-1}$  tersebut diakibatkan oleh adanya getaran lentur molekul air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) yang masih terperangkap dalam nanosilika.



Gambar 5. Spektra FTIR dari nanosilikia RHA

## 2. X-Ray Diffraction XRD

Metode ini dilakukan dengan menganalisis difraksi sinar *X-ray Diffraction* XRD didasarkan pada prinsip hamburan sinar-X secara kualitatif atau kuantitatif melalui tumbukan bahan sampel dengan bahan sampel (studi tentang struktur kristal bahan). Hasil metode ini ditampilkan sebagai pola XRD. Kristalinitas serta fase nanosilika abu sekam padi dapat dilakukan analisis dengan menggunakan metode XRD. Gambar 6 menunjukkan gambar difraktogram nanosilika abu sekam padi. Gambar 6 menegaskan bahwa fase nanosilika abu sekam padi memiliki struktur amorf. Meskipun ini merupakan ciri khas nanosilika abu sekam padi silika umumnya memiliki banyak fase yang dipengaruhi oleh suhu sintesis dan suhu pemrosesan awal.



Gambar 6. Difraktogram XRD nanosilikia RHA

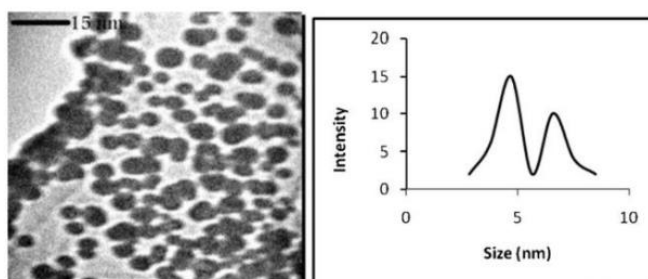
### 3. Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EXD)

Prinsip pengoperasian pada alat ini merupakan interaksi yang terjadi antara sampel dengan jumlah eksitasi pada sinar-X dimana unsur mempunyai struktur unsur atom yang unik, sehingga memungkinkan sinar-X untuk diidentifikasi. Jumlah dan energi sinar-X yang akan dipancarkan oleh sampel mencirikan struktur atom unsur-unsur yang dipancarkan, sehingga spektrometer dispersif energi dapat mengukur komposisi unsurnya.

### 4. Scanning Electron Microscope (SEM) dan Transmission Electron Microscope (TEM)

Bentuk serta morfologi nanosilika yang dihasilkan dapat diperiksa dengan menggunakan mikroskop pembesaran tinggi yang biasa disebut scanning electronmikroskop (SEM), yaitu mikroskop elektron yang menganalisis topografi, dapat menggunakan dan mengamati. Permukaan sampel dipindai dengan berkas elektron terfokus dengan perbesaran hingga skala tertentu. Elektron ini dapat berinteraksi dengan atom atau dalam sebuah sampel, yang menghasilkan berbagai sinyal berisi informasi tentang morfologi dan komposisi permukaan sampel. Meskipun SEM dan TEM memiliki prinsip operasi yang serupa, terdapat beberapa perbedaan mendasar antara TEM dan SEM, yaitu cara elektron diiradiasi ke target dalam sampel. Dalam TEM, sampel sangat tipis sehingga elektron ditransmisikan atau melewatinya untuk dicitrakan. Pada metode SEM, elektron tidak melewati sampel, sehingga hanya cahaya yang dihasilkan ketika elektron mengenai permukaan sampel yang dideteksi oleh detektor dan diproses. Dari hasil analisis yang didapatkan pada SEM, nanosilika abu sekam padi mempunyai bentuk bulat, seragam, dan beragregasi.

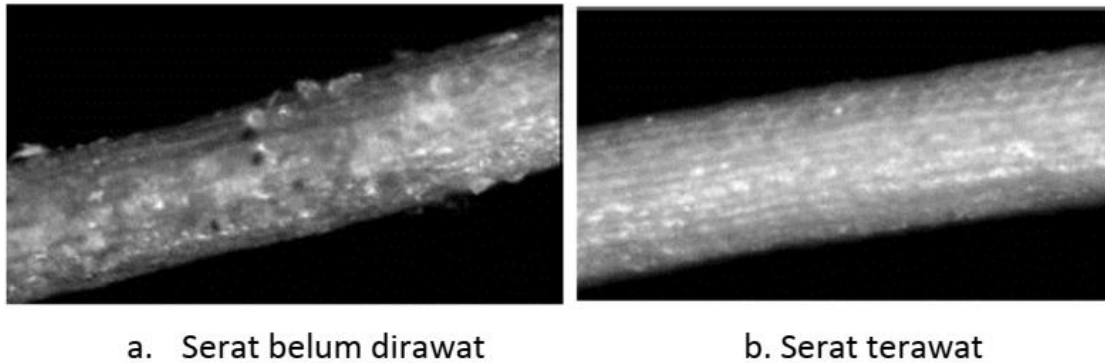
Hasil analisis SEM ini, membuktikan bahwa adanya nanosilika dari abu sekam padi memiliki bentuk bulat (*Spherical Shape*), seragam, dan teragregasi. Hasil SEM ditunjukkan pada Gambar 7:



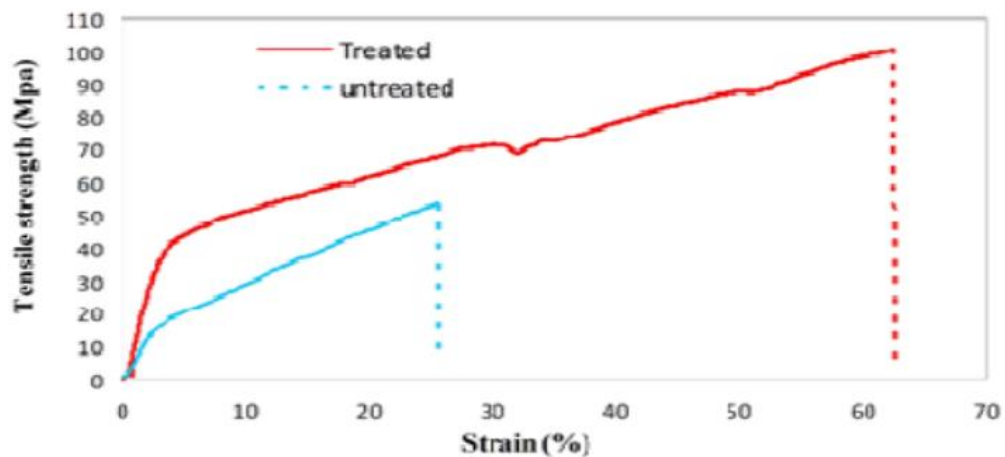
Gambar 7. Hasil TEM dan diagram distribusi ukuran partikel nanosilika RHA

## 2. Potensi Serat Kelapa

Hasil pada penelitian ini menunjukkan bahwa serat kelapa yang dihasilkan dari Indonesia mempunyai kelebihan untuk meningkatkan kekuatan tarik dan ketahanan renggang setelah proses pencucian. Serabut kelapa mempunyai kelebihan sebagai bahan penguat untuk konstruksi, terutama pada daerah tropis yang rawan akan gempa. Serabut kelapa setelah diberikan perlakuan menunjukkan peningkatan kekuatan dan ketahanan tarik 2 (dua) kali lebih tinggi dibandingkan serat sabut kelapa yang tidak di berikan perlakuan.



Gambar 8. Serat kelapa terawatt dan belum terawatt



Gambar 9. Kekuatan Tarik serat kelapa yang terawatt dan belum terawatt

Penelitian ini dilakukan terhadap campuran dengan serat mortar beton untuk mendapatkan kelebihan material mortar beton terbaru. Serat serabut kelapa, memperlihatkan bahwa penambahan serat sebagai bahan dengan berbasis semen seperti mortar dan beton dapat meningkatkan Kekuatan tarik dan kekuatan tekan. Keunggulan lainnya adalah lebih ringan dibandingkan beton tradisional dan memiliki sifat ulet sehingga mengurangi efek beban gempa. Penelitian dilakukan dengan menggunakan pengujian mekanis mortar semen beton dengan perkuatan sabut kelapa. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan kekuatan terutama pada uji tarik. Pada kadar serat 3% sifat kekuatan tariknya meningkat 100%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa serabut kelapa dapat digunakan sebagai penguat pada material komposit dan memiliki keuletan yang tinggi (Lumingkewas, 2018). Serat kelapa ini memiliki berfungsi sebagai tulangan mikro yang melindungi beton dari keretakan (Cevallos & Olivito, 2015). Sistem perkuatan mikro ini didasarkan pada prinsip mekanis, yaitu hubungan antara serat dan beton. Oleh karena itu, komposit beton serat merupakan material yang tidak mudah retak dan pecah. Cocok digunakan pada pelat bangunan dan jembatan, landasan pesawat terbang, dan jalan beton semen. Studi yang mengevaluasi pengaruh serat sabut dalam beton terhadap beban dinamis menunjukkan bahwa serat tersebut sangat ulet. Hasil penelitian menunjukkan bahwa

komposit beton berbahan dasar serabut kelapa dengan panjang serat 5 cm dan kadar serat 5% mempunyai sifat terbaik (Ali et al., 2012).

Beton yang terbuat dari bahan alam berserat memiliki beberapa keuntungan. Ini termasuk meningkatkan kekuatan tarik dan lentur, meningkatkan daktilitas dan kemampuan menyerap energi saat berdeformasi, dan meningkatkan ketahanan terhadap beban dan tekanan tumpukan. Perkembangan teknologi beton berukuran nano semakin cepat, yang menunjukkan bahwa beton yang ditambahkan nano silika memiliki kekuatan awal yang lebih besar daripada beton yang ditambahkan mikro silika. Beton yang dibuat dengan nanosilika lebih kuat dan tahan lama (Lumingkewas et al., 2018; Norhasri et al., 2017).

## KESIMPULAN

1. Dengan memanfaatkan nanoteknologi, dapat mengurangi konsumsi energi selama proses konstruksi, penggunaan sumber daya yang meningkatkan nilai efisiensi dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, berdampak pada pembuatan material konstruksi yang ramah lingkungan yang dapat didaur dengan mudah.
2. Salah satu material bangunan yang banyak digunakan dalam pembangunan infrastruktur adalah beton. Melalui penggunaan nanoteknologi meningkatkan sifat sebagian besar beton, membantu memperoleh produk akhir yang lebih tipis, waktu pengerasan yang lebih cepat, mencegah keretakan dan mengurangi penyusutan pada beton serta menurunkan tingkat dampak lingkungan.
3. Teknologi nano dari bahan alam menggunakan bahan alami, seperti serat tanaman dan nanoselulosa dapat menciptakan material bangunan yang lebih kuat, lebih ringan, lebih tahan lama dan tentunya lebih hemat energi.
4. Pemanfaatan bahan alam sebagai bahan pelengkap dalam pembuatan beton adalah
  - a. Abu sekam padi mempunyai kandungan silika tertinggi, maka cocok dimanfaatkan sebagai pengganti sumber silika dan menjadikan abu sekam padi sebagai substituen silika yang paling cocok dibandingkan silika konvensional lainnya. Hasil pada penggunaan silika pada campuran beton bermaksud untuk mengatasi permasalahan keretakan pada saat beton masih segar dan keras, serta dapat mengurangi keretakan yang terjadi pada beton, dan terdapat ikatan silika yang berkaitan pada kalsium hidroksida dapat menurunkan permeabilitas gas dan air serta mengurangi keretakan apabila terjadi pada beton serta meningkatkan daya tahan beton.
  - b. Serat kelapa yang mempunyai potensi sebagai material untuk memperkuat pada konstruksi dan yang paling utama pada daerah di negara tropis di karenakan rawan dengan gempa. Serat atau sabut kelapa setelah diberikan perlakuan perawatan ini menunjukkan dengan peningkatan kelenturan serta dengan peningkatan kekuatan tarik 2 (dua) kali lipat lebih tinggi dibandingkan dengan serat atau sabut kelapa yang tidak diberikan perlakuan. Penambahan serat yang dihasilkan sebagai bahan perikat seperti mortar dan beton dapat meningkatkan kekuatan tarik dan tekan. Keunggulan lainnya adalah bobotnya lebih ringan dibandingkan dengan beton konvensional dan memiliki sifat daktilitas sehingga membantu mencegah dampak dari beban gempa.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agwa, I. S., Omar, O. M., Tayeh, B. A., & Abdelsalam, B. A. (2020). Effects of using rice straw and cotton stalk ashes on the properties of lightweight self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 235, 117541. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117541>

- Ali, M., Liu, A., Sou, H., & Chouw, N. (2012). Mechanical and dynamic properties of coconut fibre reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 30, 814–825. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.068>
- Aminudin, M. R., & Amaria. (2021). Sintesis dan Karakterisasi Nanosilika dari Abu Sekam Padi (RHA). *Prosiding Seminar Nasional Kimia (SNK)*, 17–33.
- Bayda, S., Adeel, M., Tuccinardi, T., Cordani, M., & Rizzolio, F. (2020). The history of nanoscience and nanotechnology: From chemical-physical applications to nanomedicine. *Molecules*, 25(1), 1–15. <https://doi.org/10.3390/molecules25010112>
- Cevallos, O. A., & Olivito, R. S. (2015). Effects of fabric parameters on the tensile behaviour of sustainable cementitious composites. *Composites Part B: Engineering*, 69, 256–266. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.10.004>
- Chausali, N., Saxena, J., & Prasad, R. (2023). Nanotechnology as a sustainable approach for combating the environmental effects of climate change. *Journal of Agriculture and Food Research*, 12(January), 100541. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100541>
- Dwandaru, W. S. B. (2012). Aplikasi Nanosains dalam Berbagai Bidang Kehidupan: Nanoteknologi. *Artikel*, 1–9. <http://staffnew.uny.ac.id/upload/132309688/penelitian/APLIKASI+NANOSAINS+DALAM+KEHIDUPAN+SEHARI.pdf>
- Dwandaru, W. S. B., & Janah, N. M. (2018). *NANO MATERIAL : QUANTUM DOT, NANOPARTIKEL PERAK, GRAPHENE, DAN BAKTERI (Pertama)*. UNY Press.
- Gammampila, et. a. (2010). Application of nanomaterials in the sustainable built environment. *Proceedings of the International Conference on Sustainable Built Environments: Special Session on Nanotechnology and Sustainable Built Environment*, December, 13–14.
- Garas, G., Sayed, A. M., & Bakhom, E. S. H. (2021). Application of nano waste particles in concrete for sustainable construction: a comparative study. *International Journal of Sustainable Engineering*, 14(6), 2041–2047. <https://doi.org/10.1080/19397038.2021.1963004>
- Gu, S., Zhou, J., Luo, Z., Wang, Q., & Ni, M. (2013). A detailed study of the effects of pyrolysis temperature and feedstock particle size on the preparation of nanosilica from rice husk. *Industrial Crops and Products*, 50, 540–549. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.08.004>
- Huang, H., Gao, X., Wang, H., & Ye, H. (2017). Influence of rice husk ash on strength and permeability of ultra-high performance concrete. *Construction and Building Materials*, 149, 621–628. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.155>
- Huang, X., Xing, G., Li, Y., & Nannen, E. (2015). Nanomaterials for energy-efficient applications. *Journal of Nanomaterials*, 2015, 2–4. <https://doi.org/10.1155/2015/524095>
- Kantapong, B., Withit, P., Tachai, L., & Katsuyoshi, K. (2018). Effect of rice husk ash silica as cement replacement for making construction mortar. *Key Engineering Materials*, 775 KEM, 624–629. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.775.624>
- Khaidir, R. E. M., Fen, Y. W., Zaid, M. H. M., Matori, K. A., Omar, N. A. S., Anuar, M. F., Wahab, S. A. A., & Azman, A. Z. K. (2019). Exploring Eu<sup>3+</sup>-doped ZnO-SiO<sub>2</sub> glass derived by recycling renewable source of waste rice husk for white-LEDs application. *Results in Physics*, 15(August). <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2019.102596>
- Lee, C. S., Amin Matori, K., Ab Aziz, S. H., Kamari, H. M., Ismail, I., & Mohd Zaid, M. H. (2017). Comprehensive Study on Elastic Moduli Prediction and Correlation of Glass and Glass Ceramic Derived from Waste Rice Husk. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/8962986>

- Lumingkewas, R. H. (2018). Beton Nano Komposit Serat Alam Sebagai Bahan Konstruksi Infrastruktur Tahan Gempa. *Technopex* 2018, 251–257. <http://technopex.iti.ac.id/ocs/index.php/tpx18/tpx18/paper/viewPaper/117>
- Lumingkewas, R. H., Yuwono, A. H., Hadiwardoyo, S. P., & Saparudin, D. (2018). The compressive strength of coconut fibers reinforced NANO concrete composite. *Materials Science Forum*, 943 MSF, 105–110. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.943.105>
- Lyshevski, S. E. (2004). Nanotechnology. *The CRC Handbook of Mechanical Engineering*, Second Edition, 18-1-18–18. <https://doi.org/10.3141/2141-09>
- Malik, S., Muhammad, K., & Waheed, Y. (2023). Nanotechnology: A Revolution in Modern Industry. *Molecules*, 28(2). <https://doi.org/10.3390/molecules28020661>
- Mishra, S. N., & Kumar, N. M. (2022). Impact of Partial Substitution of Cement with Cow Dung Ash and Rice Husk Ash on Performance of Concrete. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10(5), 5103–5108. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.43601>
- Miyandehi, B. M., Feizbakhsh, A., Yazdi, M. A., Liu, Q. feng, Yang, J., & Alipour, P. (2016). Performance and properties of mortar mixed with nano-CuO and rice husk ash. *Cement and Concrete Composites*, 74, 225–235. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.10.006>
- Nagraik, P., Shukla, S. R., Kelkar, B. U., & Paul, B. N. (2023). Wood modification with nanoparticles fortified polymeric resins for producing nano-wood composites: a review. *Journal of the Indian Academy of Wood Science*, 20(1), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s13196-023-00313-2>
- Nahla Naji Hilal, Ibrahim A. S AL-Jumailya, Q. K. (2015). An overview on the Influence of Pozzolanic Materials on Properties of Concrete. *International Journal of Enhanced Research in Science Technology*, 4(3), 81–92.
- Norhasri, M. S. M., Hamidah, M. S., & Fadzil, A. M. (2017). Applications of using nano material in concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 133, 91–97. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.005>
- Nugraha, A. W. (2021). Potensi Penggunaan Partikel Nanosilika Dari Abu Sekam Padi Sebagai Bahan Tambahan Dalam Pembuatan Beton (Mini Review). *Agroindustrial Technology Journal*, 5(1), 21. <https://doi.org/10.21111/atj.v5i1.5111>
- Olafusi, O. S., Adewuyi, A. P., Sadiq, O. M., Adisa, A. F., & Abiola, O. S. (2017). Rheological and Mechanical Characteristics of Self-Compacting Concrete Containing Corncob Ash. *Journal of Engineering Research*, 22(1), 72–85.
- Olafusi, O. S., Sadiku, E. R., Snyman, J., Ndambuki, J. M., & Kupolati, W. K. (2019). Application of nanotechnology in concrete and supplementary cementitious materials: a review for sustainable construction. *SN Applied Sciences*, 1(6), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0600-7>
- Papadopoulos, A. N., & Taghiyari, H. R. (2019). Innovative wood surface treatments based on nanotechnology. *Coatings*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/coatings9120866>
- Singh, L. P., Bhattacharyya, S. K., Kumar, R., Mishra, G., Sharma, U., Singh, G., & Ahalawat, S. (2014). Sol-Gel processing of silica nanoparticles and their applications. *Advances in Colloid and Interface Science*, 214, 17–37. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2014.10.007>
- Singh, P., Srivastava, S., & Singh, S. K. (2019). Nanosilica: Recent Progress in Synthesis, Functionalization, Biocompatibility, and Biomedical Applications. *ACS Biomaterials Science and Engineering*, 5(10), 4882–4898. <https://doi.org/10.1021/acsbomaterials.9b00464>

- Sob, P. B., Alugongo, A. A., & Tengen, T. B. (2020). A conceptual model based on nanoscience and nanotechnology in design of smart home for energy efficiency. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 13(1), 100–106. <https://doi.org/10.37624/ijert/13.1.2020.100-106>
- Vinayaq, M. B., Aleem, M. I. Abdul, & P. Magudeswaran. (2016). Strength and Durability Characteristic of Geopolymer Concrete With Micro Silica Nano Silica and M-Sand. *Researchgate.Net*, 7(1), 669–678. [https://www.researchgate.net/profile/Magudeaswaran-Palanisamy/publication/304999975\\_Strength\\_and\\_durability\\_characteristic\\_of\\_geopolymer\\_concrete\\_using\\_nanosilica\\_micro\\_silica\\_with\\_m\\_sand/links/577f265308ae5f367d33ec6e/Strength-and-durability-characterist](https://www.researchgate.net/profile/Magudeaswaran-Palanisamy/publication/304999975_Strength_and_durability_characteristic_of_geopolymer_concrete_using_nanosilica_micro_silica_with_m_sand/links/577f265308ae5f367d33ec6e/Strength-and-durability-characterist)
- Wahab, S. A. A., Matori, K. A., Aziz, S. H. A., Zaid, M. H. M., Kechik, M. M. A., Azman, A. Z. K., Khaidir, R. E. M., Khiri, M. Z. A., & Effendy, N. (2020). Effect of ZnO on the phase transformation and optical properties of silicate glass frits using rice husk ash as a SiO<sub>2</sub> source. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(5), 11013–11021. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.08.005>
- Wang, W. H., Meng, Y. F., & Wang, D. Z. (2017). Effect of rice husk ash on high-Temperature mechanical properties and microstructure of concrete. *Kemija u Industriji/Journal of Chemists and Chemical Engineers*, 66(3–4), 157–164. <https://doi.org/10.15255/KUI.2016.054>