



STUDI EKSPERIMENTAL MORTAR POLIMER NANOKOMPOSIT BERPENGUAT NANOSILIKA DAN SERAT *FIBERGLASS* UNTUK APLIKASI STRUKTURAL

Verinazul Septriansyah^{1*}, Adji Sutama¹, Zuul Fitriana Umari²

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Palembang

²Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tridinanti

*Corresponding Author, Email : sepriansyah@um-palembang.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan material konstruksi dengan karakteristik ringan namun tetap memiliki kekuatan tinggi menjadi salah satu fokus penting dalam penelitian teknik sipil modern. Salah satu inovasi yang potensial adalah penggunaan mortar polimer nanokomposit dengan penguatan serat fiberglass serta penambahan nanosilika. Kombinasi ini diyakini mampu menghasilkan material dengan sifat mekanik lebih unggul dibandingkan mortar konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi kadar nanosilika terhadap kuat tekan serta berat jenis mortar polimer nanokomposit yang diperkuat serat fiberglass. Metodologi penelitian dilakukan melalui pembuatan sampel mortar menggunakan pasir halus sebagai agregat, resin epoksi dan hardener dengan rasio 1:1, serat fiberglass sepanjang 1 cm, serta nanosilika sebagai bahan tambahan. Proporsi pasir ditetapkan sebesar 40% dari volume total, sedangkan nanosilika divariasikan pada kadar 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% dari berat resin. Pengujian kuat tekan dilakukan terhadap benda uji berbentuk kubus berukuran 5×5×5 cm pada umur 7 dan 28 hari. Hasil menunjukkan bahwa penambahan nanosilika sebesar 2% menghasilkan performa paling optimal dengan kuat tekan mencapai 58,75 MPa pada umur 7 hari dan 58,90 MPa pada umur 28 hari. Berat jenis tertinggi terdapat pada sampel kontrol tanpa nanosilika, yakni 1631,04 kg/m³ (7 hari) dan 1645,92 kg/m³ (28 hari). Peningkatan kadar nanosilika justru menurunkan berat jenis, dengan penurunan signifikan terjadi pada kadar 4%. Kesimpulannya, nanosilika 2% terbukti mampu meningkatkan kuat tekan sekaligus mengurangi berat mortar secara signifikan. Namun, penambahan nanosilika melebihi kadar tersebut menyebabkan penurunan performa, sehingga diperlukan optimasi komposisi untuk memperoleh sifat terbaik.

Kata Kunci : Mortar polimer; Nanosilika; Serat fiberglass; Nanokomposit; Epoxy resin

ABSTRACT

The development of construction materials with lightweight characteristics but still possessing high strength has become an important focus in modern civil engineering research. One potential innovation is the use of nanocomposite polymer mortar reinforced with fiberglass and supplemented with nanosilica. This combination is believed to produce materials with superior mechanical properties compared to conventional mortar. This study aims to evaluate the effect of varying nanosilica content on the compressive strength and density of fiberglass-reinforced nanocomposite polymer mortar. The research methodology involved making mortar samples using fine sand as aggregate, epoxy resin, and hardener at a 1:1 ratio, 1 cm long fiberglass fibers, and nanosilica as an additive. The proportion of sand was set at 40% of the total volume, while nanosilica was varied at levels of 0%, 1%, 2%, 3%, and 4% of the resin weight. Compressive strength testing was conducted on 5×5×5 cm cube specimens at 7 and 28 days of age. The results showed that the addition of 2% nanosilica produced the most optimal performance with a compressive strength of 58.75 MPa at 7 days of age and 58.90 MPa at 28 days of age. The highest density was found in the control sample without nanosilica, namely 1631.04 kg/m³ (7 days) and 1645.92 kg/m³ (28 days). An increase in nanosilica content actually reduced the density, with a significant decrease occurring at a content of 4%. In conclusion, 2% nanosilica was proven to increase compressive strength while significantly reducing mortar weight. However, adding nanosilica beyond this level caused a decrease in performance, so optimization of the composition is needed to obtain the best properties.

Keywords : Polymer mortar; Nanosilica; Fiberglass; Nanocomposite; Epoxy resin

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi material konstruksi dalam dekade terakhir telah mengalami transformasi signifikan dengan diperkenalkannya konsep nanokomposit. Material nanokomposit merupakan kombinasi antara matriks polimer dengan nanopartikel yang memiliki dimensi kurang dari 100 nanometer, yang mampu memberikan peningkatan sifat mekanik, termal, dan durabilitas yang luar biasa dibandingkan dengan material konvensional. Dalam industri konstruksi, pengembangan mortar polimer nanokomposit menjadi salah satu solusi inovatif untuk mengatasi keterbatasan material tradisional yang memiliki kekuatan rendah dan berat yang tinggi (Septriansyah *et al.*, 2025).

Mortar polimer merupakan material komposit yang terdiri dari resin polimer sebagai pengikat, agregat halus, dan berbagai aditif untuk meningkatkan performa struktural. Keunggulan utama mortar polimer terletak pada kemampuannya menghasilkan ikatan yang kuat dengan substrat, ketahanan terhadap bahan kimia, dan waktu pengerasan yang relatif cepat. Namun, untuk aplikasi struktural yang membutuhkan kekuatan tinggi, mortar polimer konvensional masih memiliki keterbatasan dalam hal kekuatan tekan dan ketahanan terhadap retak. Peng *et al.* (2020) menjelaskan bahwa ketika polimer ditambahkan ke mortar semen, sering kali mengurangi kekuatan tekan dan meningkatkan ketangguhan material.

Penambahan nanosilika (nano-SiO₂) pada matriks polimer telah terbukti mampu meningkatkan sifat mekanik material secara signifikan. Jo *et al.* (2007) dalam penelitiannya tentang karakteristik mortar semen dengan partikel nano-SiO₂ menunjukkan bahwa nanosilika yang merupakan komponen utama pozzolan dapat meningkatkan kekuatan dan durabilitas material. Li & Xiao (2004) melaporkan bahwa hasil pengujian menunjukkan kekuatan tekan dan lentur yang diukur pada hari ke-28 dari mortar semen yang mengandung nano-SiO₂ atau nano-Fe₂O₃ keduanya lebih tinggi daripada mortar semen biasa dengan rasio air-pengikat yang sama. Nanosilika memiliki luas permukaan spesifik yang sangat tinggi dan reaktivitas kimia yang baik, sehingga mampu mengisi rongga-rongga mikro dalam matriks polimer dan membentuk ikatan kimia yang kuat (Norhasri *et al.*, 2017).

Penelitian terbaru mengenai efek porositas terhadap prediksi kekuatan tekan dan lentur mortar semen yang mengandung mikro dan nano-silika menggunakan pemodelan ANN multi-objektif menunjukkan pentingnya optimasi kandungan nanosilika untuk mencapai sifat mekanik yang optimal (Quercia *et al.*, 2014). Lebih lanjut, Abhilash *et al.* (2024) melaporkan bahwa penggunaan nano-silika dalam beton meningkatkan kekuatan tekan, kekuatan lentur, modulus elastisitas, dan kecepatan gelombang ultrasonik.

Selain nanosilika, penggunaan serat *fiberglass* sebagai penguat juga menjadi fokus penelitian dalam pengembangan material komposit. Balakrishnan *et al.* (2024) dalam studinya menunjukkan bahwa penambahan nanopartikel dapat secara signifikan meningkatkan performa dan fungsionalitas komposit polimer yang diperkuat serat (FRP), dengan berbagai teknik pemrosesan, pengujian, dan implementasi nanokomposit di berbagai industri. Syed *et al.* (2019) menjelaskan bahwa komposit yang diperkuat serat menawarkan tidak hanya rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi, tetapi juga mengungkapkan sifat-sifat luar biasa seperti daya tahan tinggi, kekakuan, sifat peredam, kekuatan lentur, dan ketahanan terhadap korosi, keausan, benturan, dan api.

Kombinasi antara nanosilika dan serat *fiberglass* dalam matriks polimer diharapkan

dapat menghasilkan efek sinergis yang meningkatkan kekuatan tekan, mengurangi berat jenis, dan memperbaiki sifat mekanik secara keseluruhan. Shewale *et al.* (2024) dalam penelitiannya tentang evaluasi kinerja mortar anorganik yang diperkuat serat hibrid untuk aplikasi mortar yang diperkuat tekstil menjelaskan bahwa mortar serat, juga dikenal sebagai mortar yang diperkuat serat, adalah jenis mortar yang menggabungkan serat ke dalam komposisinya untuk meningkatkan sifat mekanik dan daya tahannya.

Kajian komprehensif terbaru tentang komposit polimer yang diperkuat serat dari bahan baku hingga aplikasi, daur ulang, dan pengelolaan limbah menunjukkan bahwa komposit FRP telah memainkan peran penting dalam menggantikan logam dalam berbagai aplikasi karena sifat-sifatnya yang unggul. Namun, penelitian khusus tentang optimasi kandungan nanosilika dalam mortar polimer yang diperkuat serat *fiberglass* masih terbatas dan memerlukan investigasi lebih mendalam.

Di Indonesia, penelitian tentang material nanokomposit untuk aplikasi konstruksi mulai berkembang, terutama dalam konteks peningkatan kualitas infrastruktur dan efisiensi material. Jurnal-jurnal nasional terakreditasi telah mulai mempublikasikan hasil penelitian terkait nanomaterial dan aplikasinya dalam bidang teknik sipil. Namun, masih diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memahami perilaku dan karakteristik mortar polimer nanokomposit dengan variasi kandungan nanosilika yang optimal.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kandungan nanosilika (0%, 1%, 2%, 3%, dan 4%) terhadap kuat tekan dan berat jenis mortar polimer nanokomposit yang diperkuat serat *fiberglass* 2%. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan material konstruksi yang lebih efisien dan *sustainable*, serta menjadi referensi untuk penelitian lanjutan dalam bidang nanokomposit konstruksi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental laboratorium dengan pendekatan kuantitatif. Desain penelitian adalah *experimental design* dengan variabel bebas berupa variasi kandungan nanosilika (0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% dari berat resin) dan variabel terikat berupa kuat tekan dan berat jenis mortar polimer nanokomposit. Material yang digunakan meliputi agregat halus berupa pasir kuarsa lokal dengan massa jenis 2,506 gr/cm³, epoxy resin bisphenol A dengan massa jenis 1,2 gr/cm³, polyamide hardener dengan massa jenis 1,2 gr/cm³, serat *fiberglass* E-glass dengan massa jenis 2,54 gr/cm³ yang dipotong sepanjang 1 cm, dan nanosilika dengan massa jenis 2,2 gr/cm³ serta luas permukaan spesifik 200±25 m²/g. Peralatan yang digunakan antara lain timbangan digital dengan ketelitian 0,01 gram, *mixer* elektrik kecepatan variabel, cetakan kubus baja 5×5×5 cm, mesin uji tekan kapasitas 2000 kN, oven pengering suhu 105°C, dan peralatan penunjang lainnya.

Rancangan percobaan menggunakan 6 variasi komposisi dengan masing-masing variasi dibuat 6 sampel, yaitu 3 sampel untuk pengujian umur 7 hari dan 3 sampel untuk pengujian umur 28 hari, sehingga total sampel yang dibuat adalah 36 buah. Variasi sampel terdiri dari MP (mortar polimer kontrol), MP.F2% (mortar polimer + *fiberglass* 2%), MP.F2%, N1% (mortar polimer + *fiberglass* 2% + nanosilika 1%), MP.F2%, N2% (mortar polimer + *fiberglass* 2% + nanosilika 2%), MP.F2%, N3% (mortar polimer + *fiberglass* 2% +

nanosilika 3%), dan MP.F2%, N4% (mortar polimer + *fiberglass* 2% + nanosilika 4%). Komposisi material untuk volume cetakan kubus $5 \times 5 \times 5$ cm (125 cm^3) menggunakan persentase pasir 40% (125,3 gram), dengan variasi kandungan nanosilika 0-4% dari berat resin, dan perbandingan epoxy resin dengan hardener 1:1 dengan total 60% untuk sampel kontrol dan disesuaikan dengan penambahan nanosilika untuk sampel lainnya.

Prosedur pelaksanaan penelitian dimulai dengan tahap persiapan material, dimana pasir dicuci bersih dan dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam, kemudian diayak dengan ayakan No. 4 (4,75 mm). Serat *fiberglass* dipotong dengan panjang 1 cm menggunakan gunting tajam dan dibersihkan dari kotoran, sedangkan nanosilika ditimbang sesuai komposisi yang direncanakan dan disimpan dalam wadah kedap udara untuk mencegah penggumpalan. Proses pencampuran (*mixing*) dilakukan dalam tiga tahap, yaitu pencampuran awal antara nanosilika dan epoxy resin selama 10 menit dengan kecepatan *mixer* 500 rpm untuk memastikan dispersi nanosilika yang homogen, dilanjutkan dengan penambahan hardener dan serat *fiberglass* selama 2 menit dengan kecepatan 300 rpm, dan terakhir penambahan agregat halus secara bertahap selama 8 menit dengan kecepatan *mixer* 250 rpm hingga tercapai homogenitas yang baik.

Setelah proses pencampuran selesai, adonan mortar polimer dimasukkan ke dalam cetakan kubus baja $5 \times 5 \times 5$ cm yang telah diolesi oli dalam 3 lapis, dengan setiap lapis dipadatkan dengan cara mengetuk-ngetuk cetakan 25 kali. Permukaan atas diratakan dengan spatula dan cetakan dibiarkan dalam kondisi ruang selama 24 jam. Setelah 24 jam, sampel dikeluarkan dari cetakan, diberi label identifikasi sesuai komposisi dan tanggal pembuatan, kemudian diletakkan pada rak curing dalam kondisi ruang (suhu $25 \pm 2^\circ\text{C}$, RH $65 \pm 5\%$) hingga umur pengujian (7 dan 28 hari). Perawatan dilakukan dengan menjaga kelembaban dan suhu ruang yang konstan untuk memastikan proses *curing* yang optimal.

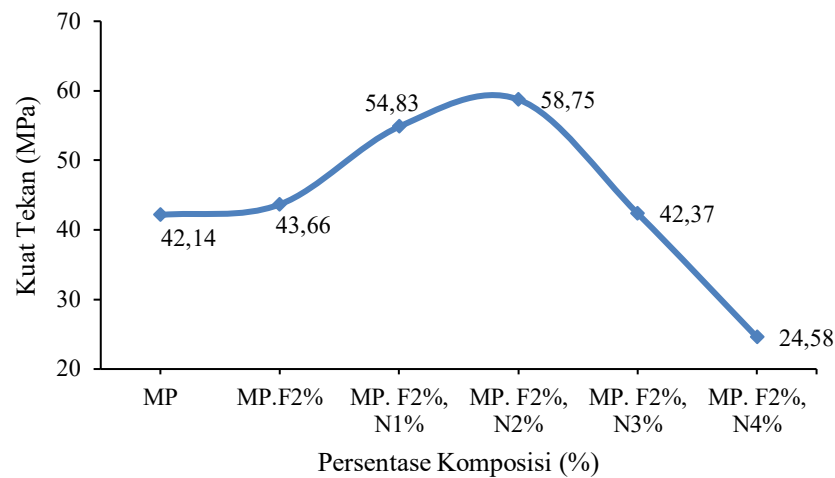
Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian berat jenis dan kuat tekan pada umur 7 dan 28 hari. Pengujian berat jenis dilakukan dengan menimbang sampel dalam kondisi kering udara dan menghitung volume berdasarkan dimensi kubus, kemudian berat jenis dihitung dengan rumus berat sampel dibagi volume sampel. Pengujian kuat tekan dilakukan menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) dengan persiapan sampel meliputi pemeriksaan kekerataan dan kebersihan permukaan serta pengukuran dimensi sampel. Pembebanan dilakukan secara bertahap dengan kecepatan 0,5 MPa/detik hingga sampel mengalami *failure*, dengan beban maksimum dicatat dan pola retak diamati. Kuat tekan dihitung dengan membagi beban maksimum (N) dengan luas penampang. Pengolahan dan analisis data dilakukan menggunakan analisis statistik deskriptif untuk menghitung nilai rata-rata.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kuat Tekan Mortar

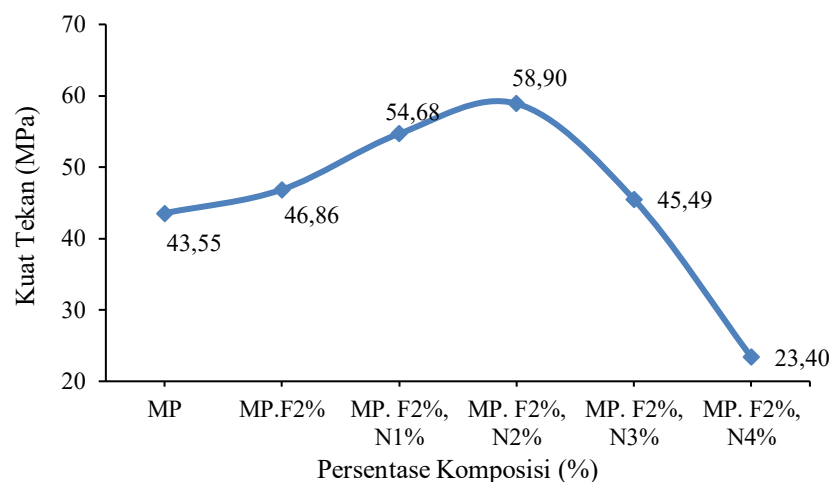
Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa penambahan nanosilika memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan kuat tekan mortar polimer nanokomposit. Pada umur 7 hari, sampel kontrol (MP) menunjukkan kuat tekan 42,14 MPa, sedangkan penambahan serat *fiberglass* 2% (MP.F2%) meningkatkan kuat tekan menjadi 43,66 MPa atau mengalami peningkatan 3,6%. Peningkatan yang lebih signifikan terjadi dengan

penambahan nanosilika, dimana kandungan nanosilika 1% (MP.F2%, N1%) menghasilkan kuat tekan 54,83 MPa (peningkatan 30,1% dari kontrol), dan mencapai optimum pada kandungan nanosilika 2% (MP.F2%, N2%) dengan kuat tekan 58,75 MPa (peningkatan 39,4% dari kontrol).



Gambar 1. Kuat Tekan Mortar Polimer Nanokomposit Umur 7 hari

Temuan ini sejalan dengan penelitian Septriasyah *et al.* (2021) yang melaporkan bahwa kekuatan tekan mortar dengan partikel nano-SiO₂ semuanya lebih tinggi daripada mortar yang mengandung *silica fume* pada 7 dan 28 hari, menunjukkan bahwa nano-partikel lebih berharga dalam meningkatkan kekuatan daripada *silica fume*. Penelitian serupa juga dilakukan oleh Li & Xiao (2004) yang menunjukkan bahwa hasil pengujian kekuatan tekan dan lentur yang diukur pada hari ke-28 dari mortar semen yang mengandung nano-SiO₂ keduanya lebih tinggi daripada mortar semen biasa dengan rasio air-pengikat yang sama.



Gambar 2. Kuat Tekan Mortar Polimer Nanokomposit Umur 28 hari

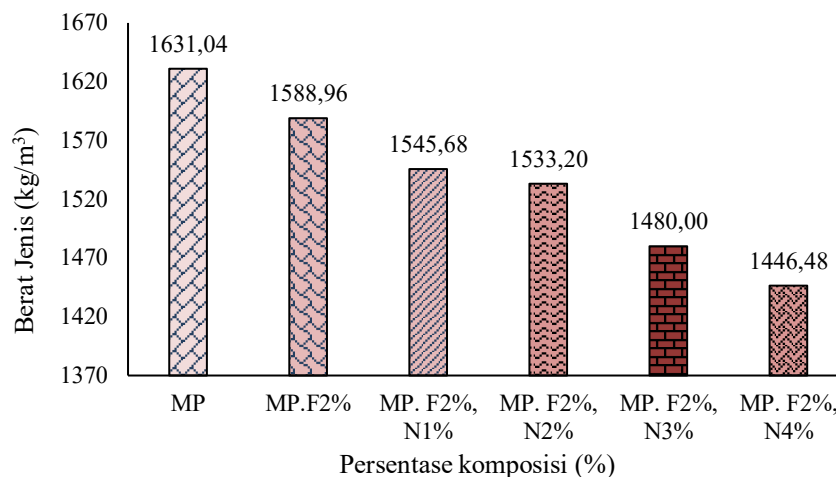
Mekanisme peningkatan kuat tekan ini dapat dijelaskan melalui efek *filler* dan pozzolan dari nanosilika. Nanosilika adalah partikel *ultrafine* semen yang menyebabkan reaksi pozzolan selama reaksi hidrasi, sehingga kekuatan tekan diharapkan meningkat pada tahap awal. Nanosilika dengan luas permukaan spesifik yang sangat tinggi ($200 \pm 25 \text{ m}^2/\text{g}$) mampu mengisi rongga-rongga mikro dalam matriks polimer dan bereaksi dengan kalsium hidroksida bebas membentuk gel C-S-H tambahan yang meningkatkan kepadatan dan

kekuatan material (Nazari & Riahi, 2015).

Namun, peningkatan kandungan nanosilika di atas 2% menunjukkan tren penurunan kuat tekan. Pada kandungan nanosilika 3% (MP.F2%, N3%), kuat tekan turun menjadi 42,37 MPa, dan mengalami penurunan drastis pada kandungan 4% (MP.F2%, N4%) menjadi 24,58 MPa. Fenomena ini dapat dijelaskan oleh penelitian yang menunjukkan bahwa ukuran kecil pada partikel nanosilika dapat menyebabkan aglomerasi partikel yang tinggi (dispersi rendah) dan melibatkan semen. Aglomerasi nanosilika pada kandungan tinggi menciptakan zona lemah dalam matriks dan mengurangi efektivitas transfer beban, sehingga menurunkan kuat tekan material (Stefanidou & Papayianni, 2012).

Analisis Berat Jenis Mortar

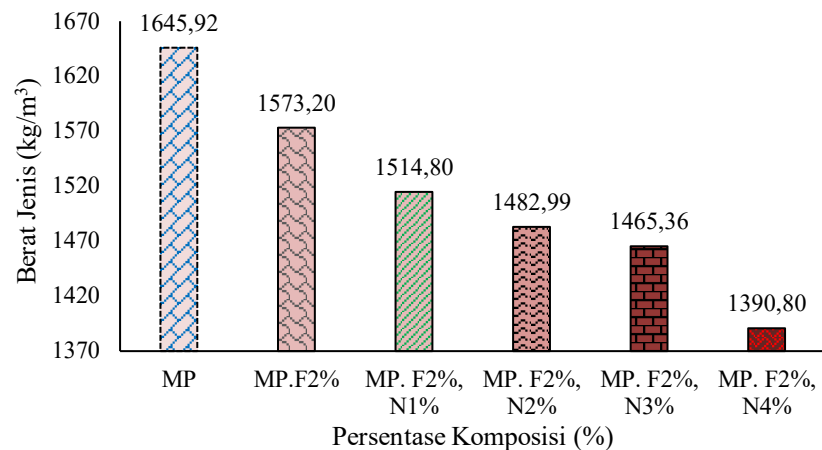
Hasil pengujian berat jenis menunjukkan tren yang konsisten pada umur 7 dan 28 hari, dimana penambahan nanosilika menyebabkan penurunan berat jenis material. Sampel kontrol (MP) memiliki berat jenis tertinggi yaitu 1631,04 kg/m³ (7 hari) dan 1645,92 kg/m³ (28 hari). Penambahan serat *fiberglass* 2% (MP.F2%) menyebabkan sedikit penurunan berat jenis menjadi 1588,96 kg/m³ (7 hari) dan 1573,20 kg/m³ (28 hari), atau mengalami penurunan sekitar 2,6% dan 4,4% berturut-turut.



Gambar 3. Berat Jenis Mortar Polimer Nanokomposit Umur 7 Hari

Penurunan berat jenis yang lebih signifikan terjadi dengan penambahan nanosilika. Kandungan nanosilika 1% (MP.F2%, N1%) menghasilkan berat jenis 1545,68 kg/m³ (7 hari) dan 1514,80 kg/m³ (28 hari), dengan penurunan 5,2% dan 8,0% dari kontrol. Penurunan tertinggi dicapai pada kandungan nanosilika 4% (MP.F2%, N4%) dengan berat jenis 1446,48 kg/m³ (7 hari) dan 1390,80 kg/m³ (28 hari), atau mengalami penurunan 11,3% dan 15,5% dari kontrol berturut-turut.

Penurunan berat jenis ini dapat dijelaskan melalui beberapa mekanisme. Pertama, nanosilika memiliki massa jenis yang lebih rendah (2,2 gr/cm³) dibandingkan dengan epoxy resin (1,2 gr/cm³) yang digantikannya secara parsial (Singh *et al.*, 2013).



Gambar 4. Berat Jenis Mortar Polimer Nanokomposit Umur 28 Hari

Kedua, penambahan nanosilika dalam jumlah yang berlebihan dapat menyebabkan peningkatan porositas material akibat aglomerasi partikel dan distribusi yang tidak homogen (Said *et al.*, 2012). Penelitian yang dilakukan oleh Madhkan & Katirai (2019) menunjukkan bahwa setelah menambahkan 600, 1200, dan 1800 g/m³ serat kaca, densitas mortar meningkat masing-masing 0,57%, 0,60%, dan 0,66%, dengan peningkatan kandungan serat, densitas sedikit meningkat. Namun, dalam penelitian ini, kombinasi nanosilika dan serat *fiberglass* justru menghasilkan penurunan berat jenis yang menguntungkan untuk aplikasi struktural.

Korelasi Kuat Tekan dan Berat Jenis Mortar

Analisis korelasi antara kuat tekan dan berat jenis menunjukkan hubungan yang menarik. Sampel dengan kandungan nanosilika 2% (MP.F2%, N2%) berhasil mencapai kuat tekan optimum (58,75 MPa pada 7 hari dan 58,90 MPa pada 28 hari) dengan berat jenis yang relatif rendah (1533,20 kg/m³ pada 7 hari dan 1482,99 kg/m³ pada 28 hari). Hal ini mengindikasikan tercapainya efisiensi struktural yang optimal, dimana material mampu memberikan kekuatan tinggi dengan berat yang lebih ringan.

Rasio kuat tekan terhadap berat jenis (*specific strength*) menunjukkan bahwa sampel MP.F2%, N2% memiliki performa terbaik dengan nilai $38,3 \times 10^{-3}$ MPa·m³/kg pada umur 7 hari dan $39,7 \times 10^{-3}$ MPa·m³/kg pada umur 28 hari. Dibandingkan dengan kontrol yang memiliki *specific strength* $25,8 \times 10^{-3}$ MPa·m³/kg (7 hari) dan $26,5 \times 10^{-3}$ MPa·m³/kg (28 hari), sampel optimum mengalami peningkatan *specific strength* sebesar 48,4% dan 49,8% berturut-turut.

Validasi Hipotesis Penelitian

Berdasarkan hasil penelitian, hipotesis yang diajukan dalam pendahuluan dapat divalidasi sebagai berikut: hipotesis pertama bahwa penambahan nanosilika dapat meningkatkan kuat tekan mortar polimer terbukti benar, dengan peningkatan optimum 39,4% pada kandungan 2%. Hipotesis kedua bahwa kombinasi nanosilika dan serat *fiberglass* menghasilkan efek sinergis dalam meningkatkan sifat mekanik terbukti benar, ditunjukkan oleh peningkatan kuat tekan yang signifikan dibandingkan dengan sampel tanpa penguat. Hipotesis ketiga bahwa terdapat kandungan nanosilika optimum untuk

mencapai sifat mekanik terbaik terbukti benar, dengan kandungan optimum 2% dari berat resin. Hipotesis keempat bahwa material yang dikembangkan dapat mengurangi berat jenis sambil mempertahankan kuat tekan tinggi terbukti benar, dengan pengurangan berat jenis 9,9% dan peningkatan kuat tekan 35,2% pada komposisi optimum.

Temuan-temuan ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan material konstruksi berkelanjutan dan efisien, serta membuka peluang untuk penelitian lanjutan dalam optimasi parameter lain seperti durabilitas, ketahanan *fatigue*, dan perilaku jangka panjang material.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penambahan nanosilika pada mortar polimer yang diperkuat serat *fiberglass* memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan kuat tekan dan pengurangan berat jenis material. Kandungan nanosilika optimum diperoleh pada persentase 2% dari berat resin (MP.F2%, N2%), yang menghasilkan kuat tekan tertinggi sebesar 58,75 MPa pada umur 7 hari dan 58,90 MPa pada umur 28 hari, atau mengalami peningkatan 39,4% dan 35,2% berturut-turut dibandingkan dengan sampel kontrol (MP). Peningkatan kuat tekan ini disebabkan oleh efek *filler* dan pozzolan dari nanosilika yang mampu mengisi rongga-rongga mikro dalam matriks polimer dan membentuk ikatan kimia yang lebih kuat.

Penambahan nanosilika juga berkontribusi terhadap pengurangan berat jenis material secara konsisten. Pada kandungan nanosilika 2% (MP.F2%, N2%), berat jenis material turun menjadi 1533,20 kg/m³ pada umur 7 hari dan 1482,99 kg/m³ pada umur 28 hari, atau mengalami penurunan 6,0% dan 9,9% dari sampel kontrol. Kombinasi antara peningkatan kuat tekan dan pengurangan berat jenis menghasilkan *specific strength* yang superior, dengan peningkatan sebesar 48,4% pada umur 7 hari dan 49,8% pada umur 28 hari dibandingkan sampel kontrol. Hal ini menunjukkan tercapainya efisiensi struktural yang optimal, dimana material mampu memberikan kekuatan tinggi dengan berat yang lebih ringan.

Kandungan nanosilika di atas 2% menunjukkan tren penurunan kuat tekan yang signifikan. Pada kandungan nanosilika 3% (MP.F2%, N3%), kuat tekan turun menjadi 42,37 MPa (7 hari) dan 45,49 MPa (28 hari), sedangkan pada kandungan 4% (MP.F2%, N4%) kuat tekan menurun drastis menjadi 24,58 MPa (7 hari) dan 23,40 MPa (28 hari). Penurunan ini disebabkan oleh fenomena aglomerasi partikel nanosilika pada kandungan tinggi yang menciptakan zona lemah dalam matriks dan mengurangi efektivitas transfer beban antar partikel.

Efek sinergis antara nanosilika dan serat *fiberglass* dalam matriks polimer terbukti memberikan peningkatan performa yang signifikan. Nanosilika berperan sebagai *filler* mikro yang meningkatkan kepadatan matriks, sementara serat *fiberglass* berfungsi sebagai penguat yang menahan beban tarik dan meningkatkan ketangguhan material. Kombinasi optimal kedua material penguat ini menghasilkan mortar polimer nanokomposit dengan sifat mekanik superior yang memenuhi persyaratan untuk aplikasi struktural.

Mortar polimer nanokomposit dengan komposisi optimal (nanosilika 2% + serat *fiberglass* 2%) memiliki potensi aplikasi yang luas dalam industri konstruksi, terutama

untuk elemen struktural yang memerlukan rasio kekuatan terhadap berat tinggi, ketahanan terhadap lingkungan agresif, dan waktu pengerasan cepat. Material ini mencapai kuat tekan 58,90 MPa yang jauh melampaui kuat tekan beton normal (20-40 MPa), dengan keuntungan tambahan berupa pengurangan berat mati struktur sebesar 9,9%, sehingga dapat meningkatkan efisiensi desain dan mengurangi biaya konstruksi secara keseluruhan. Penelitian ini memberikan kontribusi penting terhadap pengembangan material konstruksi berkelanjutan dan membuka peluang untuk investigasi lebih lanjut mengenai durabilitas jangka panjang, ketahanan *fatigue*, dan aplikasi material pada skala struktur penuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Abhilash, P. P., Nithurshan, N., & Sathiparan, N. (2024). *Microstructural Analysis of the Effect of Using Nano-silica on the Mechanical Properties of Cement–Sand Mortar Under the Effect of Heat*. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 18, 45.
- Balakrishnan, B., Geethamma, V. G., Thomas, S., & Nandakumar, K. (2024). *Nanotechnology-enhanced fiber-reinforced polymer composites: Recent advancements on processing techniques and applications*. *Heliyon*, 10(1), e24692.
- Jo, B. W., Kim, C. H., Tae, G. H., & Park, J. B. (2007). *Characteristics of cement mortar with nano-SiO₂ particles*. *Construction and Building Materials*, 21(6), 1351-1355.
- Li, Z., & Xiao, L. (2004). *A study on mechanical and pressure-sensitive properties of cement mortar with nanophase materials*. *Cement and Concrete Research*, 34(3), 435-438.
- Madhkan, M., & Katirai, R. (2019). *Mechanical and Material Properties of Mortar Reinforced with Glass Fiber: An Experimental Study*. *Materials*, 12(16), 2646.
- Nazari, A., & Riahi, S. (2021). *Influence of Different Types of Nanosilica on Compressive Strength Development of Cement Matrix Composites*. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 33(4), 04021015.
- 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.
- Peng, H., Cui, C., Cai, C. S., Liu, Y., & Chen, Z. (2020). *The research progress and Hotspot analysis of polymer cement mortar based on bibliometrics*. *Frontiers in Materials*, 7, 147.
- Quercia, G., Spiesz, P., & Hüsken, G. (2014). *SCC modification by use of amorphous nano-silica*. *Cement and Concrete Composites*, 45, 69-81.
- Said, A. M., Zeidan, M. S., Bassuoni, M. T., & Tian, Y. (2012). *Properties of concrete incorporating nano-silica*. *Construction and Building Materials*, 36, 838-844.
- Septriasyah, V., Saggaff, A., & Saloma. (2021). *Characteristics of nanocomposite polymer with temperature variation and heating time by using simple mixing method*. *International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration*, 8(78), 651-661.
- Septriasyah, V., Utama, A., Amanda, R. S. D., & Umari, Z. F. (2025). *Studi Eksperimental Mortar Polimer Berbasis Epoxy dengan Penambahan Nanosilika*. *Bearing: Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil*, 10(1), 1-6.

- Shewale, A. R., Kadam, K. N., & Naik, S. S. (2024). *Performance Evaluation of Hybrid Fiber-Reinforced Inorganic Mortar for Textile-Reinforced Mortar Applications*. *Advances in Civil Engineering*, 2024, 2370560.
- Singh, L. P., Karade, S. R., Bhattacharyya, S. K., Yousuf, M. M., & Ahalawat, S. (2013). *Beneficial role of nanosilica in cement based materials – A review*. *Construction and Building Materials*, 47, 1069-1077.
- Stefanidou, M., & Papayianni, I. (2012). *Influence of nano-SiO₂ on the Portland cement pastes*. *Composites Part B: Engineering*, 43(6), 2706-2710.
- Syed, A. A., Ahmad, S. A., Kamal, A., Azam, A., & Hasan, A. (2019). *Fiber-Reinforced Polymer Composites: Manufacturing, Properties, and Applications*. *Polymers*, 11(10), 1667.



Jurnal Deformasi is licensed under
a Creative Commons Attribution-Sharealike 4.0 International License