



Dinding Precast Berbasis Limbah Plastik Sebagai Substitusi Agregat Kasar dan Implementasinya pada Bangunan Berdasarkan Studi Literatur

Julia Ella¹, Donna Kantohe², Stefani Switly Peginusa³, Helen Grace Mantiri⁴, Seska Nicolaas⁵, Fery Sondakh⁶

^{1,2,3,4,6}Konstruksi Bangunan Gedung, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado, Manado

⁵Teknik Jalan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado, Manado

E-mail: juliaestefinella@gmail.com

Abstrak

Krisis kapasitas TPA Sumompo di Kota Manado yang telah melampaui daya tampung, dengan limbah plastik menyumbang sekitar 20,03% dari total timbunan, mendorong perlunya konversi nilai limbah melalui rekayasa material. Penelitian ini bertujuan menganalisis pemanfaatan limbah plastik Low Density Polyethylene (LDPE) sebagai substitusi agregat kasar pada panel dinding precast nonstruktural untuk bangunan rumah tinggal. Metode yang digunakan adalah kualitatif deskriptif dengan library research, yakni menelaah dan membandingkan secara sistematis data teknis penelitian terdahulu mencakup rasio campuran, kuat tekan, dan berat jenis, kemudian menyusun Rencana Anggaran Biaya perbandingan serta perancangan dimensi panel menggunakan perangkat lunak AutoCAD. Hasil analisis menunjukkan bahwa substitusi LDPE sebesar 30% menghasilkan berat jenis 1.428 kg/m³, jauh lebih ringan dibanding panel konvensional sebesar 2.200 kg/m³, dengan mutu rencana 7,38 MPa. Reduksi bobot ini berdampak pada efisiensi biaya transportasi dan pemasangan sehingga menghasilkan penghematan biaya sebesar 41,891% dibandingkan panel konvensional. Temuan ini menegaskan bahwa pemanfaatan limbah plastik LDPE pada dinding precast tidak hanya menawarkan solusi material konstruksi yang lebih ringan dan ekonomis, tetapi juga berkontribusi nyata terhadap pengurangan limbah dan pembangunan berkelanjutan di Kota Manado.

Kata kunci — Beton Pracetak; Dinding Precast; Limbah Plastik; LDPE; Agregat Kasar.

1. PENDAHULUAN

Persoalan sampah di Kota Manado telah berkembang menjadi krisis kapasitas yang memerlukan penanganan serius. TPA Sumompo sebagai satu-satunya tempat pemrosesan akhir sampah kota kini telah melampaui batas daya tampungnya, dengan volume timbunan yang tercatat mencapai 828.812 m³ dan terus meningkat setiap tahunnya (Pemerintah Kota Manado, 2023). Di antara berbagai jenis sampah yang menumpuk, limbah plastik menyumbang sekitar 20,03% dari total timbunan dan menjadi salah satu komponen paling dominan sekaligus paling sulit ditangani karena sifatnya yang tidak terurai secara alami. Kondisi ini mendorong perlunya pendekatan penanganan limbah yang lebih strategis, tidak sekadar pengurangan di sumber, melainkan konversi nilai melalui rekayasa material. Salah satu jenis plastik yang paling banyak ditemukan dalam aliran sampah perkotaan Manado adalah Low Density Polyethylene (LDPE), yakni jenis plastik fleksibel yang digunakan pada kantong belanja, kemasan lunak, dan pembungkus produk.

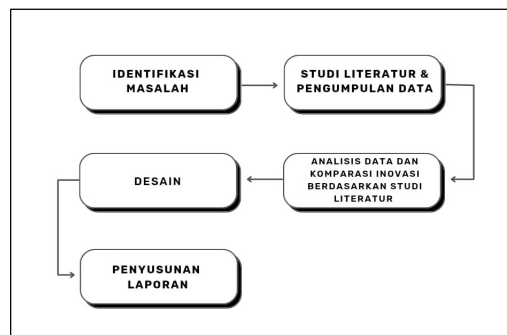
LDPE dipilih dalam penelitian ini karena selain dominan di TPA, karakteristik teknisnya berupa massa jenis yang rendah, fleksibilitas tinggi, dan ketahanan terhadap reaksi kimia menjadikannya kandidat yang relevan sebagai substitusi agregat kasar dalam campuran beton (Silfiani dkk., 2023; Suwandono dkk., 2023).

Pemanfaatan limbah plastik dalam campuran beton telah dikaji dalam beberapa penelitian sebelumnya (Ardhiantika & Basuki, 2014; Ngurah Wiswa dkk., 2019; Setyawan & Ujianto, 2017), di mana Sukmara dkk. (2025) membuktikan bahwa plastik daur ulang dapat menggantikan sebagian agregat kasar pada saluran beton precast dengan hasil yang memadai secara teknis. Selain itu, limbah plastik yang didaur ulang menjadi bahan tambah campuran beton juga telah sukses diterapkan pada batako (Kafrain dkk., 2024; Safina dkk., 2024) maupun paving block (Silfiani dkk., 2023). Secara lebih spesifik, Suwandono dkk. (2023) telah mengkaji pemanfaatan LDPE sebagai pengganti sebagian agregat halus pada beton ringan, sementara Safina dkk. (2024) meneliti pengaruh komposisi LDPE dan serbuk sabut kelapa terhadap densitas serta kuat tekan batako ringan. Kedua penelitian tersebut menjadi rujukan utama dalam menentukan rasio campuran, nilai kuat tekan, dan berat jenis yang digunakan pada penelitian ini. Meskipun demikian, terdapat sejumlah perbedaan mendasar antara penelitian-penelitian terdahulu tersebut dengan penelitian ini. Dari segi objek aplikasi material, penelitian Suwandono dkk. (2023) dan Safina dkk. (2024) memanfaatkan LDPE pada beton ringan dan batako, sedangkan Sukmara dkk. (2025) menerapkannya pada saluran beton precast; belum ada satu pun penelitian terdahulu yang secara spesifik menempatkan LDPE sebagai substitusi agregat kasar pada *panel dinding precast nonstruktural* untuk bangunan rumah tinggal. Dari segi pendekatan dan ruang lingkup kajian, sebagian besar penelitian terdahulu (Ardhiantika & Basuki, 2014; Ngurah Wiswa dkk., 2019; Setyawan & Ujianto, 2017; Sukmara dkk., 2025) bersifat eksperimental dengan pengujian laboratorium langsung terhadap satu aspek kinerja material, sedangkan penelitian ini menempuh pendekatan studi literatur (*library research*) yang mengintegrasikan data teknis kuat tekan dan berat jenis dari berbagai sumber dengan kajian aspek perancangan dimensi panel menggunakan AutoCAD serta analisis Rencana Anggaran Biaya (RAB) secara menyeluruh dalam satu kerangka kajian yang sama. Selain itu, penelitian terdahulu pada umumnya berhenti pada tahap evaluasi sifat mekanis material (kuat tekan, kuat tarik, atau kuat lentur) tanpa mengkaji implikasinya terhadap efisiensi biaya produksi, transportasi, dan pemasangan secara kuantitatif; penelitian ini melengkapi celah tersebut dengan menyusun perbandingan RAB antara panel berbasis LDPE dan panel konvensional sebagai dasar pertimbangan kelayakan ekonomis penerapannya. Keunggulan penelitian ini, dengan demikian, terletak pada sifatnya yang lebih komprehensif dan aplikatif, yakni memadukan kajian karakteristik material, perancangan teknis, dan analisis biaya dalam konteks implementasi nyata pada bangunan rumah tinggal, sekaligus menjawab kebutuhan pengelolaan limbah plastik LDPE yang mendesak di Kota Manado (Pemerintah Kota Manado, 2023; Warokka dkk., 2021). Celah inilah yang menjadi dasar kebaruan penelitian ini, karena meskipun efisiensi teknologi precast telah banyak dibahas (Kaligis dkk., 2024; Pramusandi, 2023; Punuindoong dkk., 2022) dan potensi LDPE pada beton ringan mulai dilirik (Suwandono dkk., 2023), belum ada kajian yang secara khusus menempatkan LDPE hasil proses crushing sistematis sebagai substitusi agregat kasar pada dinding precast untuk bangunan rumah tinggal. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik LDPE sebagai substitusi agregat kasar melalui studi komparatif berbasis literatur, mengevaluasi pengaruh variasi proporsi campuran terhadap kuat tekan dan berat jenis berdasarkan data sekunder dari penelitian terdahulu (Mulyono, 2015; Rumbayan dkk., 2019; Safina dkk., 2024; Suwandono dkk., 2023), merancang dimensi

teknis panel dinding precast, serta mengevaluasi efisiensi biaya produksinya, sekaligus menyelaraskannya dengan kebutuhan pembangunan berkelanjutan di Kota Manado (Pemerintah Kota Manado, 2023; Warokka dkk., 2021).

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menerapkan pendekatan kualitatif deskriptif dengan library research sebagai strategi utama pengumpulan data, yakni menelaah dan membandingkan hasil-hasil penelitian terdahulu yang relevan secara sistematis. Proses dimulai dengan identifikasi masalah berdasarkan data empiris kondisi TPA Sumompo Manado, yang kemudian menjadi pijakan dalam menentukan arah studi literatur mengenai karakteristik material LDPE, campuran beton precast, dan perilaku panel dinding non-struktural. Selanjutnya dilakukan pengumpulan dan komparasi data teknis dari berbagai sumber literatur, mencakup rasio campuran, nilai kuat tekan, dan berat jenis beton dengan substitusi limbah plastik pada berbagai persentase, yang kemudian dianalisis secara deskriptif-komparatif untuk menentukan proporsi campuran paling optimal. Berdasarkan hasil analisis tersebut, disusun Rencana Anggaran Biaya (RAB) perbandingan antara panel dinding precast berbasis limbah plastik LDPE dan panel konvensional guna mengevaluasi efisiensi biaya produksi. Perancangan dimensi teknis panel dinding precast dilakukan menggunakan perangkat lunak AutoCAD. Seluruh hasil analisis kemudian diintegrasikan dalam laporan akhir yang bertujuan memberikan rekomendasi teknis aplikatif bagi pengembangan material konstruksi berkelanjutan berbasis limbah lokal di Kota Manado. Gambar 1 di bawah ini merupakan diagram alir yang menunjukkan langkah-langkah metode penelitian.



Gambar 1. Diagram Alir

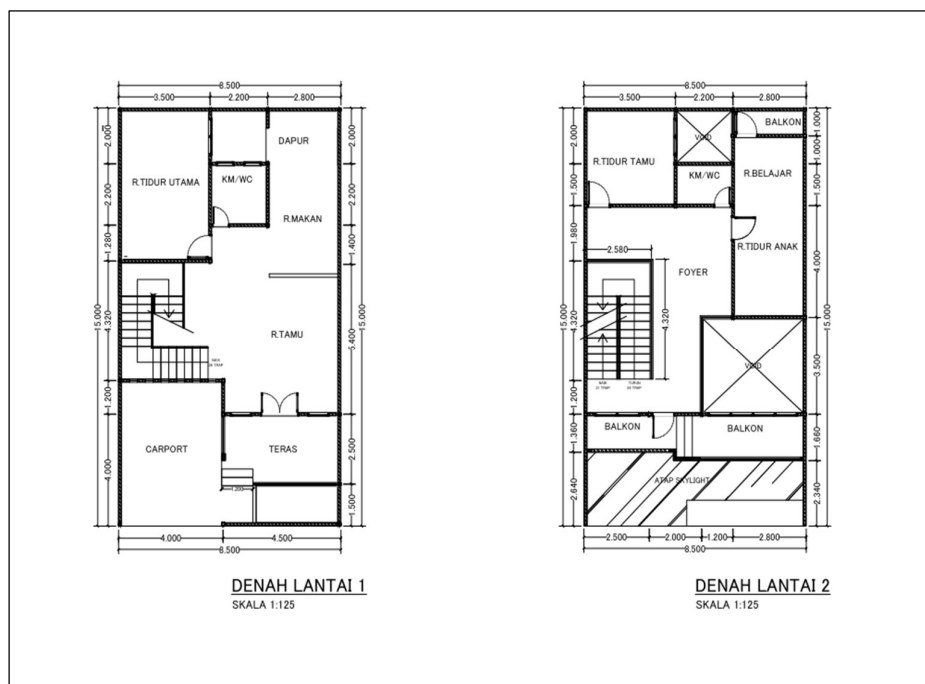
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi implementasi yang direncanakan, yakni kawasan Perumahan Poligriya Permai, Buha, Kecamatan Mapanget, Kota Manado, Sulawesi Utara. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada karakteristik kawasan perumahan yang memiliki tipologi bangunan rumah tinggal sederhana, sehingga sesuai sebagai objek studi implementasi panel dinding *precast* berbasis limbah plastik yang dirancang untuk segmen hunian tersebut.

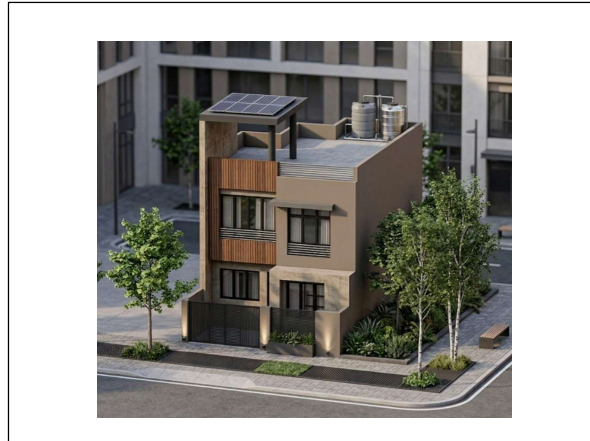


Gambar 2. Lokasi Pembangunan

Hasil desain bangunan rumah tinggal mencakup beberapa komponen visual, antara lain denah, perspektif 3D, serta detail panel dinding *precast* berbasis limbah plastik LDPE beserta perspektif 3D dari detail tersebut. Seluruh desain ini dirancang dengan bantuan perangkat lunak AutoCAD guna menghasilkan visualisasi teknis yang akurat dan mendukung implementasi sistem konstruksi *precast* secara terencana dan terstruktur.

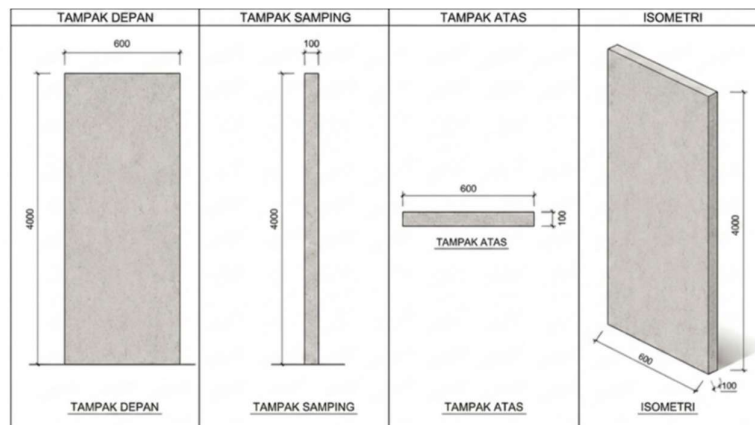


Gambar 3. Denah Bangunan



Gambar 4. Perspektif 3D Bangunan

Panel yang digunakan dalam penelitian ini adalah panel dinding nonstruktural dengan mutu rencana 7.38 MPa. Setelah bagian pengenalan ini, pembahasan selanjutnya menggunakan istilah panel dinding nonstruktural. Panel direncanakan sebagai elemen pengisi atau pembatas ruang, bukan sebagai elemen pemikul beban utama. Hal ini sesuai dengan arah proposal yang menempatkan panel dinding precast sebagai komponen nonstruktural berbasis limbah plastik LDPE untuk dianalisis dari aspek berat jenis, kuat tekan, biaya produksi, transportasi, dan pemasangan. Pemasangan panel ini sederhana. Pertama, lantai yang sudah diberi garis panduan diolesi semen mortar khusus tipis sekitar 2–3 mm. Setelah itu, panelnya didirikan vertikal satu per satu. Agar lurus pakai *waterpass* atau *laser level*, lalu sambungan lidah-alur (*tongue and groove*) antar-panel dirapatkan sampai semen perekatnya padat. Supaya dindingnya kokoh dan tidak ambruk, bagian atas dan bawah panel langsung dikunci ke lantai dan balok beton pakai siku besi (*L-plate*) yang dibaut *dynabolt*. Terakhir, semua garis sambungan vertikalnya ditemplei kasa *mesh* sebelum diaci supaya cat mulus dan bebas retak rambut.



Gambar 5. Desain Panel Dinding Berbasis Limbah Plastik LDPE

Dimensi panel yang digunakan dalam perencanaan ini adalah lebar 0,60 m, tinggi 4,00 m, dan tebal 0,10 m. Berdasarkan dimensi tersebut, luas permukaan untuk satu buah panel adalah 2,40 m² dengan volume sebesar 0,24 m³. Kebutuhan panel dinding pada struktur bangunan ini dihitung berdasarkan total volume dinding pada setiap lantai. Volume pasangan dinding untuk Lantai 1

adalah sebesar 24,60 m³, sedangkan untuk Lantai 2 didapatkan volume sebesar 26,84 m³. Dengan demikian, akumulasi volume total dinding secara keseluruhan mencapai 51,44 m³. Berdasarkan total volume tersebut, maka estimasi total kebutuhan material yang diperlukan untuk menutupi seluruh luasan dinding adalah sebanyak 215 buah panel.

Tabel 1. Formula campuran

Formula	Semen	LDPE	Pasir	Kerikil	Air	Satuan	BJ (kg/m ³)
PD 0% LDPE	52,1	0	110,56	237,04	27,38	kg	2.200
PD 30% LDPE	52,1	53,51	110,56	124,62	27,38	kg	1.428

Perlu ditegaskan bahwa nilai kuat tekan dan berat jenis yang disajikan pada Tabel 1 bukan merupakan hasil pengujian laboratorium yang dilakukan secara langsung oleh penulis, melainkan data sekunder yang diadaptasi dan dikompilasi dari hasil studi literatur terdahulu. Nilai berat jenis panel konvensional sebesar 2.200 kg/m³ dan formula campuran acuan mengikuti data eksperimental yang dilaporkan oleh Suwandono dkk. (2023), sedangkan nilai kuat tekan dan berat jenis pada proporsi substitusi LDPE 30% sebesar 1.428 kg/m³ mengacu pada data yang dilaporkan Safina dkk. (2024). Dari aspek struktural dan bobot sendiri penggunaan material substitusi ini memberikan reduksi beban yang signifikan dibandingkan dengan material konvensional.

Tabel 2. AHSP Panel dinding dengan material konvensional

No.	Uraian Material	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga per panel (Rp)
A. Material (per panel material konvensional/kerikil)					
1	Semen Portland	52,1	kg	1.500	78.150
2	Pasir	110,56	kg	200	22.112
3	Agregat Kasar/Kerikil	177,78	kg	237,04	42.140
4	Air	27,38	kg	500	13.690
B. Upah Tenaga Kerja					
6	Mandor	0,05	OH	180.000	9.000
7	Tukang	0,17	OH	150.000	22.500
8	Pekerja	0,27	OH	110.000	27.500
Harga Satuan Pekerjaan per panel					215.093

Tabel 3. AHSP Panel dinding dengan material LDPE

No.	Uraian Material	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga per panel (Rp)
A. Material (per panel material biji plastik LDPE 30%)					
1	Semen Portland	52,1	kg	1.500	78.150
2	Pasir	110,56	kg	200	22.112
3	Agregat Kasar(Kerikil 70%)	124,62	kg	237,04	29.540
4	Agregat kasar(Biji Plastik LDPE 30%)	53,51	kg	3.000	160.530
5	Air	27,38	kg	500	13.690
B. Upah Tenaga Kerja					
6	Mandor	0,05	OH	180.000	9.000

7	Tukang	0,17	OH	150.000	22.500
8	Pekerja	0,27	OH	110.000	27.500
Harga Satuan Pekerjaan per panel					363.021

Tabel 4. RAB Perbandingan Panel Pracetak material Konvensional dan LDPE

No.	Pekerjaan	Koef.	Sat.	Harga Satuan (Rp)	Jumlah harga per panel (Rp)	Harga total panel (215 panel) (Rp)
Panel Dinding Precast material Kerikil						
A. Transportasi						
1	Sewa truk 8 ton (PP) – 528 kg	0,07	trip	800.000	55.040	11.833.600
B. Instalasi						
2	Sewa mobile crane mini 3 ton (kap. 25 pnl/hr)	0,04	hari	2.000.000	80.000	17.200.00
3	Pekerja	0,20	OH	110.000	22.000	4.730.000
4	Mortar pasang + angker	1,00	ls	25.000	25.000	5.375.00
Total Biaya					182.040	39.138.600
Panel Dinding Precast material Plastik LDPE 30%						
A. Transportasi						
1	Sewa truk 8 ton (PP) – 356 kg	0,07	trip	800.000	37.680	8.101.200
B. Instalasi						
2	Sewa mobile crane mini 3 ton – (kap. 40 pnl/hr)	0,04	hari	1.200.000	30.000	6.450.000
3	Pekerja	0,08	OH	150.000	12.000	2.580.000
4	Mortar pasang + angker	1,00	ls	25.000	25.000	5.375.000
Total Biaya					104.680	22.506.200
Keseluruhan total per panel						
Panel dinding dengan material konvensional (kerikil)						39.353.693
Panel dinding dengan material substitusi (biji plastic LDPE 30%)						22.868.221
Selisih						16.484.472

Berdasarkan hasil perbandingan, panel dinding nonstruktural dengan substitusi LDPE 30% menghasilkan penghematan biaya sebesar 41,891% dibandingkan panel konvensional. Walaupun demikian, perlu dicermati bahwa penghematan tersebut tidak terjadi secara merata pada seluruh komponen biaya. Pada komponen material, biji plastik LDPE justru memiliki harga satuan sebesar Rp3.000/kg, jauh lebih mahal dibandingkan kerikil sebagai agregat kasar konvensional yang hanya Rp237,04/kg, sehingga harga satuan pekerjaan material panel LDPE (Rp363.021) lebih tinggi daripada panel konvensional (Rp215.093). Inkonsistensi biaya ini terjadi karena LDPE hasil olahan (crushing) belum diproduksi secara massal sebagai bahan bangunan, sehingga

harga pasarnya masih mengikuti nilai jual sebagai bahan baku daur ulang industri plastik, bukan sebagai agregat konstruksi. Efisiensi biaya secara keseluruhan tetap tercapai karena reduksi bobot panel berkontribusi signifikan pada dua komponen biaya lain, yaitu biaya transportasi dan biaya instalasi/pemasangan, yang masing-masing turun karena berkurangnya jumlah trip pengangkutan dan berkurangnya kebutuhan tenaga kerja maupun kapasitas alat berat akibat panel yang lebih ringan. Untuk mengatasi inkonsistensi biaya pada komponen material tersebut, beberapa langkah solutif dapat dipertimbangkan pada tahap implementasi maupun penelitian lanjutan. Pengadaan LDPE dapat diarahkan pada kerja sama langsung dengan bank sampah atau fasilitas pengolahan sampah di TPA Sumompo guna menekan biaya bahan baku dibandingkan harga biji plastik olahan dari pemasok komersial. Proses crushing dan pencucian LDPE dapat dilakukan secara mandiri dalam skala lokal atau melalui kemitraan dengan pelaku usaha daur ulang setempat, sehingga biaya pengolahan dapat ditekan dibandingkan membeli LDPE yang telah diproses oleh pihak ketiga. Penerapan dalam skala produksi yang lebih besar berpotensi menurunkan harga satuan LDPE melalui mekanisme ekonomi skala, mengingat biaya produksi material daur ulang umumnya menurun seiring peningkatan volume pengolahan. Dengan langkah-langkah tersebut, potensi penghematan biaya tidak hanya bersumber dari aspek transportasi dan pemasangan, tetapi juga dapat diperluas hingga komponen material, sehingga efisiensi biaya produksi panel dinding berbasis LDPE dapat dicapai secara lebih konsisten dan menyeluruh.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa limbah plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE) berpotensi dimanfaatkan secara efektif sebagai substitusi agregat kasar pada panel dinding precast nonstruktural untuk bangunan rumah tinggal, berdasarkan hasil studi literatur dan analisis komparatif data sekunder yang dilakukan dalam penelitian ini, sekaligus menjawab persoalan krisis kapasitas TPA Sumompo akibat tingginya timbulan limbah plastik di Kota Manado. Kesimpulan ini bersifat indikatif dan belum diverifikasi melalui pengujian laboratorium langsung oleh penulis, mengingat seluruh data kuat tekan dan berat jenis yang digunakan bersumber dari hasil penelitian terdahulu yang dilakukan pada objek dan kondisi pengujian yang berbeda dari panel dinding precast yang dikaji. Berdasarkan hasil studi komparatif tersebut, proporsi substitusi LDPE sebesar 30% teridentifikasi sebagai komposisi yang paling menjanjikan menurut data literatur yang tersedia, dengan estimasi berat jenis 1.428 kg/m^3 , jauh lebih ringan dibandingkan panel konvensional sebesar 2.200 kg/m^3 , serta diasumsikan tetap memenuhi mutu rencana 7,38 MPa sebagai elemen pengisi nonstruktural. Reduksi bobot panel ini secara teoritis memberikan keuntungan ganda berupa penurunan biaya transportasi dan pemasangan, sehingga secara keseluruhan diestimasikan menghasilkan penghematan biaya produksi sebesar 41,891% atau selisih sebesar Rp16.484.472 dibandingkan panel konvensional. Kelebihan utama material ini, berdasarkan kajian literatur, terletak pada bobotnya yang ringan, potensi efisiensi biaya total, serta kontribusinya terhadap pengurangan timbulan limbah plastik. Adapun kekurangannya adalah harga biji plastik LDPE per kilogram yang masih relatif lebih mahal daripada kerikil, sehingga efisiensi biaya hanya tercapai pada tahap transportasi dan pemasangan, bukan pada biaya material. Mengingat seluruh simpulan di atas masih bersifat estimatif dan diturunkan dari studi literatur, penelitian selanjutnya sangat disarankan untuk melakukan pengujian laboratorium secara langsung terhadap kuat tekan, kuat lentur, berat jenis aktual, dan daya tahan panel dengan proporsi substitusi LDPE 30% yang diusulkan, sebelum kesimpulan ini diterapkan secara nyata di lapangan. Kajian lanjutan terhadap variasi proporsi LDPE lain serta aspek ketahanan jangka

panjang material juga diperlukan guna memperkuat validitas dan keandalan penerapannya pada konstruksi rumah tinggal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ardhiantika, P., & Basuki, A. (2014). Kajian kuat tekan, kuat tarik, kuat lentur dan redaman bunyi pada panel dinding beton ringan dengan agregat limbah plastik PET. *Matriks Teknik Sipil*. Universitas Sebelas Maret.
- [2] Kafrain, I. G. Y., Roring, H., & Moniaga, F. (2024). Batako green material. *Rang Teknik Journal*. Universitas Katolik De La Salle Manado.
- [3] Kaligis, E. I., Ngangi, M. C., & Talengera, Y. J. (2024). Efisiensi konstruksi beton precast terhadap beton konvensional pada pembangunan Sekretariat HIMAJU Teknik Sipil Polimdo. *Prosiding Seminar Nasional Produk Terapan Unggulan Vokasi*. Politeknik Negeri Manado.
- [4] Mulyono, T. (2015). Teknologi beton: Dari teori ke praktek. LPP-UNJ. Ngurah Wiswa, K. T., dkk. (2019). Kuat tekan beton dengan kerikil plastik untuk pembuatan bak kontrol limbah rumah tangga. *Jurnal Teknik Sipil Terapan*, 1(1).
- [5] Pemerintah Kota Manado. (2023, Juni 15). Kondisi terkini pengelolaan sampah di TPA Sumompo. Portal Berita Resmi Kota Manado.
- [6] Pramusandi, S. (2023). Teknologi beton precast ramah lingkungan untuk mendukung PBL D4 Teknik Konstruksi Gedung. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Vokasi*, 2(1). Politeknik Negeri Jakarta.
- [7] Hia, P.B., Ratuwongo, V., Rumbayan, R., & Nicolaas, S., (2024), Implementasi beton pracetak dengan metode RISHA pada pembangunan kafe POLIMDO, *Prosiding Seminar Nasional Produk Terapan Unggulan Vokasi*, Vol. 1, Issue: 1, pp. 259–269.
- [8] Rumbayan, R., Nicolaas, S., & Sengkey, S. L. (2019). *Teknologi beton*. Polimdo Press.
- [9] Safina, N., Jumiati, E., & Husnah, M. (2024). Pengaruh komposisi penambahan limbah plastik LDPE dan serbuk sabut kelapa terhadap nilai densitas dan kuat tekan batako ringan. *JFT: Jurnal Fisika dan Terapannya*, 10(2), 112–119.
- [10] Setyawan, M. I., & Ujianto, M. (2017). Tinjauan kuat geser dinding panel beton ringan menggunakan bahan campur limbah plastik dan pecahan genteng diperkuat tulangan wiremesh [Diploma thesis, Universitas Muhammadiyah Surakarta]. Universitas Muhammadiyah Surakarta Digital Library.
- [11] Silfiani, E., Kurniawidi, D. W., Ardianto, S. T., & Rahayu, S. (2023). Plastik LDPE Low Density Polyethylene sebagai campuran komposit polimer paving block. *ORBITA: Jurnal Hasil Kajian, Inovasi, dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, 1(1), 1–7.
- [12] 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.
- [13] Suwandono, D., Sarasanty, D., & Asmorowati, E. T. (2023). Pemanfaatan limbah plastik LDPE low density polyethylene sebagai pengganti sebagian agregat halus pada beton ringan. *Prosiding SEMASTEK: Applied Science, Engineering, and Technology*.
- [14] Warokka, A., Siwi, H., Tumembow, M. N. T., & Papia, J. (2021). Pengolahan sampah perkotaan Manado dengan proses gasifikasi menggunakan updraft gasifier di Tempat Pembuangan Akhir TPA Sumompo. *Jurnal Masina Nipake*, 1(2), 105–113.