

Available online at: <http://reactor.poltekatiptdg.ac.id/>**REACTOR****Journal of Research on Chemistry and Engineering**

| ISSN Online 2746-0401 |



Pengaruh Penambahan Kalsium Karbonat (CaCO_3) Terhadap Kekerasan Material HDPE/LDPE

Asadian Puja Enggita ¹, Ferry Ikhsandy ^{1*}, Winda Sri Jaman ¹, Achmad Qodim Syafaatullah ²

¹ Politeknik Industri Petrokimia Banten, Jl. Raya Karang Bolong Cikoneng, Kabupaten Serang, Banten, 42166, Indonesia

² Politeknik ATI Makassar, Jl. Sunu No.220 Suangga, Kota Makassar, Indonesia

ARTICLE INFORMATION

Received: February 21, 2025

Revised: March 25, 2025

Accepted: April 05, 2025

KEYWORDS

Calcium Carbonate, Composite, Hardness, High Density Polyethylene, Low Density Polyethylene

CORRESPONDENCE*

Name: Ferry Ikhsandy

E-mail: ferry.ikhsandy@poltek-petrokimia.ac.id

ABSTRACT

Plastic waste recycling has been extensively studied, particularly in applications such as paving blocks, asphalt mixtures, and composite boards. One critical parameter affecting the quality of these products is material hardness. This study examines the effect of CaCO_3 addition on the hardness of polymer composite materials. The preparation process involved collecting, washing, drying, sorting, and shredding plastic waste, followed by mixing High Density Polyethylene (HDPE) and Low-Density Polyethylene (LDPE) at a ratio of 1:5. Calcium carbonate (CaCO_3) was added at varying concentrations (0%; 0,5%; 1,0%; 1,5%, and 2,0%), and the mixture was melted using an extruder and subsequently molded. The results indicate that the addition of 1,5% CaCO_3 yields the highest and most stable hardness value across three tests, achieving 4,77 HV with a standard deviation of 0,0577. Furthermore, microstructural analysis reveals that up to 1,5% CaCO_3 leads to the most uniform filler distribution, optimizing both hardness and material stability. This study reveals that increasing CaCO_3 concentration enhances composite material hardness when evenly distributed and homogeneous. However, excessive CaCO_3 concentration may result in agglomeration, negatively impacting composite properties.

PENDAHULUAN

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengatasi permasalahan sampah plastik HDPE dan LDPE. Topik yang paling sering diangkat adalah daur ulang sampah, seperti penelitian mengenai pemanfaatan sampah plastik yang dicampur dengan kerikil untuk membuat *paving block*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa perbandingan plastik dan kerikil 50:50 menunjukkan hasil terbaik dan masuk dalam SNI 03-0691-1996 [1]. Penelitian yang pernah dilakukan mengenai pengolahan limbah HDPE dan serbuk kayu sebagai papan komposit [2]. Selain itu penelitian yang pernah dilakukan mengenai pengaruh penambahan plastik HDPE dan LDPE terhadap karakteristik campuran aspal [3]. Penelitian mengenai kekerasan pada komposit daur ulang plastik HDPE dan serat alami rami menunjukkan

kekerasan semakin tinggi terhadap karakteristik komposit sebesar 39 HV [4]. Selain itu penelitian mengenai komposit dari bahan kulit buah kelapa sawit dengan campuran HDPE menunjukkan hasil kekerasan yang tinggi sebesar 76,67 HV [5].

Kalsium Karbonat (CaCO_3) merupakan salah satu bahan pengisi mineral yang paling banyak digunakan dalam industri plastik. Kalsium karbonat telah digunakan sebagai bahan pengisi pada struktur suatu produk dalam beberapa penelitian sebelumnya. Penambahan CaCO_3 dapat meningkatkan kekuatan tarik paduan poli-pati dengan polivinil alkohol (PVA) karena struktur paduan poli yang semakin padat akibat adanya CaCO_3 [6]. Penambahan CaCO_3 pada pembuatan pipa HDPE juga menunjukkan adanya peningkatan kekuatan tarik pada material[7]. Selain itu, penambahan CaCO_3 sebagai *filler* pada komposit cangkang sawit dan plastik HDPE

menunjukkan nilai kekerasan yang semakin meningkat[8]. Penelitian lainnya mengenai variasi komposisi CaCO_3 dengan plastic HDPE dapat meningkatkan sifat mekanik yaitu nilai kekerasan[9], [10]. Penelitian ini dilakukan guna untuk mengetahui pengaruh penambahan CaCO_3 dengan variasi 0%, 0,5%, 1,0%, 1,5%, dan 2,0% pada limbah plastik LDPE/HDPE (1:5) terhadap sifat kekerasan material dan struktur mikro. Material yang di hasilkan pada penelitian ini berupa produk intermediate (pelet) yang nantinya dapat di gunakan sebagai bahan tambahan untuk membuat *finished product* sesuai dengan kualitas yang di inginkan oleh industri *molding* plastik.

METODOLOGI

Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: mesin pencacah plastik, ember, cetakan sampel, oven, ekstruder dan ragum, dan neraca analitik.

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Limbah HDPE. Limbah LDPE, Aquades, amplas, dan Kalsium Karbonat (CaCO_3)

Instrumentasi Pengujian

Penelitian ini menggunakan instrumentasi pengujian (future-tech FV-800) untuk uji kekerasan dan (Olympus BX53M) untuk struktur mikro.

Pengumpulan limbah LDPE dan HDPE

Tahap pertama dalam penelitian ini adalah pengumpulan limbah plastik HDPE dan LDPE. Limbah plastik ini merupakan jenis yang umum ditemukan pada produk sehari-hari. Limbah HDPE yang digunakan dalam penelitian ini adalah bekas jerigen 5L [11], sedangkan limbah LDPE digunakan yaitu tutup botol air isi ulang [12].



Gambar 1. Limbah Plastik LDPE

Proses Pencucian

Limbah plastik setelah dikumpulkan kemudian dicuci untuk menghilangkan kotoran, minyak, dan residu lain yang menempel. Proses pencucian ini penting untuk memastikan bahwa material akhir lebih bersih dan bebas dari kontaminan yang dapat memengaruhi kualitas produk daur ulang.

Proses Pengeringan

Limbah plastik yang telah dicuci kemudian dikeringkan untuk menghilangkan kadar airnya. Pengeringan ini dilakukan dengan tujuan agar plastik lebih mudah diolah pada tahap selanjutnya dan tidak mengalami penurunan kualitas akibat adanya kadar air. Proses pengeringan dilakukan dengan menggunakan oven (Memmert UN55) pada suhu 60°C selama 30 menit. Untuk memastikan bahwa kadar air pada sampel mendekati nol dilakukan proses lanjut yaitu dengan melakukan pencacahan menjadi material dengan ukuran yang lebih kecil dan di simpan di di tempat kedap udara dengan penambahan *silica gel* selama 1 malam.

Proses Pemilahan

Limbah plastik yang sudah kering kemudian dipilah untuk memisahkan HDPE dan LDPE atau kontaminan lain yang masih ada. Pemilahan ini diperlukan karena setiap jenis plastik memiliki karakteristik dan titik leleh yang berbeda, sehingga perlu diolah secara terpisah untuk mendapatkan hasil daur ulang yang optimal.

Proses Pencacahan

Tahap akhir dari persiapan adalah pencacahan. Limbah plastik dicacah menggunakan mesin pencacah plastik rakitan Politeknik Industri Petrokimia Banten dengan kapasitas 30-40kg/jam. Pencacahan ini bertujuan agar plastik lebih mudah untuk diolah kembali, baik dengan cara dicairkan, dicampur, atau menggunakan proses daur ulang tingkat lanjut lainnya. Hasil dan alat yang digunakan dalam proses pencacahan seperti pada Gambar 2, dan Gambar 3.



Gambar 2. Hasil Pencacahan Limbah LDPE



Gambar 3. Hasil Pencacahan Limbah HDPE

Pembuatan Material Komposit LDPE/HDPE/CaCO₃

Limbah LDPE, HDPE, dan CaCO₃, yang telah ditimbang sesuai dengan perhitungan kemudian di lelehkan untuk menghomogenkan kedua bahan tersebut. Proses pelelehan dilakukan dengan mesin ekstruder rakitan Politeknik Industri Petrokimia Banten dengan maksimum temperatur 300°C. Dalam pengoperasiannya, mesin ekstruder diatur *set point* sebesar 200°C. Sampel LDPE/HDPE (1:5) dengan variasi penambahan CaCO₃ sebesar 0%; 0,5%; 1,0%; 1,5%; 2,0% dimasukkan ke dalam mesin ekstruder setelah suhu variabel proses terpenuhi (200°C). Setelah leleh dan homogen, langkah selanjutnya adalah hasil output ekstruder yang masih meleleh dicetak kedalam cetakan sampel kemudian dilakukan proses penekanan dengan menggunakan ragam lalu didinginkan di udara terbuka dan sampel dapat dikeluarkan dari cetakan setelah dingin..

Pengujian Kekerasan dan Struktur Mikro

- Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan instrumentasi Future-Tech FV-800 dengan indenter intan dan *test load* sebesar 1 kgf. Sebelum dilakukan pengujian, sampel di preparasi dengan cara diratakan permukaannya menggunakan amplas.
- Pengujian Struktur mikro dilakukan menggunakan alat Olympus BX53M dengan pembesaran 200x. Sebelum dilakukan pengujian, sampel di preparasi dengan cara dihaluskan menggunakan amplas grit 120, 220, 400, 600, 800, 1000.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan berisi hasil analisis penelitian yang relevan dengan tema penelitian. Hasil penelitian harus dibandingkan dengan teori dan temuan penelitian yang relevan. Tuliskan temuan yang diperoleh dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan harus didukung oleh data yang memadai. Hasil dan temuan penelitian harus dapat menjawab pertanyaan atau hipotesis penelitian dalam pendahuluan

Uji Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan pada sampel LDPE/HDPE (1:5) dengan variasi penambahan CaCO₃ ditunjukkan pada Tabel 1.

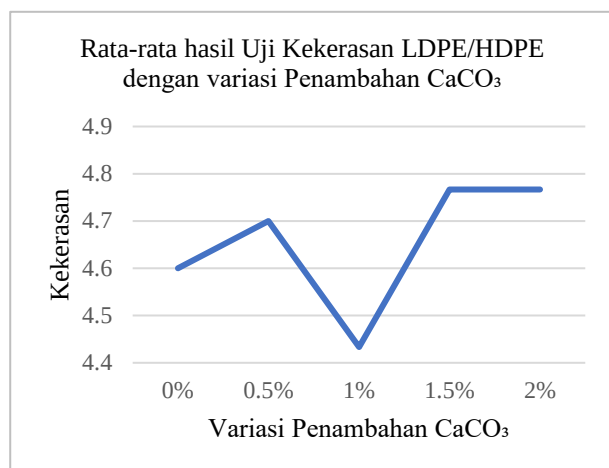
Tabel 1. Hasil Pengujian kekerasan LDPE/HDPE dengan variasi penambahan CaCO₃

No.	Penambahan CaCO ₃	Hasil Pengujian Kekerasan (HV)
1.	0%	4,5
		4,7
		4,6
2.	0,5	4,7
		4,7
		4,7
3.	1%	4,5
		4,3
		4,5
4.	1,5%	4,8
		4,8
		4,7
5.	2%	4,8
		4,6
		4,9

Berdasarkan data yang diperoleh dari tiga kali pengujian untuk setiap variasi, terlihat bahwa nilai kekerasan rata-rata mengalami fluktuasi seiring dengan penambahan CaCO₃. Pada komposisi tanpa tambahan CaCO₃ (0%), nilai kekerasan rata-rata sebesar 4,6 HV. Ketika CaCO₃ ditambahkan sebesar 0,5%, terjadi peningkatan kekerasan menjadi 4,7 HV. Namun, penambahan CaCO₃ hingga 1% justru menunjukkan penurunan kekerasan menjadi 4,43 HV. Fenomena ini kemungkinan disebabkan oleh distribusi CaCO₃ yang kurang homogen, yang menyebabkan ketidakteraturan struktur mikro, sehingga mempengaruhi resistansi material terhadap deformasi.

Pada penambahan CaCO₃ sebesar 1,5% dan 2%, terjadi peningkatan signifikan dalam nilai kekerasan, yaitu mencapai rata-rata 4,77 HV. Hal ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi tersebut, distribusi CaCO₃ dalam matriks polimer HDPE-LDPE berada pada kondisi yang lebih optimal. *Filler* CaCO₃ mampu mengisi ruang antar rantai polimer dengan lebih efisien, meningkatkan densitas lokal, dan menghambat pergerakan molekul, sehingga meningkatkan ketahanan terhadap indentasi [13], [14]. Grafik yang ditampilkan pada gambar 4 menunjukkan tren peningkatan kekerasan yang cenderung stabil pada konsentrasi tinggi, menandakan

bahwa pengaruh positif penambahan CaCO_3 terhadap kekerasan mulai mencapai titik jenuh.



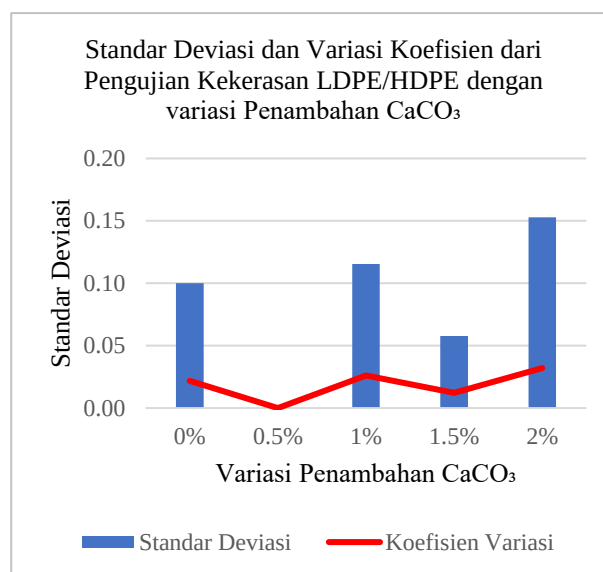
Gambar 4. Grafik Rata-rata nilai kekerasan LDPE/HDPE dengan variasi penambahan CaCO_3

Berdasarkan hasil tersebut, material dengan komposisi CaCO_3 sebesar 1,5% dan 2% menunjukkan performa terbaik dalam hal kekerasan. Namun, jika mempertimbangkan efisiensi serta kestabilan nilai kekerasan antar uji, komposisi 1,5% CaCO_3 dapat dikategorikan sebagai komposisi yang paling optimal. Hal ini disebabkan karena variasi nilai kekerasannya yang lebih kecil dibandingkan dengan komposisi 2%, menandakan distribusi *filler* yang lebih homogen dan interaksi yang lebih stabil antara *filler* dan matriks polimer. Selain itu, penggunaan *filler* yang lebih sedikit tentu akan lebih ekonomis tanpa mengorbankan performa mekanis secara signifikan.

Kekerasan optimal pada komposisi 1,5% CaCO_3 dapat dijelaskan melalui mekanisme penguatan material di tingkat mikrostruktur. Penambahan CaCO_3 dalam jumlah yang tepat mampu memperbaiki struktur internal polimer dengan meningkatkan kepadatan dan mengurangi ruang kosong di antara molekul-molekul HDPE dan LDPE. Selain itu, interaksi antara matriks polimer dan partikel CaCO_3 menjadi lebih efektif, di mana partikel *filler* berperan sebagai penghambat pergerakan rantai polimer, sehingga meningkatkan modulus elastisitas material. Dengan kata lain, distribusi partikel *filler* yang merata dan kuatnya ikatan antar fase membuat material lebih tahan terhadap gaya tekan, menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dan stabil.

Berdasarkan Gambar 5, terlihat bahwa komposisi 0,5% CaCO_3 memiliki konsistensi tertinggi dengan standar deviasi 0 HV dan koefisien variasi 0%, menandakan tidak ada variasi sama sekali antar hasil pengujian. Komposisi 1,5% CaCO_3 juga menunjukkan kestabilan yang baik dengan standar deviasi rendah (0,0577 HV) dan koefisien variasi 1,21%, mengindikasikan distribusi

filler yang homogen. Semakin tinggi nilai standar deviasi dan koefisien variasi menunjukkan tingginya penyimpangan data dari rata-rata dan data tidak meratanya (homogen) data pengujian sampel [15], [16]. Sebaliknya, pada komposisi 2% CaCO_3 , meskipun memiliki kekerasan tinggi, koefisien variasinya meningkat menjadi 3,20%, menunjukkan adanya variasi yang lebih besar, hal ini dikarenakan adanya aglomerasi CaCO_3 . Grafik di atas merangkum hasil perhitungan statistik yaitu standar deviasi dan koefisien variasi untuk masing-masing komposisi CaCO_3 . Hasil ini mendukung kesimpulan bahwa komposisi 1,5% CaCO_3 adalah yang paling optimal, tidak hanya dari segi kekerasan tetapi juga stabilitas hasil pengujian.



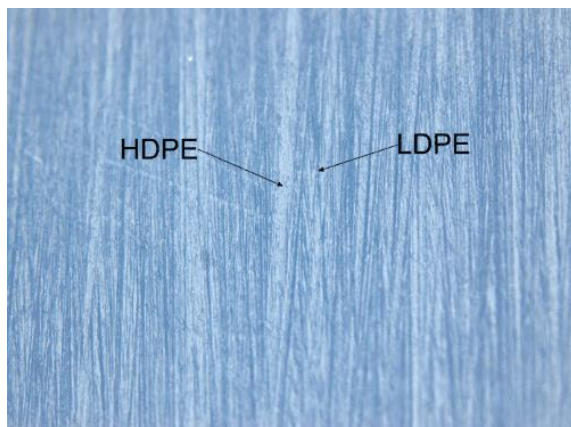
Gambar 5. Grafik Standar Deviasi dan Variasi Koefisien dari Pengujian Kekerasan

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yaitu Komposit dari bahan kulit buah kelapa sawit dengan campuran HDPE dengan hasil kekerasan sebesar 76,67 HV [5] pada penelitian ini menunjukkan hasil uji kekerasan lebih rendah yaitu 4,77 HV. Hal ini disebabkan karena adanya penambahan LDPE dalam komposit. Dimana sifat mekanik dari LDPE cenderung lentur dan tidak keras atau nilai kekerasannya lebih rendah dari pada HDPE.

Struktur Mikro

Berdasarkan hasil uji mikrostruktur dari sampel HDPE-LDPE dengan variasi penambahan CaCO_3 sebesar 0%, 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2%, terlihat perbedaan yang signifikan dalam hal distribusi *filler* dan homogenitas material. Pada sampel 0% CaCO_3 , struktur mikro menunjukkan matriks polimer yang homogen tanpa adanya partikel *filler*. Pola ini memperlihatkan distribusi penguat yang dapat meningkatkan kekerasan material. Hal ini sejalan dengan hasil uji kekerasan Vickers yang

menunjukkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 4,6 HV, mencerminkan karakteristik material murni yang relatif lunak. Hasil uji mikrostruktur untuk sampel 0% CaCO_3 dapat dilihat pada gambar 6.

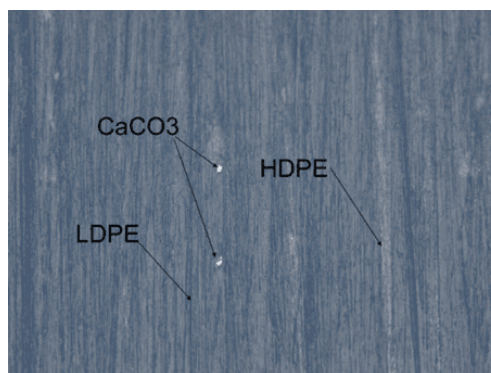


Gambar 6. Struktur Mikro HDPE-LDPE 0% CaCO_3



Gambar 7. Sampel HDPE-LDPE 0% CaCO_3

Ketika CaCO_3 ditambahkan sebesar 0,5%, terjadi perubahan pada struktur mikro, di mana partikel CaCO_3 mulai terlihat terdistribusi di dalam matriks polimer. Distribusi ini cukup merata, tanpa adanya aglomerasi yang signifikan, yang menyebabkan peningkatan kekerasan menjadi 4,7 HV. Homogenitas yang baik pada sampel ini juga tercermin dari hasil uji kekerasan yang sangat konsisten (standar deviasi 0 HV). Hal ini menunjukkan bahwa penambahan CaCO_3 dalam jumlah kecil mampu meningkatkan kekerasan tanpa mengorbankan homogenitas material. Hasil uji mikrostruktur untuk sampel 0,5% CaCO_3 dapat dilihat pada gambar 8.

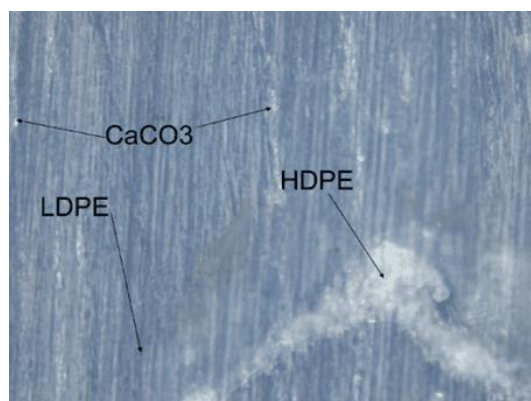


Gambar 8. Struktur Mikro HDPE-LDPE 0,5% CaCO_3



Gambar 9. Sampel HDPE-LDPE 0,5% CaCO_3

Pada penambahan 1% CaCO_3 , terlihat adanya kecenderungan terbentuknya aglomerasi partikel CaCO_3 di beberapa area. Fenomena ini menyebabkan distribusi *filler* menjadi kurang merata, yang dapat mengakibatkan konsentrasi tegangan lokal saat material mengalami beban. Akibatnya, nilai kekerasan justru mengalami penurunan menjadi 4,43 HV, dengan peningkatan variasi antar hasil uji. Hal ini menunjukkan bahwa distribusi *filler* yang tidak homogen dapat mengurangi efektivitas penguatan material. Hasil uji mikrostruktur untuk sampel 1% CaCO_3 dapat dilihat pada gambar 10.

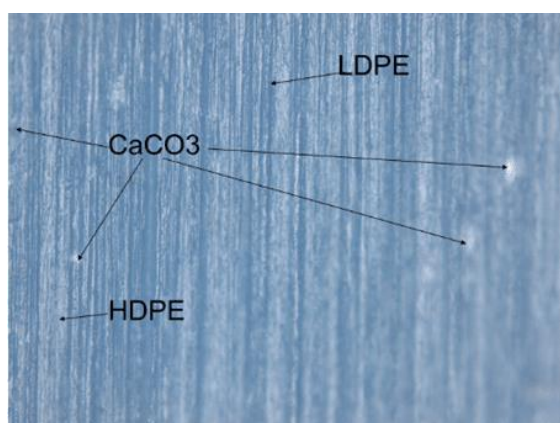


Gambar 10. Struktur Mikro HDPE-LDPE 1,0% CaCO_3



Gambar 11. Sampel HDPE-LDPE 1,0% CaCO_3

Sampel dengan komposisi 1,5% CaCO_3 menunjukkan struktur mikro yang optimal, di mana partikel CaCO_3 terdistribusi secara merata di seluruh matriks polimer. Distribusi homogen ini menghasilkan peningkatan kekerasan yang signifikan, mencapai rata-rata 4,77 HV, dengan variasi yang rendah. Homogenitas ini memungkinkan terjadinya transfer beban yang efisien di antara matriks dan *filler*, meningkatkan ketahanan material terhadap deformasi plastik [17]. Hal ini juga mendukung hasil uji statistik yang menunjukkan konsistensi nilai kekerasan. Hasil uji mikrostruktur untuk sampel 1,5% CaCO_3 dapat dilihat pada gambar 12.

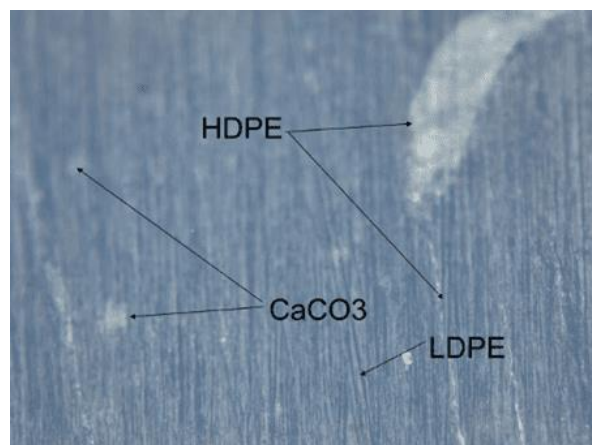


Gambar 12. Struktur Mikro HDPE-LDPE 1,5% CaCO_3



Gambar 13. Sampel HDPE-LDPE 1,5% CaCO_3

Pada sampel dengan 2% CaCO_3 , meskipun nilai kekerasan tetap tinggi, yaitu 4,77 HV, struktur mikro menunjukkan adanya aglomerasi partikel CaCO_3 yang lebih besar dibandingkan dengan sampel 1,5%. Aglomerasi ini menciptakan ketidakseragaman distribusi beban, yang dapat menyebabkan kelemahan lokal pada material. Variasi hasil uji kekerasan yang lebih tinggi (koefisien variasi 3,2%) juga menunjukkan bahwa homogenitas mulai berkurang pada konsentrasi *filler* yang lebih tinggi. Hasil uji mikrostruktur untuk sampel 2% CaCO_3 dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14. Struktur Mikro HDPE-LDPE 2,0% CaCO_3



Gambar 15. Sampel HDPE-LDPE 2,0% CaCO_3

Secara keseluruhan, hasil uji struktur mikro ini menunjukkan bahwa homogenitas distribusi CaCO_3 sangat berpengaruh terhadap kekuatan material. Penambahan CaCO_3 hingga 1,5% menghasilkan distribusi yang paling merata, sehingga memberikan kombinasi terbaik antara kekerasan dan kestabilan material. Sebaliknya, konsentrasi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan aglomerasi, yang mengurangi homogenitas dan meningkatkan risiko kegagalan material di bawah beban mekanis.

KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian yang sudah dilakukan mengenai pengaruh penambahan CaCO_3 kedalam campuran LDPE/HDPE (1:5) menunjukkan perbandingan Penambahan CaCO_3 1,5% mempunyai nilai kekerasan paling tinggi dan stabil dalam 3 kali pengujian diantara sampel yang lain dengan hasil pengujian kekerasan sebesar rata 4,77 HV dengan nilai standar deviasi 0. Secara keseluruhan, hasil uji mikrostruktur menunjukkan bahwa homogenitas distribusi CaCO_3 sangat berpengaruh terhadap kekuatan material. Penambahan CaCO_3 hingga 1,5% menghasilkan distribusi yang paling merata, sehingga memberikan kombinasi terbaik antara kekerasan dan kestabilan material. Sebaliknya, konsentrasi yang terlalu tinggi dapat menyebabkan aglomerasi, yang mengurangi homogenitas dan meningkatkan risiko kegagalan material di bawah beban mekanis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Sudarno, S. Nicolaas, and V. Assa, "Pemanfaatan Limbah Plastik Untuk Pembuatan Paving block," *Jurnal Teknik Sipil Terapan*, vol. 3, no. 2, p. 101, Sep. 2021, doi: 10.47600/jtst.v3i2.290.
- [2] T. A. Yeshiwas, B. S. Yigezu, and Y. M. Desalegn, "Investigation on the mechanical properties of wood-plastic composites for the application of ceiling panels," *Mater Res Express*, vol. 11, no. 8, p. 085304, Aug. 2024, doi: 10.1088/2053-1591/ad6bf3.
- [3] A. Latif and A. Setiawan, "Pengaruh Penambahan Plastik High Density Polyethylene (HDPE) dan Low Density Polyethylene (LDPE) Terhadap Karakteristik Campuran Aspal AC-WC Menggunakan Metode Kering," *Sainteks*, vol. 20, no. 2, pp. 153–165, Oct. 2023, doi: 10.30595/sainteks.v20i2.17200.
- [4] M. Aruna *et al.*, "Alkali-Processed Flax Natural Made High-Density Polyethylene Waste Recycled Composites: Performance Evaluation," *Journal of The Institution of Engineers (India): Series D*, Apr. 2024, doi: 10.1007/s40033-024-00739-z.
- [5] A. Ndukwe *et al.*, "Prediction of hardness of palm inter-fruitlet membrane reinforced high-density polyethylene-waste (HDPEw) composites," *Acta Periodica Technologica*, no. 55, pp. 27–46, 2024, doi: 10.2298/APT2455027N.
- [6] K. Palanichamy, M. Anandan, J. Sridhar, V. Natarajan, and A. Dhandapani, "PVA and PMMA nano-composites: a review on strategies, applications and future prospects," *Mater Res Express*, vol. 10, no. 2, p. 022002, Feb. 2023, doi: 10.1088/2053-1591/acb527.
- [7] A. D. Saputra, M. A. Marsha, and E. Kustiyah, "Pengaruh Penambahan CaCO_3 Terhadap Mekanikal Properti pada Pembuatan Pipa HDPE," *Dynamics in Engineering Systems: Innovations and Applications*, vol. 1, no. 1, pp. 28–41, Apr. 2024, doi: 10.61511/dynames.v1i1.736.
- [8] O. Issakah, A. M. Kayaba, Y. Fiagbe, S. Akromah, J. Y. Kpare, and E. K. A. Asare, "Effect of partial replacement of CaCO_3 with palm kernel shell particles on the mechanical properties of PKS/ CaCO_3 /HDPE hybrid composites," *Results in Materials*, vol. 25, p. 100668, Mar. 2025, doi: 10.1016/J.RINMA.2025.100668.
- [9] M. O. Awan, A. Shakoar, M. S. Rehan, and Y. Q. Gill, "Development of HDPE composites with improved mechanical properties using calcium carbonate and NanoClay," *Physica B Condens Matter*, vol. 606, p. 412568, Apr. 2021, doi: 10.1016/J.PHYSB.2020.412568.
- [10] H. Prasetyo, Y. Haryono, and T. J. Suteja, "The Interaction Effect of CaCO_3 Composition, Injection Temperature, and Injection Pressure on the Tensile Strength and Hardness of Recycled HDPE," 2023, pp. 159–167. doi: 10.2991/978-94-6463-288-0_15.
- [11] B. Margono, Haikal, and L. Widodo, "Analisis Sifat Mekanik Material Komposit Plastik HDPE Berpenguat Serat Ampas Tebu Ditinjau dari Kekuatan Tarik dan Bending," *AME (Aplikasi Mekanika Dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 55–61, 2020, doi: 10.32832/ame.v6i2.3069.
- [12] D. Putri and R. D. Safitroh, "Analisis Kekuatan Paving Block Menggunakan Abu Sekam Padi dan Limbah Plastik," *Jurnal Sipil Krisna*, vol. 8, no. 2, pp. 1–7, Oct. 2022, doi: 10.61488/sipilkrisna.v8i2.169.
- [13] A. Chakir, M. Alami, M. Assouag, O. Nouredine, and F. Elamarty, "Effect of Calcium Carbonate as Filler on the Physicomechanical Properties of Polypropylene Random," *International Journal of Engineering Research in Africa*, vol. 69, pp. 1–17, May 2024, doi: 10.4028/p-s4CtdF.
- [14] H. Prasetyo, Y. Haryono, and T. J. Suteja, "The Interaction Effect of CaCO_3 Composition, Injection Temperature, and Injection Pressure on the Tensile Strength and Hardness of Recycled HDPE," in *Proceedings of the 4th International Conference on Informatics, Technology and Engineering 2023 (InCITE 2023)*, Atlantis Press, Nov. 2023, pp. 159–167. doi: 10.2991/978-94-6463-288-0_15.
- [15] E. Yusniyanti and K. Kurniati, "Analisa Puncak Banjir Dengan Metode MAF (Studi Kasus Sungai Krueg Keureuto)," *EINSTEIN e-JOURNAL*, vol. 5, no. 1, Aug. 2017, doi: 10.24114/einstein.v5i1.7224.
- [16] S. Febriani, "Analisis Deskriptif Standar Deviasi," *Jurnal Pendidikan Tambusai*, vol. 6, no. 1, pp.

910–913, Apr. 2022, doi:
10.31004/jptam.v6i1.8194.

- [17] A. A. A. Halim and M. K. A. Wahab, “Preparation and characterization of LDPE/TPS blend filled with calcium carbonate,” *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 957, no. 1, p. 012015, Oct. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/957/1/012015.