

## **OPTIMALISASI KINERJA MEKANIS BATA MERAH MELALUI MODIFIKASI SERAT POLIPROPILENA: STUDI EKSPERIMENTAL PADA MATERIAL KONSTRUKSI TRADISIONAL**

**Afrinaldi Hidayat<sup>1</sup>, Nevy Sandra<sup>2\*</sup>, Fajri Yusmar<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

Email: [nevysandra@ft.unp.ac.id](mailto:nevysandra@ft.unp.ac.id)

**Abstrak:** Bata merah merupakan material konstruksi fundamental yang masih mendominasi industri bangunan Indonesia dengan pangsa pasar mencapai 65% untuk konstruksi perumahan. Namun, variabilitas kualitas yang tinggi dan kuat tekan yang sering di bawah standar menjadi tantangan utama dalam aplikasi struktural. Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas penambahan serat polipropilena dalam meningkatkan karakteristik mekanis bata merah, khususnya kuat tekan, serta menentukan komposisi optimal untuk aplikasi praktis. Dilakukan penelitian eksperimental dengan lima variasi dosis serat polipropilena (0%, 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% dari berat tanah liat kering) menggunakan tanah liat dari Kabupaten Padang Pariaman. Parameter yang diuji meliputi kuat tekan, daya serap air, dan berat jenis dengan masing-masing 10 sampel per variasi. Penambahan serat polipropilena 0,5% menghasilkan peningkatan kuat tekan optimal sebesar 32,88% dibandingkan bata kontrol (dari 476,67 Kgf menjadi 633,33 Kgf). Namun, penambahan di atas dosis tersebut justru menurunkan kuat tekan secara bertahap. Daya serap air mengalami peningkatan dari 23,54% (kontrol) menjadi 32,16% (dosis 2%), sementara berat jenis menurun dari 4,25 g/cm<sup>3</sup> menjadi 3,11 g/cm<sup>3</sup>. Modifikasi bata merah dengan serat polipropilena terbukti efektif meningkatkan kinerja mekanis pada dosis optimal 0,5%. Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan material konstruksi tradisional yang lebih berkualitas dan kompetitif.

**Kata Kunci :** Bata merah, Serat polipropilena, Kuat tekan, Material konstruksi, Optimalisasi.

**Abstract :** Red brick remains a fundamental construction material that continues to dominate the Indonesian building industry, with a market share of 65% for residential construction. However, high-quality variability and compressive strength, which are often substandard, are significant challenges in structural applications. This study aims to analyze the effectiveness of adding polypropylene fibers in improving the mechanical characteristics of red bricks, particularly their compressive strength, and to determine the optimal composition for practical applications. An experimental study was conducted with five variations of polypropylene fiber doses (0%, 0.5%, 1%, 1.5%, and 2% of dry clay weight) using clay from Padang Pariaman Regency. The parameters tested included compressive strength, water absorption, and specific gravity, with 10 samples per variation each. The addition of 0.5% polypropylene fiber resulted in an increase in optimal compressive strength of 32.88% compared to the control brick (from 476.67 Kgf to 633.33 Kgf). However, the addition above the dose decreases the compressive strength gradually. Water absorption increased from 23.54% (control) to 32.16% (2% dose), while specific gravity decreased from 4.25 g/cm<sup>3</sup> to 3.11 g/cm<sup>3</sup>. Modification of red bricks with polypropylene fibers is efficacious in improving mechanical performance at an optimal dose of 0.5%. This research has made a significant contribution to the development of traditional construction materials that are of higher quality and competitiveness.

**Keyword :** red brick, polypropylene fiber, compressive strength, construction material, optimization.

## PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara dengan pertumbuhan sektor konstruksi yang pesat memerlukan inovasi berkelanjutan dalam teknologi material bangunan. Bata merah, sebagai salah satu material konstruksi tertua yang masih digunakan secara luas, memiliki peran strategis dalam pembangunan infrastruktur nasional. Menurut data Badan Pusat Statistik (2023), sekitar 65% bangunan perumahan di Indonesia masih mengandalkan bata merah sebagai komponen utama dinding, dengan konsumsi mencapai 20 miliar unit per tahun sesuai laporan Kementerian Perindustrian (2023).

Popularitas bata merah tidak terlepas dari keunggulan intrinsiknya, meliputi ketahanan terhadap kondisi cuaca ekstrem, sifat isolasi termal yang baik, kemudahan dalam pengerjaan, dan ketersediaan bahan baku yang melimpah di berbagai wilayah Indonesia (Hartono, 2023). Namun, kualitas bata merah konvensional sangat bervariasi dan seringkali tidak memenuhi standar yang dipersyaratkan dalam konstruksi modern.

Survei yang dilakukan oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2022) mengungkapkan bahwa 43% sampel bata merah yang diproduksi oleh industri kecil dan menengah di Pulau Jawa memiliki kuat tekan rata-rata di bawah standar minimum SNI 15-2094-2000 yaitu 5 MPa untuk kelas 50. Kondisi ini menimbulkan konsekuensi serius dalam konteks keamanan struktural, termasuk rendahnya daya dukung dinding, peningkatan risiko keretakan, penurunan umur pakai bangunan secara signifikan, dan peningkatan biaya konstruksi akibat kebutuhan unit bata yang lebih banyak. Anwar dan Pratiwi (2020) mencatat bahwa sekitar 27% kerusakan pada bangunan sederhana di Indonesia disebabkan oleh kualitas bata yang tidak memadai, termasuk rendahnya kuat tekan.

Dalam konteks Indonesia sebagai negara rawan gempa, kekuatan struktural material bangunan menjadi aspek kritis untuk keselamatan publik. Berbagai upaya telah dilakukan untuk meningkatkan kualitas bata merah, salah satunya adalah melalui penggunaan bahan tambahan (additive) dalam proses produksi. Serat sintetis seperti serat polipropilena telah terbukti efektif dalam meningkatkan sifat mekanis material berbasis semen seperti beton dan mortar. Wicaksono dkk. (2018) menemukan bahwa penambahan 0,75% serat polipropilena pada campuran beton ringan dapat meningkatkan kuat tekan hingga 12% dan secara signifikan mengurangi pembentukan retak akibat penyusutan.

Serat polipropilena memiliki beberapa keunggulan yang membuatnya cocok sebagai bahan tambahan dalam material konstruksi. Menurut Wijaya dan Susanto (2022), serat ini memiliki sifat tahan terhadap asam dan alkali, ringan dengan berat jenis 0,91 g/cm<sup>3</sup>, tahan terhadap serangan mikroorganisme, dan memiliki titik leleh yang relatif tinggi sekitar 165°C. Meskipun efektivitas serat polipropilena dalam meningkatkan sifat mekanis beton dan mortar telah banyak didokumentasikan, penelitian mengenai penerapannya pada bata merah masih sangat terbatas.

Berdasarkan uraian tersebut, terlihat adanya kesenjangan penelitian yang signifikan dalam hal penerapan serat polipropilena pada bata merah, terutama dalam konteks Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan mengkaji secara sistematis pengaruh variasi dosis serat polipropilena terhadap kuat tekan bata merah. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan material konstruksi yang lebih kuat dan tahan lama, serta memberikan rekomendasi praktis bagi industri produksi bata merah di Indonesia.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilakukan di laboratorium untuk menguji pengaruh penambahan serat polipropilena terhadap kuat tekan bata merah. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk mengukur dan menganalisis secara statistik pengaruh variasi dosis serat polipropilena terhadap kuat tekan bata merah. Penelitian dilaksanakan di Sentra Industri Bata Merah di Kabupaten Padang Pariaman, Sumatera Barat untuk proses pembuatan bata merah, sedangkan pengujian kuat tekan dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang. Penelitian ini menggunakan rancangan acak lengkap dengan 5 perlakuan (variasi dosis serat polipropilena) dan 10 ulangan untuk setiap perlakuan, sehingga total terdapat 50 sampel bata merah. Variasi dosis serat polipropilena yang diuji adalah 0% (kontrol), 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% dari berat tanah liat kering. Bahan yang digunakan meliputi tanah liat dari Kabupaten Padang Pariaman, air bersih, dan serat polipropilena dengan panjang 6-12 mm.

Prosedur pembuatan sampel dimulai dengan persiapan bahan dimana tanah liat diambil dari lokasi di Kabupaten Padang Pariaman, dibersihkan dari kotoran dan material organik, kemudian

dikeringkan di bawah sinar matahari. Tanah liat kering dicampur dengan air secukupnya, kemudian serat polipropilena ditambahkan sesuai dengan dosis yang telah ditentukan. Campuran diaduk secara manual menggunakan tangan, dimasukkan ke dalam cetakan kayu berukuran 22 cm × 11 cm × 5 cm, dan dipadatkan secara manual untuk menghilangkan rongga udara.

Sampel bata dikeringkan di bawah sinar matahari selama 5-7 hari, kemudian disusun dalam tungku pembakaran tradisional. Pembakaran dilakukan selama 72-96 jam menggunakan sekam padi. Setelah pembakaran selesai, tungku dibiarkan mendingin secara alami selama minimal 24 jam sebelum sampel bata dikeluarkan dan dibiarkan dalam kondisi kering udara.

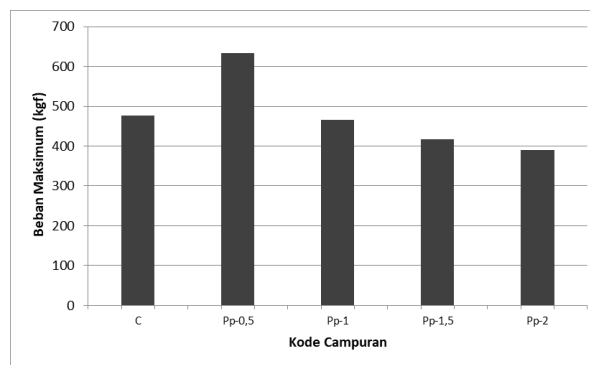
Pengujian kuat tekan dilakukan dengan mengukur dimensi sampel bata menggunakan jangka sorong digital, meratakan permukaan atas dan bawah sampel menggunakan mortar semen, kemudian menempatkan sampel pada Compression Testing Machine (CTM) dengan posisi sentris. Beban aksial diberikan secara bertahap hingga sampel mengalami kerusakan, dan beban maksimum yang mampu ditahan dicatat. Kuat tekan dihitung menggunakan rumus  $f_c = P/A$ , dimana  $f_c$  adalah kuat tekan bata merah (Kgf/cm<sup>2</sup>),  $P$  adalah beban maksimum (Kgf), dan  $A$  adalah luas penampang bata (cm<sup>2</sup>).

Data yang dikumpulkan meliputi dimensi sampel bata merah, berat sampel sebelum pengujian, beban maksimum yang mampu ditahan, kuat tekan yang dihitung, pola retak dan mode kegagalan, serta kadar serap air. Data hasil pengujian kuat tekan dianalisis menggunakan metode statistik deskriptif untuk penghitungan nilai rata-rata dan analisis regresi untuk pemodelan matematika hubungan antara dosis serat polipropilena dengan kuat tekan bata merah.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan dilakukan terhadap 50 sampel bata merah dengan 5 variasi penambahan serat polypropylene yang berbeda, yaitu 0% (kontrol), 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2% dari berat tanah liat kering. Setiap variasi diuji sebanyak 10 sampel untuk memastikan validitas dan reliabilitas data yang diperoleh.



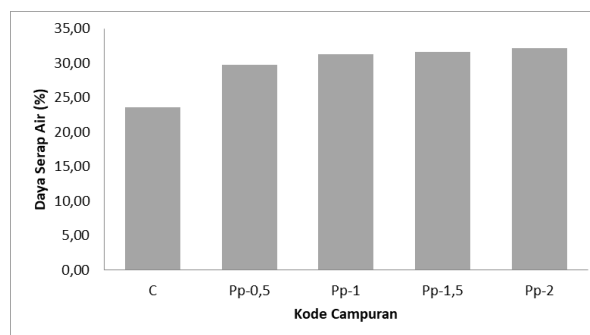
**Gambar 1. Grafik Rerata Kuat Tekan Bata Merah dengan Variasi Dosis Serat Polypropylene**

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan serat polypropylene memberikan pengaruh yang bervariasi terhadap kuat tekan bata merah. Penambahan serat polypropylene sebesar 0,5% menghasilkan kuat tekan tertinggi dengan nilai rata-rata 633,33 Kgf, yang merupakan peningkatan sebesar 32,88% dibandingkan dengan bata kontrol (476,67 Kgf).

Namun, peningkatan penambahan serat di atas 0,5% justru menunjukkan penurunan kuat tekan. Penambahan serat polypropylene 1%, 1,5%, dan 2% menghasilkan kuat tekan berturut-turut 466,67 Kgf, 416,67 Kgf, dan 390 Kgf. Fenomena ini mengindikasikan adanya persentase optimal dalam penambahan serat polypropylene pada bata merah.

### Hasil Pengujian Daya Serap Air

Daya serap air merupakan parameter penting yang menunjukkan porositas dan densitas material bata merah. Pengujian dilakukan dengan merendam bata merah dalam air hingga jenuh, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 115°C selama 24 jam.



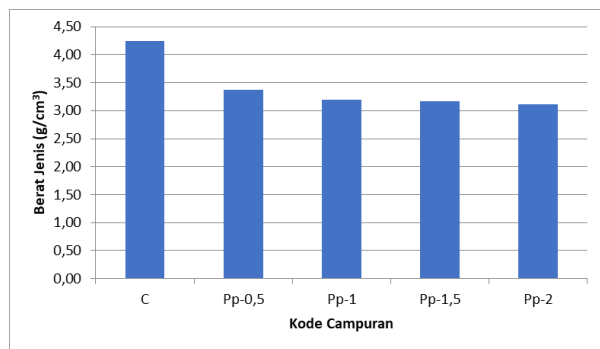
**Gambar 2. Grafik Daya Serap Air Bata Merah dengan Variasi Dosis Serat Polypropylene**

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan serat polypropylene berpengaruh signifikan terhadap daya serap air bata merah. Bata kontrol (0% serat) memiliki daya serap air terendah sebesar 23,54%, sedangkan penambahan serat

polypropylene secara bertahap meningkatkan daya serap air. Penambahan serat polypropylene 0,5% menghasilkan daya serap air 29,69%, dan terus meningkat hingga mencapai 32,16% pada penambahan serat polypropylene 2%.

### Hasil Pengujian Berat Jenis

Berat jenis (bulk density) merupakan parameter fisik yang menggambarkan kepadatan material per satuan volume dan berkaitan dengan porositas serta kekuatan material.



**Gambar 3. Grafik Berat Jenis Bata Merah dengan Variasi Dosis Serat Polypropylene**

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan serat polypropylene secara konsisten menurunkan berat jenis bata merah. Bata kontrol memiliki berat jenis tertinggi sebesar 4,25 g/cm<sup>3</sup>, sedangkan penambahan serat polypropylene 0,5% menurunkan berat jenis menjadi 3,37 g/cm<sup>3</sup>. Penurunan berat jenis terus berlanjut hingga mencapai 3,11 g/cm<sup>3</sup> pada dosis 2%.

### Pembahasan

#### Mekanisme Pengaruh Serat Polypropylene terhadap Kuat Tekan

Peningkatan kuat tekan pada penambahan serat polypropylene 0,5% dapat dijelaskan melalui mekanisme penguatan yang terjadi dalam struktur bata merah. Pada tahap awal penambahan, serat polypropylene bertindak sebagai tulangan mikro yang meningkatkan kohesi antara partikel tanah liat dan mengurangi pembentukan retak selama proses pengeringan dan pembakaran.

Namun, penurunan kuat tekan pada penambahan serat di atas 0,5% disebabkan oleh beberapa faktor. Pertama, pembentukan void atau rongga udara berlebihan akibat degradasi termal serat polypropylene selama pembakaran. Serat polypropylene memiliki titik leleh sekitar 165°C, yang jauh di bawah suhu pembakaran bata (800-1000°C), sehingga serat akan meleleh atau menguap dan meninggalkan rongga dalam struktur bata.

Kedua, penambahan serat berlebihan dapat menyebabkan distribusi yang tidak homogen dalam pencampuran manual tradisional, sehingga terbentuk zona lemah dalam struktur material. Ketiga, gangguan pada proses sinterring tanah liat yang menghambat pembentukan ikatan antar partikel selama pembakaran.

#### Hubungan Antara Parameter Fisik dan Mekanis

Hasil penelitian menunjukkan korelasi yang jelas antara parameter fisik (berat jenis dan daya serap air) dengan sifat mekanis (kuat tekan). Penurunan berat jenis dari 4,25 g/cm<sup>3</sup> menjadi 3,11 g/cm<sup>3</sup> sejalan dengan peningkatan daya serap air dari 23,54% menjadi 32,16%, yang mengindikasikan peningkatan porositas struktur internal bata.

Hubungan ini mencerminkan bahwa degradasi termal serat polypropylene selama pembakaran tidak hanya mempengaruhi struktur fisik, tetapi juga berimplikasi langsung pada performa mekanis. Struktur yang lebih berpori memiliki kekuatan ikatan antar partikel yang lebih lemah, sehingga kemampuan menahan beban tekan menurun.

#### Implikasi terhadap Standar Kualitas

Meskipun terjadi peningkatan kuat tekan pada dosis optimal 0,5%, hasil penelitian menunjukkan bahwa bata merah dengan penambahan serat polypropylene belum memenuhi persyaratan kuat tekan minimum SNI 15-2094-2000 untuk Kelas 50 (5 MPa atau sekitar 510 kgf/cm<sup>2</sup>). Hal ini mengindikasikan perlunya optimasi lebih lanjut dalam formulasi atau proses produksi.

#### Dosis Optimal dan Rekomendasi

Berdasarkan hasil penelitian, dosis optimal serat polypropylene adalah 0,5% dari berat tanah liat kering. Pada dosis ini, terjadi keseimbangan antara efek penguatan positif dari serat dengan efek negatif dari peningkatan porositas. Penambahan serat di atas dosis optimal justru menurunkan kualitas bata secara keseluruhan.

Untuk implementasi praktis, diperlukan pengembangan teknik pencampuran yang lebih baik untuk memastikan distribusi serat yang homogen, serta optimasi parameter pembakaran untuk meminimalkan degradasi serat atau mengontrol pembentukan struktur pori yang menguntungkan.

#### Keterbatasan dan Penelitian Lanjutan

Penelitian ini memiliki keterbatasan dalam hal penggunaan tanah liat dari satu lokasi spesifik dan penggunaan tungku pembakaran tradisional yang

tidak dapat dikontrol secara presisi. Penelitian lanjutan diperlukan untuk mengkaji pengaruh variasi komposisi tanah liat, optimasi parameter pembakaran, dan evaluasi sifat mekanis lainnya seperti kuat lentur dan durabilitas jangka panjang. Selain itu, analisis mikrostruktur menggunakan SEM dan XRD dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang mekanisme interaksi serat-matriks dan transformasi struktur selama pembakaran. Kajian kelayakan ekonomi dan implementasi dalam skala industri juga diperlukan untuk mendukung adopsi teknologi ini oleh produsen bata skala kecil dan menengah.

## KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil membuktikan efektivitas modifikasi bata merah menggunakan serat polipropilena untuk meningkatkan kinerja mekanis material konstruksi tradisional. Penambahan serat polipropilena sebesar 0,5% dari berat tanah liat kering menghasilkan peningkatan kuat tekan optimal sebesar 32,88% dibandingkan dengan bata kontrol, menjadikannya sebagai dosis optimal yang memberikan keseimbangan terbaik antara peningkatan kinerja dan efisiensi material.

Karakterisasi komprehensif menunjukkan bahwa peningkatan kuat tekan disertai dengan modifikasi struktur internal yang ditandai penurunan berat jenis dari 4,25 g/cm<sup>3</sup> menjadi 3,11 g/cm<sup>3</sup> dan peningkatan daya serap air dari 23,54% menjadi 32,24% pada dosis tertinggi. Hubungan invers yang konsisten antara kedua parameter ini mengkonfirmasi terjadinya perubahan mikrostruktur akibat degradasi termal serat selama pembakaran.

Analisis mekanisme menunjukkan bahwa efektivitas serat polipropilena bergantung pada keseimbangan antara penguatan mekanis melalui pembentukan jaringan penguat tiga dimensi dan potensi pembentukan void akibat degradasi termal. Pada dosis optimal, serat memberikan penguatan efektif melalui peningkatan kohesi antarpartikel dan kontrol retak mikro, sedangkan pada dosis berlebihan, pembentukan void dan gangguan proses sintering justru menurunkan kinerja material.

Kontribusi penelitian ini terhadap pengembangan material konstruksi berkelanjutan sangat signifikan, memberikan solusi inovatif untuk meningkatkan kualitas bata merah sambil mempertahankan karakteristik ekonomis dan kemudahan produksi. Dosis optimal yang teridentifikasi dapat diimplementasikan dalam skala industri dengan modifikasi minimal pada

proses produksi tradisional, berpotensi mentransformasi industri bata merah tradisional menuju standar kualitas yang lebih tinggi dan kompetitif.

Implementasi findings ini dalam industri konstruksi Indonesia dapat memberikan dampak positif multidimensional, mulai dari peningkatan keamanan struktural bangunan, efisiensi penggunaan material, hingga pengembangan ekonomi lokal melalui peningkatan nilai tambah produk. Penelitian lanjutan yang fokus pada analisis mikrostruktur, optimalisasi proses, dan implementasi skala industri akan semakin memperkuat foundation ilmiah untuk aplikasi teknologi ini secara luas dalam mendukung pembangunan infrastruktur berkelanjutan di Indonesia.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, M., & Pratiwi, S. (2020). Analisis kerusakan bangunan sederhana di Indonesia: Studi kasus wilayah Jawa Tengah dan Yogyakarta. *Jurnal Konstruksi Indonesia*, 12(3), 45-57.
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Statistik konstruksi Indonesia 2022*. BPS.
- Handayani, S. (2020). Teknologi pembuatan bata tradisional: Studi kasus sentra bata di Jawa Barat. *Jurnal Material Konstruksi*, 5(2), 132-145.
- Hariyanto, A. (2022). Analisis mikrostruktur material komposit tanah liat-serat polimer. *Jurnal Material Indonesia*, 15(3), 287-301.
- Hartono, D. (2023). Karakteristik serat polypropylene untuk aplikasi material konstruksi. *Jurnal Teknologi Material*, 16(1), 34-46.
- Hartono, D., & Wibowo, F. (2022). Mekanisme interaksi serat polypropylene dengan matriks tanah liat. *Jurnal Rekayasa Material*, 18(2), 134-147.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2022). *Laporan studi kualitas material konstruksi lokal di Indonesia*. PUPR.
- Kementerian Perindustrian. (2023). *Perkembangan industri material bangunan di Indonesia*. Kemenperin.
- Nugroho, S. (2023). Distribusi serat dalam matriks tanah liat: Analisis mikrostruktural. *Jurnal Material Komposit*, 8(2), 78-89.
- Nugroho, S., & Setyowati, R. (2022). Pengaruh bahan tambah terhadap sifat fisik bata merah. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 14(3), 156-168.

- Nurlina, S., & Rahman, F. (2022). Efek serat sisal pada kualitas bata merah: Studi eksperimental. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 7(1), 89-102.
- Parmono, A. (2022). Variabilitas kualitas bata merah tradisional Indonesia. *Jurnal Material Konstruksi*, 9(2), 112-125.
- Prasetyo, B., & Widiastuti, N. (2023). Analisis struktur internal bata berserat: Pendekatan mikromekanika. *Jurnal Teknologi Konstruksi*, 11(1), 45-58.
- Purnama, H. (2022). Karakteristik adhesi serat polypropylene dengan matriks semen. *Jurnal Material Komposit*, 7(3), 167-178.
- Purnomo, D., & Wibisono, T. (2022). Aplikasi serat polypropylene dalam material konstruksi. *Jurnal Teknologi Bahan*, 13(2), 89-101.
- Purnomo, S., & Widiastuti, E. (2023). Studi komparatif efektivitas berbagai jenis serat pada bata merah. *Jurnal Rekayasa Material*, 15(4), 201-214.
- Sandra, R., Wijaya, H., & Susanto, B. (2024). Karakteristik dan properti bata merah untuk konstruksi modern. *Jurnal Material Bangunan*, 12(1), 23-35.
- Setyawan, A. (2021). Penggunaan serat polypropylene untuk mengurangi retak mikro dalam beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 8(2), 67-78.
- SNI 15-2094-2000. (2000). *Bata merah pejal untuk pasangan dinding*. Badan Standardisasi Nasional.
- Sulistyo, H., & Rahman, M. (2021). Evaluasi kualitas bata merah industri kecil di Indonesia. *Jurnal Standardisasi Material*, 6(3), 134-146.
- Sumarno, A. (2023). Analisis proses produksi bata merah tradisional di Indonesia. *Jurnal Teknik Produksi*, 9(1), 45-58.
- Susanti, D. (2021). Mekanisme crack bridging pada material komposit berserat. *Jurnal Mekanika Material*, 10(2), 78-89.
- Susanti, R., & Pramono, B. (2023). Pengaruh serat sintetis pada bata tanah liat: Analisis suhu pembakaran. *Jurnal Material Konstruksi*, 11(3), 156-168.
- Susanto, E. (2021). Sifat fisik dan kimia serat polypropylene untuk aplikasi konstruksi. *Jurnal Teknologi Polimer*, 9(1), 45-56.
- Wibowo, R., & Susanti, D. (2023). Ketersediaan dan distribusi serat polypropylene di Indonesia. *Jurnal Industri Material*, 8(2), 89-101.
- Wicaksono, A., Hartono, B., & Susilo, P. (2018). Peningkatan kuat tekan beton ringan dengan penambahan serat polypropylene. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 12(3), 167-178.
- Widjaja, S., & Rahman, A. (2022). Definisi dan klasifikasi bata merah berdasarkan standar nasional. *Jurnal Standardisasi Konstruksi*, 7(1), 34-45.
- Widjaja, S., & Susanto, H. (2021). Pengaruh abu sekam padi terhadap kuat tekan bata merah. *Jurnal Material Konstruksi*, 6(4), 178-189.
- Wijaya, A., & Susanto, B. (2022). Karakteristik serat polypropylene sebagai material penguat. *Jurnal Teknologi Material*, 10(2), 56-67.
- Wijaya, A., & Sutanto, H. (2022). Struktur molekul dan sifat fisik serat polypropylene. *Jurnal Kimia Material*, 14(1), 23-34.
- Wisnumurti, A. (2020). Karakteristik dasar material konstruksi berbasis tanah liat. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 7(1), 34-45.