

KARAKTERISASI *POLIVINYL CHLORIDE* (PVC) DENGAN *FILLER PRECIPITATED CALCIUM CARBONATE* (PCC) DARI LIMBAH ASPAL BUTON MENGGUNAKAN PELARUT ASAM ASETAT (CH_3COOH) DENGAN METODE *pH-SWING*

*Muhammad Rafli Wiratama Dinulloh¹, Athanasius Priharyoto Bayuseno², Rifky Ismail²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: dienuulloh01@gmail.com

Abstrak

Aspal buton sebagai salah satu sumber daya yang kaya akan kalsium sampai sekarang belum dimanfaatkan dengan baik dan optimal. Salah satu bentuk pemanfaatan dari limbah aspal buton adalah dengan mengekstraksinya menjadi produk alternatif bernilai jual tinggi seperti Precipitated Calcium Carbonate (PCC). Pengolahan PCC menggunakan metode karbonasi yang bertujuan untuk mengurangi gas emisi CO_2 di udara. Penelitian ini menggunakan metode pH-Swing dengan asam asetat (CH_3COOH) sebagai pelarut dan amonium bikarbonat (NH_4HCO_3) sebagai sumber CO_2 untuk mensintesis Produk PCC. Variasi suhu karbonasi juga diteliti untuk melihat pengaruhnya terhadap kemurnian PCC. Produk PCC yang berhasil dibuat akan dilakukan karakterisasi dengan pengujian FTIR, SEM, dan XRD. Pada hasil pengujian FTIR menunjukkan dominasi kristal kalsit dan vaterit yang muncul pada suhu 30°C . Hasil XRD menunjukkan ukuran kristal dan densitas meningkat seiring dengan suhu karbonasi, serta persentase kristal kalsit dan aragonit. Hasil SEM menunjukkan peningkatan morfologi kristal kalsit (kubus) seiring dengan temperatur karbonasi. Produk PCC pada suhu 30°C memiliki kemurnian yang tinggi sesuai standar ISO 3262-2:1998, dengan fasa vaterit. PCC ini digunakan sebagai filler dalam komposit PVC dengan variasi kandungan 0 phr, 5 phr, 10 phr, 15 phr, 20 phr, dan 25 phr. Karakterisasi Three Point Bending, densitas, dan SEM dilakukan untuk mengamati pengaruh filler PCC terhadap kekuatan lentur, kerapatan, dan ikatan antar partikel komposit PVC. Hasil karakterisasi pengujian Three Point Bending dan densitas komposit PVC tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan PCC sebagai filler dalam compound PVC akan meningkatkan nilai flexural strength, compressive strength, dan densitas. Sedangkan pada pengujian SEM yang dilakukan terhadap komposit PVC diketahui bahwa partikel dari PCC akan berusaha mengikat partikel komponen penyusun PVC yang lain sehingga dapat meningkatkan kekakuan serta kekuatan dari komposit PVC tersebut.

Kata kunci: limbah asbuton; precipitated calcium carbonate; polivinil kloride; pH-swing

Abstract

Asphalt buton, as a rich source of calcium, has not been fully utilized and optimized to date. One form of utilization of asphalt buton waste is by extracting it into high-value alternative products such as Precipitated Calcium Carbonate (PCC). The processing of PCC using the carbonation method aims to reduce CO_2 emissions in the air. This research employs the pH-Swing method with acetic acid (CH_3COOH) as the solvent and ammonium bicarbonate (NH_4HCO_3) as the CO_2 source for synthesizing PCC Products. Variations in carbonation temperature are also investigated to observe their influence on the purity of PCC. The successfully produced PCC products will undergo characterization using FTIR, SEM, and XRD tests. FTIR test results indicate the dominance of calcite and vaterite crystals appearing at temperatures of 30°C . The XRD results show an increase in crystal size and density with carbonation temperature, along with the percentage of calcite and aragonite crystals. SEM results indicate an enhancement in the crystal morphology of calcite (cubic) with increasing carbonation temperature. The PCC product at 30°C exhibits high purity according to ISO 3262-2:1998 standards, with a vaterite phase. This PCC is utilized as a filler in PVC composite with variations of 0 phr, 5 phr, 10 phr, 15 phr, 20 phr, and 25 phr content. Three Point Bending, density, and SEM characterizations are conducted to observe the impact of PCC filler on the flexural strength, density, and particle bonding of PVC composites. The characterization results from Three Point Bending tests and density measurements of the PVC composite show that increasing the addition of PCC as a filler in PVC compound will enhance the flexural strength, compressive strength, and density. Meanwhile, SEM tests conducted on the PVC composite reveal that PCC particles tend to bind with other PVC composite particles, thereby improving the stiffness and strength of the PVC composite.

Keywords: asbuton waste; precipitated calcium carbonate; polivinyl chloride; pH-swing

1. Pendahuluan

Di masa kini, kebutuhan terhadap aspal di negara kita mencapai volume yang luar biasa, mencapai 1,8 miliar ton. Fenomena ini tidak hanya meningkatkan volume limbah dari proses produksi aspal, tetapi juga menyebabkan peningkatan signifikan dalam kandungan limbahnya. Komponen limbah aspal ini mengandung senyawa beracun seperti *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* (PAH), yang merupakan campuran kompleks dari zat kimia yang berbahaya dan berpotensi menimbulkan dampak negatif yang signifikan bagi lingkungan. [1]. Oleh karena itu, pentingnya penggunaan kembali residu aspal tersebut guna menghindari risiko dan dampak yang berkelanjutan terhadap ekosistem serta lingkungan sekitarnya. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk memanfaatkan residu aspal, khususnya aspal Buton, adalah dengan melakukan ekstraksi komponen yang terkandung di dalamnya seperti karbonat. Limbah Asbuton mengandung kalsium karbonat (CaCO_3) dan magnesium karbonat (MgCO_3) yang cukup tinggi, sehingga memiliki potensi untuk diubah menjadi bahan alternatif berkualitas tinggi seperti *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC). Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk mensintesis PCC, antara lain melalui metode solvay, kaustik soda, dan karbonasi. Metode karbonasi sendiri memiliki dua varian, yaitu karbonasi langsung dan tidak langsung atau yang dikenal dengan *pH-swing*. Kedua metode ini memiliki ciri khasnya masing-masing dalam menghasilkan produk PCC. [2]–[4].

Penggunaan *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) yang mengandung kalsium karbonat (CaCO_3) umumnya dimanfaatkan sebagai *filler* atau substansi pengisi dalam material tertentu seperti kertas, polimer, *sealant*, adhesif, produk pangan, keramik, dan sektor industri lainnya.[5] Polivinil Klorida (PVC) adalah salah satu jenis polimer yang paling diminati dalam industri saat ini untuk produksi material beragam. Polimer ini mempunyai keunggulan ekonomi yang signifikan, ketahanan yang tinggi terhadap minyak, pelarut, serta abrasi, dan kemampuan yang mudah untuk diaditifkan dengan berbagai jenis bahan tambahan.[6] Kendala-kendala seperti kurangnya stabilitas *thermal* dan lain-lain dapat diatasi dengan mencampur PVC dengan pengisi anorganik atau organik. Beberapa pengisi yang sangat bermanfaat dalam meningkatkan sifat-sifat PVC adalah karbonat kalsium, kaolinit, dan kaolinit yang telah mengalami perlakuan termal.[7]

Kalsium karbonat sangat berguna dalam berbagai sektor seperti sebagai *filler* pada industri pipa plastik. Kalsium karbonat memiliki kemampuan untuk meningkatkan sejumlah karakteristik fisik produk plastik, yang berfungsi sebagai antioksidan yang meningkatkan stabilitas dan ketahanan produk. Pemanfaatan kalsium karbonat dalam industri plastik memberikan manfaat ekonomis dengan mengurangi biaya produksi karena harganya lebih terjangkau daripada minyak bumi dan bahan mentah lainnya. Dengan mencampurkan kalsium karbonat sebesar 8% dalam bahan baku pembuatan pipa plastik, umur pipa dapat diperpanjang hingga 50 tahun sambil mengurangi biaya produksi dengan mengurangi persentase bahan PVC yang digunakan.. [8]. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pemanfaatan partikel CaCO_3 dengan variasi kristalisasi dapat meningkatkan sifat mekanik dari komposit yang menggunakan matriks polimer, termasuk pada komposit PVC.[9]

Penelitian ini akan dilakukan dengan mengubah limbah asbuton menjadi *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) dalam bentuk serbuk, melalui proses karbonasi tidak langsung menggunakan ammonium bikarbonat (NH_4HCO_3) sebagai sumber CO_2 . Limbah asbuton yang sebelumnya belum diproses dengan baik akan menghasilkan CaCO_3 setelah melalui serangkaian langkah pembuatan, kemudian PCC tersebut akan dimanfaatkan sebagai pengisi dalam pembuatan komposit polivinil klorida (PVC). Dengan menggunakan metode karbonasi tidak langsung atau metode *pH-Swing*, aspal buton dapat dijadikan bahan baku PCC yang akan menjadi pengisi dalam komposit PVC yang termoplastik. Hal ini menunjukkan bahwa limbah asbuton dapat diubah menjadi produk bernilai tinggi dan mendukung pembangunan berkelanjutan sesuai dengan kebijakan pemerintah.

2. Bahan dan Metode Penelitian

Metode Penelitian ini mengaplikasikan lima tahap eksperimen yang berurutan. Pertama, mengurangi dimensi aspal buton menjadi ukuran lebih kecil, kemudian dilakukan tahap kalsinasi untuk mengubahnya menjadi serbuk. Selanjutnya, proses pembuatan *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) dilakukan dari serbuk hasil kalsinasi aspal buton dengan variasi suhu karbonasi sekitar 30°C . Langkah berikutnya mencakup pencampuran PCC dengan komponen lain guna menciptakan compound PVC, yang selanjutnya diformulasikan menjadi komposit PVC dengan PCC sebagai *filler* utama dengan variasi antara 0 phr hingga 25 phr. Produk akhir yang dihasilkan adalah komposit PVC yang terdapat PCC sebagai *filler*, memberikan peningkatan kekuatan pada material tersebut. Metode penelitian ini tidak hanya berfokus pada transformasi aspal buton menjadi PCC, melainkan juga pada penggunaannya dalam meningkatkan kinerja komposit PVC. Analisis karakteristik dilakukan pada produk PCC dan PVC menggunakan teknik *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared* (FTIR), *Scanning Electron Microscope* (SEM), *Three Point Bending*, serta Uji Densitas.

2.1. Proses Kalsinasi Limbah Aspal Buton

Proses kalsinasi bertujuan untuk menghilangkan sisa-sisa residu dan zat organik yang masih ada dalam partikel aspal buton. Kalsinasi ini dilaksanakan melalui penggunaan ruang tungku pada suhu 900°C , dengan laju pemanasan dan pendinginan sebesar $7,2^\circ\text{C}$ per menit, serta waktu penahanan selama 5 jam. Kalsinasi merupakan tahap penting dalam pengolahan aspal buton yang memastikan kebersihan dan kemurnian partikel sebelum dilakukan proses selanjutnya. Selama proses kalsinasi, residu dan zat organik yang terkandung dalam butiran asbuton terurai dan terbuang, meninggalkan material yang siap untuk tahap selanjutnya dalam proses produksi.

2.2. Proses Sintesis *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC)

Proses pembuatan PCC dimulai dengan mencampur hasil kalsinasi sisa asbuton dengan larutan asam asetat sebanyak 600 ml, kemudian mengaduknya menggunakan magnetic stirrer selama 15 menit dengan kecepatan 1200 rpm pada suhu 60°C. Penggunaan asam asetat mirip dengan asam nitrat, yang dapat meningkatkan kelarutan ion kalsium pada sisa asbuton terkalsinasi, sebagaimana penelitian oleh Ahn dkk. (2005) menunjukkan bahwa asam nitrat meningkatkan kelarutan ion kalsium pada $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Campuran hasil kalsinasi asbuton dengan asam asetat kemudian dicampur dengan larutan basa NaOH hingga mencapai pH 11,2-12, kemudian diaduk kembali selama 10 menit pada suhu 30°C dan kecepatan 1200 rpm. Setelah pencampuran dengan larutan basa, dilakukan penyaringan menggunakan vacuum filtration, menghasilkan residu dan filtrat berupa larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Filtrat $\text{Ca}(\text{OH})_2$ diambil dan dilakukan karbonasi tidak langsung dengan mencampurkan NH_4HCO_3 pada suhu 30°C selama 30 menit. Endapan yang dihasilkan disaring kembali, menghasilkan endapan CaCO_3 . Endapan CaCO_3 tersebut dicuci dengan akuades hingga pH stabil, lalu dioven pada suhu 110°C selama 2 jam untuk menghilangkan air, menghasilkan serbuk PCC yang digunakan sebagai filler pada komposit PVC.

2.3. Pembuatan Komposit Polivinil Klorida (PVC)

Pembuatan PVC dilaksanakan dengan menyiapkan komponen-komponen PVC seperti bahan aditif, PCC, dan resin PVC. Semua komponen ini dipersiapkan dengan komposisi yang telah ditetapkan sebelumnya sesuai dengan referensi jurnal, di mana resin PVC sebanyak 100 phr, DOP sebanyak 30 phr, kalsium stearat sebanyak 3.5 phr, asam stearat sebanyak 0.3 phr, dan PCC dengan variasi 0, 5, 10, 15, 20, 25 phr dengan konsentrasi resin PVC sebanyak 10 gram. Pengaturan komponen ini disesuaikan dengan satuan yang tepat, sehingga jumlah DOP, kalsium stearat, asam stearat, dan PCC yang digunakan adalah 3, 0.35, 0.03, 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 gram berturut-turut.

Selanjutnya, gelas beaker dipanaskan sebelumnya hingga mencapai suhu sekitar 130°C dengan menggunakan magnetic stirrer. Setelah itu, semua komponen dimasukkan ke dalam gelas reaksi dan dicampur selama 15 menit hingga campuran merata dan homogen, yang disebut sebagai compound. Kemudian, compound PVC tersebut dimasukkan ke dalam cetakan yang sesuai dengan standar untuk pengujian *three point bending*. Proses ini melibatkan penekanan cetakan menggunakan alat tekanan hidrolik *hot-press* selama 10 menit pada suhu 110°C untuk membentuk komposit PVC. Tahapan pembuatan ini diulang untuk setiap variasi komposisi PCC yang berbeda.

2.4. Karakterisasi *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) dan Polivinil Chloride (PVC)

Karakterisasi PCC dan komposit PVC merupakan pengamatan sifat dari PCC dan komposit PVC yang dihasilkan melalui pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), *Scanning Electron Microscope* (SEM), *Three Point Bending*, dan Uji Densitas.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakterisasi *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) dengan XRD

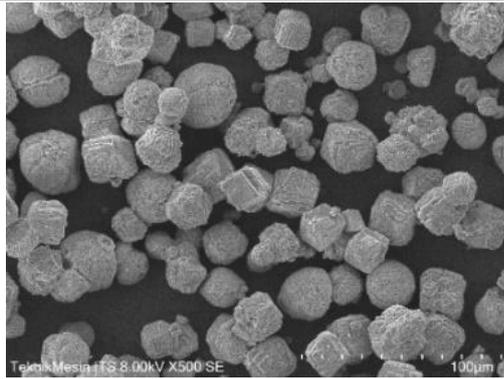
Pemeriksaan dengan metode XRD bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai dimensi kristal, persentase kekristalan, dan struktur kristal PCC. Proses analisis data dari hasil XRD menggunakan perangkat lunak Highscore Plus guna menentukan komposisi mineral dan persentase kekristalan melalui analisis Rietveld. Selain itu, untuk menghasilkan diagram perbandingan mineral antar variasi, digunakanlah program OriginLab. Hasil sintesis PCC pada suhu karbonasi 30°C yang berbeda menunjukkan perbedaan dalam kekristalan, densitas, volume, dan ukuran rata-rata kristal. Meskipun demikian, puncak-puncak dominan pada sudut 2θ dan intensitas relatifnya relatif stabil. Dalam hal jenis kristal, pada variasi suhu karbonasi 30°C, terlihat bahwa kristal vaterit mendominasi diikuti oleh sedikit kalsit dan aragonit.

3.2. Karakterisasi *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) dengan FTIR

Berdasarkan uji FTIR, sampel limbah asbuton PCC menunjukkan puncak yang serupa. Gugus C–O pada sampel PCC yang telah melalui variasi temperatur karbonasi 30°C terdeteksi pada nilai wavenumber 1395.8 cm^{-1} (V3). Sedangkan gugus Ca–O pada sampel PCC dengan variasi temperatur karbonasi yang sama ditemukan pada nilai wavenumber 873.87 cm^{-1} (V2). Tidak ada puncak yang teramati pada gugus O–H pada variasi PCC limbah asbuton, menandakan bahwa sampel telah mengalami proses pengeringan yang optimal, sehingga tidak mengandung H₂O atau $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

3.3. Karakterisasi *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) dengan SEM

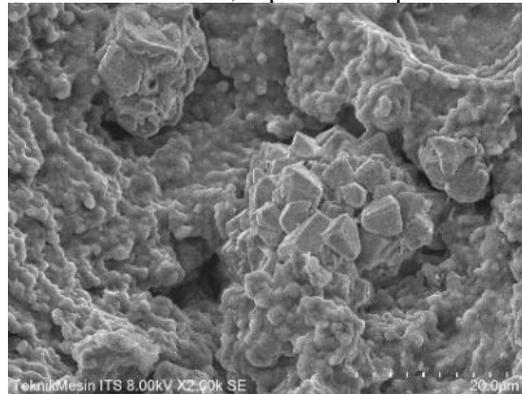
Untuk lebih memahami struktur fisik dari endapan kalsium karbonat (PCC) yang dihasilkan dari sisa proses ekstraksi asbuton dengan temperatur karbonasi 30°C, dilakukan analisis menggunakan teknik *Scanning Electron Microscope* (SEM). Kalsit menunjukkan formasi kristal yang beragam, seperti rhombohedral, kubus, scalenohedral, dan prisma, yang merupakan karakteristik dari berbagai polimorf PCC. Di sisi lain, vaterit cenderung memiliki bentuk bulat, sedangkan aragonit cenderung membentuk kelompok kristal dan berbentuk jarum.[10] Berikut adalah temuan karakterisasi SEM *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) yang dihasilkan dari bahan limbah ekstraksi asbuton dengan temperatur karbonasi 30°C. Morfologi PCC limbah ekstraksi asbuton temperatur karbonasi 30°C dapat dilihat pada Gambar 1. berikut.



Gambar 1. Morfologi patahan komposit PVC *filler* PCC dengan perbesaran 2000X

3.4. Karakterisasi *Polivynil Chloride* (PVC) dengan SEM

Karakterisasi *Scanning Electron Microscope* (SEM) bertujuan untuk mengidentifikasi struktur bentuk patahan PVC setelah diuji serta untuk memahami ikatan dan dampak PCC sebagai bahan pengisi dalam komposit PVC. Berbagai jenis polimorf PCC dalam komposit PVC menunjukkan variasi morfologi yang menarik; kalsit menunjukkan kristal berbentuk rhombohedral, kubus, scalenohedral, dan prisma. Aragonit membentuk *cluster* dan struktur seperti jarum, sementara vaterit memiliki bentuk bulat. Hasil dari SEM pada komposit PVC dengan variasi *filler* PCC sebanyak 25 phr, yang menggunakan bahan dasar limbah ekstraksi asbuton, dapat diamati pada Gambar 2. sebagai berikut.

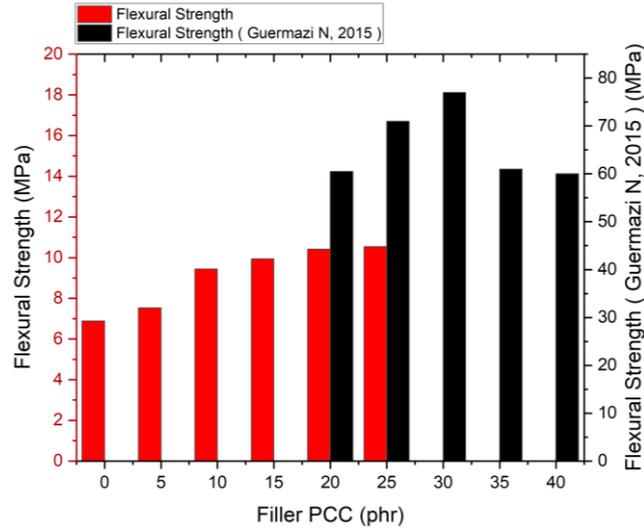


Gambar 2. Morfologi patahan komposit PVC *filler* PCC dengan perbesaran 2000X

Hasil analisis SEM pada sampel PVC yang menggunakan *filler* PCC sebanyak 25 phr menunjukkan bentuk morfologi yang mirip bola dengan sedikit sudut yang berbentuk segi empat. Hal ini mengindikasikan bahwa sebagian besar partikel memiliki bentuk bola, yang mengonfirmasi bahwa kristal yang dominan adalah vaterit. Selain itu, dari gambaran SEM komposit PVC, terlihat bahwa partikel PCC terikat dengan baik pada resin dan komponen lainnya dalam komposit PVC, menunjukkan bahwa PCC sebagai *filler* mampu mengikat partikel komponen PVC serta meningkatkan kekuatan PVC tersebut. Penelitian sebelumnya juga mengungkapkan bahwa penambahan CaCO_3 meningkatkan kekuatan mekanik seiring dengan peningkatan jumlah CaCO_3 dalam komposit.

3.5. Karakterisasi *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) dengan *Three Point Bending Test*

Pengujian bending adalah metode evaluasi yang digunakan untuk memahami karakteristik mekanik suatu bahan. Dalam penelitian ini, teknik pengujian bending three point bending diterapkan untuk mengevaluasi efek perubahan komposisi pada berbagai formulasi komposit PVC terhadap sifat mekaniknya. Proses pengujian ini dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Semarang. Tujuan utamanya adalah untuk menilai *flexural strength* dan *compressive strength* dari komposit PVC dengan variasi PCC yang berbeda.

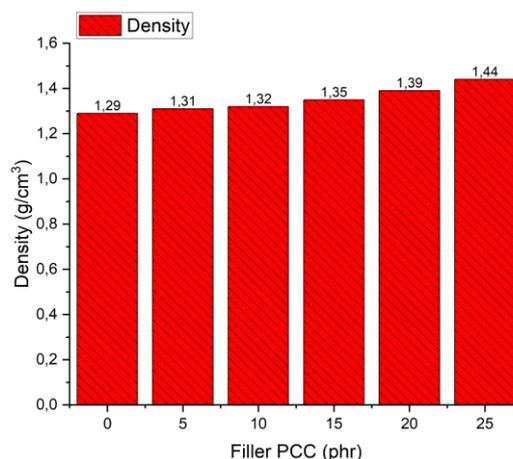


Gambar 4. Perbandingan nilai *flexural strength* pengujian dan jurnal

Dari grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4, dapat diperhatikan adanya kecenderungan peningkatan nilai kekuatan lentur dan tekan seiring dengan peningkatan kandungan PCC dalam komposit. Kekuatan lentur mencapai puncaknya pada komposit PVC dengan kandungan PCC sebanyak 25 phr, yakni mencapai 10,5 Mpa. Trend peningkatan nilai kekuatan lentur dan tekan pada komposit PVC dengan kandungan PCC yang tinggi menunjukkan kecenderungan peningkatan kekuatan karena adanya filler yang memiliki ukuran sangat kecil yang dapat menembus ikatan polimer, sehingga memperkuat ikatan antar partikel dalam komposit tersebut. Perbandingan nilai *flexural strength* pada pengujian dengan jurnal acuan, seperti yang terlihat dalam Gambar 4, menunjukkan tren peningkatan dari 0 phr hingga 30 phr, kemudian terjadi penurunan nilai kekuatan lentur. Perbedaan nilai yang signifikan ini disebabkan oleh perbedaan metode percampuran dan pembuatan komposit PVC, yang dapat berpengaruh terhadap kekuatan material komposit tersebut.

3.6. Karakterisasi *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) dengan *Density Test*

Karakterisasi komposit PVC dengan menggunakan pengujian densitas bertujuan untuk menentukan massa jenis atau tingkat kepadatan dari berbagai komposit PVC dengan *filler precipitated calcium carbonate* (PCC) yang dibuat. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin Universitas Diponegoro menggunakan alat *densitometer*.



Gambar 5. Grafik nilai hasil pengujian densitas komposit PVC

Berdasarkan diagram pada Gambar 5, dapat disimpulkan bahwa setiap peningkatan jumlah kandungan PCC sebagai pengisi dalam komposit PVC secara langsung berkaitan dengan densitas komposit PVC tersebut. Densitas terendah tercatat pada kandungan PCC 0 phr, yakni sebesar 1,29 gr/cm³, sementara densitas tertinggi tercatat pada kandungan PCC 25 phr, yakni sebesar 1,44 gr/cm³. Melihat tren grafik dari penelitian sebelumnya yang mencakup kandungan PCC berkisar antara 140 phr hingga 300 phr, terjadi peningkatan dari nilai tertinggi yang tercatat pada pengujian ini. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa peningkatan jumlah pengisi PCC pada komposit PVC akan meningkatkan densitas dari setiap variasi komposit PVC tersebut.

4. Kesimpulan

Telah dilakukan penelitian tentang sintesis dan karakterisasi *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) serta pembuatan komposisi PVC dengan penggunaan *filler* PCC dari asbuton yang menggunakan asam asetat sebagai pelarut dalam metode *pH-swing* dengan variasi temperatur karbonasi 30°C dan variasi kandungan PCC dalam komposit PVC. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menganalisis karakteristik *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) yang berasal dari limbah asbuton melalui proses karbonasi pada suhu 30°C untuk memahami transformasi struktur kristalnya. Proses sintesis ini menggunakan metode *pH-swing* dengan mengekstraksi limbah asbuton yang telah dikalsinasi dengan asam asetat dan NaOH, ditambah dengan NH₄HCO₃ sebagai sumber ion CO₃²⁻. Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa pada suhu karbonasi 30°C, terjadi peningkatan ukuran rata-rata partikel, densitas, dan persentase kristalinitas dibandingkan dengan suhu di bawahnya. Pada uji FTIR, terdeteksi gugus CaO dan CO, serta puncak wavenumber yang mengindikasikan dominasi kristal kalsit dan vaterit. Pengujian SEM menunjukkan morfologi vaterit pada sintesis PCC dengan suhu karbonasi 30°C. Variasi suhu karbonasi 30°C dianggap optimal sesuai dengan standar ISO 3262-2:1998. Selain itu, pembuatan komposit PVC dengan berbagai kandungan PCC sebagai *filler* menunjukkan pengaruh pada nilai kekuatan lentur dan tekan komposit, dimana semakin tinggi kandungan PCC, semakin kuat komposisinya. Pengujian SEM juga mengungkapkan bahwa PCC dalam komposit bertindak sebagai pengikat antar partikel komposit, meningkatkan kekuatan keseluruhan. Berdasarkan hasil eksperimental dari jurnal acuan, PCC meningkatkan nilai kekuatan lentur hingga batas tertentu, dengan batas optimal kandungan PCC sebagai *filler* komposit adalah di bawah 30% dari total komposisi. Hasil ini digunakan untuk melengkapi penelitian sebelumnya mengenai pengaruh penambahan PCC pada komposit PVC. [12], [13]

5. Daftar Pustaka

- [1] A. Nagalli *et al.*, "Potential of environmental contamination associated with disposal of asphalt waste in soil," *Electron. J. Geotech. Eng.*, vol. 20, no. 14, pp. 5957–5968, 2015.
- [2] S. J. Gerdemann, W. K. O'Connor, D. C. Dahlin, L. R. Penner, and H. Rush, "Ex situ aqueous mineral carbonation," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 41, no. 7, pp. 2587–2593, 2007, doi: 10.1021/es0619253.
- [3] L. Liu *et al.*, "Synthesis of high-value CaCO₃ via indirect CO₂ fixation utilized blast furnace slag," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 11, no. 5, p. 110655, 2023, doi: 10.1016/j.jece.2023.110655.
- [4] C. A. Myers, T. Nakagaki, and K. Akutsu, "Quantification of the CO₂ mineralization potential of ironmaking and steelmaking slags under direct gas-solid reactions in flue gas," *Int. J. Greenh. Gas Control*, vol. 87, no. May, pp. 100–111, 2019, doi: 10.1016/j.ijggc.2019.05.021.
- [5] N. Erdogan and H. A. Eken, "Precipitated Calcium carbonate production, synthesis and properties," *Physicochem. Probl. Miner. Process.*, vol. 53, no. 1, pp. 57–68, 2017, doi: 10.5277/ppmp170105.
- [6] A. Faisal Rosadi, M. Wahyu Syabani, J. Wirjono Prodjodikoro, and D. Yogyakarta, "The Effect of Heating Temperature on the Thickness and Color Conformity of the Polyvinyl Chloride based Synthetic Leather Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Kesesuaian Warna dan Tebal Kulit Sintetis berbasis Polivinil Klorida," *Edisi*, vol. 21, no. 2022, pp. 118–128, 2022.
- [7] A. A. Ameer, M. S. Abdallah, A. A. Ahmed, and E. A. Yousif, "Synthesis and Characterization of Polyvinyl Chloride Chemically Modified by Amines," *Open J. Polym. Chem.*, vol. 03, no. 01, pp. 11–15, 2013, doi: 10.4236/ojpcchem.2013.31003.
- [8] F. A. Lafta, S. A. A. Jabber, T. Abdul Amir, A. N. Abdul Kerim, and L. Abdul Hussain, "Effect of Increasing Calcium Carbonate (as a Filler) on the Plastic Pipes Properties," *Iraqi J. Ind. Res.*, vol. 9, no. 2, pp. 115–122, 2022, doi: 10.53523/ijoirvol9i2id233.
- [9] N. M. Barkoula, B. Alcock, N. O. Cabrera, and T. Peijs, "Flame-Retardancy Properties of Intumescent Ammonium Poly(Phosphate) and Mineral Filler Magnesium Hydroxide in Combination with Graphene," *Polym. Polym. Compos.*, vol. 16, no. 2, pp. 101–113, 2008, doi: 10.1002/pc.
- [10] S. Elfina, N. Jamarun, S. Arief, and A. Djamaan, "Sintesis Precipitate Calcium Carbonat Sebagai Filler Pada Plastik Ramah Lingkungan," *React. J. Res. Chem. Eng.*, vol. 1, no. 1, p. 1, 2020, doi: 10.52759/reactor.v1i1.4.
- [11] X. L. Xie *et al.*, "Rheological and mechanical properties of PVC/CaCO₃ nanocomposites prepared by in situ polymerization," *Polymer (Guildf.)*, vol. 45, no. 19, pp. 6665–6673, 2004, doi: 10.1016/j.polymer.2004.07.045.
- [12] Y. K. Sinaga, A. Priharyoto Bayuseno, and R. Ismail, "Pembuatan Komposit Polivinil Klorida (PVC) Menggunakan Precipitated Calcium Carbonate (PCC) Limbah Padat Hasil Ekstraksi Aspal Buton Dengan Konsentrasi HNO₃," *J. Tek. Mesin S-1*, vol. 11, no. 3, pp. 43–50, 2023.
- [13] F. Adam, A. Priharyoto Bayuseno, and R. Ismail, "Pengaruh Penggunaan Precipitated Calcium Carbonate (Pcc) Hasil Ekstraksi Aspal Buton Sebagai Filler Komposit Polivinil Klorida," *J. Tek. Mesin S-1*, vol. 11, no. 3, pp. 17–24, 2023.