

# Tinjauan Literatur tentang Pemanfaatan Limbah Styrofoam Sebagai Substitusi Agregat pada Kuat Tekan Bata Beton.

## *Literature Review on the Utilization of Styrofoam Waste as an Aggregate Substitute for the Compressive Strength of Concrete Bricks.*

Mohamad Panji Akbar Maulana<sup>1</sup> Qais Syattar Maulana Warman<sup>2</sup> Intan Mutiara Kasih<sup>3</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Pelita Bangsa

<sup>1</sup>email [mpanjiakbarmaulana@gmail.com](mailto:mpanjiakbarmaulana@gmail.com)\*, <sup>2</sup>email [qaissyattar321@gmail.com](mailto:qaissyattar321@gmail.com)\*, <sup>3</sup>email

[intannnmk@gmail.com](mailto:intannnmk@gmail.com)\*

### **Abstract**

*Styrofoam waste, or expanded polystyrene (EPS), is one of the persistent global environmental problems due to its resistance to natural decomposition. This study aims to conduct a systematic literature review on the potential utilization of styrofoam waste as a substitute for fine or coarse aggregates in the production of lightweight concrete blocks. By analyzing 15 recent experimental studies, it was found that the use of styrofoam can significantly reduce the density of concrete to a range of 1000–1300 kg/m<sup>3</sup>, which is effective in reducing structural loads. However, increasing the volume of styrofoam is inversely proportional to the mechanical performance due to the weakening of the bond in the interfacial transition zone (ITZ). The synthesis findings indicate that the optimal substitution level for lightweight structural applications is around 20%, where the compressive strength still meets safety standards. Above this level, the material is more suitable for non-structural elements because of its good thermal and acoustic insulation performance. The use of coating technology and optimization modeling approaches such as response surface methodology has proven to be key in improving the durability and strength prediction of styrofoam-based concrete in the future.*

**Keywords:** Styrofoam Waste, Concrete Blocks, Artificial Aggregate, Compressive Strength, Lightweight Concrete.

### **Abstrak**

Limbah styrofoam atau *expanded polystyrene* adalah salah satu masalah lingkungan yang terus-menerus terjadi secara global karena sifatnya yang sulit terurai secara alami. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan tinjauan literatur secara sistematis mengenai kemungkinan pemanfaatan limbah styrofoam sebagai pengganti agregat halus atau kasar dalam pembuatan bata beton ringan. Dengan menganalisis 15 studi eksperimental terbaru, ditemukan bahwa penggunaan styrofoam secara signifikan dapat menurunkan densitas beton hingga mencapai rentang 1000–1300 kg/m<sup>3</sup>, yang efektif untuk mengurangi beban struktur. Namun, peningkatan volume styrofoam berbanding terbalik dengan penurunan performa mekanis karena pelemahan ikatan pada zona transisi antar muka (*interfacial transition zone* atau ITZ). Temuan sintesis menunjukkan bahwa kadar substitusi optimal untuk aplikasi struktural ringan adalah sebesar 20%, dengan kuat tekan yang tetap memenuhi standar keamanan. Di atas kadar tersebut, material lebih cocok digunakan untuk elemen non-struktural karena kinerjanya yang baik dalam isolasi termal dan akustik. Penggunaan teknologi pelapisan serta pendekatan pemodelan optimasi seperti response surface methodology terbukti menjadi kunci dalam meningkatkan ketahanan dan prediksi kekuatan beton berbasis styrofoam di masa depan.

**Kata kunci:** Limbah Styrofoam, Bata Beton, Agregat Buatan, Kuat Tekan, Beton Ringan.

### **Pendahuluan**

Pesatnya pembangunan infrastruktur global secara linear berdampak pada peningkatan eksploitasi agregat alami secara masif, yang pada akhirnya memicu krisis ketersediaan sumber daya alam dan pencemaran

lingkungan. Di saat yang bersamaan, masyarakat modern menghadapi tantangan pengelolaan limbah padat yang kompleks, khususnya limbah *Styrofoam* atau *Expanded Polystyrene* (EPS). Styrofoam merupakan material polimer yang secara luas digunakan dalam industri pengemasan dan logistik karena karakteristiknya yang ringan dan mampu meredam benturan. Namun, di balik keunggulan fungsionalnya, styrofoam menjadi ancaman ekologis yang serius karena sifatnya yang *non-biodegradable* dan resisten terhadap proses penguraian alami di ekosistem [1], [2]. Struktur sel tertutup yang mengandung udara hingga 98% menyebabkan limbah ini memiliki volume yang sangat besar namun dengan massa yang sangat rendah, sehingga metode pengelolaan sampah konvensional seperti penimbunan di TPA menjadi sangat tidak efisien dan menghabiskan ruang lahan yang luas [3].

Dalam ilmu teknik sipil, pencarian alternatif material konstruksi yang berkelanjutan (*sustainable construction materials*) menjadi prioritas utama untuk mengurangi jejak karbon industri bangunan. Pemanfaatan limbah styrofoam sebagai substitusi agregat dalam produksi bata beton menawarkan solusi teknologi yang strategis. Dengan mengintegrasikan butiran styrofoam ke dalam campuran semen, industri dapat menghasilkan beton ringan (*lightweight concrete*) yang memiliki densitas jauh di bawah beton normal, yakni di bawah  $1900 \text{ kg/m}^3$  [4], [5]. Pengurangan berat jenis ini secara struktural sangat menguntungkan karena mampu mereduksi beban mati total pada bangunan tinggi, yang secara langsung akan menurunkan biaya konstruksi fondasi serta meningkatkan ketahanan struktur terhadap gaya inersia saat terjadi gempa bumi [6], [7].

Oleh karena itu, tinjauan literatur ini disusun untuk menganalisis secara mendalam berbagai hasil eksperimen terbaru untuk menentukan batas optimal substitusi styrofoam yang mampu menyeimbangkan antara efisiensi berat, performa akustik, dan standar minimum kuat tekan bata beton menurut regulasi yang berlaku atau SNI. [8], [9].

## Metode Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam tinjauan literatur ini berupa pendekatan studi komparatif sistematis dengan memanfaatkan data sekunder yang berasal dari berbagai laporan penelitian eksperimental, baik yang berskala nasional maupun internasional. Penelitian ini dirancang untuk menggabungkan data teknis mengenai perilaku bata beton ringan yang menggunakan limbah styrofoam sebagai variabel pengganti agregat. Prosesnya dimulai dengan tahap identifikasi dan pemilihan literatur melalui basis data akademik, dengan fokus pada studi yang melakukan pengujian laboratorium terhadap parameter mekanis seperti kuat tekan, serta parameter fisik seperti densitas dan kemampuan menyerap air. Literatur yang dipilih mencakup penelitian terbaru (2019-2025) agar dapat memastikan keterkaitan data dengan perkembangan teknologi bahan bangunan terkini serta isu keberlanjutan secara global [4], [1], [10].

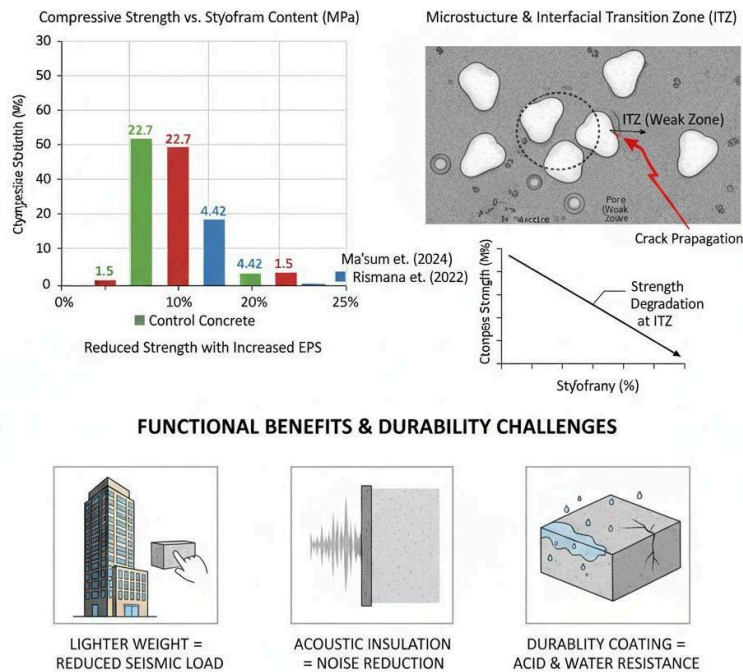
## Hasil dan Pembahasan

Analisis terhadap data eksperimental dari berbagai sumber referensi menunjukkan adanya hubungan yang sangat kuat antara peningkatan volume penggantian styrofoam dengan perubahan karakteristik fisik dan mekanis dari bata beton. Fenomena teknis yang teramati secara utama adalah penurunan densitas beton secara linear, yang di ikuti oleh penurunan kekuatan tekan secara tidak linear. Secara fisik, partikel styrofoam yang sangat ringan menggantikan agregat mineral yang jauh lebih berat, sehingga mampu mengurangi berat isi beton hingga berkisar antara  $1000$  hingga  $1300 \text{ kg/m}^3$  [1], [10]. Perubahan tersebut memberikan manfaat yang signifikan dalam aspek efisiensi struktur, namun penurunan kekuatan mekanis menjadi faktor utama, terutama pada kadar penggantian di atas 30%, karena adanya pelemahan ikatan di daerah transisi antarmuka antara pasta semen dan permukaan styrofoam yang licin serta tidak menyerap air [8], [7]. Perbandingan menyeluruh mengenai kinerja mekanis dan fisik dari berbagai penelitian tersebut dirangkum dalam tabel berikut:

Tabel 1. Analisis Komparatif Performa Mekanis dan Fisik Bata Beton Styrofoam

Sumber literatur	Variasi substitusi	Kuat tekan (MPa)	Densitas (kg/m <sup>3</sup> )	Temuan utama	Ref
Ma'sum dkk. (2024)	20% - 40%	22,7 (pada 20%)	–	Optimal untuk struktural ringan	[1]
Rismana dkk. (2022)	10% - 30%	4,42	1340 - 1820	Memenuhi Mutu III SNI	[2]
Abbas B. A. dkk. (2024)	0,2% - 2%	Penurunan < 5%	~2100	Stabilitas pada kadar mikro	[6]
Crista dkk. (2025)	Parsial	3,5 - 7,2	1000 - 1300	Performa isolasi akustik tinggi	[9]
Habililah & Widodo (2022)	15% - 45%	Penurunan Linear	1845 - 2345	Evaluasi jangka panjang (91 hari)	[8]
Garba dkk. (2024)	Optimasi	Model Prediksi	–	Akurasi model <i>response surface</i>	[15]

Dilihat dari segi fungsional, salah satu keunggulan penting yang ditemukan dalam penelitian terbaru adalah peningkatan kinerja isolasi suara dan panas. Udara yang tertahan di dalam sel tertutup styrofoam berperan sebagai penyerap gelombang suara yang efektif, di mana beton dengan densitas lebih rendah umumnya memiliki koefisien penyerapan suara yang lebih baik dibandingkan beton biasa [10]. Selain itu, penerapan metode pemodelan matematis seperti *Response Surface Methodology* (RSM) memungkinkan prediksi tekanan yang kuat dengan tingkat akurasi tinggi, sehingga memudahkan proses pengoptimalan campuran tanpa harus melakukan eksperimen di laboratorium secara berulang [9].



Gambar 1 Analisis komposit kinerja beton ringan berbasis *styrofoam*

Gambar 1 menampilkan sintesis data yang menyeluruh mengenai dampak integrasi limbah styrofoam terhadap kualitas bata beton. Dalam panel grafik batang di sebelah kiri, terlihat adanya penurunan kekuatan tekan yang signifikan seiring peningkatan persentase penggantian styrofoam, di mana tingkat substitusi sebesar 20% dianggap sebagai titik optimal untuk penggunaan struktural dengan nilai kekuatan mencapai 22,7 MPa. Penurunan tersebut dijelaskan melalui representasi mikrostruktur pada panel tengah, yang menunjukkan terbentuknya zona transisi antar muka (ITZ) serta pori-pori di sekitar partikel styrofoam, yang berdampak pada melemahnya matriks semen. Meskipun demikian, panel visual fungsional di bagian bawah menegaskan keunggulan material ini dalam mengurangi beban gempa berkat efisiensi berat struktur, serta kemampuan isolasi suara yang lebih baik dibandingkan beton biasa. Di bagian kanan bawah, aspek ketahanan melalui teknik pelapisan menunjukkan peningkatan ketahanan beton terhadap masuknya air dan serangan larutan asam, sehingga menjadikannya sebagai solusi bahan bangunan yang kuat dan ramah lingkungan.

## Kesimpulan

Limbah styrofoam memiliki potensi strategis sebagai substitusi agregat dalam produksi bata beton ringan yang daktif dan fungsional. Kadar substitusi optimal untuk aplikasi struktural ringan adalah maksimal 20%, di mana kuat tekan masih memenuhi kriteria standar keamanan [4], [11]. Penggunaan di atas 30% direkomendasikan untuk elemen non-struktural seperti panel dinding isolasi suara [10], [7]. Pemanfaatan ini memberikan kontribusi nyata terhadap *circular economy* dengan reduksi limbah hingga 72%, serta solusi beban mati bangunan [2].

## Daftar Rujukan

[1] A. Febriansya, Iskandar, D. Amalia, R. N. Indah, and Y. Widyaningsih, "Environmental implications of styrofoam waste and its utilization as lightweight fill material for embankment

- construction," *E3S Web of Conferences*, vol. 479, 07036, 2024. DOI: 10.1051/e3sconf/202447907036
- [2] . Ardiatma, P. A. Sari, and E. S. Maharani, "Analisis Pemanfaatan Limbah Plastik Jenis Styrofoam Sebagai Bahan Baku Pembuatan Batako," *Prosiding UNEX I*, Cimahi, 2019. ISBN: 978-623-91147-0-1.
- [3] I. Garba, T. A. Sulaiman, I. Aliyu, J. M. Kaura, Y. Yau, and S. Yusuf, "Predictive Models and Optimization of Strengths and Durability of Self-Compacting Concrete Admixed with Styrofoam," *FUOYE Journal of Engineering and Technology*, vol. 9, no. 4, 2024. DOI: 10.4314/fuoyejet.v9i4.18.
- [4] M. A. Ma'sum, Sumirin, and Soedarsono, "Analisis Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton Ringan dengan Substitusi Limbah Bata Ringan dan Styrofoam," *Syntax Admiration*, vol. 5, no. 12, 2024. ISSN: 2722- 5356.
- [5] B. Habibilah and S. Widodo, "Experimental Test on Polyended Polyesterene Addition as a Partial Substitute of Fine Aggregate," *Journal of Engineering and Applied Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 20-26, 2022. ISSN: 2716-2265.
- [6] B. A. Abbas, J. Abubakar, N. A. Sulaimon, and A. N. Ahmadu, "Experimental Study on Light Weight Concrete Bricks by Partial Replacement of Fine Aggregate with Styrofoam," *Engineering and Technology Journal*, vol. 9, no. 2, pp. 3492-3496, 2024. DOI: 10.47191/etj/v9i02.07.
- [7] S. Agung and A. Rifdah, "Compressive Strength of Structural Lightweight Concrete Using Styrofoam as an Aggregate Substitution," *Journal of World Conference (JWC)*, vol. 2, no. 3, pp. 15-21, 2020. ISSN: 2656-1174.
- [8] B. T. A. Sarjano, D. S. A. Yuwana, and L. S. Aswadi, "Pengaruh Kuat Tekan Beton Dengan Coating Cement Limbah Styrofoam Terhadap Larutan Asam Dan Permeabilitas Air," *Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi)*, vol. 7, no. 1, 2025. ISSN: 2655-6421.
- [9] I. Garba et al., "Optimization and Prediction Models for the Strength of Self-Consolidating Concrete with Styrofoam Fine Aggregates," *FUOYE Journal of Engineering and Technology*, vol. 9, Issue 4, 2024. DOI: 10.4314/fuoyejet.v9i4.18.
- [10] N. H. Crista, S. P. Hadi, E. Setyowati, D. B. Cahyono, and M. Hanif, "Acoustic and Mechanical Performance of Styrofoam-Based Lightweight Concrete," *Planning Malaysia: Journal of the Malaysian Institute of Planners*, vol. 23, no. 4, pp. 352-366, 2025. DOI: 10.21837/pm.v23i4.1610.
- [11] E. Rismana, K. A. Sambowo, and S. Musalamah, "Uji Kuat Tekan Bata Beton untuk Pasangan Dinding dengan Campuran Limbah Styrofoam (Expanded Polystyrene)," *Jurnal Pendidikan Teknik Sipil*, 2022. ISSN: 2527-4236.
- [12] E. Widyananto, N. Alami, and H. Suladi, "Analisis Kuat Tekan Batako Dengan Agregat Halus Abu Batu dan Limbah Styrofoam," *Jurnal Surya Beton*, vol. 5, no. 2, 2021. ISSN: 2541-0547.
- [13] M. R. Hasrul, M. J. Rahman, and A. R. Asrib, "Asphalt Concrete Mixture Innovation Using Styrofoam Waste," *Journal La Multiapp*, vol. 2, no. 6, pp. 32-39, 2021. DOI: 10.37899/journallamultiapp.v2i6.541.
- [14] S. Gong, T. Wang, M. M. Hasan, X. Mei, Z. Tan, T. Su, and F. Cao, "Effect of polypropylene fiber and nano-silica on the compressive strength and frost resistance of recycled brick aggregate concrete," *Nanotechnology Reviews*, vol. 12, no. 1, 2023. DOI: 10.1515/ntrev-2023-0174.