

SINTESIS DAN KARAKTERISASI *PRECIPITATED CALCIUM CARBONATE* (PCC) BERBAHAN LIMBAH ASBUTON

*Hanif Nur Kholid, Athanasius Priharyoto Bayuseno, Rifky Ismail

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*E-mail: hanifnur16@gmail.com

Abstrak

Precipitated Calcium Carbonate (PCC) termasuk dalam salah satu jenis biokeramik yang dapat dibuat dengan bahan baku alami seperti limbah asbuton. Bahan baku dari limbah asbuton ini memiliki potensi untuk dimanfaatkan menjadi *precipitated calcium carbonate* karena kandungan kalsium yang lumayan tinggi. Menggunakan bahan baku limbah asbuton dapat menguntungkan, karena ketersediaannya yang melimpah dan belum dimanfaatkan. Penggunaan limbah asbuton ini dapat mengurangi potensi limbah asbuton dan memanfaatkan potensi lokal limbah asbuton yang masih belum dimanfaatkan secara optimal. Berdasarkan hasil pengujian XRF limbah asbuton memiliki kandungan kalsium sebesar 25% sehingga dapat digunakan sebagai bahan sintesis *precipitated calcium carbonate*. Penelitian ini bertujuan untuk sintesis PCC menggunakan metode karbonasi berbaahan limbah asbuton dengan tiga variasi laju aliran CO₂ yang berbeda dan karakterisasi menggunakan XRD, FTIR, dan SEM. Metodologi penelitian dilakukan secara kuantitatif dengan metode eksperimen dan analisis data bersifat kuantitatif/statistik, dengan tujuan untuk menguji dan membuktikan landasan teori yang telah ditetapkan. Proses sintesis PCC dilakukan dengan mencampur limbah asbuton terkalsinasi (Ca(OH)₂), HNO₃ 2M, dan ammonia (NH₄OH) dengan variasi laju aliran CO₂ sebesar 1,5, 3, dan 4,5 liter/menit pada suhu ruang. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini menunjukkan bahwa sintesis PCC pada laju 3 L/min merupakan PCC terbaik karena menghasilkan massa paling optimal, pH yang sesuai dengan *material safety data sheet* CaCO₃, struktur kristal triklinik, morfologi berbentuk bulat yang menandakan fasa dominan *vaterite*.

Kata kunci: laju aliran; limbah asbuton; *precipitated calcium carbonate*

Abstract

Precipitated Calcium Carbonate (PCC) is one type of bioceramic that can be made with natural raw materials such as asbuton liquid waste. Using waste raw materials can be profitable, because their availability is abundant and has not been utilized. The use of Buton asphalt waste can reduce the potential of Buton asphalt waste and utilize the potential of Buton asphalt waste which is still not utilized optimally. Based on XRF testing, Buton asphalt has a calcium content of 25% so that it can be used as a synthetic material with calcium carbonate deposited. This study aims to synthesize PCC using carbonation method made from Buton asphalt with three different CO₂ flow rate variations and characterization using XRD, FTIR, and SEM. The research methodology was carried out quantitatively with experimental methods and quantitative/statistical data analysis, with the aim of testing and proving the established theoretical basis. The PCC synthesis process was carried out with a mixture of calcined buton asphalt (Ca(OH)₂), 2M HNO₃, and ammonia (NH₄OH) with variations in CO₂ flow rates of 1.5, 3, and 4.5 liters/minute at room temperature. The results obtained from this study indicate that PCC synthesis at a rate of 3 L/min is the best PCC because it produces the most optimal mass, the pH is in accordance with the CaCO₃ material safety data sheet, triclinic crystal structure, spherical morphology which indicates the dominant *vaterite* phase.

Keywords: asbuton waste; flow rate; *Precipitated calcium carbonate*

1. Pendahuluan

Upaya dan komitmen pemerintah Indonesia dalam mengurangi limbah di era industri seperti sekarang ini terus dilakukan. Sejalan dengan komitmen pemerintah yang mendorong ekonomi sirkular (model industri baru yang berfokus pada *reducing*, *reusing*, dan *recycling* yang mengarah pada pengurangan konsumsi sumber daya primer dan produksi limbah), maka pemanfaatan limbah yang menghasilkan suatu produk bernilai tambah akan sangat memberikan kebermanfaatan terhadap lingkungan. Limbah dry solid limbah aspal buton adalah limbah padat hasil proses pembuatan

aspal yang jumlahnya sangat melimpah di Indonesia, limbah ini mengandung banyak mineral karbonat tetapi belum dimanfaatkan. CaCO_3 adalah mineral yang sangat berguna dan dapat digunakan di banyak industri. Sumber CaCO_3 yang paling umum adalah batu kapur, batuan sedimen keras yang terdiri dari CaCO_3 dan magnesium karbonat MgCO_3 dengan berbagai tingkat pengotor. Namun, penggunaan bahan baku batu kapur serta aktivitas penambangan tidak dapat dilakukan terus menerus karena berpotensi merusak lingkungan. Oleh karena itu, dibutuhkan alternatif bahan baku yang digunakan untuk memproduksi *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) tanpa berpotensi merusak lingkungan.

Karbon dioksida (CO_2) memberikan kontribusi terbesar bagi gas rumah kaca (75%) diikuti oleh metana (CH_4), sehingga sangat berpengaruh terhadap perubahan iklim global. Salah satu upaya mengurangi konsentrasi CO_2 di atmosfer adalah mengembangkan metode yang efisien untuk menangkap dan memanfaatkan CO_2 [1,2,3]. Selain konversi kimia CO_2 mineralisasi karbon menjadi karbonat juga merupakan salah satu metode alternatif untuk pemanfaatan CO_2 [4,5]. Tak hanya mengurangi emisi, melalui penelitian yang akan dilakukan, CO_2 dan limbah padat hasil ekstraksi limbah aspal buton dimanfaatkan untuk menghasilkan produk bernilai tambah yang memiliki nilai komersial yaitu *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC).

Aspal alam yang terdapat di Pulau Buton merupakan campuran antara bitumen dan mineral. Aspal alam tersebut terbentuk akibat proses geologi dalam periode waktu yang lama dan berlangsung secara alamiah, yang disebabkan oleh minyak bumi yang terdorong muncul ke permukaan, menyusup di antara batuan yang porous. Jenis aspal alam yang terdapat di Pulau Buton ini adalah aspal batu (*rock asphalt*) yang terdapat di daerah Kabungka dan aspal lunak yang terdapat di daerah Lawele. Total deposit aspal alam Pulau Buton diperkirakan tidak kurang dari sekitar 150 hingga 300 juta ton. Laporan rinci pertama mengenai geologi Buton disusun oleh Hetzel pada tahun 1936. Deposit limbah aspal buton di Kabungka diperkirakan 60 juta ton dengan kadar mineral rata-rata 80%, sedangkan deposit limbah aspal buton di Lawele diperkirakan 62,5 juta ton dengan kadar mineral rata-rata 78%. Mineral limbah aspal buton pada umumnya terdiri dari batuan dasar batu kapur. Berdasarkan jenis mineralnya limbah aspal buton dapat dibedakan menjadi dua, yaitu mineral dari kapur globigerine (fosil binatang laut) yang memiliki karakteristik bentuk seperti batu warna hitam, pada udara dingin rapuh dan mudah pecah dan pada udara panas agak plastis sukar dipecah. Dan mineral dari kapur mergel (kapur mengandung lempung) yang berbentuk benda plastis berwarna hitam dan sifatnya plastis sukar ditambang. Jenis aspal buton yang telah diproduksi secara fabrikasi dan manual terdiri dari aspal buton butir, aspal buton pra-campur (semi ekstraksi), dan aspal buton ekstraksi penuh. Pada campuran beraspal, aspal buton dapat digunakan sebagai bahan tambah (*additive*) atau sebagai bahan substitusi aspal minyak. Mineral aspal buton pada umumnya (hampir 85%) terdiri dari batuan dasar batu kapur (*limestone*) yang berasal dari endapan binatang laut, sangat porous dan relatif ringan, sedangkan unsur yang mempengaruhi kekerasan butir mineral aspal buton adalah Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2

Di Indonesia proses pemurnian limbah aspal buton (limbah aspal buton) dikembangkan dengan menggunakan metode pelarutan dan beberapa penelitian telah mencoba berbagi macam jenis pelarut yang ekonomis untuk proses ekstraksi. Beberapa pelarut yang digunakan adalah *trichloroethylene* (TCE), *premium*, *benzene*, kerosin, *naphta*, *toluene*, spiritus, bensin, dan minyak tanah atau pelarut lainnya [8]. Hasil dari proses ekstraksi adalah kadar aspal meningkat menjadi 99% dan limbah aspal buton dapat termobilisasi. Selain menghasilkan aspal, proses ekstraksi juga menghasilkan limbah padat yang mengandung kalsium sebanyak 82%. Limbah padat limbah aspal buton yang mengandung kalsium merupakan limbah padat utama dari industri pengolahan limbah aspal buton. Ketersediaan limbah padat limbah aspal buton akan berlimpah seiring dengan peningkatan kapasitas produksi limbah aspal buton. Kandungan kalsium (Ca) yang tinggi berpotensi untuk dapat didaur ulang menjadi PCC. Namun, hingga saat ini belum ada penelitian yang mengarah ke pemanfaatan limbah padat ini.

CaCO_3 adalah mineral yang sangat serbaguna yang digunakan di banyak industri. CaCO_3 memiliki sifat fisik padat, berwarna putih, tidak berbau, memiliki titik lebur 825°C dan secara kimia CaCO_3 memiliki berat molekul 100,09 g/mol. CaCO_3 dapat dikategorikan menjadi 2 jenis yaitu *Ground Calcium Carbonate* (GCC) dan *Precipitate Calcium Carbonate* (PCC). Sumber CaCO_3 yang paling umum adalah batu kapur, batuan sedimen keras yang terutama terdiri dari CaCO_3 dan magnesium karbonat (MgCO_3) dengan berbagai tingkat pengotor. Namun, penggunaan bahan baku batu kapur serta aktivitas penambangan tidak dapat dilakukan terus menerus karena berpotensi merusak lingkungan. Oleh karena itu, dibutuhkan alternatif bahan baku yang digunakan untuk memproduksi PCC. Salah satu limbah padat yang berpotensi untuk dimanfaatkan menjadi PCC adalah limbah padat limbah aspal buton.

Precipitated Calcium Carbonate (PCC) merupakan senyawa kimia rumus CaCO_3 yang digunakan sebagai filler atau bahan pencampur pada berbagai perindustrian. Bentuk kristal PCC yang berbeda dari jenis kalsium karbonat lainnya menjadikan sifat fisik pada PCC juga berbeda, seperti densitas, luas permukaan, dan kemampuan absorpsinya. Berbeda dengan jenis kalsium karbonat lainnya, PCC memiliki harga yang lebih tinggi dikarenakan tingkat kemurnian yang tinggi dan ukuran partikel PCC yang kecil (skala mikro) dan sangat halus. Dengan keistimewaan karakteristik yang dimilikinya, pemakaian PCC dalam industri menjadi semakin luas. PCC banyak digunakan sebagai bahan pengisi (filler) di industri-industri kimia seperti, industri kertas, cat, PVC, ban, farmasi, dan juga pasta gigi [6]. PCC mempunyai tiga jenis fasa kristal yaitu *calcite*, *vaterite*, dan *aragonite*. Terbentuknya macam – macam bentuk kristal ini dipengaruhi oleh temperatur, PH larutan, derajat saturasi, kecepatan aliran CO_2 bila menggunakan metode karbonasi, serta adanya bahan aditif. Setiap fasa membutuhkan kondisi lingkungan dan energi penyusun yang berbeda. Pada rentang temperatur 10°C hingga 40°C , fasa yang terbentuk berupa *calcite* dan *vaterite*. Pada rentang temperatur 60°C - 80°C dihasilkan *aragonite*

dan *calcite*. Sementara ketiga fasa kristal muncul di antara kedua rentang ini. Jadi, fasa *vaterite* hanya terbentuk pada rentang temperatur tertentu dan mencapai fraksi optimum pada temperatur 35°C [7].

Dengan memperhatikan bahan baku yang melimpah dari limbah padat limbah aspal buton, pada penelitian ini asbuton dimanfaatkan sebagai bahan baku *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) dengan melakukan proses ekstraksi kalsium dari limbah padat limbah aspal buton untuk mendapat senyawa CaCO_3 , yang dimana dilakukan sintesis dengan 3 variasi pada proses ekstraksi yaitu variasi pada laju aliran CO_2 (*flow rate CO₂*) yang dipakai pada saat proses karbonasi, dimana dilakukan pada laju 1,5 liter/menit, 3 liter/menit, dan 4,5 liter/menit. Oleh karena itu, diharapkan pada penelitian ini dapat menghasilkan PCC yang bagus, mendapatkan sumber CaCO_3 alternatif selain batu kapur, sekaligus dapat memanfaatkan limbah CO_2 dan limbah aspal buton. Penelitian material biodegradable sudah pernah dilakukan sebelumnya [9,10,11].

2. Bahan dan Metode Penelitian

Bahan yang digunakan adalah limbah asbuton, HNO_3 2M, *aquades*, dan NH_4OH . Metode penelitian yang digunakan adalah melakukan percobaan sebanyak empat proses. Proses pertama melakukan reduksi ukuran limbah asbuton. Proses kedua melakukan kalsinasi terhadap limbah asbuton. Proses ketiga melakukan sintesis *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) dari bahan limbah asbuton dengan parameter 3 variasi laju aliran CO_2 . Hasil produk yang berupa serbuk limbah asbuton, serbuk limbah asbuton yang terkalsinasi, dan serbuk PCC yang kemudian dikarakterisasi dengan metode *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electrone Microscopy* (SEM).

2.1 Proses Kalsinasi Limbah Asbuton

Tahap pertama melakukan reduksi ukuran limbah asbuton dengan cara disaring menggunakan *mesh* 100. Lalu 500 gram serbuk limbah asbuton dikalsinasi dengan menggunakan *furnace chamber thermolyne* F6010 pada suhu 900 °C selama 5 jam untuk menghilangkan zat pengotor yang terkandung dalam serbuk limbah asbuton, yang kemudian akan menghasilkan limbah asbuton terkalsinasi (Ca(OH)_2).

2.2 Proses Sintesis *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) dengan Metode Karbonasi

Tahapan sintesis *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) dilakukan dengan mencampurkan 17 gram serbuk limbah asbuton terkalsinasi (Ca(OH)_2) dan 300 ml HNO_3 2M lalu diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 1200 rpm selama 30 menit dengan suhu 60°C. Tahapan selanjutnya yaitu menambahkan larutan NH_4OH sampai pH larutan menjadi 12, kemudian larutan disaring dengan menggunakan kertas *whattman* 42 dengan alat *vaccum compressor* dan diambil larutan yang tersaring. Kemudian larutan dialiri CO_2 dengan 3 variasi laju aliran, 1.5, 3, dan 4.5 L/menit selama 2 jam. Larutan akan menghasilkan endapan putih susu yang kemudian disaring menggunakan *vaccum compressor* sambil dicuci dengan *aquades* sampai pH menjadi 8-9 dan dioven dengan suhu 110°C selama 2 jam. Pada proses tahapan sintesis dilakukan perhitungan pH pada saat proses karbonasi berlangsung dimana pH dicek secara berulang saat proses berjalan setiap 30 menit.

2.3 Karakterisasi *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC)

Serbuk PCC yang dihasilkan dilakukan perhitungan *mass loss* dan juga pH yang dihasilkan selama proses sintesis berlangsung. Serbuk PCC kemudian dikarakterisasi menggunakan metode XRD dan SEM. Pengujian XRD yang dipakai menggunakan difraktometer *PANalytical Empyrean* dengan jenis *software PANalytical X'Pert High ScorePlus Version 3.0e*. dengan radiasi $\text{Cu K}\alpha$, 1.54 Å; 40 kV dan 40 mA. Jumlah sampel yang diuji pada karakterisasi XRD sebanyak 1 gram, kemudian dimasukkan kedalam *holder* yang berukuran (2x2) cm^2 pada difraktometer. Sudut awal diambil pada 10,01° dan sudut akhir pada 79,99° dengan kecepatan baca 2° per menit. Pengujian SEM menggunakan JEOL JSM – 6510LA dengan jangkauan energi 0 – 5 kV. Pengujian XRD dan SEM dilakukan di Laboratorium UPT Terpadu Universitas Diponegoro.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil sintesis PCC ini didapatkan data perolehan massa dan pH masing-masing variasi yang kemudian dilakukan pengujian XRD dan SEM. Hasil dari sintesis PCC limbah asbuton ini menghasilkan PCC dengan pH larutan yang ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil pH *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) limbah asbuton ketiga variasi.

Laju Aliran	pH PCC
1.5	8.81
3	8.63
4.5	8.32

Hasil penelitian ini sesuai dengan standar pH CaCO_3 pada *material safety data sheet* (MSDS) CaCO_3 bahwa pH CaCO_3 adalah 8-9. Hal ini memberikan informasi bahwa pada kondisi pH 8-9 seluruh Ca(OH)_2 telah terkonversi sempurna

menjadi PCC. Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa laju aliran CO₂ mempengaruhi pH pada PCC limbah limbah aspal buton, semakin tinggi laju aliran CO₂ menghasilkan PCC dengan pH yang lebih rendah, namun dari ketiga variasi didapatkan hasil yang sesuai dengan standar pH PCC.

Selanjutnya dilakukan pengukuran massa yang didapatkan pada proses sintesis *precipitated calcium carbonate* yang dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan massa *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) limbah asbuton ketiga variasi.

Laju Aliran	Massa PCC
1.5	13.46
3	15.41
4.5	15.91

Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa semakin tinggi laju aliran CO₂ akan dihasilkan serbuk PCC yang lebih banyak, kenaikan yang terjadi pada variasi 2 sebanyak 1.95 gram atau sebanyak 14.48%, sedangkan pada variasi 3 terjadi kenaikan sebanyak 0.5 gram atau sebanyak 3.24%. Hal ini berarti bahwa peningkatan laju aliran gas CO₂ dari 3 ke 4.5 liter/menit kemungkinan telah mendekati titik reaksi maksimalnya, sehingga peningkatan laju alir gas yang diberikan tidak mempunyai dampak signifikan [12].

Hal ini selaras dengan penelitian pada jurnal acuan [13], pada penelitiannya didapatkan data bahwa pada laju gas CO₂ dari 1 ke 2 L/menit terjadi peningkatan produk PCC yang cukup baik yaitu 4.35 gram atau 8.53%. Tetapi sebaliknya, produk PCC yang diperoleh pada laju 2 ke 3 L/min hanya meningkat 0.36 gram atau 0.63%. Peningkatan laju alir gas CO₂ berdampak positif pada peningkatan produk PCC yang dihasilkan [13]. Perbandingan massa pcc yang dihasilkan pada serbuk PCC limbah aspal buton dengan jurnal acuan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Massa PCC pada Serbuk PCC Limbah aspal buton dengan Jurnal Acuan [13]

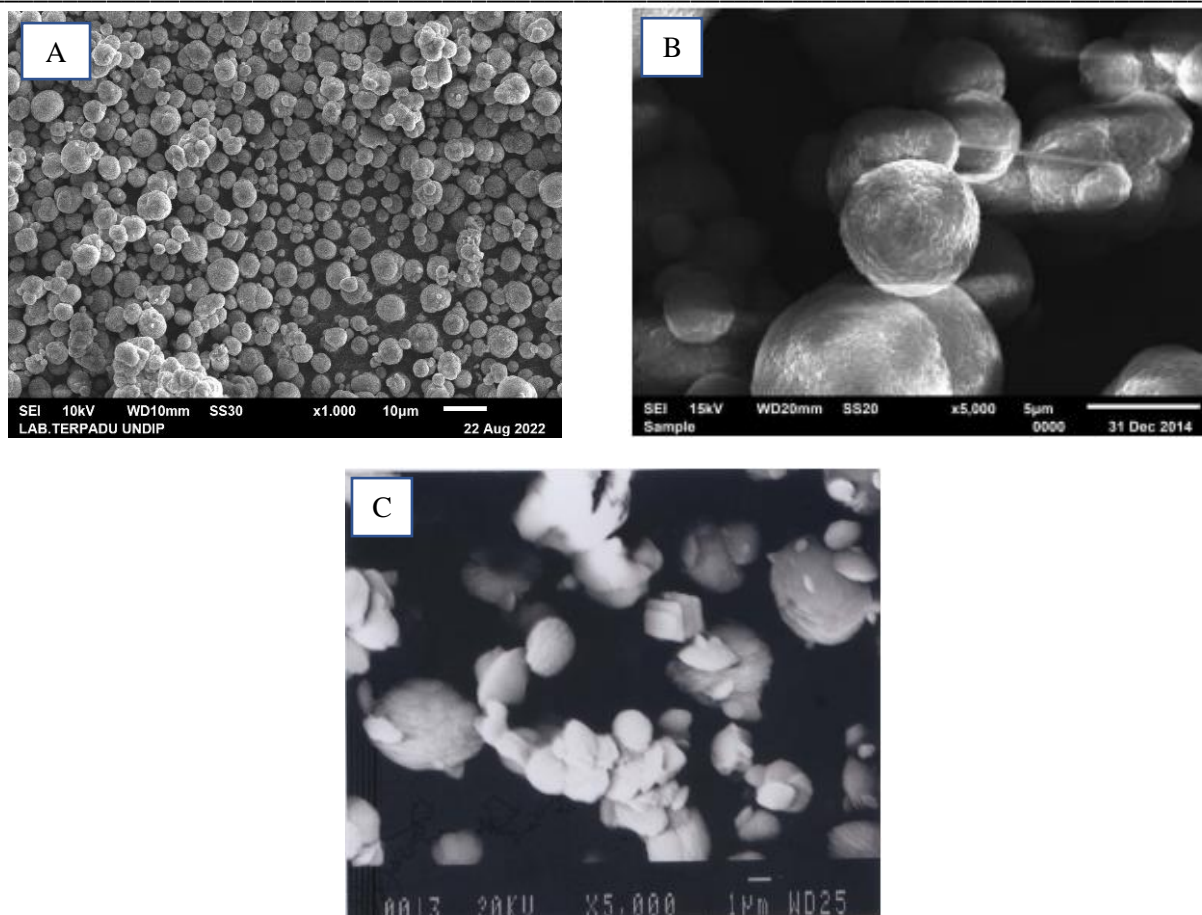
Variasi	Massa PCC	
	Jurnal Acuan [9]	Data Penelitian
1	7.40 gram	13.46 gram
2	11.75 gram	15.41 gram
3	12.11 gram	15.91 gram

Hasil pengujian XRD *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) berbahan dasar limbah asbuton menunjukkan hasil parameter *lattice* dari sintesis PCC 3 variasi laju aliran menunjukkan struktur triklinik. Parameter *lattice* dari sintesis PCC 3 variasi laju aliran ini sesuai dengan data dari jurnal acuan. Sehingga berikut dibawah ini merupakan hasil parameter *lattice* struktur kristal dari *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) berbahan dasar limbah asbuton yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter *lattice* struktur kristal dari *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) berbahan dasar limbah asbuton yang dihasilkan melalui analisis *rietveld*

Jenis Sampel	a (Å)	b (Å)	c (Å)	α°	β°	γ°
PCC [11]	7.10	7.05	25.32	82.05	82.05	60.66
PCC 1.5 L/min	7.16	7.13	25.76	81.77	81.76	60.10
PCC 3 L/min	7.17	7.14	25.76	81.76	81.75	60.07
PCC 4.5 L/min	7.17	7.16	25.79	81.74	81.73	60.02

Pada PCC 1.5 l/min memiliki parameter dari $a = 7.16 \text{ \AA}$, $b = 7.13 \text{ \AA}$, $c = 25.76 \text{ \AA}$, $\alpha = 81.77^{\circ}$, $\beta = 81.76^{\circ}$, dan $\gamma = 60.1^{\circ}$. Sedangkan pada PCC 3 l/min memiliki parameter dari $a = 7.17 \text{ \AA}$, $b = 7.14 \text{ \AA}$, $c = 25.76 \text{ \AA}$, $\alpha = 81.76^{\circ}$, $\beta = 81.75^{\circ}$, dan $\gamma = 60.07^{\circ}$. Lalu pada PCC 4.5 l/min memiliki parameter dari $a = 7.17 \text{ \AA}$, $b = 7.16 \text{ \AA}$, $c = 25.79 \text{ \AA}$, $\alpha = 81.74^{\circ}$, $\beta = 81.73^{\circ}$, dan $\gamma = 60.02^{\circ}$. Dapat dilihat pada PCC limbah aspal buton pada laju aliran 1.5, 3, dan 4.5 l/min memiliki nilai bilangan *axial relationships* tidak memiliki nilai yang sama ($a \neq b \neq c$) dan pada nilai bilangan *interangular angles* tidak memiliki nilai yang sama juga ($\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^{\circ}$). Oleh karena itu, serbuk PCC dari ketiga variasi merupakan material yang memiliki struktur triklinik, karena struktur triklinik memiliki karakteristik pada *axial relationship* dengan nilai yang tidak sama ($a \neq b \neq c$) dan pada *interangular angles* dengan nilai yang tidak sama ($\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^{\circ}$) [15].



Gambar 1. Morfologi hasil uji SEM *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) sintesis: (a) 4.5 L/min, (b) hasil PCC kulit Kerrang darah [13] dan (c) hasil PCC batu kapur [14]

Selanjutnya adalah hasil pengujian SEM dari sintesis *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) berbahan dasar limbah asbuton dengan 3 variasi laju aliran. Gambar 1 diatas ini merupakan hasil morfologi dari *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) berbahan dasar limbah asbuton beserta hasil SEM jurnal acuan. Pada Gambar 1. (a) dapat dilihat bahwa secara keseluruhan morfologi PCC hasil sintesis memiliki bentuk bulat dan mengalami *aglomerasi* yang menandakan fasa dominan *vaterite*. Apabila dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya, memperlihatkan hasil morfologi *scanning electron microscope* (SEM) yang sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini [16]. Lalu dapat dilihat juga perbandingan dengan hasil uji SEM batu kapur dimana pada hasil pengujian terlihat bahwa kristal bulat yang terbentuk terdapat banyak pengotor berupa kalsit dimana hal ini menandakan bahwa hasil PCC belum sepenuhnya menjadi *vaterite* yang berbeda dengan penelitian yang dihasilkan pada tugas akhir ini [17].

4. Kesimpulan

Berdasarkan pada penelitian “Sintesis dan Karakterisasi *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) Berbahan Limbah Asbuton”, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Sintesis *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) dengan bahan baku limbah asbuton ini secara keseluruhan berhasil dilakukan dan menghasilkan *precipitated calcium carbonate* dengan fasa dominan *vaterite* dengan kemurnian tinggi dan pH yang sesuai dengan *material data sheet* CaCO_3 .
2. Penelitian ini membuktikan bahwa 3 variasi laju aliran CO_2 menghasilkan *precipitated calcium carbonate* dengan struktur kristal triklinik dengan fasa dominan *vaterite* dan telah sesuai dengan jurnal acuan, serta didapatkan bahwa laju aliran CO_2 yang paling optimal adalah 3 L/menit.

5. Daftar Pustaka

- [1] Cui, G., Wang, J., dan Zhang, S. (2016): Active chemisorption sites in functionalized ionic liquids for carbon capture, *Chem. Soc. Rev.*, 45(15), 4307–4339. <https://doi.org/10.1039/C5CS00462D>

- [2] Huang, Y., Cui, G., Wang, H., Li, Z., dan Wang, J. (2018): Tuning ionic liquids with imide-based anions for highly efficient CO₂ capture through enhanced cooperations, *Journal of CO₂ Utilization*, 28, 299–305. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2018.10.013>
- [3] Jahandar Lashaki, M., Khiavi, S., dan Sayari, A. (2019): Stability of aminefunctionalized CO₂ adsorbents: a multifaceted puzzle, *Chem. Soc. Rev.*, 48(12), 3320–3405. <https://doi.org/10.1039/C8CS00877A>
- [4] Liu, M., dan Gadikota, G. (2020): Single-step, low temperature and integrated CO₂ capture and conversion using sodium glycinate to produce calcium carbonate, *Fuel*, 275, 117887. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117887>
- [5] Ozekmekci, M., dan Copur, M. (2020): Synthesis of CaCO₃ and trimethyl borate by reaction of ulexite and methanol in the presence of CO₂, *Journal of CO₂ Utilization*, 42, 101321. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2020.101321>
- [6] Purba, P. D. (2015). *Sintesa Precipitated Calcium Carbonate (PCC) dari Cangkang Kerang Darah (Anadara granosa) Dengan Variasi Suhu Kalsinasi dan Variasi Rasio CaO/HNO₃* (Doctoral dissertation, Riau University).
- [7] Waltham, Tony. 2002. "Foundation of Engineering Geology". SPON PRESS: London and New York.
- [8] Suaryana, N., Susanto, I., Ronny, Y., Sembayang, I., R. (2018). Evaluasi Kinerja Campuran Beraspal dengan Bitumen Hasil ekstraksi Penuh dari Limbah aspal buton. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 24(1), 62-70
- [9] Rahman A, Nurhidayat S, Bayuseno AP, Ismail R, Taqriban RB. Review of the temperature and holding time effects on hydroxyapatite fabrication from the natural sources. *Journal of Biomedical Science and Bioengineering* [Internet]. 2021 Apr 17 [cited 2023 Jan 23];1(1):27–31. Available from: <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/jbiomes/article/view/10669>
- [10] Prasetya AY, Darmanto D, Dzulfikar M. The Effect of Plasma Nitridation on Surface Hardness of Titanium Alloy (Ti-6Al-4V) for Artificial Knee Joint Applications. *Journal of Biomedical Science and Bioengineering* [Internet]. 2022 Jan 3 [cited 2023 Jan 23];1(2):49–53. Available from: <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/jbiomes/article/view/12666>
- [11] M. Ibadi, Y. Whulanza, and H. Purnomo, "Experimental and Numerical Evaluation of Mechanical Properties for Carbon Fiber Reinforced Epoxy LY5052 Composite for Prosthesis Structures," *Journal of Biomedical Science and Bioengineering*, vol. 2, no. 1, Nov. 2022. <https://doi.org/10.14710/jbiomes.2022.v2i1.%p>
- [12] Munawaroh, F., Muharrami, L. K., & Arifin, Z. (2019). Synthesis and Characterization of Precipitated CaCO₃ from Ankerite Prepared by Bubbling Method. *KnE Engineering*, 98-104.
- [13] Nuryoto, N., Mas'ulunniah, N., Choerunnisa, A. S., & Suripno, S. (2021). PEMANFAATAN KARBON DIOKSIDA UNTUK SINTESIS *PRECIPITATED CALCIUM CARBONATE* (PCC) DENGAN METODE KARBONASI. *JURNAL INTEGRASI PROSES*, 10(2), 90-95.
- [14] Mugnaioli, E., Andrusenko, I., Sch'uler, T., Loges, N., Panth'ofer, M., Dinnebier, R. E., Tremel, W., Kolb, U., *Angewandte Chemie International Edition*, 51, 7041 - 7045, (2012)
- [15] Callister, W.D., Rethwisch, D.G., 2009. "Materials Science And Engineering An Introduction,": 8th Edition, New Jersey : John Wiley & Sons, Inc, Hoboken.
- [16] Affandi, A., Amri, A., & Zultiniar, Z. (2015). *Sintesis Hidroksiapatit Dari Cangkang Kerang Darah (Anadara granosa) dengan Proses Hidrotermal Variasi Rasio Mol Ca/P dan Suhu Sintesis* (Doctoral dissertation, Riau University).
- [17] Jamarun, N., & Arief, S. (2007). Pembuatan Precipitated Calcium Carbonate (PCC) dari batu kapur dengan metoda kaustik soda. *Jurnal Riset Kimia*, 1(1), 20-20.