

Pemanfaatan Limbah Plastik Polyethylene Terephthalate (PET) Sebagai Agregat Kasar Beton Ringan: Systematic Literature Review

Arrisha Anggraini^{1*}, Wenny Herdianti², Ivana Christine Sembiring Brahmana³, Titonik Feberman Hia⁴, Melvi Maulita Napitupulu⁵, I Gede Wyana Lokantara⁶

^{1,3,4,5} Program Studi Manajemen Konstruksi, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia

² Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia

⁶ Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia

Email: arrisha@unimed.ac.id^{1*}, wenny@unimed.ac.id², ivanacs@unimed.ac.id³, titonikhia@unimed.ac.id⁴, melvimaulita@unimed.ac.id⁵, wyana@unimed.ac.id⁶

Abstrak

Limbah plastik Polyethylene Terephthalate (PET) dari botol minuman merupakan sumber utama sampah plastik *non-biodegradable* yang sulit terurai dan berpotensi mencemari lingkungan dalam jangka panjang. Pemanfaatan limbah plastik Polyethylene Terephthalate (PET) sebagai substitusi agregat kasar pada beton menawarkan solusi ganda: mengurangi limbah plastik sekaligus menghemat agregat alam sambil menurunkan berat isi beton untuk aplikasi beton ringan. Penelitian ini mengkaji secara sistematis karakteristik mekanik beton berbasis plastik Polyethylene Terephthalate (PET) melalui *systematic literature review* dengan protokol PRISMA 2020 pada periode publikasi 2018–2026. Pencarian literatur dilakukan pada basis data SINTA, Portal Garuda, Google Scholar, dan Scopus, menghasilkan 155 artikel awal. Setelah screening ketat, diperoleh 7 artikel eksperimental yang memenuhi kriteria inklusi: menggunakan plastik Polyethylene Terephthalate (PET) sebagai substitusi agregat kasar dan melaporkan data kuat tekan atau berat isi secara kuantitatif. Sintesis menunjukkan tren konsisten bahwa peningkatan persentase Polyethylene Terephthalate (PET) menurunkan kuat tekan (rentang 13–20 MPa pada substitusi 5–10%; 7–10 MPa pada >25%) sekaligus berat isi (1.645–1.900 kg/m³), menghasilkan beton ringan nonstruktural. Kombinasi PET-abu sekam padi mencapai kuat tekan optimal 24,85 MPa. Substitusi 5–10% paling sesuai untuk elemen semi-struktural, sedangkan >25% optimal untuk aplikasi nonstruktural seperti panel partisi dan saluran pracetak.

Kata Kunci: Polyethylene Terephthalate (PET); Limbah Plastik; Agregat Kasar; Beton Ringan; Systematic Literature Review

ABSTRACT

Plastic waste, particularly polyethylene terephthalate (PET) from beverage bottles, constitutes a major source of non-biodegradable waste that is difficult to decompose and poses long-term environmental risks. The utilization of polyethylene terephthalate (PET) waste as a partial replacement for coarse aggregate in concrete offers a dual benefit: reducing plastic waste while conserving natural aggregates and decreasing concrete density for lightweight applications. This study systematically examines the mechanical properties of polyethylene terephthalate (PET)-based concrete through a systematic literature review following the PRISMA 2020 protocol, covering publications from 2018 to 2026. A literature search was conducted across the SINTA, Portal Garuda, Google Scholar, and Scopus databases, yielding 155 initial articles. After a rigorous screening process, 7 experimental studies met the inclusion criteria, namely those that utilized polyethylene terephthalate (PET) as a coarse aggregate substitute and reported quantitative data on compressive strength and/or density. The synthesis reveals a consistent trend in which increasing polyethylene terephthalate (PET) content reduces compressive

strength (ranging from 13–20 MPa at 5–10% substitution and 7–10 MPa at >25%) as well as density (1,645–1,900 kg/m³), resulting in lightweight non-structural concrete. A combination of PET and rice husk ash achieved an optimal compressive strength of 24.85 MPa. Substitution levels of 5–10% are most suitable for semi-structural elements, whereas levels above 25% are optimal for non-structural applications such as partition panels and precast drainage channels.

Keywords: Polyethylene Terephthalate (PET); Plastic Waste; Coarse Aggregate; Lightweight Concrete; Systematic Literature Review

1. PENDAHULUAN

Peningkatan konsumsi minuman kemasan di Indonesia menyebabkan produksi limbah plastik, khususnya Polyethylene Terephthalate (PET), meningkat secara signifikan dari tahun ke tahun; total sampah nasional mencapai 25,9 juta ton per tahun, di mana 19,79% atau sekitar 5,1 juta ton merupakan sampah plastik, dan plastik Polyethylene Terephthalate (PET) dari botol minuman menjadi salah satu penyumbang terbesar (Manurung & Nursyamsi, 2025). Limbah Polyethylene Terephthalate (PET) dari botol minuman bersifat *non-biodegradable* dan membutuhkan waktu degradasi hingga 450 tahun di lingkungan apabila tidak dikelola dengan benar, sehingga menimbulkan permasalahan lingkungan yang serius (Manurung & Nursyamsi, 2025).

Di sisi lain, industri konstruksi masih sangat bergantung pada agregat alam sebagai komponen utama campuran beton. Jika dieksploitasi berlebihan dapat menyebabkan kerusakan daerah aliran sungai dan degradasi lahan (Rawa et al., 2025). Oleh karena itu, berbagai alternatif material telah diteliti sebagai pengganti agregat, seperti limbah plastik jenis High Density Polyethylene (HDPE), Polyvinyl Chloride (PVC), serta limbah non-plastik seperti abu sekam padi, fly ash, dan limbah konstruksi daur ulang (Suryan et al., 2024; Sukmara et al., 2025).

Namun demikian, tidak semua material alternatif tersebut memiliki karakteristik yang sesuai untuk substitusi agregat kasar pada beton ringan. Beberapa jenis plastik seperti HDPE cenderung memiliki kekuatan mekanik yang lebih rendah dan sifat deformasi yang tinggi, sedangkan PVC memiliki isu terkait kandungan kimia dan potensi dampak lingkungan. Sementara itu, material pozzolanik seperti *fly ash* dan abu sekam padi umumnya lebih berfungsi sebagai bahan tambah (*admixture*) daripada sebagai pengganti agregat kasar (Suryan et al., 2024; Alfirahman & Widodo, 2023).

Dibandingkan dengan alternatif tersebut, PET memiliki beberapa keunggulan, yaitu ketersediaan limbah yang melimpah, stabilitas sifat mekanik yang relatif lebih baik, serta kemudahan dalam proses pencacahan dan pengolahan menjadi agregat buatan. Keunggulan tersebut menjadikan PET sebagai material yang potensial untuk dikembangkan sebagai

substitusi agregat kasar dalam beton. Penggunaannya juga berkontribusi dalam mengurangi pemakaian agregat alam dan meningkatkan keberlanjutan material konstruksi (Hamid et al., 2023; Kurniawan et al., 2026).

Penelitian mengenai pemanfaatan limbah plastik sebagai material pengganti agregat dalam beton telah berkembang dalam dua arah utama, yakni penggunaan plastik sebagai substitusi agregat halus atau kasar dan sebagai serat penambah (fiber) (Suryan et al., 2024). Sejumlah studi eksperimental menunjukkan bahwa penggunaan limbah Polyethylene Terephthalate (PET) sebagai agregat kasar berpengaruh terhadap penurunan berat isi beton. Selain itu, kuat tekan juga menurun seiring bertambahnya persentase substitusi plastik dalam campuran beton (Hamid et al., 2023).

Beton ringan didefinisikan sebagai beton dengan berat isi lebih rendah daripada beton normal, umumnya di bawah 1.850 kg/m^3 berdasarkan SNI 03-3449-2002. Beton ini dapat memiliki atau tidak memiliki kemampuan menahan beban struktural tergantung pada mutu kuat tekannya (Putra & Asfarina, 2024). Beton ringan banyak dibutuhkan dalam konstruksi karena dapat mengurangi beban mati struktur secara signifikan, sehingga berdampak pada efisiensi dimensi elemen struktural seperti kolom, balok, dan fondasi (Putra & Asfarina, 2024; Sukmara et al., 2025).

Meskipun telah banyak penelitian eksperimental mengenai Polyethylene Terephthalate (PET) sebagai agregat kasar, belum banyak kajian yang secara sistematis merangkum dan membandingkan hasil-hasil tersebut dengan fokus pada kategori beton ringan, sebagaimana terkonfirmasi dari hasil pencarian literatur yang dilakukan dalam penelitian ini. Sebagian besar kajian bersifat *narrative review* atau hanya menyoroti satu parameter, misalnya kuat tekan, tanpa mempertimbangkan relasinya dengan berat isi dan klasifikasi beton ringan (Kurniawan et al., 2026; Manurung & Nursyamsi, 2025). Oleh karena itu, diperlukan *systematic literature review* yang secara komprehensif menyintesis pengaruh substitusi agregat kasar Polyethylene Terephthalate (PET) terhadap kuat tekan dan berat isi beton serta implikasinya terhadap klasifikasi dan potensi aplikasi beton ringan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya mengisi kesenjangan literatur, tetapi juga memberikan sintesis sistematis mengenai batas optimal penggunaan PET, mengidentifikasi hubungan antara kuat tekan dan berat isi, serta menawarkan dasar ilmiah bagi pengembangan beton ringan berbasis limbah yang berkelanjutan.

Pertanyaan penelitian yang diajukan meliputi tiga hal, yaitu rentang variasi substitusi agregat kasar Polyethylene Terephthalate (PET) yang masih memenuhi kriteria beton ringan,

hubungan antara berat isi dan kuat tekan beton yang menggunakan agregat kasar PET, serta jenis aplikasi yang paling sesuai untuk campuran beton tersebut. Pertanyaan-pertanyaan ini dirumuskan untuk memahami karakteristik beton ringan berbasis PET secara komprehensif. Jawaban atas pertanyaan ini diharapkan dapat memberikan rujukan ilmiah bagi peneliti dan praktisi dalam merancang campuran beton ringan berbasis limbah PET yang efektif dan berkelanjutan.

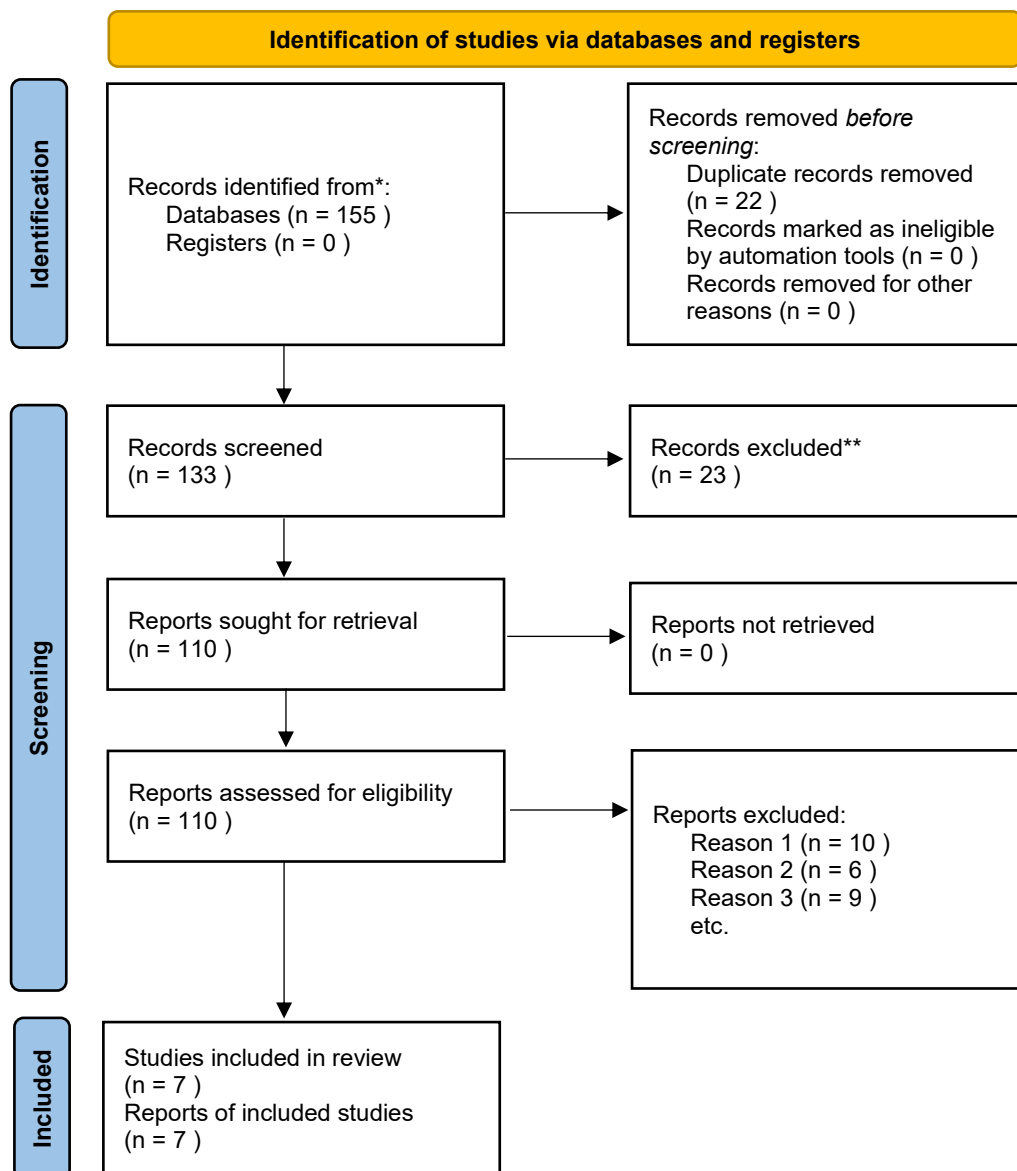
2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan *systematic literature review* dengan mengacu pada protokol PRISMA 2020 (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (Page et al., 2021), yang menekankan tahapan seleksi studi secara transparan dan replikatif. Pendekatan SLR dipilih karena memungkinkan sintesis terstruktur dari berbagai temuan empiris mengenai pemanfaatan Polyethylene Terephthalate (PET) sebagai agregat kasar pada beton, sebagaimana telah diterapkan dalam beberapa kajian literatur sebelumnya di bidang material konstruksi berbasis daur ulang (Albatayneh & Akhtar, 2024; Chong & Shi, 2023). Fokus utama penelitian ini adalah artikel-artikel eksperimental yang melaporkan penggunaan PET sebagai substitusi agregat kasar, beserta data kuat tekan dan berat isi beton, guna menghasilkan sintesis bukti empiris yang komprehensif dan dapat diverifikasi.

Pencarian literatur dilakukan pada empat basis data utama, yaitu SINTA, Portal Garuda, Google Scholar, dan Scopus, yang mewakili publikasi nasional dan internasional. Kombinasi kata kunci yang digunakan meliputi: “plastik Polyethylene Terephthalate (PET) agregat kasar beton ringan”, “limbah botol plastik Polyethylene Terephthalate (PET) substitusi agregat kasar beton”, “*polyethylene terephthalate coarse aggregate lightweight concrete*”, dan “*plastic waste coarse aggregate concrete polyethylene terephthalate*”. Kata kunci dikombinasikan menggunakan operator Boolean (AND, OR) dan disesuaikan dengan bahasa publikasi pada masing-masing basis data. Rentang tahun publikasi dibatasi 2018–2026 agar fokus pada perkembangan terkini.

Pada Gambar 1 ditunjukkan bahwa proses seleksi literatur mengikuti empat tahap utama PRISMA, yaitu *identification*, *screening*, *eligibility*, dan *inclusion*. Pada tahap *identification*, pencarian awal dari basis data SINTA, Portal Garuda, Google Scholar, dan Scopus menghasilkan 155 artikel potensial. Setelah penghapusan 22 artikel duplikat pada tahap *screening*, tersisa 133 artikel. Penyaringan berdasarkan judul dan abstrak menghasilkan 110 artikel yang relevan dengan topik substitusi agregat kasar Polyethylene Terephthalate (PET),

sedangkan 23 artikel dieliminasi karena membahas agregat halus, aspal plastik, atau jenis plastik selain Polyethylene Terephthalate (PET). Pada tahap *eligibility*, sebanyak 110 artikel ditelaah secara *full text*. Sebanyak 10 artikel dikeluarkan karena bukan penelitian eksperimental, 6 artikel berada di luar periode 2018–2026, dan 9 artikel tidak menyajikan data kuat tekan maupun berat isi secara kuantitatif, sehingga tersisa 85 artikel. Selanjutnya, pada tahap *inclusion* dilakukan peninjauan akhir terhadap fokus penggunaan Polyethylene Terephthalate (PET) sebagai agregat kasar, konsistensi pelaporan data kuat tekan atau berat isi, serta relevansinya terhadap klasifikasi beton ringan. Hasilnya, 78 artikel dieliminasi dan diperoleh 7 artikel akhir yang memenuhi seluruh kriteria untuk dianalisis dalam *systematic literature review*.



Gambar 1. Flowchart Proses Seleksi Studi (PRISMA)

Dari setiap artikel yang terinklusi, diekstraksi data berupa nama peneliti dan tahun, bentuk dan ukuran Polyethylene Terephthalate (PET), serta persentase substitusi agregat kasar PET. Selain itu, dikumpulkan juga data kuat tekan pada umur rencana, berat isi beton, klasifikasi mutu beton, dan potensi aplikasi struktural atau nonstruktural. Data tersebut kemudian dianalisis secara deskriptif komparatif untuk mengidentifikasi pola pengaruh variasi PET terhadap kuat tekan dan berat isi serta menentukan zona penggunaan beton ringan PET.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Seleksi dan Karakteristik Umum Artikel

Berdasarkan tahapan identifikasi, *screening*, *eligibility*, dan *inclusion* pada protokol PRISMA 2020, dari 155 artikel awal yang terdeteksi di SINTA, Portal Garuda, Google Scholar, dan Scopus, akhirnya diperoleh 7 artikel yang memenuhi seluruh kriteria inklusi. Artikel-artikel tersebut kemudian dianalisis dalam *systematic literature review* ini. Seluruh artikel merupakan penelitian eksperimental yang menggunakan limbah plastik Polyethylene Terephthalate (PET) sebagai substitusi agregat kasar serta melaporkan data kuat tekan dan/atau berat isi beton secara kuantitatif.

Secara kronologis, artikel yang terinklusi mencakup rentang tahun publikasi 2021–2026 dengan dominasi konteks Indonesia, baik pada beton mutu normal, beton mutu rendah, maupun beton ringan. Sebagian besar penelitian menggunakan benda uji silinder dengan variasi kadar Polyethylene Terephthalate (PET) yang berbeda-beda, mulai dari kadar sangat rendah (0,7%) hingga penggantian agregat kasar secara penuh (100%). Satu studi menggunakan agregat buatan hasil kombinasi Polyethylene Terephthalate (PET) dan abu sekam padi, yang merepresentasikan pendekatan rekayasa material untuk meningkatkan kinerja beton berbasis Polyethylene Terephthalate (PET).

3.2 Ringkasan 7 Artikel Inklusi

Tabel 1 berikut menyajikan ringkasan lengkap dari 7 artikel yang memenuhi kriteria inklusi dalam *systematic literature review* ini, mencakup profil peneliti, tujuan penelitian, metode eksperimental, variasi substitusi Polyethylene Terephthalate (PET), hasil utama berupa kuat tekan dan berat isi beton, serta kesimpulan dan rekomendasi aplikasi dari masing-masing studi.

Tabel 1. Ringkasan Karakteristik dan Temuan 7 Artikel Inklusi Systematic Literature Review

No	Penulis (Tahun)	Tujuan Utama	Variasi PET	Hasil Utama	Rekomendasi Aplikasi
1	Kurniawan et al. (2026)	Menganalisis pengaruh substitusi sebagian agregat kasar dengan PET terhadap kuat tekan beton normal umur 7 hari (f'_c rencana 20 MPa).	0–25% (berat agregat kasar)	Kuat tekan normal 24,89 MPa; pada 5% PET 20,38 MPa; turun menjadi 10,76 MPa pada 25% PET.	>10% PET tidak direkomendasikan untuk beton struktural; 5% masih paling mendekati mutu rencana.
2	Ariyansyah et al. (2025)	Mengkaji pengaruh limbah botol PET sebagai substitusi agregat kasar terhadap kuat tekan beton umur 14 dan 28 hari.	0–10% (berat agregat kasar)	Pada 28 hari, normal 22,34 MPa; variasi 2,5%; 5%; 7,5%; 10% menghasilkan 16,79; 18,71; 14,34; 13,15 MPa. Slump meningkat.	PET meningkatkan <i>workability</i> namun menurunkan kuat tekan; sekitar 5% memberikan kompromi terbaik.
3	Wiswamitra et al. (2025)	Mengkaji karakteristik mekanik beton dengan agregat buatan PET–abu sekam padi.	Agregat buatan dengan komposisi PET dan abu sekam padi (± 15 –16%).	Kuat tekan optimum 24,85 MPa (umur 7 hari) dengan berat isi 1.900 kg/m ³ (beton ringan struktural).	PET + abu sekam padi berpotensi sebagai agregat buatan untuk beton ringan struktural.
4	Achidah et al. (2024)	Mengetahui pengaruh penambahan cacahan PET pada beton dengan agregat kasar batu Petangis terhadap kuat tekan.	0,7%; 0,85%; 1,0% PET.	Kuat tekan tertinggi 16,05 MPa (0,7%, 28 hari), terendah 11,67 MPa (1,0%).	Penambahan PET kecil pun menurunkan kuat tekan; disarankan sangat hati-hati untuk elemen struktural.
5	Damayanti et al. (2024)	Mengkaji pengaruh sampah PET sebagai pengganti agregat kasar terhadap kuat tekan beton.	Hampir 100% agregat PET.	Kuat tekan 9,57 MPa (turun 53,81% dari 20,72 MPa); berat isi 1.645 kg/m ³ (beton ringan).	Sesuai untuk beton ringan nonstruktural; tidak cukup untuk struktur utama.
6	Giovani & Harsono (2025)	Menilai kelayakan agregat buatan PET–pasir untuk aplikasi beton.	Variasi komposisi PET–pasir.	Agregat buatan PET–pasir belum memenuhi standar kuat tekan beton ringan struktural.	Material alternatif menarik, namun masih belum layak untuk struktur.
7	Bachtiar et al. (2021)	Menentukan kuat tekan dan kuat tarik belah beton dengan agregat kasar limbah plastik (PP, PET, PP–PET).	100% agregat plastik per jenis.	Kuat tekan normal 21,64 MPa; PET 8,48 MPa; PP–PET 10,18 MPa; kuat tarik belah PET 1,70 MPa.	Penggunaan agregat plastik menurunkan kuat tekan dan kuat tarik secara nyata.

Berdasarkan proses seleksi literatur menggunakan protokol PRISMA 2020, diperoleh 7 artikel yang memenuhi seluruh kriteria inklusi untuk dianalisis dalam systematic literature review ini. Ketujuh artikel tersebut seluruhnya merupakan penelitian eksperimental yang membahas pemanfaatan limbah

plastik Polyethylene Terephthalate (PET) sebagai substitusi agregat kasar pada beton serta menyajikan data kuantitatif mengenai kuat tekan dan/atau berat isi beton. Artikel-artikel tersebut mencakup rentang tahun publikasi 2021–2026 dengan dominasi penelitian pada konteks Indonesia, baik pada beton mutu normal, beton mutu rendah, maupun beton ringan.

Secara umum, variasi substitusi Polyethylene Terephthalate (PET) yang digunakan cukup beragam, mulai dari kadar sangat rendah sebesar 0,7%, substitusi parsial sebesar 5–25%, hingga penggantian agregat kasar secara penuh (100%). Sebagian besar penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kadar Polyethylene Terephthalate (PET) cenderung menurunkan kuat tekan beton, namun di sisi lain mampu menurunkan berat isi sehingga menghasilkan beton yang lebih ringan. Pada kadar substitusi rendah, sekitar 5–10%, beton masih memiliki potensi untuk aplikasi semi-struktural, sedangkan pada kadar tinggi lebih sesuai untuk aplikasi nonstruktural seperti panel partisi, saluran pracetak, dan elemen arsitektural ringan.

Salah satu artikel menunjukkan pendekatan berbeda melalui penggunaan agregat buatan berbasis kombinasi Polyethylene Terephthalate (PET) dan abu sekam padi yang mampu menghasilkan kuat tekan optimum sebesar 24,85 MPa dengan berat isi sekitar 1.900 kg/m³, sehingga berpotensi digunakan sebagai beton ringan struktural. Temuan ini menunjukkan bahwa kombinasi Polyethylene Terephthalate (PET) dengan material pozzolanik lokal dapat menjadi strategi untuk mengatasi penurunan kuat tekan akibat penggunaan Polyethylene Terephthalate (PET). Secara keseluruhan, ketujuh artikel inklusi tersebut memberikan dasar yang kuat untuk menganalisis hubungan antara variasi substitusi Polyethylene Terephthalate (PET), kuat tekan, berat isi beton, serta potensi penerapannya dalam konstruksi berkelanjutan.

3.3 Pengaruh Substitusi Polyethylene Terephthalate (PET) terhadap Kuat Tekan Beton

Semua studi yang dianalisis menunjukkan tren penurunan kuat tekan seiring peningkatan kadar Polyethylene Terephthalate (PET) sebagai substitusi agregat kasar. Kurniawan et al. (2026) menunjukkan bahwa peningkatan kadar Polyethylene Terephthalate (PET) dari 0% menjadi 25% menurunkan kuat tekan dari 24,89 MPa menjadi 10,76 MPa pada umur 7 hari, dengan penurunan paling tajam terjadi setelah melewati 10% substitusi. Tren ini konsisten dengan laporan Ariyansyah et al. (2025) yang menemukan bahwa pada umur 28 hari, kuat tekan beton berkurang dari 22,34 MPa (normal) menjadi 13,15 MPa pada kadar Polyethylene Terephthalate (PET) 10%.

Pada rentang kadar yang sangat rendah (0,7–1,0%), Achidah et al. (2024) melaporkan penurunan kuat tekan. Nilai kuat tekan menurun dari 16,05 MPa pada kadar 0,7% menjadi 11,67

MPa pada 1,0% Polyethylene Terephthalate (PET). Hal ini menegaskan bahwa bahkan penambahan PET dalam jumlah kecil sudah memengaruhi integritas mekanik beton, meskipun pada kadar ini masih dapat dipertimbangkan untuk aplikasi dengan tuntutan struktural terbatas.

Pada substitusi ekstrem, seperti pada studi Damayanti et al. (2024) dan Bachtiar et al. (2021) yang mengganti hampir seluruh agregat kasar dengan Polyethylene Terephthalate (PET), kuat tekan beton turun hingga 8–10 MPa. Nilai tersebut hanya layak untuk beton mutu sangat rendah dan sepenuhnya nonstruktural. Penurunan kuat tekan ini berkaitan dengan sifat permukaan PET yang halus dan hidrofobik sehingga mengurangi kualitas ikatan pada zona transisi antarmuka antara agregat dan pasta semen.

3.4 Pengaruh Substitusi Polyethylene Terephthalate (PET) terhadap Berat Isi Beton

Berbeda dengan kuat tekan, berat isi beton secara konsisten menurun seiring bertambahnya kadar Polyethylene Terephthalate (PET) karena densitas Polyethylene Terephthalate (PET) yang jauh lebih rendah dibanding agregat alami. Damayanti et al. (2024) mencatat berat isi beton 1.645 kg/m³ pada beton dengan agregat Polyethylene Terephthalate (PET), yang jelas mengklasifikasikannya sebagai beton ringan. Wiswamitra et al. (2025) mendapatkan beton dengan berat isi sekitar 1.900 kg/m³ ketika menggunakan agregat buatan Polyethylene Terephthalate (PET) abu sekam padi, yang juga memenuhi kriteria beton ringan sekaligus memiliki kuat tekan yang tinggi.

Temuan dari berbagai studi eksperimental menunjukkan bahwa penggunaan serat limbah Polyethylene Terephthalate (PET) dalam beton menurunkan kecepatan pulsa ultrasonik (UPV) dan modulus elastisitas dinamik, yang menandakan meningkatnya porositas dan berkurangnya kerapatan mikrostruktur beton (Alfirahman & Widodo. 2023). Hal ini menguntungkan dari sisi pengurangan beban mati struktur, namun perlu dikompensasi dengan rekayasa campuran seperti penambahan fly ash sebesar 15% agar tidak mengorbankan kuat tekan secara berlebihan (Alfirahman & Widodo. 2023).

3.5 Zona Variasi Substitusi Polyethylene Terephthalate (PET) dan Klasifikasi Aplikasi

Berdasarkan sintesis 7 artikel, zona substitusi Polyethylene Terephthalate (PET) dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. Zona substitusi rendah ($\approx 0,7-10\%$).

Pada zona ini, kuat tekan masih berada pada kisaran 13–20 MPa, tergantung mutu awal beton dan komposisi campuran. Beton dengan kadar Polyethylene Terephthalate (PET) rendah masih dapat dipertimbangkan untuk elemen struktural ringan, balok dan pelat

dengan pembatasan tertentu, atau beton mutu menengah selama perencanaan struktur dilakukan hati-hati.

2. Zona substitusi sedang ($\approx 15\text{--}25\%$)

Kuat tekan cenderung turun ke rentang 7–15 MPa, namun berat isi mulai nyata turun dan mendekati/masuk kategori beton ringan. Beton pada zona ini lebih cocok untuk aplikasi nonstruktural seperti partisi, panel dinding, elemen arsitektural, dan saluran pracetak yang tidak menahan beban besar tetapi membutuhkan bobot yang ringan.

3. Zona substitusi tinggi ($\geq 25\text{--}100\%$)

Pada substitusi penuh atau hampir penuh, kuat tekan umumnya hanya 7–10 MPa dengan berat isi 1.645–1.900 kg/m³. Beton pada zona ini diklasifikasikan sebagai beton ringan nonstruktural dan paling sesuai digunakan sebagai elemen dekoratif, panel isolasi termal, pengisi rongga, atau produk beton pratetap yang tidak memikul beban struktural signifikan.

Studi agregat buatan Polyethylene Terephthalate (PET) pasir (Giovani & Harsono, 2025) menunjukkan bahwa inovasi bentuk agregat saja tidak menjamin perbaikan performa bila komposisinya belum optimal. Sebaliknya, kombinasi Polyethylene Terephthalate (PET) dengan abu sekam padi (Wiswamitra et al., 2025) menunjukkan bahwa bahan pozzolanik dapat memperbaiki ikatan antar pasta dan agregat. Hal ini menghasilkan beton ringan dengan kuat tekan yang lebih tinggi.

3.6 Implikasi Keberlanjutan Lingkungan dan Teknik

Dari perspektif keberlanjutan, pemanfaatan limbah Polyethylene Terephthalate (PET) sebagai agregat kasar menawarkan dua keuntungan utama: mengurangi volume limbah plastik *non-biodegradable* dan menurunkan kebutuhan penambangan agregat alam yang berpotensi merusak lingkungan (Kurniawan et al., 2026; Manurung & Nursyamsi, 2025). Beton ringan berbasis Polyethylene Terephthalate (PET) juga berkontribusi pada pengurangan beban mati struktur, yang pada gilirannya dapat mengurangi dimensi elemen dan volume material yang digunakan (Kurniawan et al., 2026; Sukmara et al., 2025).

Namun, dari sisi teknik, pemanfaatan ini memerlukan pengendalian kadar substitusi, optimasi desain campuran, serta pengembangan prosedur perlakuan permukaan agregat Polyethylene Terephthalate (PET) baik mekanis maupun kimia untuk mengurangi penurunan kuat tekan dan sifat mekanik lainnya (Kurniawan et al., 2026; Alfirahman & Widodo, 2023). Dengan demikian, pendekatan pemanfaatan Polyethylene Terephthalate (PET) harus

diposisikan sebagai bagian dari strategi desain beton berkelanjutan yang mempertimbangkan sekaligus aspek mekanik, durabilitas, dan lingkungan (Sukmara et al., 2025).

3.7 Potensi Aplikasi Beton Ringan Polyethylene Terephthalate (PET) dalam Konteks Konstruksi Indonesia

Konteks konstruksi Indonesia memberikan peluang unik bagi pemanfaatan beton ringan berbasis Polyethylene Terephthalate (PET), mengingat tingginya produksi limbah Polyethylene Terephthalate (PET) (hingga 78% dari total limbah kemasan minuman) dan kebutuhan material konstruksi yang ringan namun efisien (Trisyanti et al., 2022). Beton ringan nonstruktural berbasis Polyethylene Terephthalate (PET) dengan kuat tekan 7-10 MPa dan berat isi 1.645 kg/m³ sangat sesuai diaplikasikan pada panel dinding nonstruktural (*non-load bearing wall panels*), saluran pracetak (*precast drainage channel*), dan elemen pengisi pada konstruksi bertingkat (Damayanti et al., 2024). Penggunaan pada elemen-elemen ini tidak mensyaratkan kuat tekan tinggi, namun sangat mengutamakan bobot ringan dan kemudahan instalasi.

Untuk aplikasi yang lebih menuntut, seperti pada elemen semi-struktural bangunan bertingkat rendah di kawasan rawan gempa, penggunaan beton Polyethylene Terephthalate (PET) kadar 5–10% dengan kuat tekan berkisar 19,36–20,38 MPa masih relevan karena kontribusinya pada pengurangan beban mati (*dead load*) struktur secara keseluruhan (Kurniawan et al., 2026). Pengurangan beban mati pada bangunan bertingkat memiliki implikasi signifikan pada dimensi fondasi, kolom, dan balok yang lebih ramping, sehingga berkontribusi pada efisiensi material dan biaya konstruksi keseluruhan (Kurniawan et al., 2026; Sukmara et al., 2025).

Dalam perspektif *circular economy* dan kebijakan pengurangan sampah plastik nasional, penerapan beton berbasis Polyethylene Terephthalate (PET) juga berpotensi mendukung program daur ulang *extended producer responsibility* (EPR) di mana produsen botol Polyethylene Terephthalate (PET) bertanggung jawab atas pengelolaan limbah produknya. Integrasi rantai pasok antara industri pengolahan limbah Polyethylene Terephthalate (PET) dan industri konstruksi di Indonesia masih memerlukan kerangka regulasi dan standar teknis yang jelas, baik dalam hal spesifikasi agregat Polyethylene Terephthalate (PET) yang digunakan maupun persyaratan kuat tekan minimum untuk berbagai kategori aplikasi struktural (Amin et al., 2022; Hidayah & Wimala, 2024).

Meskipun potensinya menjanjikan, penerapan beton berbasis Polyethylene Terephthalate (PET) di Indonesia masih menghadapi sejumlah tantangan yang saling berkaitan. Dari sisi teknis, sifat hidrofobik permukaan agregat Polyethylene Terephthalate (PET)

menghasilkan zona transisi antarmuka (*interfacial transition zone*) yang lemah terhadap pasta semen, akibat rendahnya afinitas kimiawi antara material polimer non-polar dan matriks semen yang bersifat polar (Qaidi et al., 2023; Uche et al., 2023). Kondisi ini menyebabkan kuat tekan beton menurun secara konsisten seiring meningkatnya kadar substitusi agregat Polyethylene Terephthalate (PET), dengan penurunan berkisar antara 41–54% pada kadar substitusi 40–50% dibandingkan campuran kontrol (Uche et al., 2023; Mansour & Al-Jumaili, 2020). Selain itu, peningkatan nilai penyerapan air yang pada substitusi 50% Polyethylene Terephthalate (PET) dapat mencapai 101–181% lebih tinggi dibandingkan campuran referensi menjadi indikator utama melemahnya durabilitas jangka panjang beton berbasis Polyethylene Terephthalate (PET) tersebut (Qaidi et al., 2023). Kondisi ini menjadi perhatian khusus mengingat paparan iklim tropis Indonesia yang ditandai dengan kelembapan tinggi dan fluktuasi suhu dapat mempercepat degradasi matriks beton berpori dalam jangka panjang (Siladji et al., 2023).

Dari sisi regulasi, SNI 8424:2023 (revisi SNI 8424:2017) yang ditetapkan BSN hanya mengatur spesifikasi resin Polyethylene Terephthalate (PET) daur ulang sebagai bahan baku umum dan kemasan pangan. Standar tersebut belum mencakup spesifikasi teknis agregat PET untuk aplikasi konstruksi beton. Kekosongan standar ini menjadi hambatan bagi kontraktor dan perencana untuk menggunakan material berbasis PET secara sah dalam proyek yang mensyaratkan kepatuhan SNI.

3.8 Limitasi Studi dan Agenda Penelitian Lanjutan

Meskipun *systematic literature review* ini berhasil mengidentifikasi pola yang konsisten dari 7 artikel inklusi, terdapat sejumlah limitasi yang perlu diakui secara transparan. Pertama, tidak seluruh artikel yang terinklusi melaporkan data berat isi secara kuantitatif; hanya 2 dari 7 artikel yang menyajikan nilai berat isi eksplisit, sehingga inferensi mengenai klasifikasi beton ringan sebagian harus didasarkan pada estimasi dan perbandingan tidak langsung (Damayanti et al., 2024; Wiswamitra et al., 2025). Keterbatasan ini mengurangi kedalaman sintesis dan menyulitkan perbandingan lintas studi yang lebih komprehensif.

Kedua, mayoritas studi dilakukan pada rentang umur pengujian 7 atau 28 hari, sehingga belum ada data terkait perkembangan kuat tekan jangka panjang (90 hari, 1 tahun) dan ketahanan (*durability*) beton Polyethylene Terephthalate (PET) dalam kondisi lingkungan tropis Indonesia yang ditandai oleh temperatur tinggi, kelembapan relatif tinggi, dan potensi paparan air hujan asam (Katiandagho et al., 2024). Data durabilitas jangka panjang sangat penting sebelum beton Polyethylene Terephthalate (PET) dapat direkomendasikan secara luas untuk aplikasi struktural permanen.

Ketiga, variasi dalam bentuk, ukuran, dan prosedur preparasi agregat Polyethylene Terephthalate (PET) antar studi sangat besar, mulai dari cacahan kasar tidak beraturan hingga agregat buatan berbentuk granul silindris. Heterogenitas ini menyebabkan hasil kuat tekan dan berat isi antar studi sulit untuk dibandingkan secara langsung, sehingga agenda standarisasi prosedur preparasi agregat Polyethylene Terephthalate (PET) menjadi prioritas utama dalam penelitian lanjutan (Achidah et al., 2024; Giovani & Harsono, 2025). Penelitian lanjutan juga sangat diharapkan mengeksplorasi kombinasi Polyethylene Terephthalate (PET) dengan bahan pozzolanik alternatif lain yang tersedia di Indonesia, seperti abu vulkanik, metakaolin, dan abu sawit, untuk mengoptimalkan kinerja mekanik dan durabilitas beton ringan berbasis limbah Polyethylene Terephthalate (PET).

4. PENUTUP

Simpulan dan Saran

Berdasarkan *systematic literature review* terhadap 7 artikel eksperimental periode 2021–2026, penelitian ini menjawab tiga pertanyaan utama yang telah dirumuskan. Pertama, rentang variasi substitusi agregat kasar PET yang masih memenuhi kriteria beton ringan (berat isi $< 1.850 \text{ kg/m}^3$ sesuai SNI 03-3449-2002) ditemukan mulai dari substitusi $\geq 25\%$ hingga penggantian penuh (100%), dengan nilai berat isi terukur berkisar $1.645\text{--}1.900 \text{ kg/m}^3$. Substitusi rendah ($\leq 10\%$) belum secara konsisten menghasilkan berat isi yang masuk kategori beton ringan, sehingga penggunaan PET dalam kisaran ini masih menghasilkan beton dengan berat isi mendekati beton normal. Kedua, terdapat hubungan linier negatif antara berat isi dan kuat tekan beton PET; semakin tinggi kadar substitusi PET, semakin rendah berat isi sekaligus kuat tekan beton. Pada kadar 5–10%, kuat tekan masih berada pada kisaran 13–20 MPa; pada substitusi $> 25\%$ hingga 100%, kuat tekan turun ke rentang 7–10 MPa dengan berat isi $1.645\text{--}1.900 \text{ kg/m}^3$. Pengecualian ditemukan pada kombinasi PET–abu sekam padi yang mampu mempertahankan berat isi rendah ($\pm 1.900 \text{ kg/m}^3$, mendekati batas atas kategori beton ringan menurut SNI) sekaligus menghasilkan kuat tekan optimal 24,85 MPa, sehingga hubungan linier negatif tersebut tidak berlaku mutlak dan dapat diintervensi melalui rekayasa bahan tambah pozzolanik. Ketiga, berdasarkan sintesis zona substitusi, beton PET kadar 5–10% paling sesuai untuk elemen semi-struktural (balok dan pelat beban terbatas) mengingat kuat tekannya yang masih memadai. Kadar $> 25\%$ optimal untuk aplikasi nonstruktural seperti panel partisi, saluran pracetak, dan elemen pengisi pada konstruksi bertingkat. Sementara itu, kombinasi PET–abu sekam padi membuka potensi penggunaan sebagai beton ringan struktural. Secara keseluruhan,

pemanfaatan PET tidak hanya mendukung pengurangan limbah plastik *non-biodegradable* dan penghematan agregat alam, tetapi juga berkontribusi pada efisiensi beban mati struktur yang relevan bagi konstruksi berkelanjutan di Indonesia. Penelitian selanjutnya disarankan untuk melaporkan data berat isi secara kuantitatif dengan lebih seragam, mengeksplorasi kombinasi PET dengan bahan pozzolanik alternatif lokal (abu vulkanik, metakaolin, abu tandan kosong sawit), serta memprioritaskan kajian durabilitas jangka panjang pada lingkungan tropis.

DAFTAR PUSTAKA

- Achidah, F., Indriani, A. M., & Utomo, G. (2024). Pengaruh penambahan cacahan plastik PET (Polyethylene Terephthalate) pada beton menggunakan agregat kasar batu Petangis terhadap kuat tekan. *Media Bina Ilmiah*, 18(6), 1439–1442.
- Albatayneh, O., & Akhtar, M. N. (2024). Evaluating recycled PET as an alternative material for the construction sector towards sustainability. *Civil Engineering Journal*, 10(4), 1336–1353. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2024-010-04-020>
- Alfirahman, R., & Widodo, S. (2023). Efek penambahan serat limbah botol polyethylene terephthalate (PET) dan fly ash terhadap hasil uji ultrasonic pulse velocity pada self compacting concrete. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 13(1), 1–12. <https://doi.org/10.29103/tj.v13i1.795>
- Amin, S., Strik, D., & van Leeuwen, J. (2022). A multi-method approach to circular strategy design: Assessing extended producer responsibility scenarios through material flow analysis of PET plastic in Jakarta, Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, 367, 132884. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132884>
- Ariyansyah, R., Sarpawi, S., & Ahmad, T. H. I. (2025). Studi eksperimental kuat tekan beton menggunakan agregat kasar dari limbah botol plastik PET. *SAINSTEK*, 13(2). <https://doi.org/10.35583/js.v13i2.385>
- Bachtiar, E., Muzakkir, M. A., Takwin, T., Gusty, S., & Nur, N. K. (2021). Kuat tekan dan tarik belah pada beton yang menggunakan agregat kasar limbah plastik. *Rekayasa Sipil*, 15(1), 22–28. <https://doi.org/10.21776/ub.rekayasasipil.2021.015.01.4>
- Chong, B. W., & Shi, X. (2023). Meta-analysis on PET plastic as concrete aggregate using response surface methodology and regression analysis. *Journal of Infrastructure Preservation and Resilience*, 4(1). <https://doi.org/10.1186/s43065-022-00069-y>
- Damayanti, A. R., Sudirman, S., & Amin, M. (2024). Kuat tekan beton menggunakan sampah plastik sebagai pengganti agregat kasar. *Jurnal Ilmiah Ecosystem*, 24(1), 140–148. <https://doi.org/10.35965/eco.v24i1.4193>
- Giovani, M., & Harsono, B. (2025). Feasibility of PET–sand artificial aggregate for concrete applications: Kelayakan penggunaan agregat buatan PET–pasir untuk aplikasi beton. *Sustainable Infrastructure and Construction Engineering Journal*, 1(2). <https://sice.umsida.ac.id/index.php/sice/article/view/35>
- Hamid, R. M. D. D., Rahman, T., & Budiman, E. (2023). Penggunaan sampah plastik PET sebagai pengganti sebagian agregat kasar Palu pada beton. *Teknologi Sipil: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 7(1), 63–71. <https://doi.org/10.30872/ts.v7i1.11234>

- Hidayah, F. N., & Wimala, M. (2024). Lessons learned from systematic review for circular economy adoption in the Indonesian construction industry. *Rekayasa Sipil*, 18(3), 232–245. <https://doi.org/10.21776/ub.rekayasasipil.2024.018.03.9>
- Katiandagho, M., Wati, D. A. M., Sihite, B., Melvin, Adji, D. H., & Sidabutar, Y. F. D. (2024). Analisis durabilitas beton jalan pada lingkungan tropis: Wilayah Mangsang Indah Kota Batam. *Zona Sipil: Jurnal Teknik Sipil Universitas Batam*, 14(1). <https://doi.org/10.37776/zs.v14i1.1472>
- Kurniawan, P., Purnama, I. A., Nugroho, D. P. L., & Ravika, S. W. (2026). Pengaruh substitusi agregat kasar PET terhadap kuat tekan beton normal 7 hari. *RIGID: Journal of Research and Innovation in Civil Engineering as Applied Science*, 5(1), 29–36.
- Mansour, A. A., & Al-Jumaili, M. A. K. (2020). Examining polyethylene terephthalate (PET) as artificial coarse aggregates in concrete. *Civil Engineering Journal*, 6(12), 2416–2428. <https://doi.org/10.28991/cej-2020-03091626>
- Manurung, D. P. A., & Nursyamsi. (2025). Pemanfaatan limbah plastik PET (*polyethylene terephthalate*) dalam pembuatan bata ringan CLC (cellular lightweight concrete): Studi eksperimental. *Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia*, 10(5), 5058–5069.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Gluud, C., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Putra, B. E., & Asfarina, S. (2024). Pemanfaatan limbah karbit pada campuran beton ringan sebagai bahan tambah. *AGREGAT: Jurnal Teknik Sipil*, 9(1), 1022–1027. <https://journal.um-surabaya.ac.id/Agregat/article/view/22244>
- Qaidi, S., Al-Kamaki, Y., Hakeem, I., Dulaimi, A. F., Özkılıç, Y., Sabri, M., & Sergeev, V. (2023). Investigation of the physical-mechanical properties and durability of high-strength concrete with recycled PET as a partial replacement for fine aggregates. *Frontiers in Materials*, 10, 1101146. <https://doi.org/10.3389/fmats.2023.1101146>
- Rawa, M. A. M., Harudu, L., Nursalam, L. O., & Andrias. (2025). Dampak penambangan pasir terhadap kerusakan lingkungan. *Jurnal Penelitian Pendidikan Geografi (JPPG)*, 10(4), 445–455.
- Siladji, D., Kristiawan, S. A., Santosa, B., & Gunarto, A. (2023). Impact of climate change on corroded reinforced concrete in Indonesia. In *Proceedings of the International Conference on Urban, Environmental, and Multi-Hazard Sustainability (ICUEMS 2023)* (pp. 1–8). SciTePress. <https://www.scitepress.org/Papers/2023/121045/121045.pdf>
- Sukmara, R. B., Hijriah, Setyorini, I. D. W., Zainun, A., Ikhsan, M. I. K., Putri, A. A., & Priono, C. N. (2025). Substitusi sampah plastik sebagai agregat kasar pada inovasi saluran beton precast ramah lingkungan. *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, 9(1), 94–107.
- Suryan, V., Septiani, V., Nurfitri, M. A., Amalia, D., Silitonga, E., Chandra, P. W. A., & Febriansyah, A. (2024). Green concrete: Residu pembakaran sampah plastik dan tekstil sebagai pengganti sebagian agregat halus pada campuran beton. *Jurnal Talenta Sipil*, 7(1), 192. <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v7i1.348>
- Trisyanti, D., Rangi Laksita Wengi, K., Rachmawati, R. L., & Akib, R. (2022). Advancing the potential of PET and PP-based beverage packaging to support circular

economy. *Journal of Environmental Science and Sustainable Development*, 5(2), 378–403. <https://doi.org/10.7454/jessd.v5i2.1154>

Uche, C. K. A., Abubakar, S. A., Nnamchi, S. N., & Ukagwu, K. J. (2023). Polyethylene terephthalate aggregates in structural lightweight concrete: A meta-analysis and review. *Discover Materials*, 3, 11. <https://doi.org/10.1007/s43939-023-00060-8>

Wiswamitra, K. A., Perdana, P., & Krisnamurti, K. (2025). Agregat buatan untuk beton yang terbuat dari plastik PET (*Polyethylene terephthalate*) dengan campuran abu sekam padi. In *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS XVII)* (pp. 239–248). Universitas Balikpapan. <https://konteks17.uniba-bpn.ac.id/index.php/konteks/article/view/256>