

PENGARUH PENGGUNAAN NANO PRECIPITATED CALCIUM CARBONATE (NPCC) HASIL EKSTRAKSI ASPAL BUTON MELALUI METODE SINTESIS HYDROTHERMAL SEBAGAI FILLER KOMPOSIT POLIVINIL KLORIDA (PVC)

*Muhammad Rohmatullah¹, 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: muhammadrohmatullah029@gmail.com

Abstrak

Aspal Buton merupakan aspal alami yang ditemukan dalam deposit batuan di pulau Buton dan sekitarnya. Limbah padat dari aspal Buton memiliki kandungan mineral karbonat yang bermanfaat, namun belum sepenuhnya dimanfaatkan dengan optimal. Namun, limbah tersebut dapat dijadikan bahan baku alternatif untuk menciptakan *nano precipitated calcium carbonate* (NPCC) melalui proses sintesis hidrotermal. NPCC tersebut juga biasa digunakan sebagai bahan pencampur atau filler dalam berbagai industri. Pemanfaatan sebagai *filler* tersebut dapat diaplikasikan pada polimer polivinil klorida. Polivinil klorida (PVC) merupakan salah satu polimer yang populer digunakan sebagai bahan konstruksi, elektronik dan lain-lain. Oleh sebab itu, penelitian ini memanfaatkan limbah asbuton yang digunakan sebagai bahan baku untuk menghasilkan NPCC. NPCC yang dihasilkan kemudian dijadikan *filler* dalam proses pembuatan komposit PVC. Komposit PVC dikarakterisasi dengan pengujian XRD, SEM, FTIR, pengujian densitas dan pengujian *bending* sehingga diketahuinya nilai indeks kristalinitas, ukuran kristal, morfologi serta *mechanical properties* dari komposit PVC yang dihasilkan. Proses pembuatan komposit PVC diawali dengan proses sintesis NPCC yang dilakukan dengan pencampuran larutan CH_3COOH menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu 60°C dengan kecepatan 1200 rpm dalam waktu 30 menit. Hasil larutan NPCC 30 ml ditambahkan *ammonium bicarbonate* 4,74 gr disintesis secara hidrotermal menggunakan *autoclave* di *furnace chamber* dengan suhu 160°C selama 24 jam. Hasil analisis NPCC menunjukkan bahwa kristalinitas didominasi oleh morfologi vaterit, kalsit and aragonit. Ukuran kristal terbesar yang terdeteksi adalah sebesar 30.6 nm. Sementara itu, hasil karakterisasi komposit PVC menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan NPCC dalam komposisi, densitasnya juga semakin meningkat. Nilai kekuatan lentur dan modulus lentur terbesar terjadi pada komposit PVC dengan formulasi NPCC sebanyak 20 phr mencapai 4.75 Mpa dan 153.86 Mpa.

Kata kunci: aspal buton; hidrotermal; komposit polivinil klorida (pvc); *nano precipitated calcium carbonate* (npcc)

Abstract

Buton asphalt is a natural asphalt found in rock deposits on the island of Buton and its surroundings. Solid waste from Buton asphalt contains beneficial carbonate minerals, but has not been fully utilized optimally. However, this waste can be used as an alternative raw material to create nano precipitated calcium carbonate (NPCC) through a hydrothermal synthesis process. NPCC is commonly used as a mixing material or filler in various industries. Utilization as a filler can be applied to polyvinyl chloride (PVC) polymers. Polyvinyl chloride (PVC) is one of the polymers commonly used in construction, electronics, and other industries. Therefore, this research utilizes waste from Buton asphalt as a raw material to produce NPCC. The resulting NPCC is then used as a filler in the process of making PVC composites. PVC composites are characterized by XRD, SEM, FTIR testing, density testing, and bending testing to determine the crystallinity index, crystal size, morphology, and mechanical properties of the resulting PVC composites. The process of making PVC composites begins with the synthesis of NPCC by mixing CH_3COOH solution using magnetic stirrer at 60°C with a speed of 1200 rpm for 30 minutes. The resulting NPCC solution of 30 ml is then added with 4.74 gr of ammonium bicarbonate and synthesized hydrothermally using an autoclave in a furnace chamber at a temperature of 160°C for 24 hours. Analysis of NPCC shows that crystallinity is dominated by vaterite, calcite and aragonit. The largest crystal size detected is 30.6 nm. Meanwhile, the characterization results of PVC composites show that the higher the NPCC content in the composition, the higher the density. The greatest flexural strength and flexural modulus values occurred in PVC composites with an NPCC formulation of 20 phr reaching 4.75 Mpa and 153.86 Mpa.

Keywords: buton asphalt; composite polyvinyl chloride (pvc); hydrothermal; *nano precipitated calcium carbonate* (npcc)

1. Pendahuluan

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 [10]. 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 [2]. Dalam pembuatan komposit seperti komposit PVC ini agar mendapatkan sifat mekanik yang diinginkan diperlukan penambahan bahan aditif seperti *filler* atau pengisi. Salah satu *filler* yang dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja PVC ini adalah *nano precipitated calcium carbonate* (NPCC), yang dapat memberikan kekuatan tambahan terutama ketika ukuran partikelnya lebih kecil dalam skala nano [7].

Penggunaan *nano precipitated calcium carbonate* (NPCC) sebagai *filler* untuk komposit dengan matriks polimer akan mendapatkan banyak manfaat, termasuk juga harga yang murah, tidak berwarna dan tidak berasa. *Filler* berukuran nano dapat membantu meningkatkan kekuatan impak termoplastik PVC pada komposisi *filler* yang lebih rendah, sehingga dapat menurunkan biaya formulasi [3]. *Filler* atau penguat berukuran nano sebagai aditif dalam termoplastik memungkinkan komposisi *filler* yang lebih sedikit untuk mencapai sifat yang diinginkan dibandingkan dengan aditif penguat yang digunakan oleh industri. Berbeda dengan aditif berukuran mikron yang mempunyai efek merugikan pada kekuatan impak polimer, *nano precipitated calcium carbonate* (NPCC) secara khusus disiapkan untuk alternatif sebagai aditif penguat dalam termoplastik seperti PVC. Penelitian ini akan mensintesis limbah asbuton yang dapat diubah menjadi *nano precipitated calcium carbonate* (NPCC), dengan metode karbonasi tidak langsung berupa *hydrothermal synthesis* untuk memperoleh ukuran partikel nano dimana memanfaatkan amonium bikarbonat (NH_4HCO_3) sebagai sumber CO_2 [4].

Limbah padat aspal buton yang melimpah di Indonesia mengandung mineral karbonat yang berguna, tetapi belum dimanfaatkan secara optimal. Mineral karbonat, khususnya CaCO_3 , biasanya didapatkan dari batu kapur, yang merupakan batuan sedimen keras yang mungkin mengandung berbagai tingkat pengotor [6]. Akan tetapi, penggunaan bahan baku batu kapur dan aktivitas penambangan berpotensi merusak lingkungan. Untuk itu, digunakannya limbah aspal buton ini sebagai bahan baku alternatif untuk memproduksi *Nano Precipitated Calcium Carbonate* (NPCC) tanpa berpotensi merusak lingkungan. Senyawa kimia dengan rumus CaCO_3 tersebut juga biasa digunakan sebagai bahan pencampur atau filler dalam berbagai industri. Beberapa penelitian telah berhasil menciptakan NPCC dengan cara menambahkan zat aditif agar dapat meningkatkan kelarutan CaO di dalam air [1].

Berdasarkan paragraph diatas, penelitian ini menggunakan bahan baku limbah asbuton yang akan digunakan dalam produksi *Nano Precipitated Calcium Carbonate* (NPCC) yang selanjutnya NPCC tersebut akan dijadikan filler dalam proses pembuatan komposit polivinil klorida atau *polyvinyl chloride* (PVC).

2. Bahan dan Metode Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi limbah aspal buton, CH_3COOH , NH_4OH , aquades, polivinil klorida (PVC), *dioctyl phthalate* (DOP), kalsium stearat, dan asam stearat. Metode yang digunakan dalam penelitian ini merupakan eksperimen dalam laboratorium yang meliputi lima proses. Proses pertama melakukan reduksi ukuran aspal buton menggunakan mesh. Kemudian, proses kedua melakukan kalsinasi aspal buton yang sudah menjadi bubuk. Lalu, Proses ketiga melakukan pembuatan *nano precipitated calcium carbonate* (NPCC). Selanjutnya, Proses ke empat yaitu pencampuran bahan-bahan komposit PVC dan terakhir pembuatan komposit PVC. Dimana penelitian ini berfokus pada variasi jumlah NPCC yang dicampurkan pada pembuatan komposit PVC. Hasil produk berupa serbuk aspal buton, serbuk NPCC, dan komposit PVC. Kemudian, komposit PVC dikarakterisasi dengan cara pengujian SEM, *X-Ray Diffractometer* (XRD), FTIR, pengujian densitas dan pengujian *bending*.

2.1 Proses pembuatan nano precipitated calcium carbonate (NPCC)

Pembuatan NPCC dimulai dengan mencampurkan 17 gram serbuk asbuton yang telah terkalsinasi sebanyak 500 gram dan dipanaskan pada suhu 900°C selama 5 jam CH_3COOH 2M sebanyak 250 ml yang kemudian diaduk menggunakan magnetic stirrer dengan temperatur 60°C kecepatan 1200 rpm selama 30 menit. Setelah itu, campuran tersebut ditambahkan NH_4OH hingga pH larutan mencapai 12. Setelah pH mencapai 12. Setelah itu, larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ hasil pencampuran di sebanyak 30 ml ditambahkan 4.74 NH_4HCO_3 disintesis secara hidrotermal dalam *autoclave*. Hasil sintesis campuran tersebut disaring menggunakan kertas saring *whatman* No.42 dengan alat *vacuum filtration*. Lalu, hasil endapan yang didapat tersebut dikeringkan selama 2 jam dengan suhu 110°C sehingga pada akhirnya menghasilkan *nano precipitated calcium carbonate* (NPCC).

2.2 Proses pembuatan komposit polivinil klorida (PVC)

Pembuatan PVC dimulai dengan menyiapkan bahan-bahan seperti dengan komposisi yang sudah ditentukan yaitu resin PVC 100 phr, DOP sebanyak 30 phr, kalsium stearat sebanyak 3.5 phr, asam stearat sebanyak 0.3 phr dan NPCC sesuai salah satu variasi 0 phr, 5 phr, 10 phr, 15 phr, 20 phr dengan konsentrasi resin PVC 10 gr sehingga bahan yang digunakan DOP, kalsium stearat, asam stearat, dan NPCC berturut-turut 0 gram, 1.5 gram, 3 gram, 4.5 gram, dan 6 gram. Selanjutnya, melakukan *pre-heating* gelas beaker sebagai gelas reaksi di dalam gelas beaker yang diisi *aquades* hingga mencapai suhu 100°C menggunakan *magnetic stirrer*. Kemudian, masukkan semua bahan ke dalam gelas reaksi

dan campur selama 10 menit hingga campuran menjadi rata dan homogen yang dapat disebut *compound*. Lalu, masukkan *compound* tersebut ke dalam cetakan yang sebelumnya telah dipanaskan dengan suhu 280°C selama 30 menit. Kemudian, tekan cetakan menggunakan alat tekanan hidrolik sehingga terbentuknya komposit PVC. Pembuatan diulangi untuk tiap komposisi variasi NPCC yang berbeda.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada pembahasan kali ini telah dilakukan pembuatan komposit PVC menggunakan *filler nano precipitated calcium carbonate* (NPCC) berbahan dasar aspal buton. Variabel yang diteliti berupa karakteristik komposit PVC berdasarkan beberapa variasi banyaknya penggunaan dari NPCC (0 phr, 5 phr, 10 phr, 15 phr, dan 20 phr). Kemudian, dikarakterisasi dengan metode *X-Ray Diffraction* (XRD), *FTIR*, *Scanning Electron Microscope* (SEM), *Uji Three Point Bending*, dan Uji Densitas.

3.1 Karakterisasi Nano Precipitated Calcium Carbonate (NPCC) dengan XRD

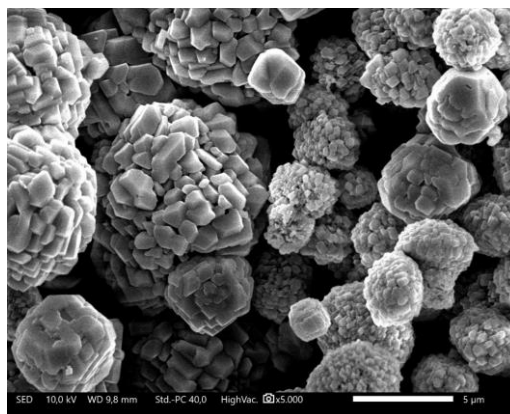
Pengujian XRD dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh informasi mengenai ukuran kristal, persentase kristalinitas, dan struktur morfologi kristal NPCC [11]. Data hasil pengujian XRD dianalisis menggunakan perangkat lunak Highscore plus untuk menentukan persentase kristalinitas dan komposisi mineral melalui analisis *Rietveld*, serta pembuatan grafik menggunakan OriginLab. Berdasarkan hasil analisis *Rietveld*, NPCC didominasi oleh puncak-puncak yang mengandung polimorf vaterit, diikuti oleh polimorf kalsit, dan terdapat sedikit polimorf aragonit pada puncak-puncak lainnya.

3.2 Karakterisasi Nano Precipitated Calcium Carbonate (NPCC) dengan FTIR

Hasil pengujian FTIR menunjukkan bahwa tidak adanya puncak getaran pada gugus O-H mengindikasikan bahwa NPCC telah dikeringkan dengan baik, sehingga tidak mengandung air (H₂O) atau sisa kalsium hidroksida (Ca(OH)₂) [8]. Analisis lebih lanjut mengungkapkan adanya puncak getaran pada wavenumber 712,91 cm⁻¹ (ν_2) dan 1420,38 cm⁻¹ (ν_4), yang menunjukkan keberadaan polimorf kalsit. Selain itu, puncak getaran pada wavenumber 874,74 cm⁻¹ (ν_2) menunjukkan keberadaan polimorf vaterit. Temuan ini menegaskan bahwa NPCC yang dihasilkan memiliki struktur kristal yang terdiri dari kalsit dan vaterit, yang merupakan indikasi keberhasilan proses sintesis hidrotermal dan pengeringan yang dilakukan.

3.3 Karakterisasi Nano Precipitated Calcium Carbonate (NPCC) dengan SEM

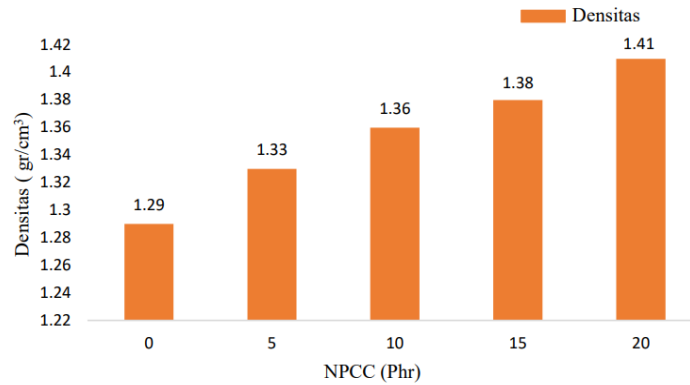
Tujuan dari karakterisasi SEM pada sampel NPCC adalah untuk mengidentifikasi bentuk morfologi dan polimorf yang terbentuk pada NPCC. Menurut Jamarun dkk (2015), polimorf NPCC memiliki variasi bentuk yang meliputi kristal kalsit yang berbentuk *rhombohedral*, kubus, *scalenohedral*, dan prisma [13]. Polimorf vaterit, di sisi lain, cenderung memiliki bentuk kristal bulat, sementara polimorf aragonit dapat terlihat dalam bentuk *cluster* atau seperti jamur [14]. Morfologi NPCC limbah ekstraksi asbuton temperatur 160°C dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Morfologi NPCC limbah ekstraksi asbuton temperatur 160°C dengan perbesaran 5000x

3.4 Karakterisasi Komposit PVC dengan Pengujian Densitas

Pengujian densitas pada komposit PVC bertujuan untuk menentukan massa jenis atau kerapatan bahan [12]. Dalam konteks penelitian ini, pengujian densitas dimaksudkan untuk memahami bagaimana variasi filler NPCC mempengaruhi kerapatan komposit PVC yang dihasilkan. Data hasil pengukuran densitas dapat disajikan melalui Gambar 2.

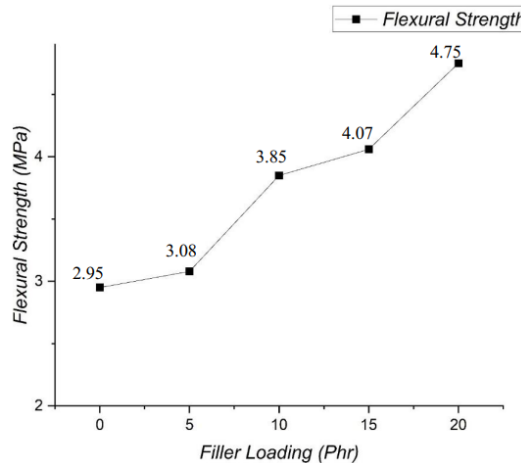


Gambar 2. Nilai densitas pada setiap variasi NPCC terhadap komposit PVC.

Dari analisis data yang tercantum dalam Gambar 3.5, dapat disimpulkan bahwa terdapat keterkaitan positif antara kandungan NPCC dalam komposit PVC dengan nilai densitasnya. Artinya, semakin tinggi kandungan NPCC dalam komposit PVC, semakin tinggi pula nilai densitasnya. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Nurhajati dan Brotoningsih (2012), yang juga mengamati peningkatan nilai densitas pada komposit PVC seiring dengan penambahan NPCC [5]. Dalam penelitian tersebut, nilai densitas komposit PVC meningkat dari 1.29 gram/cm³ menjadi 1.41 gram/cm³ seiring dengan penambahan NPCC dalam variasi formulasi. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan kandungan NPCC berpengaruh terhadap kerapatan komposit PVC, di mana semakin tinggi kandungan NPCC, semakin tinggi pula nilai densitasnya. Temuan ini memperkuat kesimpulan bahwa komposisi NPCC dalam formulasi komposit PVC menjadi faktor pembeda dalam menentukan nilai densitas komposit tersebut.

3.5 Karakterisasi Komposit PVC dengan Pengujian Three Point Bending

Tujuan dari pengujian *three point bending* adalah untuk menilai kekuatan lentur dari komposit PVC. Pengujian ini berperan penting dalam mengungkap pengaruh variasi kandungan *filler* NPCC terhadap kekuatan lentur komposit PVC yang dihasilkan. Data yang dihasilkan dari pengujian *three point bending* memberikan gambaran tentang bagaimana penambahan NPCC mempengaruhi sifat mekanik komposit PVC. Hasil pengujian ini tersaji dalam Gambar 3.



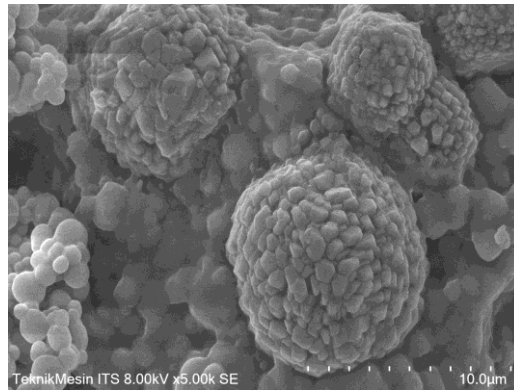
Gambar 3. Nilai *flexural strenght* pada variasi NPCC terhadap komposit PVC

Dari Gambar 3.5, dapat disimpulkan bahwa kekuatan lentur komposit PVC menunjukkan peningkatan seiring dengan peningkatan kandungan NPCC dari 0 phr hingga 20 phr, mencapai puncak nilai kekuatan lentur komposit PVC. Temuan ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Bakar dkk (2006), yang menunjukkan bahwa kekuatan lentur komposit PVC meningkat seiring dengan peningkatan kandungan *filler* CaCO₃, mencapai nilai maksimum saat kandungan NPCC mencapai 30%. Hal ini mungkin disebabkan oleh fenomena agregasi partikel CaCO₃[15]. Ketika aglomerat memiliki ukuran yang besar dan strukturnya tidak teratur, hal ini dapat melemahkan material dan menurunkan sifat mekaniknya. Penambahan partikel yang lebih banyak juga dapat meningkatkan kemungkinan pemecahan dan pemisahan nanopartikel yang teraglomerasi, yang pada akhirnya memengaruhi kekuatan material.

3.6 Karakterisasi Komposit PVC dengan Pengujian SEM

Pengujian SEM pada sampel patahan komposit PVC bertujuan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang morfologi patahan dalam komposit tersebut. Sebelum pengujian dilakukan, spesimen patahan komposit PVC di-

coating dengan lapisan emas untuk mempersiapkannya untuk pengujian SEM. Dalam penelitian ini, pengujian SEM dilakukan pada morfologi patahan komposit PVC. Berikut morfologi patahan komposit dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Morfologi patahan komposit PVC perbesaran 5000x

Dari hasil karakterisasi pengujian SEM pada komposit PVC, dapat disimpulkan bahwa pencampuran antara NPCC dengan matriks komposit PVC terjadi secara homogen. Tanda-tanda homogenitas ini terlihat dari kecenderungan permukaan antara partikel NPCC dan partikel matriks komposit PVC lainnya yang menunjukkan adhesi yang tinggi atau saling menempel pada antar permukaan partikel NPCC dengan matriks komposit PVC.

4. Kesimpulan

Dalam penelitian ini, telah dilakukan pembuatan komposit PVC dengan menggunakan *filler Nano Precipitated Calcium Carbonate* (NPCC) yang berasal dari bahan baku asbuton. Sintesis NPCC dari limbah aspal Buton melalui metode hidrotermal berhasil dilakukan dan diaplikasikan sebagai *filler* dalam produksi komposit PVC. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa NPCC yang terbentuk memiliki morfologi tertinggi berupa vaterit, diikuti oleh kalsit dan aragonit. Pembuatan komposit PVC dengan memanfaatkan NPCC dari limbah aspal Buton sebagai *filler* telah berhasil dilakukan. Variasi kandungan *filler* NPCC yang disintesis dari limbah aspal Buton ternyata berpengaruh terhadap karakteristik komposit PVC yang dihasilkan. Uji densitas menunjukkan adanya keterkaitan antara kandungan NPCC dalam komposit PVC dengan nilai densitasnya. Semakin tinggi kandungan NPCC, semakin tinggi pula nilai densitas komposit PVC, dengan nilai densitas tertinggi sebesar 1.41 gram/cm³ pada variasi NPCC 20 phr. Selain itu, hasil uji *three-point bending* menunjukkan peningkatan kekuatan lentur (*flexural strength*) dengan nilai tertinggi sebesar 4.75 MPa pada formulasi NPCC 20 phr. Morfologi SEM pada komposit PVC dengan *filler* NPCC memperlihatkan pencampuran yang homogen. Penelitian "Pengaruh Penggunaan *Nano Precipitated Calcium Carbonate* (NPCC) Hasil Ekstraksi Aspal Buton Melalui Metode Sintesis *Hydrothermal* Sebagai *Filler* Komposit Polivinil Klorida (PVC)" untuk melengkapi penelitian sebelumnya [16] [17] [18] [19].

5. Daftar Pustaka

- [1] Kafabihi, A., Wedyantadji, B., & Imananto, E. I. (2020). Penggunaan Aspal Buton Pada Campuran AC-WC (Asphalt Concrete - Wearing Course). *Gelagar*, 2(2), 36–44.
- [2] Saeedi, M., Ghasemi, I., & Karrabi, M. (2011). Thermal degradation of poly (vinyl chloride): effect of nanoclay and low density polyethylene content
- [3] Boyjoo, Y., Pareek, V. K., & Liu, J. (2014). Synthesis of micro and nano-sized calcium carbonate particles and their applications. *Journal of Materials Chemistry A*, 2(35), 14270–14288
- [4] 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.
- [5] Nurhajati, D. W., & Brotoningsih, S. (2012). Pengaruh Nano-Precipitated Calcium Carbonate Terhadap Kualitas Komposit Polivinil Klorida. *Journal of Industrial Research (Jurnal Riset Industri)*, 6(2), 13-20
- [6] Kollár, M., & Zsoldos, G. (2012). Investigating poly- (vinyl-chloride)-polyethylene blends by thermal methods. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 107(2), 645-650.
- [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] Al Omari, M. M. H., Rashid, I. S., Qinna, N. A., Jaber, A. M., & Badwan, A. A. (2016). Calcium Carbonate. In *Profiles of Drug Substances, Excipients and Related Methodology* (1st ed., Vol. 41).
- [9] Berzina-Cimdina, L., & Borodajenko, N. (2012). Research of Calcium Phosphates Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy. *Infrared Spectroscopy - Materials Science, Engineering and Technology*.
- [10] 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.

- [11] Svenskaya, Y. I., Fattah, H., Inozemtseva, O. A., Ivanova, A. G., Shtykov, S. N., Gorin, D. A., & Parakhonskiy, B. V. (2018). Key Parameters for Size- and Shape-Controlled Synthesis of Vaterite Particles. *Crystal Growth and Design*, 18(1), 331–337.
- [12] Abd, A. A. (2014). Studying the mechanical and electrical properties of epoxy with PVC and calcium carbonate filler. *Int. J. Eng. Technol.*, 3, 545-553.
- [13] Jamarun, N., -, Y., & Arief, S. (2015). Pembuatan Precipitated Calcium Carbonate (Pcc) Dari Batu Kapur Dengan Metoda Kaustik Soda. *Jurnal Riset Kimia*, 1(1), 20.
- [14] Lakshmi, S. V., & Pauline, S. (2013). Structural, Morpological and Optical Properties of Heterolite-Znmn 2 o 4 Nano Particle by Hydrothermal Method. India Licensed Under Creative Commons Attribution CC BY, 2013, 4. www.ijsr.net.
- [15] Bakar, A. A. & Rosli, N. N. M., 2006. Effect of Nano-Precipitated Calcium Carbonate on Mechanical Properties of PVC-U and PVC-U/Acrylic Blend. *Jurnal Teknologi*, 45(1), pp. 83-93.
- [16] Ambarita, M., Bayuseno, A. P., & Ismail, R. (2021). Pengaruh Variasi Laju Aliran CO2 Pada Sintesis Dan Karakterisasi Precipitated Calcium Carbonate (PCC) Bahan Dasar Limbah Asbuton Dengan Larutan HCL. *Jurnal Teknik Mesin*, 9(3), 349-354.
- [17] Ambarita, M., Ardiansyah, D., Schmahl, W. W., Pusparizkita, Y. M., Ismail, R., Jamari, J., & Bayuseno, A. P. (2024). Indirect mineral carbonation of natural asphalt extraction solid waste residue via pH and temperature control. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9, 100715.
- [18] Sinaga, Y. K., Bayuseno, A. P., & Ismail, R. (2023). Pembuatan Komposit Polivinil Klorida (PVC) Menggunakan Precipitated Calcium Carbonate (PCC) Limbah Padat Hasil Ekstraksi Aspal Buton Dengan Konsentrasi HNO3. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(3), 43-50.
- [19] Adam, F., Bayuseno, A. P., & Ismail, R. (2023). Pengaruh Penggunaan Precipitated Calcium Carbonate (PCC) Hasil Ekstraksi Aspal Buton Sebagai Filler Komposit Polivinil Klorida. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(3), 17-24.