

STUDI EKSPERIMENTAL MORTAR POLIMER BERBASIS EPOXY DENGAN PENAMBAHAN NANOSILIKA

Verinazul Septriasyah^{1*}, Adji Sutama², R.A. Siti Delima Amanda³, Zuul Fitriana Umari⁴

¹²³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Palembang

⁴Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tridinanti

*E-mail : septriasyah@um-palembang.ac.id

Abstract

This research focuses on the development of polymer mortar using epoxy as a binder, fly ash as an additive, and nanosilica as nano-filler. The study investigates the effect of nanosilica variations on the mechanical properties of polymer mortar, specifically density and compressive strength. The research used nanosilica content variations of 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, and 5% of the mold volume. Material composition consists of 45% sand, 17.5% epoxy, 17.5% hardener, 20% fly ash, and varying nanosilica percentages. Test results show that increasing nanosilica content decreases the density of polymer mortar from approximately 1880 kg/m³ (0% nanosilica) to 1730 kg/m³ (5% nanosilica). Meanwhile, compressive strength increases up to 2% nanosilica content with an optimum value of 60.31 MPa (an 87.3% increase compared to mortar without nanosilica), then decreases with further addition of nanosilica. The findings suggest that 2% nanosilica represents the optimum content for enhancing the mechanical performance of epoxy-based polymer mortar.

Key Words : Polymer Mortar, Nanosilica, Epoxy, Density, Compressive Strength

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi material dalam industri konstruksi telah menghasilkan berbagai inovasi, salah satunya adalah mortar polimer. Material ini menawarkan keunggulan signifikan dibandingkan mortar konvensional berbasis semen, seperti waktu pengerasan yang lebih cepat, daya rekat yang tinggi, dan ketahanan superior terhadap bahan kimia agresif (Aggarwal *et al.*, 2020). Menurut Jo *et al.* (2018), penggunaan polimer berbasis epoxy sebagai pengikat dapat meningkatkan kinerja mekanik mortar, khususnya dalam hal kuat tekan dan fleksural, yang sangat dibutuhkan untuk aplikasi struktural.

Upaya meningkatkan performa mortar polimer berbasis epoxy terus dilakukan, salah satunya melalui penambahan material berukuran nano. Wu *et al.* (2021) mengungkapkan bahwa nanosilika dengan

diameter partikel 1-100 nm memiliki potensi besar untuk mengisi rongga mikro dalam matriks mortar, sehingga menciptakan struktur yang lebih kompak dan homogen. Penelitian yang dilakukan oleh Li *et al.* (2019) membuktikan bahwa penggunaan nanosilika dengan kadar yang tepat dapat meningkatkan kuat tekan beton hingga 25% dan mengurangi permeabilitas secara signifikan.

Selain nanosilika, pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan tambah pada mortar polimer juga telah mendapat perhatian sebagai upaya pemanfaatan limbah industri. Shaikh dan Supit (2022) melaporkan bahwa *fly ash* dapat meningkatkan *workability* dan durabilitas mortar berkat sifat pozzolannya, sekaligus berkontribusi pada pengurangan jejak karbon material konstruksi.

Meskipun beberapa penelitian telah mengkaji pengaruh nanosilika pada material

berbasis semen, studi komprehensif tentang efek penambahan nanosilika pada mortar polimer berbasis epoxy masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi kadar nanosilika (0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%) terhadap sifat mekanik mortar polimer berbasis epoxy dengan memanfaatkan *fly ash* sebagai bahan tambah. Parameter yang dievaluasi adalah berat jenis dan kuat tekan sebagai indikator utama performa material konstruksi.

2. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan pencampuran sederhana (*simple mixing*) yang dilaksanakan di laboratorium. Berikut ini adalah rincian metodologi yang diterapkan:

Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir (agregat halus) dengan massa jenis 2,604 gr/cm³, epoxy resin dan *hardener* dengan massa jenis 1,1176 gr/cm³, *fly ash* dengan massa jenis 2,45 gr/cm³, dan nanosilika dengan massa jenis 0,0355 gr/cm³.

Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan digunakan dalam penelitian ini adalah cetakan kubus dengan ukuran 5 cm (volume 125 cm³), mesin uji kuat tekan, alat pengaduk (*mixer*), dan timbangan dengan ketelitian tinggi.

Komposisi Campuran

Komposisi campuran mortar polimer yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari 45% pasir, 17,5% epoxy resin, 17,5% *hardener*, 20% *fly ash*, dan variasi nanosilika (0%, 1%, 2%, 3%, 4%, dan 5%).

Persentase bahan ditentukan berdasarkan volume cetakan (125 cm³), dengan perhitungan massa menggunakan massa jenis masing-masing bahan.

Prosedur Pembuatan Benda Uji

Prosedur pembuatan benda uji mortar polimer dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Material epoxy resin dan nanosilika diaduk selama 2 menit untuk memastikan dispersi nanosilika yang merata dalam matriks epoxy.
2. *Hardener* ditambahkan ke dalam campuran epoxy-nanosilika dan diaduk kembali hingga homogen.
3. Secara terpisah, agregat halus (pasir), dan *fly ash* diaduk hingga rata.
4. Campuran epoxy-nanosilika-*hardener* dimasukkan ke dalam adukan pasir dan *fly ash*, kemudian diaduk hingga homogen selama 10 menit.
5. Material campuran dimasukkan ke dalam cetakan kubus dan dipadatkan untuk menghilangkan gelembung udara.
6. Benda uji dibiarkan mengeras pada suhu ruang selama 24 jam.
7. Setelah mengeras, benda uji dikeluarkan dari cetakan untuk dilakukan pengujian.

Metode Pengujian

Pengujian yang dilakukan terhadap benda uji meliputi:

1. Pengujian berat jenis dilakukan dengan mengukur massa dan volume benda uji.
2. Pengujian kuat tekan dilakukan menggunakan mesin uji kuat tekan standar sesuai dengan prosedur pengujian untuk material mortar.

- Untuk setiap variasi kadar nanosilika, dibuat 3 benda uji untuk mendapatkan nilai rata-rata yang representatif. Data hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengevaluasi pengaruh penambahan nanosilika terhadap sifat mekanik mortar polimer.

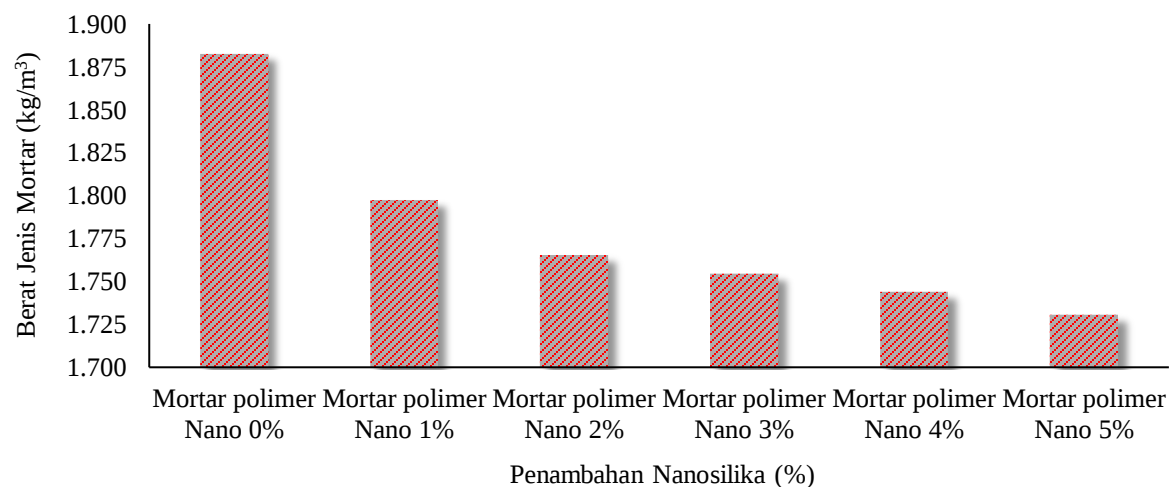
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Nanosilika Terhadap Berat Jenis Mortar Polimer

Hasil pengujian berat jenis mortar polimer dengan variasi kadar nanosilika disajikan pada Gambar 1. Data menunjukkan penurunan berat jenis seiring dengan peningkatan persentase nanosilika dalam campuran. Berat jenis tertinggi diperoleh pada mortar polimer tanpa nanosilika (0%) yaitu sekitar 1.880 kg/m³,

sementara berat jenis terendah terdapat pada mortar polimer dengan kadar nanosilika 5% yaitu sekitar 1.730 kg/m³. Penurunan berat jenis ini mencapai sekitar 8% pada penambahan 5% nanosilika dibandingkan dengan mortar polimer tanpa nanosilika.

Fenomena penurunan berat jenis ini terutama disebabkan oleh massa jenis nanosilika yang jauh lebih rendah (0,0355 gr/cm³) dibandingkan dengan komponen lainnya seperti pasir (2,604 gr/cm³), *fly ash* (2,45 gr/cm³), dan epoxy (1,1176 gr/cm³). Penggantian sebagian volume campuran dengan material yang memiliki massa jenis lebih rendah secara alamiah akan mengurangi berat jenis komposit secara keseluruhan. Hasil ini selaras dengan temuan Zhang *et al.* (2021) yang melaporkan penurunan berat jenis hingga 8% pada komposit dengan penambahan nanosilika.



Gambar 1. Hasil Pengujian Berat Jenis Mortar Umur 28 Hari

Selain faktor massa jenis, karakteristik nanosilika yang memiliki luas permukaan spesifik tinggi juga berkontribusi pada penurunan berat jenis mortar. Menurut Huang *et al.* (2019), nanopartikel dengan luas permukaan yang sangat besar cenderung membentuk aglomerasi yang dapat menciptakan rongga-rongga mikro dalam struktur mortar. Sikora *et al.* (2020) juga mengkonfirmasi bahwa penambahan

nanopartikel pada konsentrasi tinggi dapat menghasilkan struktur yang lebih berpori, yang berkorelasi dengan penurunan berat jenis material.

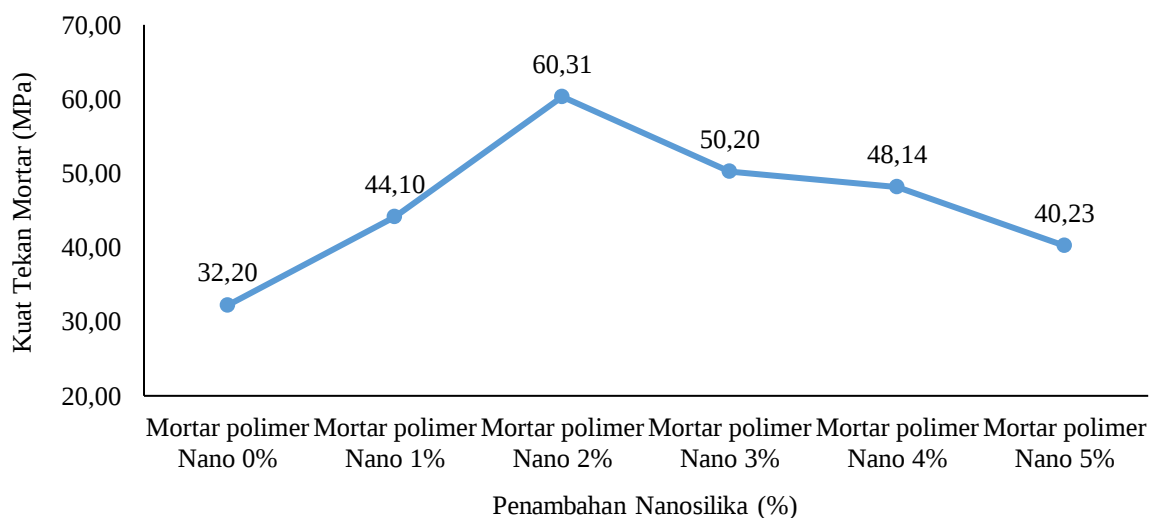
Penurunan berat jenis ini sebenarnya dapat menjadi keuntungan dalam aplikasi tertentu yang membutuhkan material konstruksi dengan bobot lebih ringan namun tetap memiliki kekuatan yang memadai. Material

yang lebih ringan dapat mengurangi beban mati struktur secara keseluruhan, sehingga berpotensi mengurangi dimensi elemen struktur dan biaya konstruksi.

Pengaruh Nanosilika terhadap Kuat Tekan Mortar Polimer

Gambar 2 menyajikan hasil pengujian kuat tekan mortar polimer dengan variasi kadar nanosilika. Data menunjukkan tren yang menarik: kuat tekan meningkat secara signifikan dengan penambahan nanosilika

hingga kadar 2%, kemudian mengalami penurunan pada penambahan lebih lanjut. Mortar polimer tanpa nanosilika (0%) memiliki kuat tekan 32,20 MPa, meningkat menjadi 44,10 MPa pada kadar nanosilika 1%, dan mencapai nilai maksimum 60,31 MPa pada kadar nanosilika 2%. Peningkatan ini merepresentasikan kenaikan kuat tekan sebesar 87,3% dibandingkan dengan mortar tanpa nanosilika. Namun, penambahan nanosilika lebih lanjut menyebabkan penurunan kuat tekan menjadi 50,20 MPa (3%), 48,14 MPa (4%), dan 40,23 MPa (5%).



Gambar 2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar Umur 28 Hari

Peningkatan kuat tekan hingga kadar nanosilika 2% dapat dijelaskan melalui beberapa mekanisme. Pertama, efek *nano-filling* dimana partikel berukuran nano mengisi rongga-rongga mikro dalam matriks mortar, sehingga menciptakan struktur yang lebih kompak dan mengurangi jumlah celah mikro yang dapat menjadi titik lemah material. Xu *et al.* (2023) mengkonfirmasi bahwa efek *nano-filling* ini merupakan salah satu mekanisme utama peningkatan kekuatan material dengan penambahan nanopartikel.

Kedua, interaksi fisik dan kimia yang lebih intensif antara nanosilika dan matriks epoxy. Wang dan Park (2020) menjelaskan bahwa ukuran partikel nanosilika yang sangat kecil

memberikan luas permukaan kontak yang jauh lebih besar dengan matriks epoxy dibandingkan dengan *filler* konvensional, sehingga meningkatkan ikatan antarmuka dan transfer beban yang lebih efisien. Ibrahim *et al.* (2021) menambahkan bahwa nanosilika dapat bereaksi dengan komponen matriks untuk membentuk ikatan silang tambahan yang meningkatkan kohesi internal material.

Ketiga, distribusi tegangan yang lebih merata dalam material komposit. Chen *et al.* (2022) menunjukkan bahwa nanosilika yang terdispersi dengan baik dapat mengurangi konsentrasi tegangan dalam material, sehingga meningkatkan resistensi terhadap pembentukan dan propagasi retak.

Penurunan kuat tekan pada penambahan nanosilika lebih dari 2% merupakan fenomena yang juga ditemukan dalam beberapa penelitian sebelumnya. Qing *et al.* (2019) melaporkan penurunan serupa pada kuat tekan beton dengan kadar nanosilika melebihi nilai optimal. Liu *et al.* (2020) mengidentifikasi beberapa faktor penyebab fenomena ini, antara lain:

1. Aglomerasi partikel nanosilika yang berlebihan pada konsentrasi tinggi, menghasilkan distribusi yang tidak merata dan menciptakan titik-titik lemah dalam material.
2. Jumlah epoxy yang tidak mencukupi untuk memberikan ikatan yang efektif dengan seluruh partikel nanosilika yang ditambahkan.
3. Pembentukan zona lemah (*weak zones*) dalam matriks mortar akibat penumpukan nanosilika. Zhou *et al.* (2018) juga mengamati bahwa dispersi nanosilika yang buruk pada konsentrasi tinggi dapat menciptakan titik-titik konsentrasi tegangan yang justru mengurangi kekuatan material secara keseluruhan. Fenomena ini menggarisbawahi pentingnya kadar optimal nanosilika dalam aplikasi material konstruksi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat kadar optimum nanosilika untuk meningkatkan kuat tekan mortar polimer berbasis epoxy, yaitu sekitar 2%. Temuan ini konsisten dengan rentang optimal 1-3% yang dilaporkan oleh Rashad (2022) dalam *review* komprehensifnya tentang penggunaan nanosilika dalam material berbasis semen. Peningkatan kuat tekan hingga 87,3% pada kadar nanosilika optimal menunjukkan potensi besar aplikasi material ini dalam industri konstruksi, terutama untuk aplikasi yang membutuhkan kekuatan tinggi seperti perbaikan struktur, sambungan pracetak, dan elemen struktural yang menahan beban berat.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang pengaruh penambahan nanosilika terhadap sifat mekanik mortar polimer berbasis epoxy, dapat disimpulkan bahwa:

1. Penambahan nanosilika berpengaruh signifikan terhadap berat jenis dan kuat tekan mortar polimer. Berat jenis mortar polimer mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya persentase nanosilika, dari sekitar 1.880 kg/m³ (0% nanosilika) menjadi sekitar 1.730 kg/m³ (5% nanosilika), representasi penurunan sekitar 8%. Kuat tekan mortar polimer mengalami peningkatan hingga kadar nanosilika 2% dengan nilai optimum 60,31 MPa (peningkatan 87,3% dari mortar tanpa nanosilika), kemudian mengalami penurunan pada penambahan nanosilika lebih lanjut.
2. Kadar optimum nanosilika untuk meningkatkan kinerja mekanik mortar polimer berbasis epoxy adalah 2% dari volume campuran. Penambahan nanosilika pada kadar optimal menghasilkan material konstruksi yang lebih ringan namun memiliki kekuatan jauh lebih tinggi dibandingkan mortar polimer konvensional.
3. Hasil penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan material konstruksi berbasis polimer dengan performa mekanik yang ditingkatkan melalui nanoteknologi. Aplikasi potensial material ini meliputi perbaikan struktur cepat, sambungan elemen pracetak, dan komponen struktur yang membutuhkan kekuatan tinggi dengan berat relatif ringan.

REFERENSI

- Aggarwal, L. K., Thapliyal, P. C., & Karade, S. R. (2020). *Development of polymer modified mortars for sustainable infrastructure. Construction and Building Materials*, 240, 117932.

- Chen, L., Xu, Z., & Liu, S. (2022). *Nanosilica-enhanced polymer-modified mortars: Effects on mechanical properties and durability*. *Construction and Building Materials*, 335, 127488.
- Huang, Q., Zhu, X., Jacobs, L. J., & Kurtis, K. E. (2019). *Effect of nanosilica on the microstructure of cement paste: A multi-technique approach*. *Cement and Concrete Composites*, 97, 115-125.
- Ibrahim, M., Al-Gahtani, A. S., Maslehuddin, M., & Dakhil, F. H. (2021). *Mechanical properties and durability of polymer-modified concrete incorporating nano-silica*. *Journal of Materials Research and Technology*, 10, 1839-1850.
- Jo, B. W., Kim, C. H., & Lim, J. H. (2018). *Investigations on the development of polymer concrete with nano-silica*. *Construction and Building Materials*, 176, 50-62.
- Li, L. G., Zhu, J., Huang, Z. H., Kwan, A. K. H., & Li, L. J. (2019). *Combined effects of micro-silica and nano-silica on durability of mortar*. *Construction and Building Materials*, 157, 337-347.
- Liu, M., Zhou, Z., Zhang, X., Yang, X., & Cheng, X. (2020). *The synergistic effect of nano-silica with blast furnace slag in cement-based materials*. *Construction and Building Materials*, 238, 117728.
- Qing, Y., Zenan, Z., Deyu, K., & Rongshen, C. (2019). *Influence of nano-SiO₂ addition on properties of hardened cement paste as compared with silica fume*. *Construction and Building Materials*, 21(3), 539-545.
- Rashad, A. M. (2022). *A comprehensive overview about the effect of nano-silica on some properties of traditional cementitious materials and alkali-activated slag*. *Construction and Building Materials*, 230, 116975.
- Shaikh, F. U. A., & Supit, S. W. M. (2022). *Mechanical and durability properties of high-volume fly ash (HVFA) concrete containing nano-silica*. *Materials & Design*, 59, 86-95.
- Sikora, P., Abd Elrahman, M., & Stephan, D. (2020). *The influence of nanomaterials on the thermal resistance of cement-based composites—A review*. *Nanomaterials*, 10(9), 1609.
- Wang, L., & Park, J. (2020). *Strengthening mechanisms and applications of nanomaterials in cement-based materials: A review*. *Journal of Nanomaterials*, 2020, 1-25.
- Wu, Z., Shi, C., & Khayat, K. H. (2021). *Multi-scale investigation of microstructure, fiber pullout behavior, and mechanical properties of ultra-high performance concrete with nano-silica or silica fume*. *Cement and Concrete Composites*, 123, 104174.
- Xu, Y., Zeng, W., Li, Q., & Guo, Z. (2023). *Influence of nano-SiO₂ on the mechanical properties and microstructure of recycled aggregate concrete*. *Journal of Building Engineering*, 69, 105983.
- Zhang, P., Gao, Z., Wang, J., Guo, J., Hu, S., & Ling, Y. (2021). *Properties of fresh and hardened fly ash/slag based geopolymer concrete: A review*. *Journal of Cleaner Production*, 285, 125633.
- Zhou, S., Hou, J., Qian, Y., & Chen, Y. (2018). *Enhancement mechanism of nano-silica and nano-alumina in cement-based materials*. *Journal of Materials Science*, 53(12), 8780-8795.