



Studi Literatur: BATACO, Solusi Konstruksi Hijau dengan Bata Daur Ulang dari Limbah Beton dan Plastik PET

Syahdam Habib Akbari^{1*}, Syifa Galih Sukeng Driyo², Siti Fadilah Ahmad³

^{1 2 3} Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No. 5 Malang, Jawa Timur, Indonesia

*Penulis korespondensi, Surel: syahdamhabibakbari@gmail.com

Abstrak

Tingginya laju pertumbuhan penduduk Indonesia yang mencapai 1,00% per tahun telah mendorong peningkatan permintaan perumahan dan infrastruktur secara masif. Kondisi ini mengakibatkan eksploitasi sumber daya dan timbunan limbah yang lebih tinggi, khususnya limbah plastik dan beton. Dari total 25,84 juta ton limbah tahunan di Indonesia, 19,56% merupakan limbah plastik. Selain itu, sektor konstruksi sendiri menghasilkan sekitar 29 juta ton limbah beton setiap tahun yang sebagian besar belum dikelola secara optimal. Inefisiensi pengelolaan limbah ini berkontribusi pada penurunan kualitas lingkungan dan peningkatan emisi karbon, dimana sektor konstruksi menyumbang 37% dari total emisi karbon global. Sebagai solusi, Bataco dikembangkan sebagai material konstruksi berkelanjutan. Melalui studi literatur, ditemukan bahwa rasio komposisi optimal 1:3 (limbah beton dengan bahan lain) menghasilkan Bataco dengan kuat tekan 10,14 MPa dan tingkat penyerapan air yang rendah, yaitu 1,76%. Penggunaan limbah plastik PET secara signifikan mengurangi berat material, meningkatkan kemampuan insulasi termal, dan mempercepat proses pemasangan berkat desain *interlocking* dan slot kabel terintegrasi. Inovasi ini 34% lebih hemat biaya dibandingkan batu bata konvensional dengan biaya produksi hanya Rp 660 per unit. Sehingga ini berkontribusi pada pencapaian SDG 9 dengan mendorong industri konstruksi yang lebih efisien, inklusif, dan ramah lingkungan.

Kata kunci: Limbah plastik, limbah beton, infrastruktur berkelanjutan

1. Pendahuluan

Menurut Badan Pusat Statistik (BPS, 2013) (Proyeksi Penduduk Indonesia 2010-2035, 2013), data proyeksi penduduk Indonesia tahun 2010-2035 menunjukkan bahwa laju pertumbuhan penduduk Indonesia tahun 2020-2025 mencapai 1,00% per tahun. Jumlah penduduk terus meningkat dari 238,5 juta jiwa pada tahun 2010 menjadi 305,6 juta jiwa pada tahun 2035. Peningkatan jumlah penduduk ini berbanding lurus dengan peningkatan konsumsi dan produksi sampah, baik sampah domestik maupun industri. Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN), timbunan sampah di Indonesia pada tahun 2024 mencapai 25,84 juta ton per tahun, dengan sampah plastik menyumbang 19,56% dari total timbunan sampah (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2024). Sampah plastik yang tidak dikelola dengan baik dapat mencemari lingkungan dan membutuhkan waktu 500 hingga 1.000 tahun untuk terurai secara alami (Syifa, 2021). Kondisi ini menunjukkan bahwa pertumbuhan penduduk yang cepat tanpa pengelolaan yang baik dapat menimbulkan dampak negatif.

Selain meningkatnya produksi sampah, pertumbuhan penduduk juga berdampak pada meningkatnya kebutuhan perumahan dan infrastruktur. Menurut Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR, 2023), kebutuhan perumahan di Indonesia terus meningkat dengan angkajaminan simpananperumahan mencapai 12,71 juta unit. Hal ini menunjukkan bahwa pembangunan perumahan dan infrastruktur semakin masif, yang secara langsung berkontribusi pada meningkatnya penggunaan beton sebagai material konstruksi. Data Asosiasi Semen Indonesia (ASI, 2023) menunjukkan konsumsi semen nasional mencapai 66,78 juta ton pada tahun 2023, dengan sebagian besar digunakan untuk produksi beton. Namun, produksi beton yang dilakukan oleh industri konstruksi memiliki dampak yang signifikan terhadap lingkungan, terutama dalam hal emisi karbon dan eksploitasi sumber daya alam.

Industri konstruksi dikenal sebagai salah satu penyumbang emisi karbon dan limbah material terbesar. Menurut laporan Global Alliance for Buildings and Construction (UNEP, 2022), sektor konstruksi menyumbang sekitar 37% dari total emisi karbon global disebabkan oleh konsumsi energi dari bahan bangunan, khususnya beton. Selain itu, limbah beton dari pembongkaran bangunan lama atau proyek konstruksi yang tidak terpakai sering berakhir di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sehingga memperburuk masalah pengelolaan sampah di Indonesia (Restuningrat, 2023). Berdasarkan data amf.or.id (2022), jumlah limbah konstruksi di Indonesia dapat mencapai 29 juta ton setiap tahunnya, yang sebagian merupakan limbah beton. Pemanfaatan limbah yang belum dimanfaatkan secara optimal mendorong para peneliti untuk melakukan penelitian tentang pemanfaatan limbah tersebut.

Beberapa penelitian telah menunjukkan potensi pemanfaatan limbah beton dan plastik sebagai bahan daur ulang untuk pembuatan batu bata. Hamdani (2022) dalam publikasinya “Pemanfaatan Limbah Beton untuk Pembuatan Batu Bata” menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah beton dalam pembuatan batu bata berpotensi untuk meningkatkan efisiensi material, mengurangi limbah konstruksi dan meningkatkan ketahanan terhadap air. Selain itu, plastik PET yang banyak digunakan dalam industri kemasan berpotensi untuk digunakan dalam konstruksi. Berdasarkan penelitian Hermansyah dan Rikayasa (2023) dalam jurnal “Pembuatan Batu Bata Menggunakan Plastik PET (Polyethylene Terephthalate) Sebagai Pengganti Pasir Untuk Menentukan Nilai Kuat Tekan” menunjukkan bahwa variasi kandungan plastik PET mempengaruhi penyerapan air pada batu bata, dimana semakin rendah tingkat penyerapan air maka semakin baik kualitas batu bata yang dihasilkan.

Namun, hingga saat ini inovasi yang memadukan limbah beton dan plastik PET dalam satu produk konstruksi yang efisien dan berkelanjutan masih terbatas. Sebagian besar upaya daur ulang masih terfokus pada penggunaan satu material saja, tanpa mengoptimalkan kombinasi keduanya. Oleh karena itu, inovasi "BATACO: Solusi Konstruksi Hijau dengan Bata Daur Ulang dari Limbah Beton dan Plastik PET" diharapkan dapat menjadi alternatif konstruksi yang lebih ramah lingkungan. Dengan memadukan limbah beton dan plastik PET dalam satu produk, BATACO berpotensi mengurangi ketergantungan pada material baru, mengurangi jumlah sampah yang masuk ke tempat pembuangan akhir, dan mendukung pembangunan berkelanjutan.

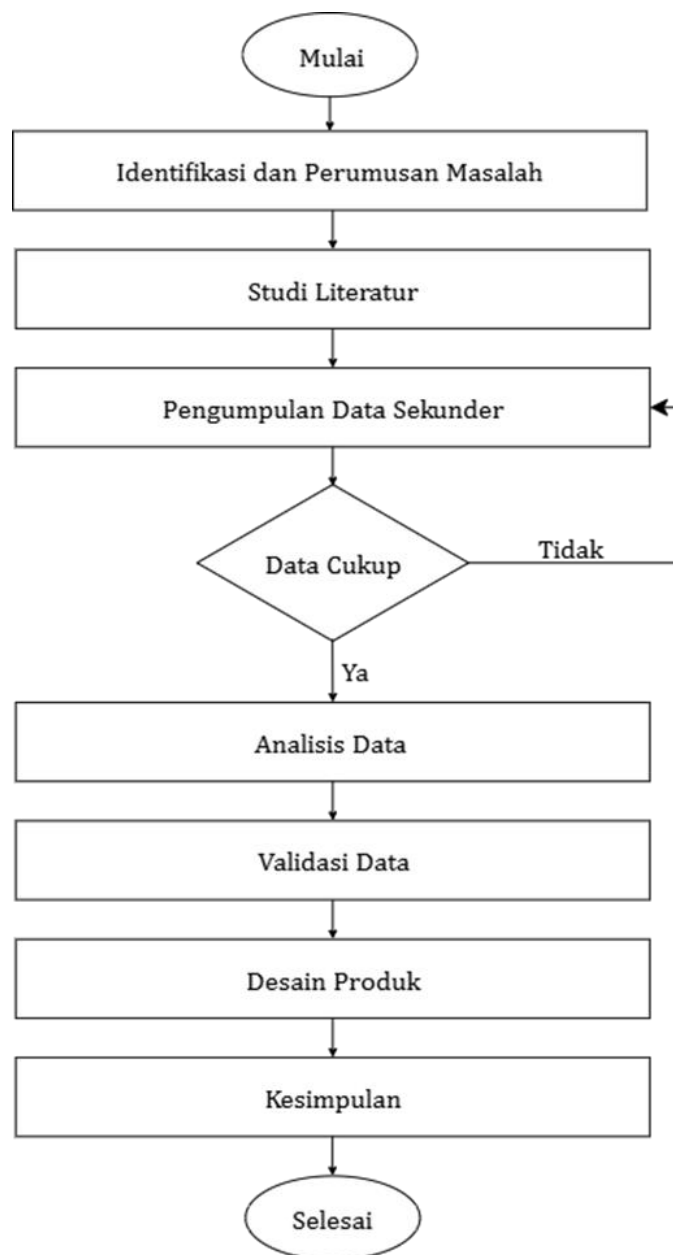
Pengembangan material ini juga berkontribusi terhadap pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) 9 tentang Industri, Inovasi, dan Infrastruktur (Perserikatan Bangsa-Bangsa, 2013). Inovasi BATACO mendukung pengembangan industri konstruksi berkelanjutan dengan pendekatan material yang ramah lingkungan, meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya, dan menawarkan solusi inovatif untuk pembangunan infrastruktur yang lebih hijau dan berkelanjutan.

2. Metode

2.1. Metode Penelitian

Penelitian ini diawali dengan identifikasi masalah lingkungan, khususnya penumpukan limbah beton dan plastik PET yang berlebihan dan masih belum dikelola dengan baik di Indonesia. Masalah-masalah ini menjadi dasar pengembangan material konstruksi inovatif yang mendukung keberlanjutan lingkungan. Tujuan dan manfaat penelitian kemudian dirumuskan untuk memberikan arahan yang jelas baik secara teoritis (dalam memperkaya wacana akademis) maupun praktis (dalam mengusulkan solusi di dunia nyata). Setelah itu, dilakukan kajian pustaka komprehensif untuk membentuk landasan teori, meliputi data teknis dan temuan dari penelitian sebelumnya. Sebanyak 33 sumber digunakan, terdiri dari artikel jurnal peer-review, buku, laporan kelembagaan, dan standar teknis, yang diterbitkan antara tahun 2007 dan 2024. Referensi dipilih berdasarkan relevansinya dengan pemanfaatan material daur ulang dalam konstruksi, khususnya limbah beton dan plastik PET dalam produksi batu bata. Data sekunder diekstraksi dan diklasifikasikan menurut variabel teknis utama, termasuk kekuatan tekan, kepadatan, porositas, penyerapan air, dan fitur desain modular. Informasi tersebut dianalisis secara deskriptif untuk mengevaluasi kelayakan dan kinerja bahanbahan ini. Triangulasi digunakan untuk memvalidasi temuan dengan membandingkan hasil di berbagai sumber yang kredibel. Selain itu, studi ini mencakup analisis yang diperluas untuk memperluas relevansi praktisnya. Evaluasi komparatif antara BATACO dan produk serupa lainnya, estimasi potensi pengurangan emisi CO₂ menggunakan data referensi Penilaian Siklus Hidup (LCA). Penambahan analitis ini bertujuan untuk memperkuat penerapan kontekstual BATACO dalam praktik konstruksi berkelanjutan. Hasil analisis ini menjadi dasar pengembangan konsep BATACO, produk bata daur ulang yang dirancang dengan mempertimbangkan keberlanjutan, kemudahan pemasangan, dan efisiensi material. Metodologi diakhiri dengan perumusan kesimpulan akhir dan rekomendasi untuk penelitian mendatang, termasuk pengujian laboratorium dan potensi penerapan dalam lingkungan konstruksi nyata.

Berikut ini merupakan *flowchart* penelitian dalam penelitian ini.



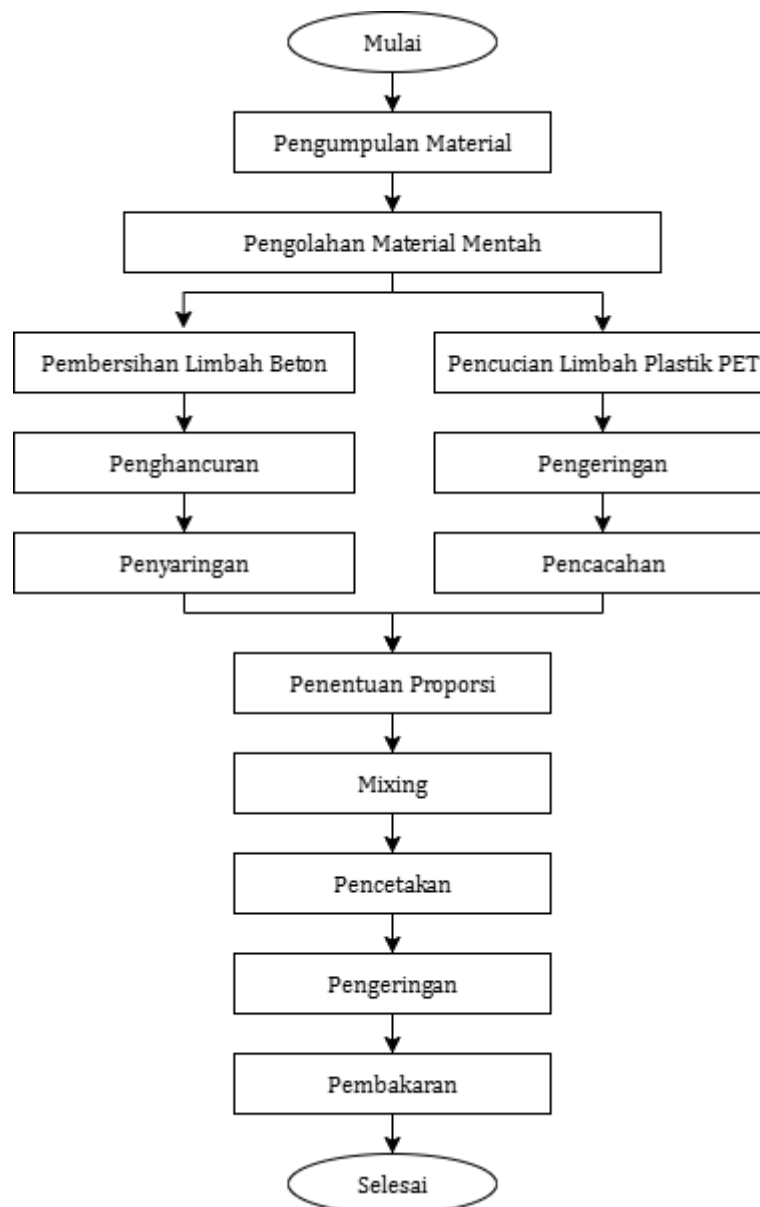
Gambar 1. Flowchart Penelitian

2.2. Metode Pembuatan

Metode pembuatan BATACO didasarkan dari metode pembuatan bata konvensional dari beberapa sumber, sehingga dapat ditemukan metode pembuatan yang tepat untuk diaplikasikan pada BATACO. Berdasarkan penelitian Andriyanto (2020) metode pembuatan bata terdiri dari pengumpulan material, pengujian material, pembuatan benda uji, pencetakan benda uji, pemeraman, penjemuran dan pengujian. Selain itu

berdasarkan publikasi Hamdani (2022) dalam publikasinya “Pemanfaatan Limbah Beton untuk Pembuatan Batu Bata” menjelaskan bahwa proses pembuatan bata terdiri dari proses persiapan alat dan penyediaan bahan, pengujian material, perencanaan dan pembuatan benda uji, perawatan benda uji sampai umur 28 hari, dan langkah terakhir yaitu pengujian kuat tekan. Dengan menghimpun beberapa jurnal tersebut maka metode pembuatan BATACO dapat diformulasikan sehingga sesuai dengan karakteristik BATACO.

Alur pembuatan BATACO dapat dilihat pada flowchart berikut ini.



Gambar 2. Flowchart Pembuatan BATACO

Pembuatan Bataco dimulai dari tahap pengolahan material. Limbah beton hasil pembongkaran konstruksi terlebih dahulu dipisahkan dari kotoran seperti besi dan kontaminan lainnya, kemudian dihancurkan

menggunakan *stone crusher* hingga berukuran maksimal 2 mm dan dikeringkan agar kadar airnya berkurang (Gencel, Erdugmus, Sutcu, & Oren, 2020). Sementara itu, botol plastik PET bekas dicuci dengan air dan deterjen, kemudian dikeringkan sebelum dicacah menjadi serpihan kecil berukuran 3–5 mm (Limami, Manssouri, Cherkaoui, Saadaoui, & Khaldoun, 2020). Setelah kedua bahan siap, dilakukan pencampuran dengan komposisi 60% tanah liat, 25% limbah beton, dan 15% serpihan PET. Air ditambahkan sedikit demi sedikit sampai campuran menjadi plastis, sedangkan PET dimasukkan paling akhir agar tidak menggumpal. Pada beberapa campuran, semen 2–5% juga ditambahkan sebagai pengikat tambahan untuk memperkuat dan mengurangi porositas (Chauhan dkk., 2019).

Tahap berikutnya adalah pencetakan, pengeringan, dan pembakaran. Adonan yang sudah merata dimasukkan ke dalam cetakan bata, baik model standar maupun interlocking, lalu dipadatkan secara manual atau dengan hydraulic press agar lebih seragam. Bata kemudian dikeringkan di tempat teduh selama 7 hingga 14 hari dengan pembalikan rutin untuk mencegah retak akibat panas matahari langsung (Gencel dkk., 2020). Setelah benar-benar kering, proses dilanjutkan dengan pembakaran di dalam kiln. Suhu dinaikkan bertahap, mulai dari 200–400°C untuk menghilangkan sisa kelembapan, 400–700°C untuk melelehkan serpihan PET sehingga terbentuk rongga mikro yang berfungsi sebagai isolasi, hingga 800–900°C untuk menyempurnakan proses sintering tanah liat agar partikel-partikel mengikat lebih kuat.

2.3. Bahan Percobaan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa limbah beton yang daur ulang, sampah plastik PET yang dicacah kecil, dan tanah liat sebagai bahan pengikatnya.

2.4. Alat Percobaan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini berupa ayakan agregat, shieve shaker, oven, cawan, cetakan, stone crusher, pencacah plastik, dan *Compressive Testing Machine*, dan tanur putar.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Bulk Density

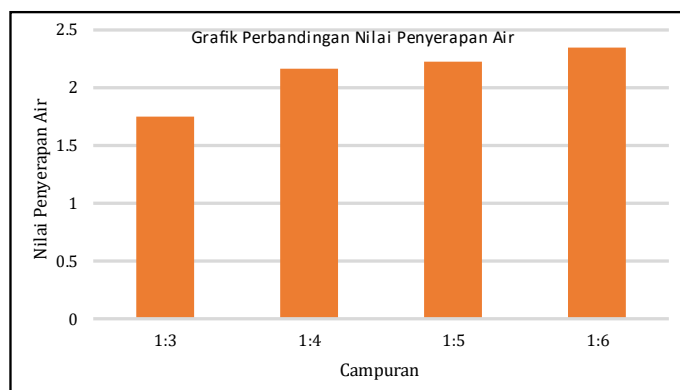
Bulk density atau kerapatan massa bata merupakan salah satu indikator penting dalam menilai kualitas bata. Semakin tinggi bulk density, semakin baik pula kepadatan bata, yang berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan tekan serta daya tahan terhadap beban (Gencel dkk., 2020). Dalam penelitian yang menguji penggunaan limbah beton dalam bata, ditemukan bahwa bulk density berkisar antara 1.92–2.07 g/cm³, yang masih sesuai untuk aplikasi struktural.

Namun, penambahan plastik dalam bata memiliki efek yang berbeda terhadap bulk density. Plastik memiliki densitas yang lebih rendah dibandingkan bahan penyusun bata konvensional, sehingga semakin banyak plastik yang

ditambahkan, semakin rendah pula bulk density yang dihasilkan (Mohsin, Al-Khazraji, Zemam, Majeed, & Abbood, 2023). Akibatnya, meskipun bata menjadi lebih ringan, ada risiko penurunan kekuatan mekanik.

3.2. Water Absorption

Penyerapan air merupakan parameter penting yang berkaitan dengan ketahanan batu-bata terhadap kelembaban dan kondisi lingkungan. Batu-bata dengan tingkat penyerapan air yang tinggi cenderung lebih rentan terhadap erosi dan degradasi struktural (Aneke dkk., 2022). Pemanfaatan limbah beton pada campuran bata memberikan pengaruh terhadap penyerapan air, dimana semakin besar persentase limbah beton maka daya serap air akan semakin besar. Oleh karena itu, kombinasi suhu pembakaran, jumlah plastik, limbah beton, dan bahan tambahan lainnya harus dipertimbangkan secara cermat.



Gambar 3. Perbandingan Nilai Penyerapan Air

Menurut standar ASTM C62, batas penyerapan air maksimum untuk batu bata adalah 17% untuk kondisi cuaca ekstrem dan 22% untuk cuaca sedang (Aneke dkk., 2022). Dengan demikian, batu bata yang terbuat dari limbah plastik dapat menjadi alternatif yang baik untuk lingkungan dengan tingkat kelembapan tinggi, asalkan nilai penyerapan airnya tetap dalam batas aman.

3.3. Apparent Porosity

Porositas merupakan salah satu faktor utama yang menentukan sifat mekanik dan fisik bata. Semakin tinggi porositas, semakin banyak ruang kosong dalam struktur bata, yang dapat berpengaruh terhadap kekuatan tekan dan daya tahan terhadap air (Mohsin dkk., 2023).

Dalam penelitian yang menggunakan campuran plastik dalam bata, ditemukan bahwa apparent porosity meningkat seiring dengan penambahan plastik. Hal ini disebabkan oleh sifat plastik yang meleleh selama pembakaran, menciptakan rongga di dalam bata yang berkontribusi terhadap peningkatan porositas (Aneke dkk., 2022). Namun, porositas yang terlalu tinggi dapat berdampak negatif terhadap kekuatan mekanik bata.

Pemanfaatan limbah beton pada campuran bata memberikan pengaruh terhadap penyerapan air, dimana semakin besar persentase limbah beton maka daya serap air akan semakin besar. Pada komposisi 1:3 daya serap air sebesar 1,76% dengan kuat tekan sebesar 10,143 MPa, sedangkan pada komposisi 1:6

daya serap air meningkat menjadi 2,35% dan kuat tekan menurun menjadi 5,212 MPa.

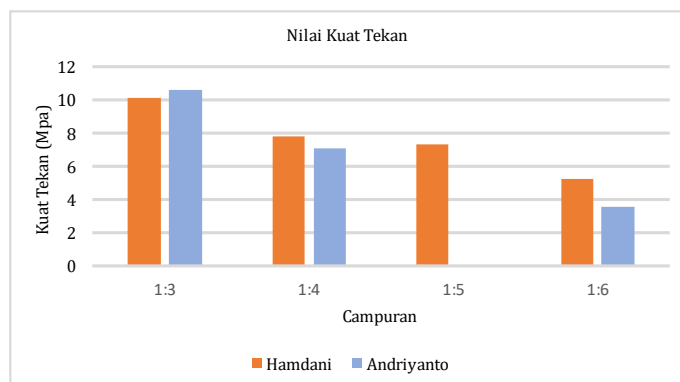
3.4. Compressive Strength

Berdasarkan penelitian, kuat tekan batu bata bervariasi tergantung pada komposisi material dan suhu pembakaran. Penelitian menunjukkan bahwa batu bata dengan kandungan plastik memiliki kuat tekan yang bervariasi antara 5,15 MPa hingga 35,2 MPa tergantung pada campuran material dan proses pembuatannya (Chauhan dkk., 2019). (Aneke dkk., 2022).

Tabel 1. Kuat Tekan Bata

Sumber	Rasio	Dimensi (cm)	Berat (kg)	Kuat Tekan (Mpa)
Andriyanto (2020)	1 : 3	20 x 10 x8	4,4	10,61
	1 : 4	20 x 10 x8	4,05	7,07
	1 : 6	20 x 10 x8	3,66	3,57
Hamdani (2022)	1 : 3	7 x 7 x7	0,64	10,14
	1 : 4	7 x 7 x7	0,64	7,8
	1: 5	7 x 7 x7	0,61	7,34
	1: 6	7 x 7 x7	0,6	5,21

Selain itu pemanfaatan limbah beton pada campuran bata juga memberikan pengaruh kekuatan tekan, dimana peningkatan persentase limbah beton cenderung menurunkan kuat tekan. Pada komposisi 1:3, kekuatan tekan mencapai 10,143 MPa, sedangkan pada komposisi 1:6, kuat tekannya turun menjadi 5,212 MPa. Penurunan ini disebabkan oleh bertambahnya rongga pada struktur blok beton akibat semakin banyaknya limbah beton yang menyebabkan berkurangnya kepadatan dan daya dukung material. Oleh karena itu, komposisi 1:3 lebih optimal karena memiliki kekuatan tekan struktur yang lebih tinggi dan lebih padat (Andriyanto, 2020; Hamdani, 2022).



Gambar 4. Grafik Perbandingan Kuat Tekan

Di sisi lain, suhu pembakaran juga memiliki pengaruh besar terhadap kekuatan tekan batu bata. Pada suhu pembakaran yang lebih tinggi, proses sintering terjadi lebih baik, yang mengarah pada peningkatan kekuatan tekan. Penelitian telah menunjukkan bahwa batu bata yang dibakar pada suhu 1100–1150°C memiliki kekuatan tekan yang lebih tinggi dibandingkan dengan batu

bata yang dibakar pada suhu 900°C (Dogan-Saglamtimur dkk., 2021). Namun, jika suhunya terlalu tinggi, batu bata yang mengandung plastik dapat berubah bentuk atau bahkan runtuh karena plastik mengalami degradasi termal yang ekstrem.

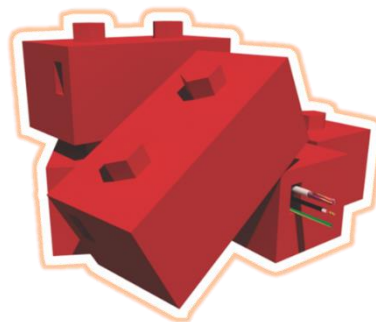
3.5. Workability

Batu bata inovatif yang dirancang dengan sistem interlocking memiliki keunggulan dalam efisiensi pemasangan dan pengurangan penggunaan mortar. Sistem interlocking memungkinkan bata saling mengunci tanpa banyak mortar, sehingga mempercepat proses pemasangan dan meningkatkan stabilitas struktural. Namun, karena interlocking mengurangi luas penampang padat bata, kekuatan tekannya dapat berkurang hingga 10-20% (Mohsin dkk., 2023). Oleh karena itu, desain interlocking yang optimal seperti bentuk zig-zag atau trapesium lebih disukai karena lebih stabil dibandingkan dengan desain lurus sederhana (Chauhan dkk., 2019).

3.6. Sistem Interlock & Slot Kabel

Desain inovatif BATACO yang dilengkapi lubang kabel dan sistem interlocking memberikan keunggulan dari segi efisiensi pemasangan serta pengurangan penggunaan mortar. Namun, perubahan bentuk ini juga berpengaruh pada kuat tekan, ketahanan struktural, dan stabilitas bangunan. Desain interlocking berbentuk zig-zag atau trapesium lebih disarankan karena lebih stabil dibandingkan desain lurus sederhana (Chauhan dkk., 2019).

Lubang kabel pada batu berfungsi untuk memperlancar instalasi listrik tanpa harus membobok tembok setelah konstruksi selesai. Namun, penelitian menunjukkan bahwa adanya lubang dapat mengurangi kuat tekan hingga 15-30%, tergantung pada ukuran dan sebarannya (Limami, Manssouri, Cherkaoui, Saadaoui, & Khaldoun, 2020). Untuk meminimalisir dampak negatif tersebut, lubang sebaiknya tidak lebih dari 30% dari luas penampang batu bata dan diletakkan di bagian tengah agar beban tetap terdistribusi secara merata (Aneke dkk., 2022). Penggunaan material seperti campuran limbah beton atau serat plastik juga dapat membantu meningkatkan keawetan struktur batu bata meskipun terdapat lubang (Dogan-Saglamtimur dkk., 2021).



Gambar 5. Ilustrasi Desain BATACO Dengan Sistem Interlocking Dan Slot Kabel

3.7. Rencana Anggaran BATACO

Dengan harga satuan Rp1.040 per unit, BATACO menjadi pilihan yang ekonomis untuk beragam proyek konstruksi, mulai dari bangunan hunian hingga infrastruktur. Penetapan harga tersebut didasarkan pada perhitungan biaya produksi yang meliputi penggunaan bahan baku, proses pembuatan, serta

distribusi, sehingga mampu menghadirkan produk dengan kualitas terjaga sekaligus tetap terjangkau.

Tabel 2. Harga Satuan BATACO

Rincian Kebutuhan	Harga
Tanah liat	Rp 54
Limbah beton	Rp 38,25
Limbah plastik PET	Rp 291,6
Pembakaran	Rp 100
Jasa	Rp. 325
Peralatan	Rp 150
Keuntungan 10%	Rp 87,2
Total Harga	Rp 1.040

3.8. Potensi Pengurangan Emisi Karbon

Berdasarkan studi oleh (Pacheco-Torgal, 2014), produksi 1 ton bata konvensional menghasilkan $\pm 0,25$ ton CO_2 . Dengan menggunakan beton dan plastik limbah, BATACO diperkirakan dapat mengurangi emisi sebesar 30%, atau sekitar 0,075 ton CO_2 per ton bata. Jika 1 m² dinding menggunakan 171 kg bata, potensi pengurangan emisi adalah: $0,171 \text{ ton} \times 0,075 \text{ ton } \text{CO}_2 = \pm 12,8$ kg CO_2 per m² dinding BATACO.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil tinjauan literatur, pemanfaatan limbah beton dan plastik PET dalam pembuatan bata alternatif menunjukkan potensi yang signifikan untuk mendukung konstruksi berkelanjutan. Secara teknis, rasio campuran optimal 1:3 mampu menghasilkan kuat tekan hingga 10,14 MPa dengan penyerapan air rendah sebesar 1,76%, sehingga memenuhi kriteria material struktural. Penambahan plastik PET terbukti dapat menurunkan densitas bata, meningkatkan sifat insulasi termal, sekaligus mempercepat proses pemasangan melalui desain interlocking. Dari sisi ekonomi, biaya produksi BATACO hanya sekitar Rp1.040 per unit, lebih murah dibandingkan bata konvensional, serta berpotensi menekan emisi karbon hingga 30%.

Dari temuan tersebut, penulis merekomendasikan agar penelitian selanjutnya melakukan uji laboratorium berskala penuh untuk memverifikasi kinerja BATACO dalam kondisi nyata, termasuk uji durabilitas jangka panjang, ketahanan terhadap lingkungan tropis, dan efektivitas desain interlocking dalam konstruksi bangunan. Selain itu, diperlukan kajian lebih lanjut terkait optimalisasi komposisi material agar diperoleh keseimbangan terbaik antara kekuatan mekanik, efisiensi biaya, dan keberlanjutan lingkungan. Dengan demikian, BATACO dapat dipertimbangkan sebagai alternatif material konstruksi ramah lingkungan yang aplikatif di masa depan.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada rekan-rekan penelitian yang sudah menyempatkan waktu dan memberikan ide-ide untuk menyusun artikel ini, terima kasih juga kepada semua

pihak yang terlibat baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan artikel ini.

Daftar Rujukan

- Andriyanto, M. D. (2020). *Pengaruh Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Campuran Bahan Terhadap Sifat Mekanik Paving Block*.
- Chauhan, S. S., Kumar, B., Shankar Singh, P., Khan, A., Goyal, H., & Goyal, S. (2019). Fabrication and Testing of Plastic Sand Bricks. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 691(1). IOP Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/691/1/012083>
- Gencil, O., Erdugmus, E., Sutcu, M., & Oren, O. H. (2020). Effects of concrete waste on characteristics of structural fired clay bricks. *Construction and Building Materials*, 255. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119362>
- Hamdani, I. W. (2022). *Pemanfaatan Limbah Beton Untuk Pembuatan Batako*.
- Limami, H., Manssouri, I., Cherkaoui, K., Saadaoui, M., & Khaldoun, A. (2020). Thermal performance of unfired lightweight clay bricks with HDPE & PET waste plastics additives. *Journal of Building Engineering*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101251>
- Mohsin, R. D., Al-Khazraji, H., Zemam, S. K., Majeed, T. H., & Abbood, A. Z. H. (2023). Investigation of Wastes Plastic and Glass to Enhance Physical - Mechanical Properties of Fired Clay Brick. *Civil and Environmental Engineering*, 19(1), 248–259. <https://doi.org/10.2478/cee-2023-0022>
- Pacheco-Torgal, F. (2014). Eco-efficient construction and building materials research under the EU Framework Programme Horizon 2020. *Construction and Building Materials*, 51, 151–162. <https://doi.org/10.1016/j.CONBUILDMAT.2013.10.058>