

PENGARUH VARIASI JENIS PLASTIK TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK WOOD PLASTIC COMPOSITE (WPC)

Gatot Eka Pramono¹, Ilham Aji Saputro¹, Roy Waluyo^{1*}, Anton Royanto Ahmad¹,

¹Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor, Indonesia, 16161

ABSTRAK

Produksi sampah plastik di Indonesia sudah sangat mengkhawatirkan. Produksi sampah nasional mencapai sekitar 65,8 juta ton pertahunnya. Berbagai jenis sampah plastik dengan mudah dapat kita temui. *Wood plastic composite* merupakan salah satu alternatif pemanfaatan sampah plastik. *Wood plastic composite* merupakan campuran antara bahan plastik sebagai *filler* dan serbuk kayu sebagai penguat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jenis plastik terhadap sifat fisik dan mekanik dari *Wood plastic composite*. Jenis plastik yang digunakan adalah High-density polyethylene (HDPE), polypropylene (PP), dan *low-density polyethylene* (LDPE), dan sebagai filler digunakan serbuk gergaji kayu kelapa. Material lain yang ditambahkan adalah serat serabut kelapa sebanyak 2% wt. Proses pembuatan menggunakan proses *hot press* dengan beban pengepresan sebesar 50 kg dengan suhu 160°C. Untuk mengetahui sifat mekanik dan fisik sampel, dilakukan pengujian tarik mengikuti standar ASTM D639, pengujian dampak mengikuti standar ASTM-D6110, pengujian densitas mengikuti standar SNI 03-2105-2006, pengujian daya serap air mengikuti standar SNI-03-2105-2006, dan foto makro menggunakan standar ASTM-E566. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh masing-masing uji parameternya, nilai kekuatan tarik tertinggi matriks HDPE sebesar 6MPa. Harga dampak tertinggi WPC-PP sebesar 0,249J/mm². Nilai densitas tertinggi WPC-PP sebesar 0,00087g/mm³. Terendah WPC-PP sebesar 0,042%. Hasil pengamatan foto makro menunjukkan WPC-PP memiliki distribusi sebaran penguat (SGK&SSK) lebih merata, dibanding WPC-HDPE dan WPC-LDPE.

Kata kunci: HDPE; LDPE; PP; serbuk gergaji kayu; WPC.

ABSTRACT

The production of plastic waste in Indonesia is very worrying. National waste production reaches around 65.8 million tons per year. We can easily find various types of plastic waste. Wood-plastic composite is an alternative method for the utilization of plastic waste. It is a mixture of plastic as a filler and saw dust as a reinforces. This study aims to determine the effect of various types of plastic on the physical and mechanical properties of WPC. The types of plastic used are High-density polyethylene (HDPE), polypropylene (PP), and Low-density polyethylene (LDPE), and coconut wood sawdust is used as a filler. Another material added is coconut fiber, as much as 2% wt. The manufacturing process uses a hot press process with a pressing load of 50 kg at a temperature of 160°C. A tensile (ASTM D639) and impact (ASTM-D6110) test were carried out to determine the mechanical and physical properties. The density test followed the SNI 03-2105-2006 the water absorption test followed the SNI-03-2105-2006 standard and photos. The macro uses the ASTM-E566 standard. Based on the tests obtained for each test parameter, the highest tensile strength value of the HDPE matrix is 6MPa. The highest impact price for WPC-PP is 0.249J/mm². The highest density value of WPC-PP is 0.00087g/mm³. The lowest was WPC-PP at 0.042%. The macro observations show that WPC-PP has a more even reinforcement distribution (SGK&SSK) than WPC-HDPE and WPC-LDPE.

Keywords: HDPE; LDPE; PP; Sawdust; Wood Plastic Composite

* Penulis korespondensi

Email: roy.waluyo@uika-bogor.ac.id

Diterima 1 Februari 2022; Penerimaan hasil revisi 21 Februari 2022; Disetujui 23 Februari 2022

Tersedia online Maret 2022

AME (Aplikasi Mekanika dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin © 2022

1. PENDAHULUAN

Produksi sampah di Indonesia sudah sangat mengkhawatirkan. Menurut Direktur Pengelolaan Sampah Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) “produksi sampah nasional mencapai sekitar 65,8 juta ton pertahunnya dimana 16 persennya adalah sampah plastik (Republika, 2018). *Wood plastic composite* merupakan gabungan atas beberapa unsur antara lain plastik sebagai matriks atau filler dan kayu (berupa serbuk atau serat) sebagai penguat (*reinforced*).

Upaya pengelolaan dan pemanfaatan sampah telah banyak dilakukan oleh para peneliti di dunia maupun di Indonesia. Untuk polymer jenis termoplastik penyatuan campuran material membutuhkan temperatur dan tekanan. Seperti pada pencetakan dengan proses *hot press* (Slamet, 2013), (Waluyo R. , Ahmad, Pramono, & Kurniansyah, 2021).

Rolan Siregar dkk. Memanfaatkan limbah plastik sebagai bahan *paving block*. Proses manufaktur diawali dengan pengumpulan sampah plastik yang akan dipanaskan dalam cetakan, selanjutnya diberikan gaya tekan untuk memadatkan produk tersebut. Adapun bentuk blok yang dibuat adalah persegi empat, di mana temperatur yang paling optimal untuk proses press pada mesin yang dibuat adalah 175°C lama pemanasan 3 menit dan tekanan cetakan 6,28 kPa (Siregar, Chan, Herdiansyah, Yogi, & Nurdiansyah, 2019).

Sudirman dkk. Memanfaatkan limbah plastik PP dan serbuk gergaji kayu yang sebagaimana bahan komposit alternatif. Dalam penelitiannya menggunakan bahan secara acak dan menggunakan komposisi SKG 10, 30 dan 50 % fraksi volume. Ada beberapa pengujian mekanik yang digunakan dalam penelitian ini antara lain kuat tarik, sifat fisik, struktur mikro dan derajat kritanilitas dengan menggunakan SEM dan XRD (Karo, et al., 2002).

(Gurau & Ayrilmis, 2018) dalam penelitiannya menggunakan campuran komposit kayu pinus dengan polypropylene (PP) dan *Maleic anhydride* (MAH) sebagai *coupling*

agent-nya. Duangkhae bootkul dkk dalam penelitiannya komposit papan datar diolah dari campuran serbuk gergaji kayu jati dan polietilen densitas tinggi (HPDE). Ada beberapa variasi tepung antara lain, 10, 20, 30, 40, 50, 60, dan 70%, berdasarkan komposisi berat yang di campur dengan HDPE dan minyak kelapa sawit sebagai pengikatnya (Bootkul, Butkul, & Intarasiri, 2017).

Dalam penelitian ini dilakukan studi komparasi sifat mekanis dan sifat fisik WPC dengan matriks berbagai jenis plastik, antara lain; recycle HDPE, recycle PP dan recycle LDPE. Sebagai penguat ditambahkan serbuk gergaji kayu kelapa (SGK) dengan mesh 30. Selain itu ditambahkan serat serabut kelapa (SSK) dengan panjang 2-5 cm sebanyak 2%. Perbandingan HDPE, PP dan LDPE, SGK dan SGK dibuat konstan. Proses pembuatan menggunakan alat *hot press* (Waluyo R. , Ahmad, Pramono, & Rizal, 2020) dengan temperatur 160°C dan beban pengepresan 50 Kg. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi jenis plastik terhadap karakteristik WPC antara lain sifat mekanik (kekuatan tarik dan kekuatan impak) dan sifat fisik (masa jenis, daya serap air).

2. METODOLOGI PENELITIAN

Bahan-bahan utama yang digunakan dalam pembuatan WPC adalah: Serbuk gergaji kayu (SGK) kelapa, serat serabut kelapa (SSK), HDPE, LDPE, PP, dan mold release wax.

Tahapan Pembuatan Sample

Tahapan pembuatan WPC sebagai sample uji dapat dilihat seperti gambar 1.

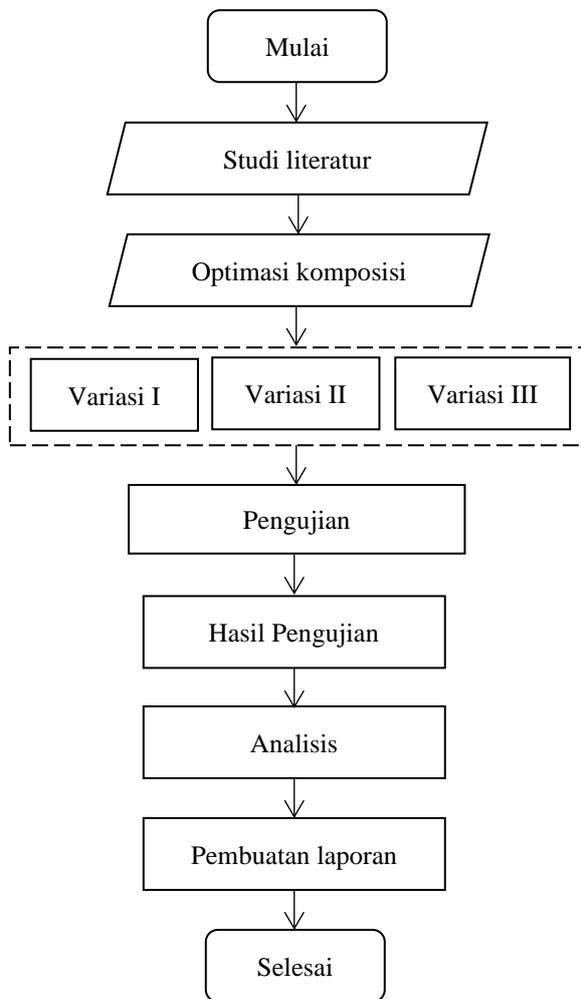


Gambar 1. Tahapan pembuatan sampel

Variasi Komposisi

Komposisi material WPC terdiri dari *recycle* HDPE, LDPE, dan PP. Serbuk gergaji kayu (SGK) Serbuk gergaji kayu yang digunakan adalah serbuk gergaji kayu kelapa. Ukuran butir SGK yang digunakan adalah mesh 30 (0,6mm) Selanjutnya SGK dikeringkan untuk mengurangi kadar air Bahan-bahan utama WPC seperti terlihat pada gambar di bawah dan serat serabut kelapa (SSK) Setelah dipilah SSK dipotong dengan ukuran antara 2-4 cm. selanjutnya SSK dikeringkan untuk mengurangi kadar air.

Proses penelitian Pengaruh variasi jenis plastik terhadap sifat fisik dan mekanik *Wood plastic composite* (WPC) mengikuti diagram alir penelitian seperti terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir penelitian

Bahan-bahan utama (SGK, HDPE, LDPE, PP, SSK) seperti terlihat pada gambar 3, kemudian dicampur manual dalam sebuah wadah dengan presentase seperti terlihat pada tabel 1.

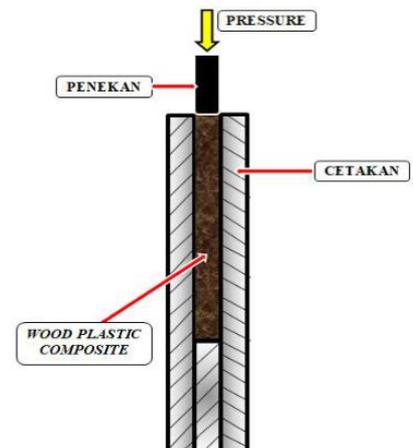


Gambar 3. Bahan Utama Pembuatan WPC (a) HDPE, (b) PP, (c) LDPE, (d) Serbuk Gergaji kayu, (e) Serat serabut kelapa, (f) bahan HDPE yang sudah dicampur, (g) bahan LDPE yang sudah dicampur, (h) bahan PP yang sudah dicampur.

Tabel 1. Variasi komposisi WPC

Sample	Plastik (gr)	SGK (gr)	SSK (gr)	Mesh	Beban (kg)	Tekanan (kg)
HDPE	176	20	4	30	50	2.27
PP	176	20	4	30	50	2.27
LDPE	176	20	4	30	50	2.27

Skematik proses pembuatan material *wood plastic composite* dapat dilihat pada gambar 4:



Gambar 4. Skematik Pembuatan Material *Wood Plastic Composite*

Alat Cetak Hot Press

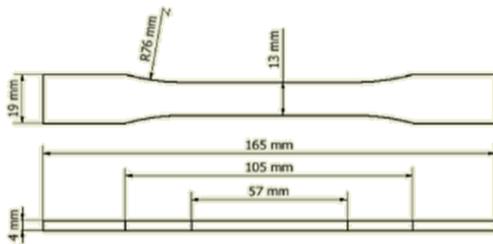
Alat hot press yang mana untuk mendaur ulang sampah plastik untuk menjadi lempengan plastik yang bisa digunakan untuk berbagai macam keperluan. Proses pembuatan menggunakan mesin hot press (gambar 5). dengan kapasitas tekanan sampai 5ton dengan temperatur sampai 200°C



Gambar 5. Mesin hot press

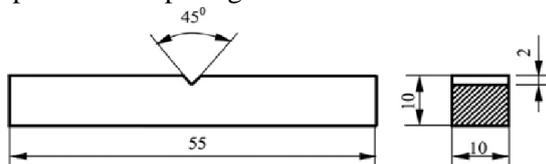
Pengujian

Untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik dari WPC, dilakukan pengujian tarik, impak, densitas, daya serap air, makro. Pengujian tarik menggunakan standar ASTM D638. Bentuk specimen uji tarik seperti terlihat pada gambar 6.



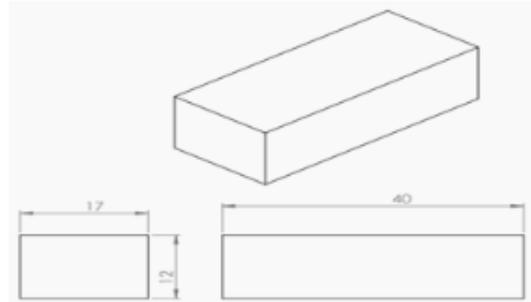
Gambar 6. Spesimen uji tarik

Pengujian Impak menggunakan standar ASTM D6110. Bentuk specimen uji impak seperti terlihat pada gambar 7.



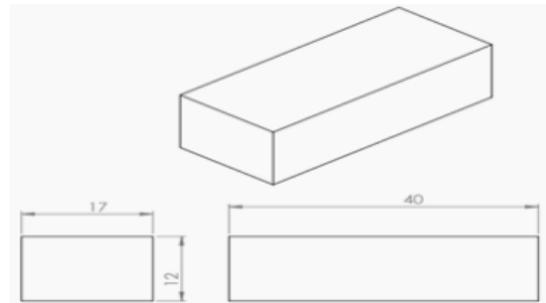
Gambar 7. Spesimen uji impak

Pengujian densitas menggunakan standar ASTM D6110. Bentuk specimen uji impak seperti terlihat pada gambar 8.



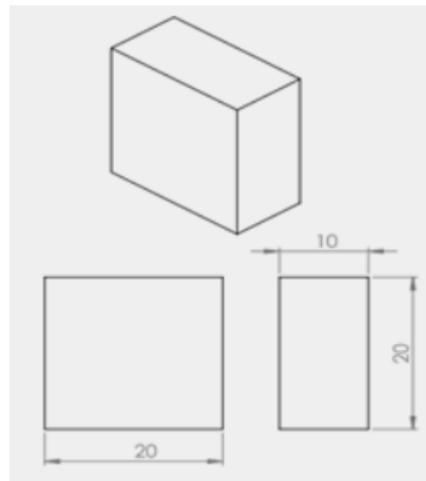
Gambar 8. Spesimen uji densitas

Pengujian Serapan Air menggunakan standar SNI 03-2105-2006,. Bentuk specimen uji impak seperti terlihat pada gambar 9.



Gambar 10. Spesimen uji serapan air

Pengujian Foto Makro menggunakan standar ASTM E566. Bentuk specimen uji impak seperti terlihat pada gambar 11.

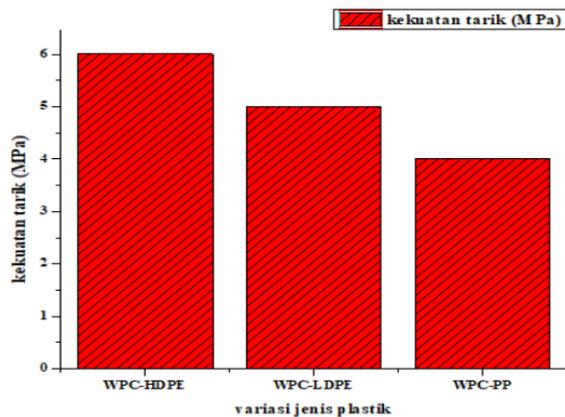


Gambar 11. Spesimen uji foto makro

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini adalah hasil dan pembahasan sampel wood plastic composite (WPC) dengan variasi jenis plastik HDPE, PP, dan LDPE kemudian dilakukan pengujian tarik mengikuti standar ASTM D639, pengujian impak mengikuti standar ASTM-D6110, Pengujian densitas mengikuti standar SNI-03-2105-2006, pengujian daya serap air mengikuti standar SNI-03-2105-2006, dan foto makro menggunakan standar ASTM-E566.

Pengujian Tarik



Gambar 12. Grafik Pengaruh Variasi Plastik Terhadap Kekuatan Tarik

Dari grafik pada gambar terlihat bahwa nilai kekuatan tarik rata-rata untuk ketiga jenis WPC dengan matriks berbeda yaitu WPC dengan jenis plastik HDPE diperoleh rata-rata kekuatan tarik yaitu sebesar 6 MPa, kemudian WPC dengan jenis plastik LDPE diperoleh rata-rata kekuatan tarik yaitu sebesar 5 MPa, sedangkan WPC dengan jenis plastik PP diperoleh rata-rata kekuatan tarik yaitu sebesar 4 MPa.

Dengan melihat hasil pengujian tarik ini, plastik HDPE merupakan matriks yang paling cocok untuk pembuatan komposit kayu plastik dibanding plastik PP dan LDPE, mengingat karakteristik plastik HDPE memiliki kekuatan tarik tertinggi dibanding material plastik PP dan LDPE, hal ini sesuai dengan hasil pengujian dimana matriks HDPE memiliki kekuatan tarik tertinggi terlihat pada gambar 12. Untuk hasil uji tarik, perbedaan antara nilai kuat tarik rata-rata material komposit dan nilai kuat tarik pada

karakteristik plastik murni disebabkan oleh berbagai alasan. Diantaranya, hal ini disebabkan oleh saringan mesh yang terlalu besar, distribusi serat yang kurang merata, dan perbedaan karakter karena plastik yang merupakan jenis anorganik sementara penguat merupakan jenis organik sehingga membutuhkan pemakaian coupling agent atau compatibilizer agar menjadi campuran yang stabil melalui interaksi antar molekul.

Pengujian Impak

- > Persamaan untuk mencari H0
 $H_0 = L - (\cos \alpha) = 1,36 - (1,014) = 0,319 \text{ m}$
- > Persamaan untuk mencari H1
 $H_1 = L - (\cos \beta) = 1,36 - (1,243) = 0,117 \text{ m}$
- > Persamaan untuk mencari E0
 $E_0 = M \times G \times H_0 = 10,32 \times 9,8 - 0,139 = 32,262$
- > Persamaan untuk mencari E1
 $E_1 = M \times G \times H_1 = 10,32 \times 9,8 - 0,117 = 11,832$

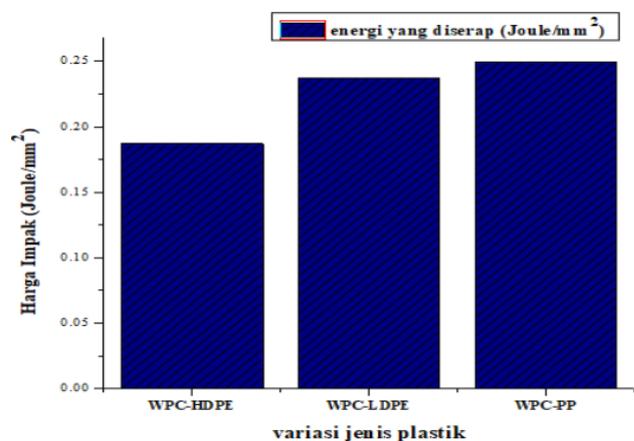
Dari perhitungan diatas didapat nilai energi yang diserap dengan rumus sebagai berikut :

$$E = E_0 - E_1 = M \times G (H_0 - H_1) = 101,136 (0,202) = 20,429$$

Untuk mendapatkan harga impak rumusnya sebagai berikut:

ΔE adalah nilai energi yang diserap sedangkan (A) adalah luas penampang specimen.

$$\frac{\Delta E}{A} = \frac{20,429}{80} = 0,25 \text{ Joule}$$



Gambar 13. Grafik Pengaruh Variasi Plastik Terhadap Harga Impak

Dari grafik pada gambar terlihat bahwa harga impak rata-rata untuk ketiga jenis WPC

dengan matriks berbeda yaitu WPC dengan jenis plastik HDPE memiliki rata-rata harga impact yaitu sebesar 0.187 J/mm², kemudian WPC dengan jenis plastik LDPE memiliki rata-rata harga impact yaitu sebesar 0.237 J/mm², sedangkan WPC dengan jenis plastik PP memiliki rata-rata harga impact yaitu sebesar 0.249 J/mm².

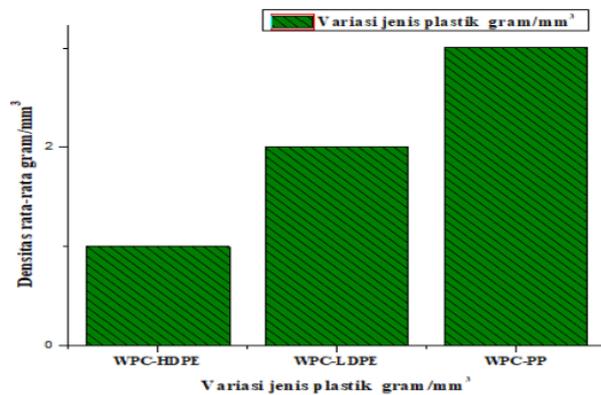
Dengan melihat hasil pengujian impact ini, ada pengaruh variasi jenis plastik terhadap harga impact WPC dengan matriks PP memiliki harga impact dengan rata-rata tertinggi dibanding dengan matriks plastik HDPE dan LDPE, mengingat plastik PP memiliki harga impact tertinggi dibanding material plastik HDPE dan LDPE, hal ini sesuai dengan hasil pengujian dimana matriks PP memiliki harga impact tertinggi terlihat pada gambar 14. Sedangkan hasil pengamatan bentuk patahan dari ketiga jenis WPC merupakan jenis patahan getas.

Pengujian Densitas

Persamaan untuk mencari nilai densitas:

$$\rho = \frac{m}{v} = \frac{6,1}{8160} = 0,000748 \frac{g}{mm^2}$$

Grafik pengaruh variasi jenis plastik terhadap densitas komposit seperti terlihat pada gambar 14.



Gambar 14. Grafik Pengaruh Variasi Plastik Terhadap Densitas

Dari data dan grafik diatas menjelaskan bahwa nilai uji densitas rata-rata untuk ketiga jenis WPC dengan matriks berbeda yaitu WPC dengan jenis plastik HDPE memiliki rata-rata nilai densitas sebesar 0,00072 g/mm, kemudian WPC dengan jenis plastik LDPE memiliki rata-rata

nilai densitas yaitu sebesar 0,00079 g/mm³ sedangkan WPC dengan jenis plastik PP memiliki rata-rata nilai densitas yaitu sebesar 0,00087 g/mm³.

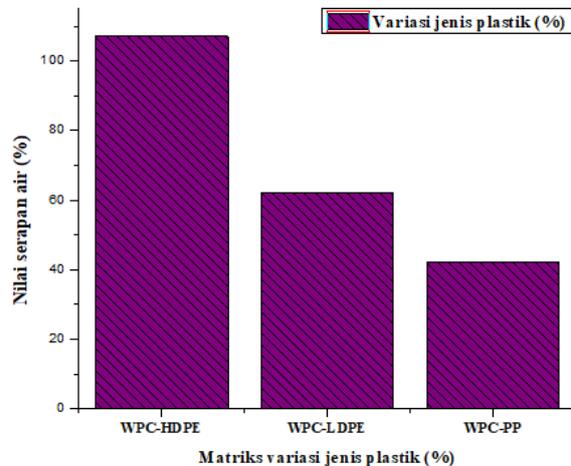
Hal ini dapat dilihat dari data dan grafik yang dihitung dari kerapatan material komposit bahwa dengan meningkatnya fraksi volume serat maka massa jenis material komposit juga meningkat, besarnya densitas atau kepadatan akan dipengaruhi oleh rongga pori atau cacat pada material. Semakin banyak rongga pori, semakin rendah kerapatannya dan sebaliknya. Selain void, densitas juga dapat dipengaruhi oleh ikatan antara serat dan matriks. Jika serat dan matriks tidak terikat dengan baik, maka massa jenis akan rendah karena ruang kosong di sekitar serat tidak menempel pada matriks, begitu pula sebaliknya semakin tinggi kepadatannya, semakin sedikit cacatnya, dan sebaliknya.

Pengujian Daya Serap Air

Persamaan untuk mencari nilai serapan air:

$$\left(\frac{m_1 - m_0}{m_0}\right) \times 100\% = \left(\frac{6,2 - 5,7}{5,7}\right) \times 100\% = 0,087\%$$

Grafik pengaruh variasi jenis plastik terhadap serapan air komposit seperti terlihat pada gambar 15.



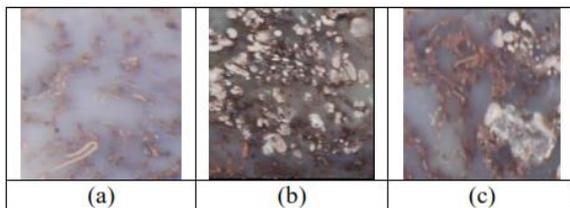
Gambar 15. Grafik Pengaruh Variasi Plastik Terhadap Daya Serap Air

Dari data dan grafik diatas menjelaskan bahwa nilai daya serap air selama 24 jam rata-rata

untuk ketiga jenis WPC dengan matriks yang berbeda yaitu WPC dengan jenis plastik HDPE memiliki rata-rata nilai daya serap air sebesar 0,107 %, kemudian WPC dengan jenis plastik LDPE memiliki rata-rata nilai daya serap yaitu sebesar 0,062 %, sedangkan WPC dengan jenis plastik PP memiliki rata-rata nilai daya serap air sebesar 0,042 %.

Semakin banyak air yang diserap material komposit, semakin rendah kekuatannya. Salah satu penyebabnya adalah masih banyaknya celah pada rongga pori yang terdapat diantara ikatan material komposit dengan sifat material itu sendiri yang dapat menyerap air dan uji serapan air membuktikan hal ini, penurunan kekuatan material disebabkan adanya void pada hasil sampel.

Pengujian Foto Makro



Gambar 17. Hasil pengamatan visual. (a) distribusi filler dan matriks optimum (b) distribusi SGK kurang optimum (c) distribusi SSK kurang optimum.

Pengujian pengamatan visual (foto makro) dilakukan dengan membagi hasil cetakan menjadi 30 bagian sama besar, pengujian ini bertujuan untuk melihat distribusi dan interaksi partikel serbuk gergaji kayu kelapa, serat serabut kelapa dengan plastik HDPE, PP, dan LDPE guna melihat permukaan komposit dan melihat distribusi, interaksi partikel dan ruang kosong antara filler dan matriks wood plastic composite (WPC). Dari hasil pengamatan terlihat bahwa penguat yang tidak tersebar secara merata dari ketiga jenis matriks terhadap presentase SGK berkisaran antara 15% - 40%, SSK berkisaran antara 10% - 30%, dan matriks (HDPE, PP, dan LDPE) berkisaran antara 35% - 80%.

Terdapat beberapa cacat yang terjadi pada komposit tersebut seperti void yaitu gelembung

udara yang terperangkap dalam spesimen. Cacat berikutnya adalah flow mark yang diakibatkan oleh kecepatan alir material yang terlalu lambat atau kecepatan pendinginan yang terlalu cepat dapat menyebabkan flow-mark selain karena perubahan tekanan yang terjadi pada mold.

Untuk pengamatan visual (foto makro) penyebab dari tidak meratanya penguat (SGK + SSK) adalah antara lain;

1. Posisi cetakan vertikal pada Mesin hot press yang mengakibatkan kurang meratanya antara matriks (HDPE, PP, LDPE) dan penguat (SGK + SSK) dibandingkan dengan posisi cetakan horizontal.
2. Proses pencampuran menggunakan manual mixer yang mengakibatkan tidak tercampur secara merata karena belum mencapai kondisi kehomogenan yang sesuai.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil analisa pengaruh variasi jenis plastik terhadap sifat fisik dan mekanik *wood plastic composite* (WPC) dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Jenis plastik berpengaruh terhadap karakteristik pada wood plastic composite (WPC) (kekuatan tarik, harga impact, densitas dan daya serap air). Dengan komposisi dan proses yang sama, wpc dengan matriks HDPE memiliki nilai kekuatan tarik rata-rata maksimum yaitu sebesar 6 MPa dan terendah yaitu wpc dengan matriks PP memiliki nilai kekuatan tarik rata-rata yaitu sebesar 4MPa. WPC dengan matriks PP memiliki nilai harga impact rata-rata maksimum yaitu sebesar 0,249J/mm² dan terendah yaitu wpc dengan matriks HDPE memiliki nilai harga impact yaitu sebesar 0,187J/mm². WPC dengan matriks PP memiliki nilai densitas rata-rata maksimum yaitu sebesar 0,00087g/mm³ dan terendah yaitu wpc dengan matriks HDPE memiliki nilai densitas yaitu sebesar 0,00072g/mm³. WPC dengan matriks HDPE memiliki nilai daya serapan air rata-rata maksimum yaitu sebesar 0,107% dan terendah yaitu wpc dengan matriks PP

- memiliki nilai daya serapan air yaitu sebesar 0,042%.
- Hasil pengamatan visual dan foto makro menunjukkan bahwa wood plastic composite (WPC) dengan matriks PP memiliki distribusi atau sebaran penguat (SGK & SSK) yang lebih merata, dan WPC dengan matriks HDPE memiliki distribusi atau sebaran penguat (SGK & SSK) yang kurang merata.
 - Dari hasil pengujian dan pengamatan pada wood plastic composite (WPC) dengan matriks LDPE merupakan WPC dengan karakteristik optimum.

Saran

- Perlu dilakukannya proses *injection molding* atau 2 kali proses yang pertama yaitu dibuat pellet dan kemudian dilakukannya proses pencetakan.
- Penambahan coupling agent atau compatiblizer untuk meningkatkan gaya adhesi antara matriks dan penguat.
- Menggunakan ukuran mesh dengan tingkat kehalusan paling kecil.

REFERENSI

- Bootkul, D., Butkul, T., & Intarasiri, I. (2017). Physical and mechanical properties of wood plastic composites from teak wood sawdust and high density polyethylene (HDPE). *Key Engineering Materials*, 277-282.
- Gurau, L., & Ayrilmis, N. (2018). Effect of raw material composition of wood plastic composites on surface roughness parameters evaluated with a robust filtering method. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 427-441.
- Karo, A. K., Suharpiyu, S., Febri, M., Mujamilah, M., Yulianti, E., Purwanto, S., . . . Sudirman, S. (2002). Aplikasi Resin Poliester Dan Epoksi Dalam Pengembangan Rigid Bonded Magnet. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 10-15.
- Republika. (2018, Juli 20). *Republika.co.id*. Retrieved from *Republika.co.id*: <https://nasional.republika.co.id>
- Siregar, R., Chan, Y. C., Herdiansyah, Yogi, & Nurdiansyah, T. (2019). Korelasi Besar Temperatur Pemanasan Cetakan terhadap Kualitas Hasil Press Paving Block Berbahan Dasar Sampah Plastik. *FLYWHEEL: Jurnal Teknik Mesin Untirta*, 41-45.
- Slamet, S. (2013). Karakterisasi Komposit Dari Serbuk gergaji (Sawdust) dengan Proses Hotpress Sebagai Bahan Baku Papan Partikel1-9. *SNST ke-4* (pp. 1-9). Semarang : Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- Waluyo, R., Ahmad, A., Pramono, G., & Kurniansyah. (2021). Pengembangan Wood Plastic Composite melalui pemanfaatan limbah Plastik dan Serbuk Gergaji Kayu. *AME (Aplikasi Mekanika dan Energi)*, 7(1), 1-9.
- Waluyo, R., Ahmad, A., Pramono, G., & Rizal, F. (2020). Perancangan dan Analisis Kekuatan Rangka Cetakan Komposit Kayu-Plastik Menggunakan Finite Element Analysis. *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, 5(1), 63-72.