

Pembuatan Komposit Polivinil Klorida (PVC) Menggunakan *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) Limbah Padat Hasil Ekstraksi Aspal Buton Dengan Konsentrasi HNO₃

*Yosafat Keljeski Sinaga¹, 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: yosafatkeljeski@gmail.com

Abstrak

Di Pulau Buton, terdapat bentuk aspal alam yang dikenal sebagai Aspal Buton. Asbuton adalah sumber daya alam Indonesia yang sangat kaya, tetapi belum dimanfaatkan secara optimal, padahal salah satu kandungan dalam asbuton adalah banyak mineral karbonat tetapi belum dimanfaatkan. Mineral karbonat tersebut bisa dimanfaatkan menjadi *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC). CaCO₃ adalah mineral yang sangat berguna dan dapat digunakan di banyak industri. Penggunaan PCC dapat digunakan sebagai filler pada polimer polivinil klorida (PVC). Polyvinil Chloride (PVC) adalah salah satu polimer termoplastik sintetik tertua yang digunakan secara luas dalam dunia modern dan populer dalam dunia industri. Oleh karena itu, penelitian ini memanfaatkan limbah asbuton sebagai bahan baku untuk menghasilkan PCC yang kemudian digunakan sebagai filler dalam proses pembuatan komposit PVC. Komposit PVC ini dikarakterisasi melalui pengujian XRD, SEM, pengujian densitas, dan pengujian bending untuk mengetahui indeks kristalinitas, ukuran kristal, morfologi, dan sifat mekanik dari komposit PVC yang dihasilkan. Proses pembuatan komposit PVC dimulai dengan proses sintesis PCC melalui pencampuran larutan HNO₃ 2M dengan menggunakan pengaduk magnetik pada suhu 60°C dengan kecepatan 1200 rpm selama 30 menit, kemudian dialirkan gas CO₂ dan di oven selama 2 jam sehingga akan terbentuk serbuk PCC. Hasil PCC tersebut kemudian dicampur dengan resin PVC sebanyak 100 phr, DOP sebanyak 55 phr, kalsium stearat sebanyak 3.5 phr, dan asam stearat sebanyak 0.3 phr, yang kemudian dicetak menjadi komposit PVC. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa komposit PVC dengan filler PCC memiliki kekuatan tekan yang paling kuat pada kandungan 180 phr, yaitu sebesar 0.3 N/mm², dengan indeks kristalinitas sebesar 37.1% dan ukuran kristal sebesar 29.7857 nm. Densitas komposit PVC juga meningkat seiring peningkatan kandungan PCC, dan densitas tertinggi diperoleh pada kandungan PCC sebesar 300 phr, dengan nilai 1.842 gr/cm³.

Kata kunci: asbuton, komposit; polivinil klorida; *precipitated calcium carbonate* (pcc)

Abstract

*On Buton Island, there is a natural asphalt formation known as Buton Asphalt. Asbuton is a highly abundant natural resource in Indonesia, but it has not been fully utilized, despite the presence of valuable carbonate minerals in it that remain untapped. These carbonate minerals can be utilized to produce *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC), which is a highly useful mineral and finds applications in various industries. PCC can be used as a filler in polyvinyl chloride (PVC) polymers. Polyvinyl chloride (PVC) is one of the oldest synthetic thermoplastic polymers widely used in the modern world and popular in the industrial sector. Therefore, this research aims to utilize waste asbuton as a raw material to produce PCC, which is then used as a filler in the process of manufacturing PVC composites. The PVC composite is characterized through XRD testing, SEM analysis, density testing, and three-point bending testing to determine the crystallinity index, crystal size, morphology, and mechanical properties of the resulting PVC composite. The process of manufacturing the PVC composite begins with the synthesis of PCC by mixing a 2M HNO₃ solution using a magnetic stirrer at a temperature of 60°C and a speed of 1200 rpm for 30 minutes, followed by CO₂ gas flow and oven treatment for 2 hours to obtain PCC powder. The obtained PCC is then mixed with PVC resin (100 phr), DOP (55 phr), calcium stearate (3.5 phr), and stearic acid (0.3 phr), which are then molded into PVC composites. The results of this study indicate that PVC composites with PCC filler exhibit the highest compressive strength at a content of 180 phr, measuring 0.3 N/mm², with a crystallinity index of 37.1% and a crystal size of 29.7857 nm. The density of the PVC composite also increases with an increase in PCC content in each formulation, and the highest density is achieved in the formulation with a PCC content of 300 phr, measuring 1.842 gr/cm³.*

Keywords: asbuton; composite; polyvinyl chloride; *precipitated calcium carbonate* (pcc)

1. Pendahuluan

Limbah padat asbuton adalah salah satu jenis limbah yang berasal dari industri aspal. Limbah ini terutama berasal dari proses pembuatan asbuton, yang melibatkan penggunaan campuran aspal dan karbon di dalam kilang. Limbah ini terdiri dari produk yang tidak dapat digunakan seperti beras, abu, dan karbon yang diproduksi dari proses pembakaran. Limbah ini juga mengandung bahan kimia berbahaya seperti bahan beracun seperti benzena, toluena, dan xilena, serta unsur logam berat seperti kadmium, merkuri, dan seng. Limbah padat asbuton ini dapat membahayakan lingkungan jika tidak ditangani dengan benar [1]. Produksi aspal dapat ditingkatkan dengan memanfaatkan batuan Aspal Buton (Asbuton) yang ketersediannya sangat melimpah. Aspal dapat diproduksi dengan melarutkan CaCO_3 (kalsium karbonat) yang merupakan komponen pengotor dominan dari Asbuton [2]. Agar tidak mencemari lingkungan harus ada cara-cara yang dilakukan didalam pemanfaatan limbah asbuton itu sendiri.

Kalsium Karbonat (CaCO_3) adalah filler yang paling banyak digunakan pada kertas, plastik, penyegel, perekat, makanan, keramik, tekstil, kosmetik, obat-obatan, dan beberapa industri lainnya [3]. Kalsium Karbonat (CaCO_3) adalah mineral yang paling melimpah di kerak bumi. Kalsium Karbonat yang digiling dan diendapkan (GCC dan PCC) adalah dua sumber utama Kalsium Karbonat. GCC diekstraksi melalui penambangan dalam bentuk batu kapur, marmer, dolomit, atau kapur tulis, dan digiling basah atau kering tergantung pada persyaratan produk akhir. Precipitate Calcium Carbonate (PCC), yang diproduksi secara sintesis dari batu kapur, memiliki spesifikasi superior dengan rasio CaCO_3 yang tinggi dan kandungan zat-zat tercemar yang rendah, tersedia dalam produksi berbagai morfologi dan ukuran nano dibandingkan dengan Kalsium Karbonat yang digiling (GCC)[4].

Polivinil klorida (PVC) adalah salah satu bahan termoplastik yang paling luas digunakan di dunia karena memiliki sifat yang berharga, aplikasi yang luas, ketahanan kimia yang tinggi, sifat penghalang, dan biaya yang rendah. Di sisi lain, stabilitas termal dan kemampuan pengolahan PVC lebih rendah dibandingkan dengan polimer umum seperti polietilena (PE), polipropilena (PP), dan poliamida (PA). Sifat-sifat ini dapat ditingkatkan dengan mencampurkan PVC dengan pengisi anorganik atau organik. Pengisi yang paling berguna dalam PVC adalah karbonat kalsium, kaolinit, dan kaolinit terbakar[5].

Menggunakan karbonat kalsium (CaCO_3) sebagai filler dalam komposit yang menggunakan matriks polimer memiliki banyak keuntungan, seperti biaya yang lebih murah, warna dan rasa yang tidak terdeteksi. Berbagai bentuk partikel CaCO_3 dapat dihasilkan melalui kontrol kondisi reaksi dan modifikasi permukaan menggunakan aditif. Para ilmuwan telah meneliti efek dari modifikasi partikel ini pada sifat mekanik komposit dengan matriks polimer dan biayanya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan partikel CaCO_3 dengan kristalisasi yang berbeda dapat meningkatkan sifat mekanik komposit dengan matriks polimer, termasuk untuk komposit PVC [6,7].

Menurut isi paragraf diatas, penelitian ini memanfaatkan limbah asbuton sebagai bahan baku untuk membuat Precipitated Calcium Carbonate (PCC). PCC tersebut akan digunakan sebagai bahan filler dalam pembuatan komposit polivinil klorida (PVC).

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan adalah melakukan percobaan sebanyak lima proses. Proses pertama melakukan reduksi ukuran aspal buton. Proses kedua melakukan kalsinasi aspal buton yang sudah menjadi bubuk. Proses ketiga melakukan pembuatan Precipitated Calcium Carbonate (PCC) dari hasil kalsinasi aspal buton. Proses ke empat melakukan pencampuran PCC dengan bahan-bahan lain untuk menghasilkan compound PVC. Dan proses kelima adalah dengan mencetak compound PVC filler PCC tersebut menjadi komposit PVC itu sendiri. Hasil produk berupa komposit PVC dengan filler PCC. Kemudian dikarakterisasi dengan metode X-Ray Diffraction (XRD), Three Point Bending, Scanning Electron Microscope (SEM), dan Uji Densitas.

2.1 Proses Kalsinasi Limbah Asbuton

Tahap pertama melakukan reduksi ukuran aspal buton dengan cara disaring menggunakan mesh berukuran 100 μm agar menjadi aspal buton halus sebelum dikalsinasi. Serbuk aspal buton sebanyak 500 gram dikenai proses kalsinasi menggunakan Furnace Chamber Thermolyne F6010 pada suhu 900 °C selama 5 jam. Tujuan dari proses ini adalah untuk menghilangkan zat pengotor yang terkandung dalam aspal buton.

2.2 Pembuatan Precipitated Calcium Carbonate (PCC)

Pada proses pembuatan PCC, digunakan 17-gram serbuk asbuton yang telah terkalsinasi dan dicampur dengan 250 ml HNO_3 2M. Campuran tersebut kemudian diaduk menggunakan magnetic stirrer pada suhu 60 °C dengan kecepatan 1200 rpm selama 30 menit. Selanjutnya, NH_4OH ditambahkan ke campuran tersebut hingga pH larutan mencapai 12. Campuran hasil tersebut kemudian disaring menggunakan kertas saring whatman No. 42. Setelah proses penyaringan, filtrat perlahan dialirkan dengan gas karbondioksida (CO_2), yang menghasilkan endapan berwarna putih susu. Tahap selanjutnya adalah membersihkan endapan dengan mencucinya dan menyaringnya menggunakan aquades hingga mencapai pH 7. Setelah itu, endapan tersebut dikeringkan pada suhu 110 °C selama 2 jam dan akan menghasilkan serbuk PCC itu sendiri

2.3 Pembuatan Komposit Polivinil Klorida (PVC)

Pada tahap pembuatan PVC, terlebih dahulu disiapkan bahan-bahan dengan komposisi yang telah ditentukan. Komposisi tersebut meliputi resin PVC sebanyak 100 phr, DOP sebanyak 55 phr, kalsium stearat sebanyak 3.5 phr, asam stearat sebanyak 0.3 phr, dan PCC dengan variasi 140, 180, 220, 260, 300 phr, dengan konsentrasi resin PVC sebanyak 10 gram. Oleh karena itu, jumlah bahan yang digunakan adalah DOP sebanyak 5.5 gram, kalsium stearat sebanyak 0.35 gram, asam stearat sebanyak 0.03 gram, dan PCC sebanyak 14, 18, 22, 26, 30 gram.

Selanjutnya, dilakukan pemanasan awal pada gelas beaker yang berfungsi sebagai gelas reaksi. Gelas beaker diisi dengan aquades hingga mencapai suhu 100 °C menggunakan magnetic stirrer. Setelah itu, semua bahan dimasukkan ke dalam gelas reaksi dan dicampur selama 10 menit menggunakan magnetic stirrer hingga campuran menjadi rata dan homogen, yang disebut sebagai compound. Kemudian, compound tersebut dimasukkan ke dalam cetakan yang sebelumnya dipanaskan pada suhu 280 °C selama 30 menit. Cetakan tersebut kemudian ditekan menggunakan alat tekanan hidrolik sehingga terbentuklah komposit PVC. Proses pembuatan ini diulang untuk setiap variasi PCC yang berbeda.

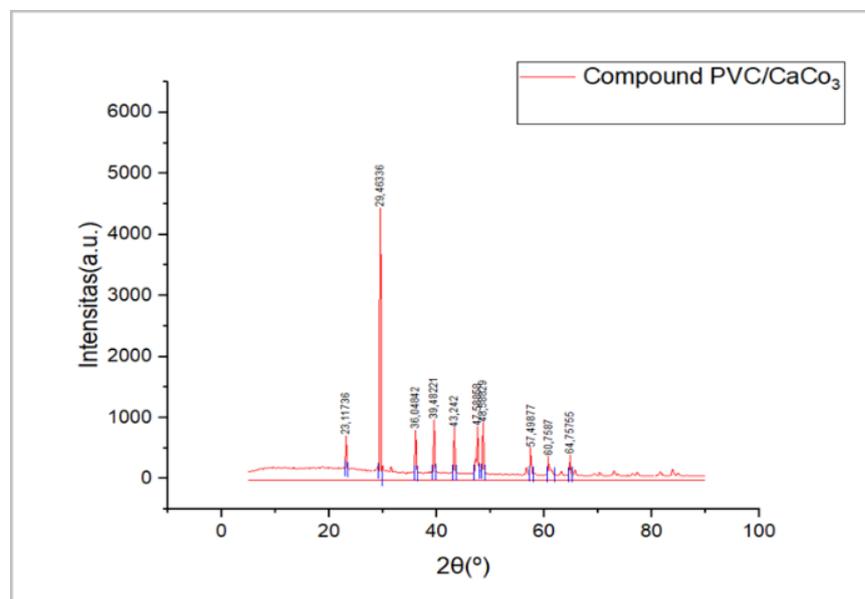
2.4 Karakterisasi Komposit Polivinil Klorida (PVC)

Karakterisasi komposit PVC merupakan pengamatan sifat dari komposit PVC yang dihasilkan melalui pengujian x-ray diffraction (XRD), scanning electron microscope (SEM), Three Point Bending, dan Uji Densitas.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Karakterisasi Komposit Polivinil Klorida (PVC) dengan XRD

Dalam perangkat lunak Origin, difraktogram adalah visualisasi grafis dari data difraksi sinar-X yang diperoleh melalui pengujian XRD. Difraktogram menunjukkan pola difraksi bahan yang sedang dianalisis. Pada difraktogram, sumbu X umumnya mewakili sudut 2θ (dua theta), yaitu sudut antara arah datang sinar-X dan arah sinar-X yang terdifraksi. Sumbu Y menunjukkan intensitas difraksi, yang mencerminkan kekuatan intensitas difraksi pada sudut 2θ tertentu. Difraktogram memungkinkan analisis kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif melibatkan pencocokan pola difraksi dengan basis data referensi untuk mengidentifikasi fase atau komponen bahan yang sedang dianalisis. Analisis kuantitatif melibatkan perhitungan parameter seperti ukuran butir, ketebalan lapisan, atau fraksi relatif dari fase-fase yang terlibat dalam sampel. Berikut ini adalah grafik difraktogram hasil pengujian XRD compound komposit PVC, yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Grafik Difraktogram hasil pengujian XRD compound PVC

Dari hasil analisis X-Ray Diffraction menggunakan perangkat lunak OriginPro, data yang diperoleh terdapat dalam gambar diatas. Dalam gambar tersebut, terlihat adanya puncak-puncak pada difraksi compound komposit PVC yang diuji dan dianalisis. Puncak-puncak difraksi pada spektrum tersebut menunjukkan perluasan akibat ukuran dan regangan partikel. Grafik tersebut mengindikasikan adanya puncak yang dominan pada sudut $2\theta = 29.463^\circ$ dengan intensitas relatif sebesar 4738.65 dan pada peaks $2\theta = 39,482^\circ$ dengan intensitas relatif sebesar 895,756. Nilai peaks ini dapat kita bandingkan dengan jurnal acuan pada tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Peaks Dominant dengan Jurnal Acuan

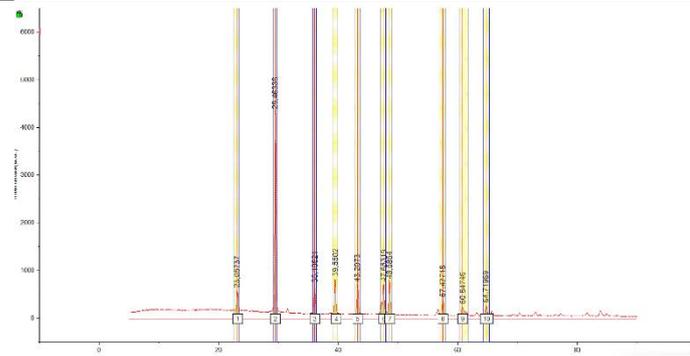
Peaks Dominant	Study the Effect of Temperature, Mechanical and Thermal Properties of PVC/CaCo3 Composite [8]	Compound Komposit PVC/CaCo3
1	29,753	29,463
2	36,3167	36,0484
3	39,749	39,4822

Dalam perangkat lunak OriginPro, perhitungan ukuran kristal dapat dilakukan dengan menganalisis data dari pengujian XRD. Proses perhitungan ini melibatkan penggunaan sudut difraksi dan nilai *full width at half minimum* (FWHM), dengan memasukkan nilai-nilai ini ke dalam perangkat lunak, ukuran kristal dapat dihitung dan dievaluasi. Ukuran kristal pada compound komposit PVC bisa dilihat pada tabel 2.

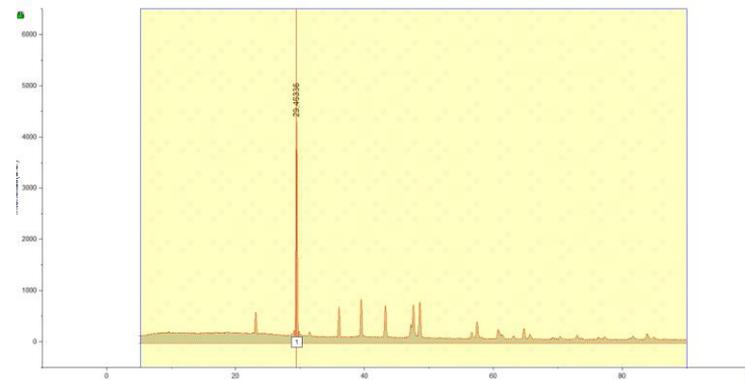
Tabel 2. Data Ukuran Kristal

2θ (°)	β (rad)	Ukuran Kristal (nm)
23,11736	0,33725	24,04368892
29,46336	0,26936	30,49567781
36,04842	0,30296	27,57548034
39,48221	0,30509	27,66508506
43,242	0,31641	27,00780769
47,58858	0,35235	24,64107908
48,58829	0,33134	26,30574138
57,49877	0,37413	24,21952847
60,7587	1,02952	8,944631775
64,75755	0,43131	21,80983083
Ukuran Kristal Rata-Rata (nm)		24,27085514

Dalam perangkat lunak OriginPro, penghitungan indeks kristalinitas juga dapat dilakukan. Indeks kristalinitas dapat diperoleh dengan membagi luas area kristal dengan luas total area pada seluruh data grafik XRD. Dengan menggunakan perangkat lunak ini, perhitungan tersebut dapat dilakukan secara otomatis dan memudahkan pengguna untuk mendapatkan nilai indeks kristalinitas dengan akurat. Gambar 2 dan Gambar 3 akan memperlihatkan luas area kristal dan luas total area grafik, tabel 3 akan memperlihatkan indeks kristalisasi dari compound komposit PVC.



Gambar 2. Luas Area Kristal



Gambar 3. Luas Total Area Grafik

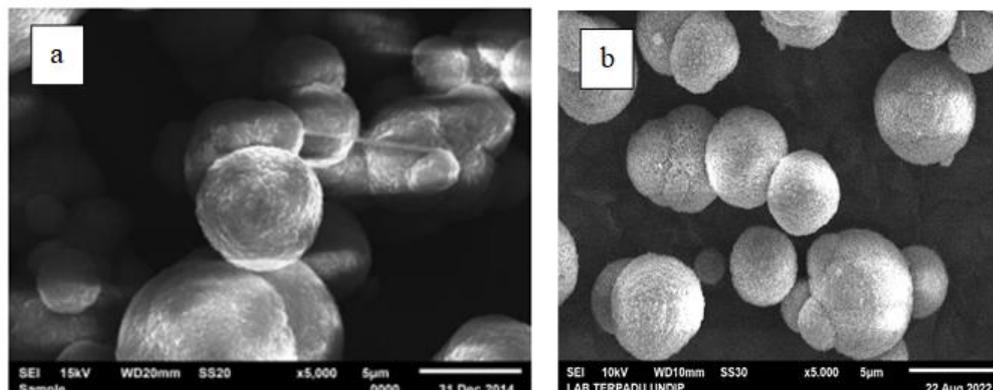
Tabel 3. Data Indeks Kristalisasi

Sampel	Area Kristal	Total Area Grafik	Indeks Kristalisasi
Compound PVC	3360,969	9057,612	37,10657

Dari data yang telah didapat dari software OriginPro maka bisa disimpulkan bahwa compound komposit PVC memiliki Indeks Kristalisasi sebesar 37,1% dan memiliki ukuran kristal rata-rata sebesar 24,27 nm.

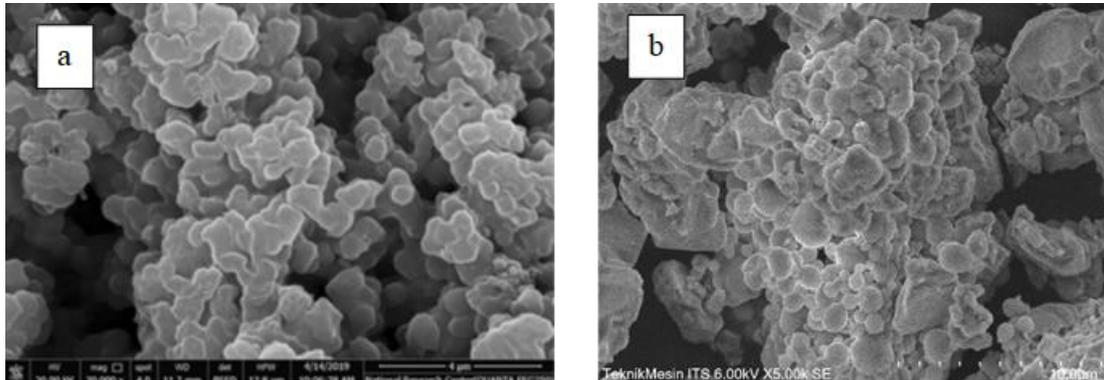
3.2 Karakterisasi Komposit Polivinil Klorida (PVC) dengan SEM

Karakterisasi morfologi produk *precipitated calcium carbonate* (PCC) dilakukan menggunakan pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) untuk melihat dan menganalisis hasilnya. Gambar morfologi yang dihasilkan oleh SEM dapat digunakan untuk menghitung ukuran butir PCC, yang berguna dalam konteks biokompatibilitas dan penyebaran sel. Gambar 4.8 menunjukkan morfologi PCC dengan perbesaran 5.000 kali. Dari gambar tersebut, terlihat bahwa ukuran partikel PCC relatif homogen namun mengalami aglomerasi [9]



Gambar 4. Morfologi Hasil Uji SEM (a) PCC dengan konsentrasi asam Nitrat 2 M dan rasio CaO/HNO₃ 14 gr: 300 ml [9], (b) PCC Sintesis aspal buton

Jika dilihat dari Gambar 4. (a) dan (b), bisa dilihat bahwa hasilnya cukup serupa yang berarti sintesis PCC dari aspal buton ini juga sudah relative homogen dan mengalami aglomerasi. Hasil pengujian tersebut secara lebih jelas menunjukkan bahwa produk PCC yang dihasilkan memiliki bentuk kristal vaterit yang ditandai dengan bentuk bulat. Menurut Jamuran (2007), kalsit memiliki bentuk kristal rombohedral, kubus, scalenohedral, dan prismatic. Aragonit memiliki bentuk berkelompok (*cluster*) dan jarum (*needle-like*), sementara vaterit dapat berbentuk bulat (*sphere*).

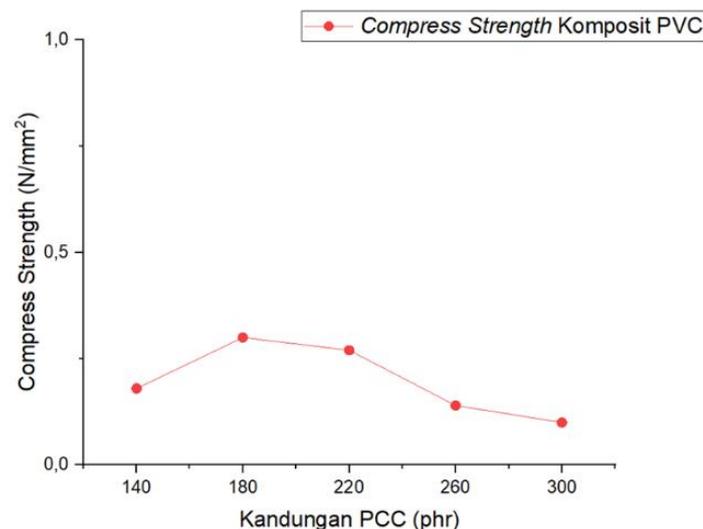


Gambar 5. Morfologi Hasil pengujian SEM (a) *Compound* PVC [10] (b) *Compound* Komposit PVC dengan *filler precipitated calcium carbonate* (PCC)

Dapat dilihat pada gambar 5. (a) merupakan morfologi hasil pengujian SEM pada plain PVC dan pada Gambar 4.9 (b) merupakan morfologi hasil pengujian *compound* komposit PVC dengan *filler precipitated calcium carbonate* (PCC). Bisa dilihat dari kedua gambar tersebut, bahwa kedua gambar tersebut cukup serupa tapi ada yang membedakan di bagian kepadatan dari partikel dan bulir pada gambar yang menandakan adanya PCC yang lebih mengikat dan juga terdistribusi pada beberapa bagian gambar morfologi tersebut.

3.3 Karakterisasi Komposit Polivinil Klorida (PVC) dengan Uji *Three Point Bending*

Dalam penelitian ini, pengujian *three-point bending* diusulkan sebagai cara yang berguna untuk menentukan compress strength komposit, dengan memperhitungkan efek beban terkonsentrasi yang biasanya tidak dipertimbangkan dalam interpretasi hasil pengujian *three-point bending* [11].



Gambar 6. Grafik Compress Strength Komposit PVC

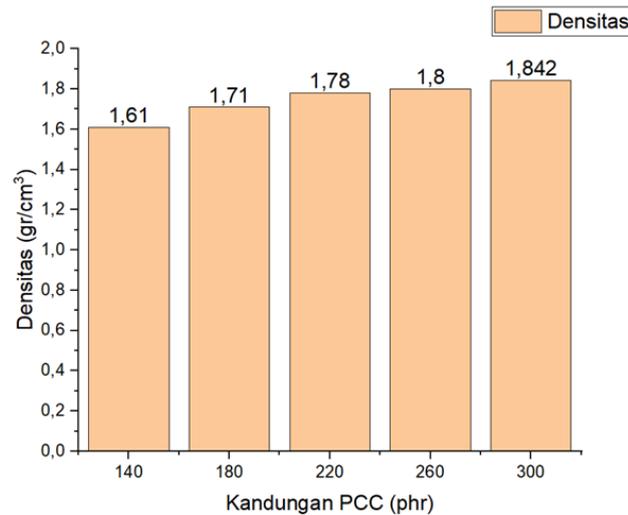
Dari gambar 6, dapat diamati bahwa terdapat tren peningkatan nilai kekuatan tekan seiring penambahan kandungan PCC. Kekuatan tekan paling tinggi terjadi pada kandungan PCC 180 phr, yaitu sebesar 0,3 N/mm². Tren penurunan terjadi setelah mencapai kandungan PCC sebesar 180 phr. Komposit PVC memiliki kekuatan yang cenderung bertambah karena ada filler dengan ukuran yang sangat kecil. Hal ini memungkinkan filler tersebut untuk menembus dan mengisi ruang kosong di antara ikatan polimer, sehingga meningkatkan kekuatan ikatan antar partikel [12].

Jumlah fiber pull out yang terjadi pada komposit mengakibatkan penurunan compress strength. Terlepasnya filler terjadi karena kurangnya ikatan yang baik antara komposit dan filler. Berlebihnya filler mengakibatkan kurangnya ikatan

yang kuat antara filler dan komposit, sehingga komposit mudah patah saat spesimen mengalami pengujian lentur (Bahtiar, 2014). Temuan tersebut sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Abd (2014), di mana nilai kekuatan tekan menurun ketika kandungan filler meningkat [13]. Hal ini disebabkan oleh faktor rasio aspek yang rendah pada CaCO_3 , yang mengakibatkan bahan pengisi meningkatkan pergerakan rantai polimer dan mengurangi nilai kekuatan tekan.

3.4 Karakterisasi Komposit Polivinil Klorida (PVC) dengan Uji Densitas

Karakterisasi dengan menggunakan uji densitas bertujuan untuk menentukan massa jenis atau tingkat kepadatan dari berbagai komposit PVC dengan filler precipitated calcium carbonate (PCC) yang dibuat.



Gambar 7. Grafik Densitas Komposit PVC

Bisa dilihat pada gambar 7, bahwa setiap kenaikan jumlah phr pada PCC sebagai filler terhadap komposit PVC berbanding lurus dengan densitas dari komposit PVC itu sendiri. Densitas paling kecil terdapat pada kandungan PCC dengan 140 phr yaitu sebesar 1,61 gr/cm³, dan densitas paling besar terdapat pada kandungan PCC dengan 300 phr yaitu sebesar 1,842 gr/cm³. Dengan ini bisa disimpulkan bahwa kenaikan jumlah filler PCC terhadap komposit PVC akan menambah densitas dari setiap variasi komposit PVC juga.

4. Kesimpulan

Pada penelitian ini, dilakukan pembuatan komposit PVC dengan filler precipitated calcium carbonate (PCC), dan telah dilakukan pengujian-pengujian yang data-data hasilnya akan dianalisis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa komposit PVC dengan PCC memiliki nilai puncak dominan pada sudut $2\theta = 29,463^\circ$ dengan intensitas relatif sebesar 4738,65, dan pada puncak $2\theta = 39,482^\circ$ dengan intensitas relatif sebesar 895,756. Hasil ini sejalan dengan jurnal acuan. Selain itu, indeks kristalinitas komposit PVC tersebut diperoleh sebesar 37,1%, dengan ukuran kristal rata-rata sebesar 24,27 nm. Morfologi komposit PVC dengan PCC ditunjukkan melalui gambar SEM, yang memperlihatkan pencampuran yang cukup homogen namun juga mengalami aglomerisasi. Terlihat bahwa bulir PCC terikat dengan baik dan tersebar di berbagai bagian PVC. Grafik densitas komposit PVC dengan PCC menunjukkan bahwa seiring peningkatan konsentrasi PCC dalam komposit PVC, densitas komposit PVC juga meningkat. Sementara itu, grafik kekuatan kompresi komposit PVC dengan PCC menunjukkan bahwa kekuatan kompresi tertinggi terjadi pada komposit PVC dengan kandungan PCC sebesar 180 phr, dengan nilai 0,3 N/mm². Setelah melewati kandungan PCC sebesar 180 phr, terjadi penurunan nilai kekuatan kompresi. Selain itu, dalam penelitian ini juga berhasil dimanfaatkan residu padat kering pada asbuton untuk menghasilkan PCC (precipitated calcium carbonate).

5. Daftar Pustaka

- [1] Ismail, M., & Purohit, R. (2020). Limbah Padat Asbuton: Asal-muasal dan Pencemaran Lingkungan. *Jurnal Teknik Kimia*, 5(1)
- [2] Astria, Meyda. (2014). Penambahan MgCl_2 Sebagai Co Solvent Pada Larutan H_2CO_3 Dalam Ekstraksi Tersonikasi CaCO_3 Pada Asbuton untuk Produksi Aspal. Universitas Indonesia.
- [3] Erdogan, N., & Eken, H. A. (2017). Precipitated calcium carbonate production, synthesis and properties. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 53.

- [4] Kilic, Özen. (2015). Cycle of limestone-lime and precipitated calcium carbonate. 12th Mining and Geotechnology Scientific Conference at "44. jump over the leather". Ljubljana, Slovenia,
- [5] Ameer, A. A., Abdallah, M. S., Ahmed, A. A., & Yousif, E. A. (2013). Synthesis and characterization of polyvinyl chloride chemically modified by amines.
- [6] Huang, S. C., Minami, T., Naka, K., & Chujo, Y. (2015). Fabrication of amorphous calcium carbonate composite particles-polymer multilayer films by a layer-by-layer method. *Polymer Composites*, 36(2), 330-335.
- [7] Liang, J. Z., Zhou, L., Tang, C. Y., & Tsui, C. P. (2013). Crystallization properties of polycaprolactone composites filled with nanometer calcium carbonate. *Journal of applied polymer science*, 128(5), 2940-2944.
- [8] Mohammed, M. A. & Saleh, A. S. (2018). Study the effect of temperature on structural, mechanical, and thermal properties of PVC/CaCO₃ composite. *Iraqi Journal of Science*, 44-56.
- [9] Octavianty, D., Amri, A., Zultiniar, Z., & Yelmida, Y. (2015). Sintesa Precipitated Calcium Carbonate (PCC) Dari Kulit Kerang Darah (Anadara Granosa Dengan Variasi Konsentrasi Asam Dan Rasio CaO/HNO₃). *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik dan Sains*, 2(2), 1-7.
- [10] Rabie, S. T., Abdel-Monem, R. A., Da'esh, O. M., & Gaballah, S. T. (2022). Synthesis and characterization of functionalized modified PVC-chitosan as antimicrobial polymeric biomaterial. *Polymer Bulletin*, 1-20.
- [11] Carbajal, N., & Mujika, F. (2009). Determination of compressive strength of unidirectional composites by three-point bending tests. *Polymer Testing*, 28(2), 150-156.
- [12] Zakiyati, O. (2011). Perbedaan Kekerasan Permukaan Resin Komposit Nanofiller Setelah Perendaman Dalam Obat Kumur Beralkohol Dan Nonalkohol (Doctoral dissertation, Universitas Airlangga).
- [13] Abd, A. A. (2014). Studying the mechanical dan electrical properties of epoxy with PVC and calcium carbonate filler. *Int J. Eng Technol*, 3, 545-553.