

Karakteristik Komposit Hibrida Serat Basalt – Karbon Epoksi Resin pada Perendaman Air Laut

Tri Siswanto Kamid¹⁾, I.D.G Ary Subagia^{2)*}, I Ketut Gede Wirawan²⁾

¹⁾ Program Studi Magister (S2) Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana Denpasar, Bali 80362

Email: tri_siswanto@ymail.com

²⁾ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Udayana Kampus Bukit Jimbaran Badung (80362), Bali

Email: arsubmit@me.unud.ac.id, wirawan_ikg@yahoo.com

doi: <https://doi.org/10.24843/METTEK.2019.v05.i01.p08>

Abstrak

Material komposit dengan laminasi serat penguat karbon dan basalt telah diproduksi melalui proses cetakan injeksi. Tujuan penelitian adalah menganalisa laju korosi material komposit oleh air laut. Perendaman komposit hibrida untuk masing-masing variasi dilakukan pada air laut dengan durasi waktu perendaman selama 2 minggu, 4 minggu, dan 6 minggu. Hasil uji menunjukkan seluruh variasi komposit hibrida mengalami penyerapan dibuktikan dengan meningkatnya massa benda uji dari setiap durasi waktu perendaman. Peningkatan massa untuk masing-masing komposit hibrida sangat besar terjadi pada minggu ke-2 (dua) yaitu 3,9% untuk CFRP, 1,4% untuk B₂C₃B₂C₃, 1,3% untuk B₄C₆, 1,3% untuk C₂B₂C₂B₂C₂, dan 1,5% untuk BFRP. Kemudian untuk durasi perendaman selanjutnya relatif tetap (*constant*). Dari hasil tersebut disimpulkan bahwa perendaman komposit hibrida dengan serat basalt/carbon/epoxy sangat rendah dari minggu ke minggu. Analisa SEM menunjukkan pada setiap komposit hibrida teramati terjadi korosi disebabkan karena serat basalt memiliki kandungan besi (Fe), tetapi laju korosi sangat rendah (< 0,5%). Efek korosi ditunjukkan dengan adanya zona delaminasi yang dapat menurunkan kekuatan dan keuletan dari komposit hibrida.

Kata **kunci** : Komposit Hybrid, serat basalt, serat karbon, absorpsi air laut, korosi

Abstract

Composite materials with carbon fiber and basalt fiber laminates have been produced through the injection molding process. The aim is to analyze the corrosion rate of composite materials by sea water. Immersion of hybrid composites for each variation was carried out on sea water with a duration of immersion time of 2 weeks, 4 weeks and 6 weeks. The test results showed that all variations of hybrid composites experienced absorption as evidenced by the increase in the mass of the specimen from each duration of immersion time. The mass increase for each hybrid composite was very large at the second week is 3.9% for CFRP, 1.4% for B₂C₃B₂C₃, 1.3% for B₄C₆, 1.3% for C₂B₂C₂B₂C₂, and 1.5% for BFRP. Then for the duration of subsequent immersion it is relatively constant. From these results it was concluded that immersion of hybrid composites with basalt / carbon / epoxy fibers was very low from week to week. SEM analysis showed that each hybrid composite observed corrosion due to basalt fibers having iron (Fe) content, but the corrosion rate was very low (<0.5%). Corrosion effects are indicated by a delamination zone which can reduce the strength and ductile of hybrid composites.

* Penulis korespondensi,
Email : arsubmit@me.unud.ac.id

1. PENDAHULUAN

Material komposit menjadi alternatif pengganti material alami (logam dan paduannya). karena memiliki sifat mekanis yang sangat baik, tahan korosi, ringan, dan densitas rendah. Berdasarkan keunggulan tersebut, menjadikan material komposit banyak diaplikasikan pada produk teknologi seperti kendaraan bermotor, kapal laut, pesawat, peralatan olah , dan bahkan peralatan militer. Saat ini, struktur komposit berkembang dengan pesat dan yang paling optimal ditinjau dari sifat mekanis adalah komposit dengan penguat serat yang dikenal sebagai *Fiber Reinforced Polymer (FRP)* [1]. Selanjutnya, dalam usaha untuk menciptakan bahan dengan sifat baru telah dikembangkan dengan metode hibridisasi. Hibridisasi merupakan salah satu pendekatan yang paling akurat guna meningkatkan kemampuan material komposit [2,3]. Hibrida serat melalui proses laminasi yang paling banyak dilakukan karena mudah dalam proses produksi dan rendah biaya pengerjaan.

Dewasa ini, hibrida serat antara serat basalt dan serat karbon telah banyak dilakukan karena keunggulan yang dimiliki oleh masing-masing serat. Serat basalt merupakan serat yang terbentuk dari bahan organik yaitu endapan lahar yang melalui proses melting pada suhu tinggi dibentuk serat. Umumnya temperatur melt dari serta basalt adalah di atas 1200°C [4]. Serat basalt memiliki sifat sangat tahan terhadap korosi, sukar bereaksi dengan senyawa kimia, tahan terhadap penyerapan air, tensil strengthnya tinggi, dan tidak beracun sehingga dari keunggulan tersebut serat basalt dapat digunakan untuk menggantikan serat gelas.

Beberapa penelitian telah dilakukan berkaitan dengan serat *basalt* sebagai penguat pada material komposit seperti; Lapresto et.al [5] telah mempelajari karakteristik komposit dengan penguat serat *basalt*. Sedangkan untuk sifat mekanis serat *basalt* ditinjau dari ketahanan adhesi untuk matrik polypropylene dipelajari oleh Antonio Greco et.al [6]. Beberapa penelitian tentang karakteristik serat *basalt* terkait dengan penyerapan energi dari material porous dan mikrostruktur dari chopped serat *basalt* sebagai penguat beton masing-masing diteliti oleh Luo Xin et.al [7] dan Chaohua Jiang et.al [8]. Selanjutnya, penelitian tentang sifat mekanis laminasi serat basalt-epoksi terkait mikro nano partikel diteliti oleh I.D.G Ary Subagia et.al [9].

Mengamati dan menilai hasil penelitian sebelumnya, sesuatu yang menarik untuk diuji lebih lanjut terhadap material komposit hibrida mengandung laminasi serat karbon dan serat basalt adalah laju korosi karena perendaman air laut. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan laju korosi yang terjadi pada komposit hibrida terhadap air laut dalam rentang waktu 2 minggu hingga 6 minggu perendaman. Korosi yang terjadi ditentukan dari peningkatan massa benda uji selama perendaman dan diamati dengan menggunakan SEM.

2. METODE

2.1 Bahan

Bentuk laminasi dengan serat yang umum dilakukan adalah penggunaan serat basalt dan carbon. Penelitian ini menggunakan dua jenis material penguat yaitu serat *carbon* yang dianyam standar (*plain woven*) yang diproduksi oleh perusahaan Hyundai Fiber Co. Ltd. Korea dengan kode product (C120-3K) [1]. Sedangkan serat *basalt (plain woven)* dengan kode produk (EcoB4 F210) diproduksi oleh Seco-Tech. Korea. Bahan matrik yaitu thermosetting yaitu modified BPA *epoxy resin* (HTC-667C) dengan *hardener with a Modified Aliphatic Amine Hardener* diproduksi oleh perusahaan Jet Korea Co. (Korea) [1].

2.2 Proses Pembuatan Bahan

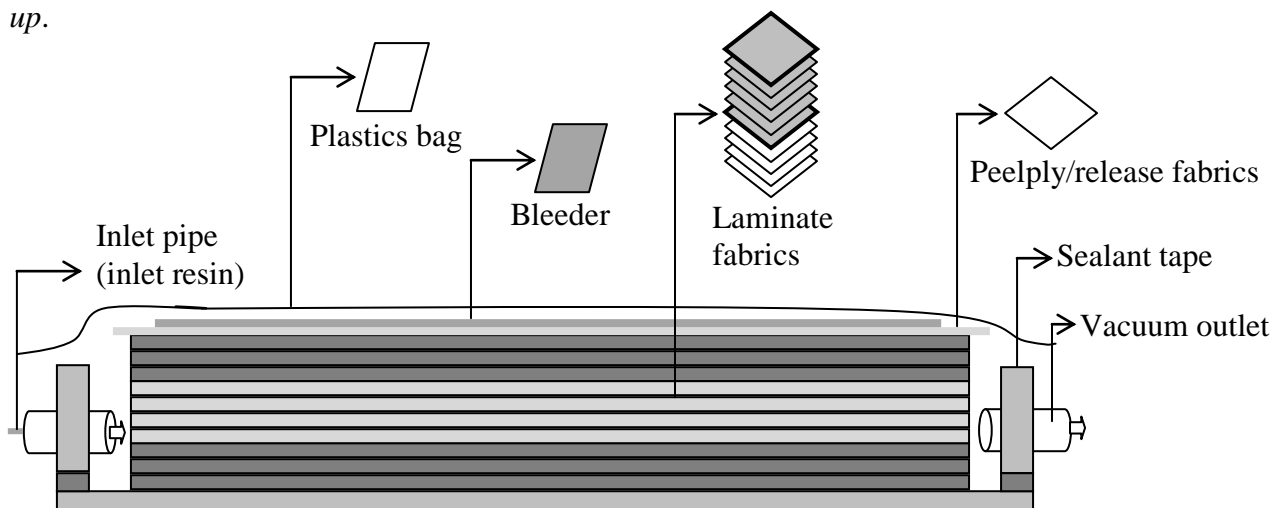
Laminasi komposit dibuat melalui proses *Vacuum Assisted Resin Transfer Molding (VARTM)* [10]. VARTM merupakan teknik pengecoran cair dalam cetakan dalam proses manufaktur struktur komposit. Untuk setiap konfigurasi dari *carbon-basalt/epoxy* laminasi komposit, total 10 lapisan serat *carbon* dan *basalt* ditumpuk di setiap laminasi. Variasi

laminasi serat carbon (C) dan serat basalt (B) didasarkan pada rasio fraksi berat 60:40 (% wt) yaitu 60 wt % serat carbon dan 40 wt % serat basalt [10] seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Adapun rancangan variasi material hybrid komposit adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Variasi Material Hybrid Komposit

| Spesimen | Kode | Laminasi | Komposit | |
|----------|------|--|----------|--------|
| | | | Basalt | Carbon |
| 1 | C | CFRP | 0 | 10 |
| 2 | H1 | B ₂ C ₃ B ₂ C ₃ | 4 | 6 |
| 3 | H2 | B ₄ C ₆ | 4 | 6 |
| 4 | H3 | C ₂ B ₂ C ₂ B ₂ C ₂ | 4 | 6 |
| 5 | B | BFRP | 10 | 0 |

Lapisan serat carbon dan basalt dengan ukuran 250 mm x 250 mm ditumpuk pada cetakan *bronze plate mold* (size : 300 mm x 300 mm), dan dibungkus dengan *vacuum bag film* menggunakan *sealant tape* (AT200Y). Rasio larutan epoxy resin dengan hardener adalah 5 : 1, kemudian diinjeksi ke cetakan melalui *vacuum pump* (-80 kPA) selama lebih dari 40 menit. Pengeringan hasil cetakan selama 2 jam pada suhu 65° C dan tekanan konstan 80 kPA [10]. Gambar 1 menunjukkan skema dari proses fabrikasi laminasi komposit dengan VARTM *set-up*.



Gambar 1. Skema fabrikasi laminasi komposit dengan VARTM [1]

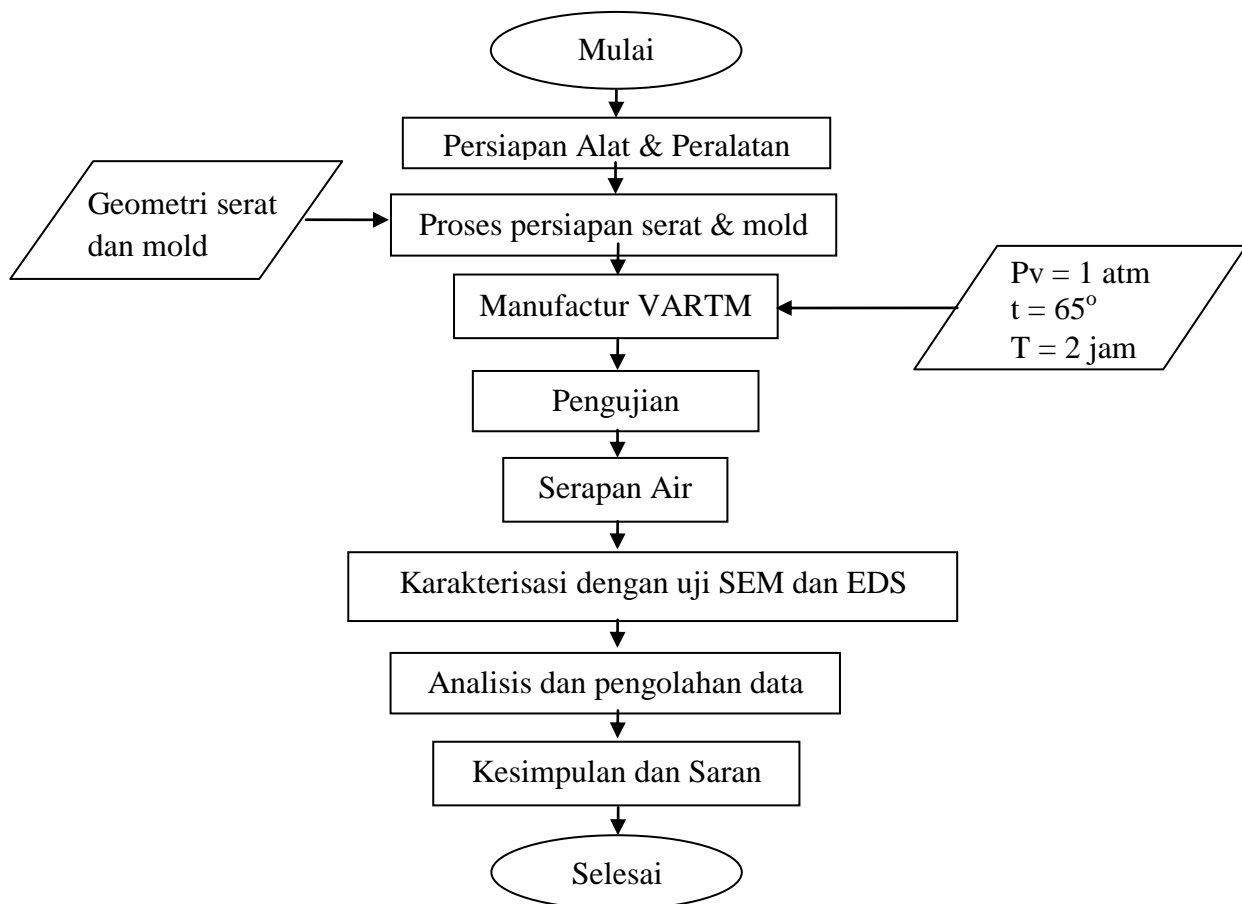
2.3 Metode Pengujian

Secara numerik korosi yang terjadi dianalisis berdasarkan daya penyerapan material terhadap air laut dengan menggunakan persamaan

$$W = \frac{W_a - W_o}{W_o} \times 100\% \quad (1)$$

dengan W : persentase daya serap (% penambahan berat komposit gram), W_o : berat spesimen sebelum perendaman (gram), W_a : berat spesimen setelah perendaman (gram).

Langkah – langkah yang dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan dengan diagram alir berikut.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Daya Penyerapan Material Komposit Hibrida terhadap Air Laut

Tabel 2 memaparkan nilai rata-rata kenaikan berat dari setiap variasi komposit hibrida setelah perendaman pada air laut dalam durasi waktu 0 minggu hingga 6 minggu. Dapat diamati untuk rata-rata kenaikan berat dari komposit hibrida tertinggi untuk setiap variasi terjadi pada durasi waktu 0 minggu hingga 2 minggu perendaman. Kenaikan berat dari masing-masing benda uji adalah 3,9% untuk CFRP, 1,4% untuk B₂C₃B₂C₃, 1,3% untuk B₄C₆, 1,3% untuk C₂B₂C₂B₂C₂, dan 1,5% untuk BFRP. Kemudian pada durasi waktu 2 minggu hingga 6 minggu perendaman, kenaikan yang terjadi relatif tidak signifikan (sangat kecil dan cenderung konstan).

Kondisi tersebut dibuktikan oleh daya penyerapan dari masing-masing variasi benda uji seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Penyerapan air laut tertinggi oleh komposit hibrida dengan variasi laminasi serat penguat basalt dan karbon ditunjukkan oleh variasi komposit hibrida CFRP sebesar 4,3% untuk durasi waktu perendaman 6 minggu. Hasil pengujian ini sesuai juga seperti hasil pengujian yang telah dilakukan oleh Lokantara dan Suardana [11].

Tabel 2. Hasil penelitian penambahan berat spesimen setelah perendaman dengan air laut

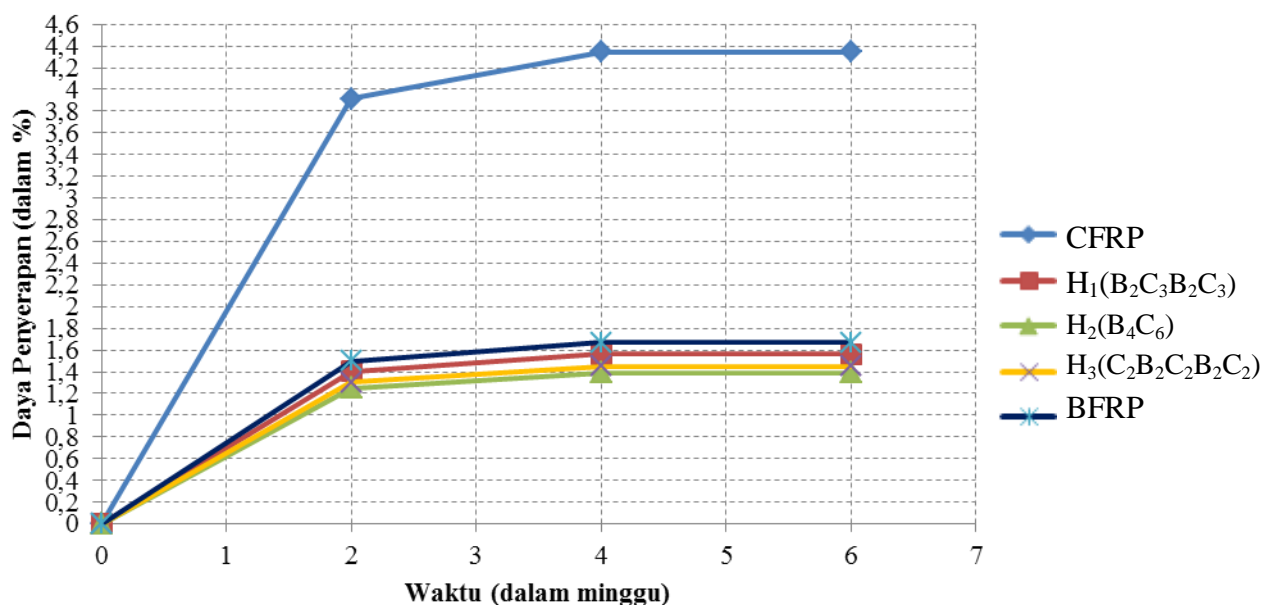
| Waktu Perendaman | Berat Spesimen Uji (gram) | | | | |
|------------------|---------------------------|---|---|--|-------|
| | CFRP | H ₁ (B ₂ C ₃ B ₂ C ₃) | H ₂ (B ₄ C ₆) | H ₃ (C ₂ B ₂ C ₂ B ₂ C ₂) | BFRP |
| 0 minggu | 0,690 | 0,640 | 0,720 | 0,690 | 0,600 |
| 2 minggu | 0,717 | 0,649 | 0,729 | 0,699 | 0,609 |
| 4 minggu | 0,720 | 0,650 | 0,730 | 0,700 | 0,610 |
| 6 minggu | 0,720 | 0,650 | 0,730 | 0,700 | 0,610 |

Tabel 3. Hasil perhitungan daya penyerapan spesimen terhadap air laut

| Waktu Perendaman | Daya Penyerapan Spesimen Uji terhadap Air Laut (dalam %) | | | | |
|------------------|--|---|---|--|-------|
| | CFRP | H ₁ (B ₂ C ₃ B ₂ C ₃) | H ₂ (B ₄ C ₆) | H ₃ (C ₂ B ₂ C ₂ B ₂ C ₂) | BFRP |
| 0 minggu | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| 2 minggu | 3,913 | 1,406 | 1,250 | 1,304 | 1,500 |
| 4 minggu | 4,348 | 1,563 | 1,389 | 1,449 | 1,667 |
| 6 minggu | 4,348 | 1,563 | 1,389 | 1,449 | 1,667 |

Grafik daya penyerapan spesimen terhadap air laut tampilan sebagai berikut.

Daya Penyerapan Spesimen Uji terhadap Air Laut

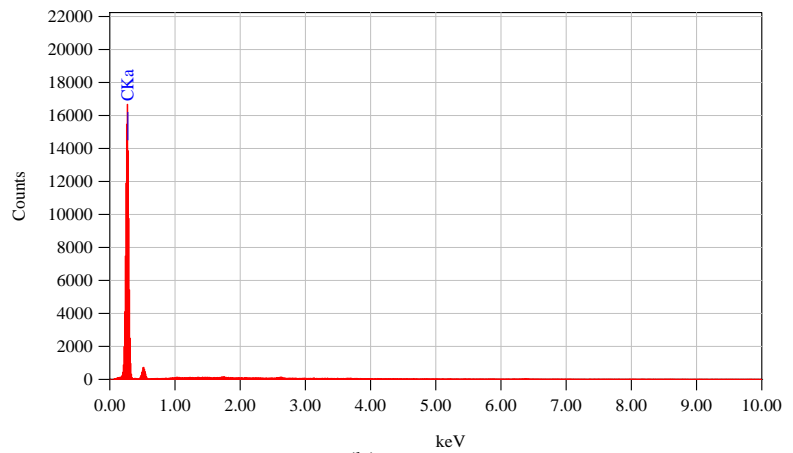
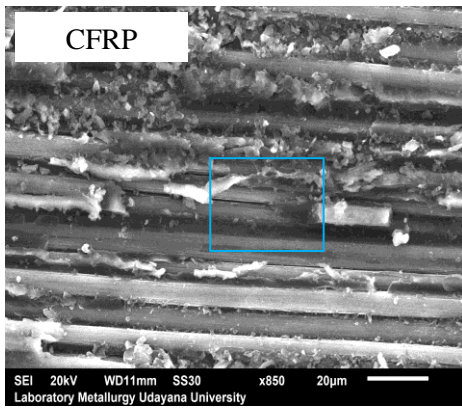


Gambar 3. Grafik daya penyerapan spesimen terhadap air laut

Gambar 3 menunjukkan grafik hubungan antara lama perendaman terhadap persentase daya penyerapan spesimen. Seperti yang ditunjukkan pada grafik dapat diamati bahwa kemiringan (slope) linier kenaikan berat ditunjukkan oleh setiap variasi laminasi komposit hibrida pada durasi waktu 0 minggu hingga 2 minggu. Keseluruhan variasi komposit hibrida memiliki daya serap yang rendah dibandingkan dengan komposit CFRP dan BFRP. Hal ini disebabkan karena sifat serat basalt yang sukar bereaksi dengan senyawa kimia dapat menurunkan sifat mekanik serat karbon yang hidrofilik (senyawa yang dapat berikatan dengan air).

3.2 Analisa SEM dan EDS Material Komposit Hibrida

Analisa masing – masing spesimen uji setelah perendaman dengan air laut menggunakan uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dan *Energy Dispersive X-Ray Analyzer* (EDS). Uji SEM dilakukan agar material komposit setelah proses perendaman dapat diamati, sedangkan uji EDS untuk mengetahui kandungan yang terdapat pada material komposit. Foto SEM yang dilakukan sebelum perendaman (Gambar 4a dan Gambar 5a) bertujuan untuk mengetahui karakteristik penampang spesimen uji belum mengalami kerusakan mekanis. Hasil uji SEM dan EDS untuk spesimen CFRP sebelum perendaman ditunjukkan pada gambar berikut.



(a)

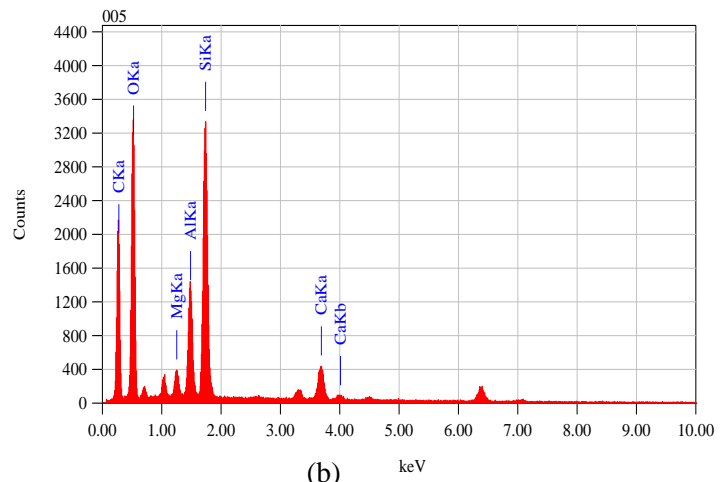
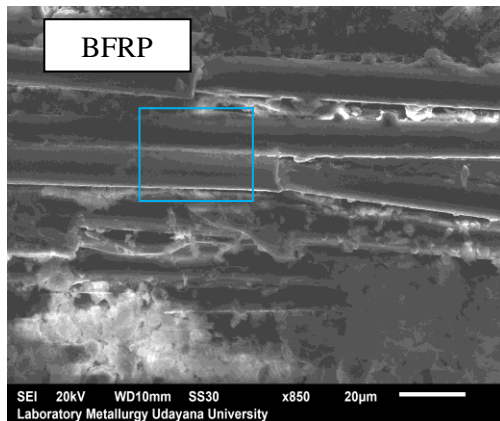
(b)

Gambar 4. a) Hasil uji SEM sebelum perendaman, **b)** Hasil uji EDS sebelum perendaman

Tabel 4. Hasil EDS spesimen CFRP sebelum perendaman

| Element | keV | Mass (%) | Sigma | Atom (%) | Compound | Mass (%) | Cation | K |
|------------|-------|----------|-------|----------|----------|----------|--------|----------|
| Carbon (C) | 0,277 | 100,00 | 0,30 | 100,00 | | | | 100,0000 |
| Total | | 100,00 | | 100,00 | | | | |

Hasil uji SEM dan EDS untuk spesimen BFRP sebelum perendaman ditunjukkan pada gambar berikut.



(a)

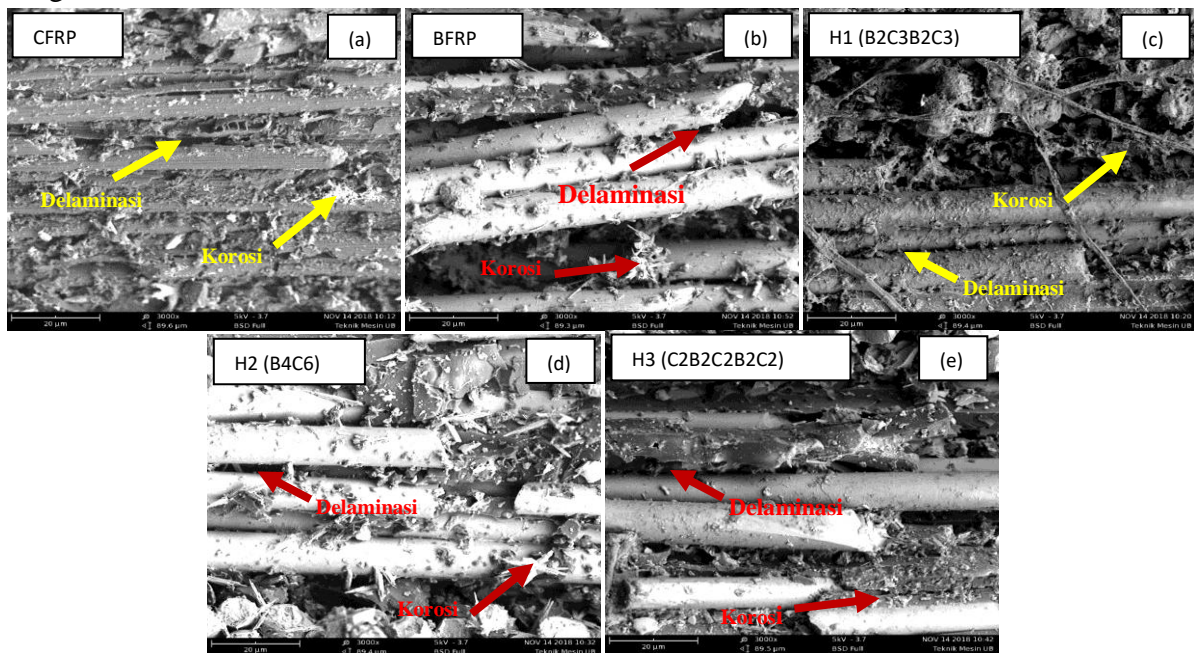
(b)

Gambar 5. a) Hasil uji SEM sebelum perendaman, **b)** Hasil uji EDS sebelum perendaman

Tabel 5. Hasil EDS spesimen BFRP sebelum perendaman

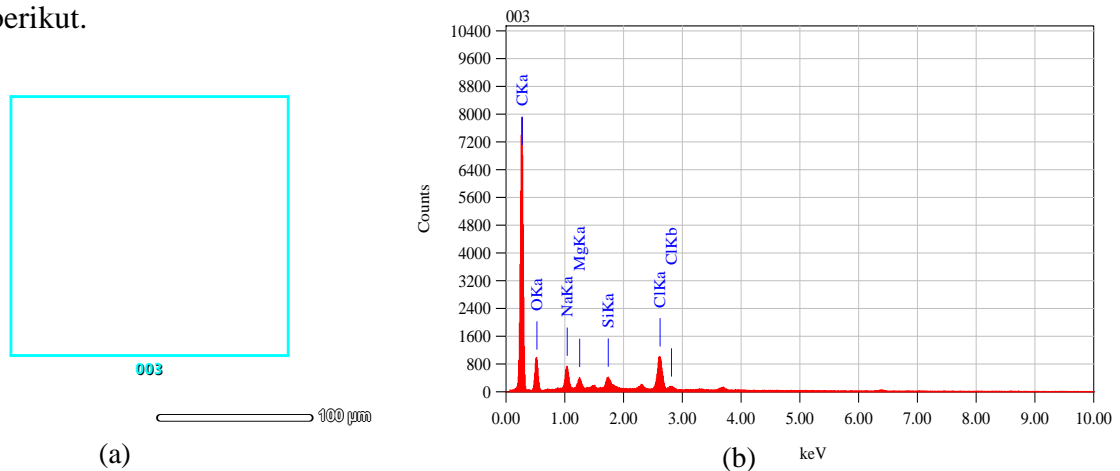
| Element | keV | Mass (%) | Sigma | Atom (%) | Compound | Mass (%) | Cation | K |
|----------------|-------|----------|-------|----------|----------|----------|--------|---------|
| Carbon (C) | 0,277 | 37,35 | 0,60 | 46,99 | | | | 18,5666 |
| Oksigen (O) | 0,525 | 47,69 | 1,14 | 45,04 | | | | 58,4247 |
| Magnesium (Mg) | 1,253 | 1,10 | 0,12 | 0,68 | | | | 1,7385 |
| Aluminium (Al) | 1,486 | 4,06 | 0,19 | 2,27 | | | | 5,9979 |
| Silikon (Si) | 1,739 | 8,16 | 0,26 | 4,39 | | | | 11,9662 |
| Kalsium (Ca) | 3,690 | 1,65 | 0,12 | 0,62 | | | | 3,3061 |
| Total | | 100,00 | | 100,00 | | | | |

Hasil uji SEM untuk spesimen uji setelah perendaman dengan air laut ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 6. Hasil uji SEM setelah perendaman dengan air laut a)CFRP, b)BFRP, c)B2C3B2C3, d)B4C6, e)C2B2C2B2C2

Hasil uji EDS untuk spesimen CFRP setelah perendaman air laut ditunjukkan pada gambar berikut.

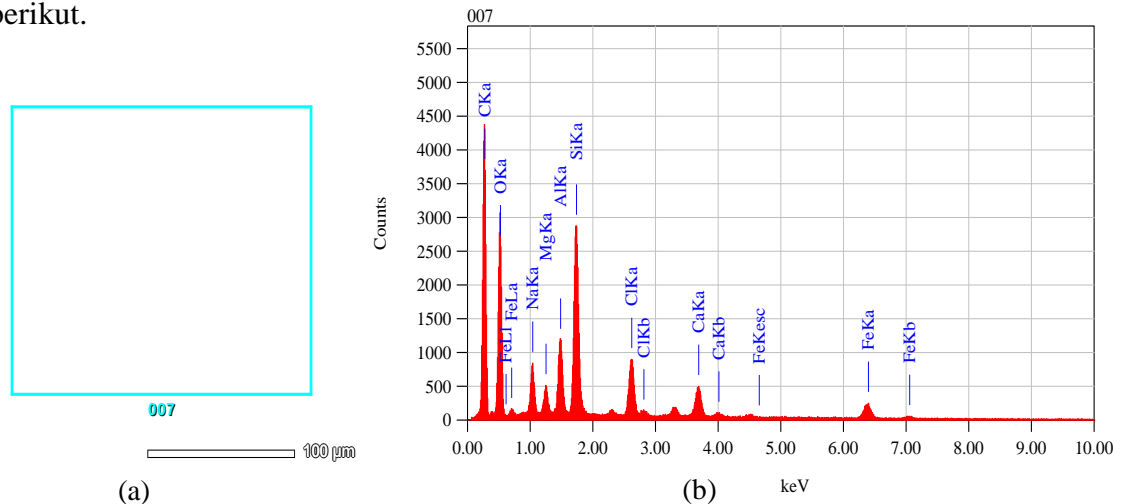


Gambar 7. a) Hasil uji SEM setelah perendaman, b) Hasil uji EDS setelah perendaman

Tabel 6. Hasil EDS spesimen CFRP setelah perendaman air laut

| Element | keV | Mass (%) | Sigma | Atom (%) | Compound | Mass (%) | Cation | K |
|----------------|-------|----------|-------|----------|----------|----------|--------|---------|
| Carbon (C) | 0,277 | 69,34 | 0,61 | 77,07 | | | | 63,6445 |
| Oksigen (O) | 0,525 | 23,13 | 0,94 | 19,30 | | | | 20,6127 |
| Natrium (Na) | 1,041 | 2,69 | 0,16 | 1,56 | | | | 4,4836 |
| Magnesium (Mg) | 1,253 | 1,06 | 0,10 | 0,58 | | | | 2,1754 |
| Silikon (Si) | 1,739 | 0,70 | 0,08 | 0,33 | | | | 1,3829 |
| Klorin (Cl) | 2,621 | 3,08 | 1,12 | 1,16 | | | | 7,7010 |
| Total | | 100,00 | | 100,00 | | | | |

Hasil uji EDS untuk spesimen BFRP setelah perendaman air laut ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 8. a) Hasil uji SEM setelah perendaman, b) Hasil uji EDS setelah perendaman

Tabel 7. Hasil EDS spesimen BFRP setelah perendaman air laut

| Element | keV | Mass (%) | Sigma | Atom (%) | Compound | Mass (%) | Cation | K |
|----------------|-------|----------|-------|----------|----------|----------|--------|---------|
| Carbon (C) | 0,277 | 48,05 | 0,57 | 58,90 | | | | 29,0910 |
| Oksigen (O) | 0,525 | 36,03 | 0,94 | 33,16 | | | | 41,7486 |
| Natrium (Na) | 1,041 | 2,78 | 0,16 | 1,78 | | | | 4,0405 |
| Magnesium (Mg) | 1,253 | 0,94 | 0,09 | 0,57 | | | | 1,7053 |
| Aluminium (Al) | 1,486 | 2,48 | 0,13 | 1,35 | | | | 4,2415 |
| Silikon (Si) | 1,739 | 4,61 | 0,17 | 2,42 | | | | 8,0275 |
| Klorin (Cl) | 2,621 | 2,18 | 0,10 | 0,91 | | | | 4,9363 |
| Kalsium (Ca) | 3,690 | 1,32 | 0,09 | 0,49 | | | | 3,1239 |
| Besi (Fe) | 6,398 | 1,60 | 0,16 | 0,42 | | | | 3,0853 |
| Total | | 100,00 | | 100,00 | | | | |

Gambar 6a sampai dengan gambar 6e menunjukkan hasil pengamatan SEM dengan perbesaran 3000x untuk daya penyerapan air laut oleh hibrid komposit epoxy dengan penguat serat basalt dan karbon. Permukaan dari masing-masing spesimen uji menunjukkan adanya cacat delaminasi (celah) yang disebabkan oleh sifat kohesi dari serat sehingga epoxy tidak dapat sepenuhnya mengikat serat. Karakteristik permukaan dari masing-masing spesimen uji juga menunjukkan adanya korosi pada laminasi serat. Pada komposit *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP) menunjukkan korosi yang tertinggi karena penyerapan air laut yang relatif lebih tinggi.

Setelah perendaman spesimen CFRP dan BFRP selama 6 minggu dalam media air laut, ternyata menyebabkan perubahan pada kandungan serat. Hasil uji EDS menunjukkan CFRP yang sebelum perendaman hanya mengandung unsur karbon (gambar 4b) menjadi CFRP yang memiliki kandungan unsur karbon(C), oksigen(O), sodium(Na), silikon(Si), dan klorin (Cl) setelah direndam dengan air laut (Gambar 7.b). Pada BFRP terdapat penambahan unsur sodium(Na), klorin(Cl), dan besi(Fe) setelah perendaman dengan air laut sehingga kandungan BFRP menjadi karbon(C), oksigen (O), sodium(Na), magnesium (Mg), aluminium (Al), silikon(Si), klorin(Cl),kalsium (Ca), dan besi(Fe) (Gambar 8.b). Adanya unsur Na sebesar 2,69% dan kandungan unsur Cl yang tinggi yaitu sebesar 3,08% pada spesimen CFRP (tabel 5) yang telah direndam dalam air laut mengindikasikan terjadinya korosi yang cukup tinggi pada material CFRP. Sedangkan pada material BFRP setelah perendaman dengan air

laut, unsur Na sebesar 2,78% dan Cl sebesar 2,18% (tabel 6). Penambahan unsur Na dan Cl terjadi pada setiap spesimen uji setelah direndam dalam air laut dimana Na dan Cl merupakan unsur utama pembentuk garam yang dapat menjadi faktor penyebab terjadinya korosi pada material.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa air laut yang dapat terserap pada komposit hibrida mengakibatkan korosi yang berdampak pada kekuatan dan ketangguhan komposit. Laminasi serat yang berbeda menyebabkan daya penyerapan yang bervariasi. Daya penyerapan terhadap air laut terendah dimiliki oleh laminasi serat B₄C₆ sebesar 1,389% dan daya penyerapan terhadap air laut tertinggi dimiliki oleh laminasi serat CFRP sebesar 4,348%. Ini berarti dengan adanya serat basalt pada laminasi dapat menurunkan sifat hidrofilik dari serat karbon sehingga risiko korosi pada material dapat diminimalisir. Jadi, untuk mendapatkan material komposit yang baik harus diperoleh daya penyerapan terhadap air laut yang rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I.D.G Ary Subagia, Yonjig Kim, Leonard D Tijing, Cheol Sang Kim, and H.K. Shon, 2014, *Effect of Stacking Sequence on The Flexural Properties of Hybrid Composites Reinforced with Carbon and Basalt Fiber*, Composites Part B: Engineering, vol. 58, pp. 251-258.
- [2] M.C. Wang, Z.G. Zhang, and Z.J. Sun, 2009, *The Hybrid Model and Mechanical Properties of Hybrid Composites Reinforced with Different Diameter Fibers*, Journal of Reinforced Plastics and Composites, vol. 28, issue. 3, pp. 257-264.
- [3] S.E. Artemenko and Y. A.Kadykova, 2008, *Hybrid Composite Materials*, Fibre Chemistry, vol. 40, 6, pp. 490-492.
- [4] J. Sim, C. Park, and D.Y. Moon, 2005, *Characteristic of Basalt Fiber as a Strengthening Material for Concrete Structures*, Procedia Engineering, vol. 97, no. 6-7, pp. 505-512.
- [5] V. Lapresto, C. Leone and I. De Iorio, 2011, *Mechanical Characterisation of Basalt Fiber Reinforced Plastic*, Composites Part B: Engineering, vol. 42, pp. 717 – 723.
- [6] Antonio Greco, Alfonso Maffezzoli, Gioovanni Casciaro, and Flavio Caretto, 2014, *Mechanical Properties of Basalt Fibers and Their Adhesion to Polypropylene Matrices*, Composites Part B: Engineering, vol. 67, pp. 233 – 238.
- [7] Luo Xin, Xu Jin-yu, Bai Er-lei, and L. Weimin, 2014, *Study on The Effect of Basalt Fiber on The Energy Absorption Characteristics of Porous Material*, Construction and Building Materials, vol. 68, no -, pp. 384-390.
- [8] C. Jiang, K. Fan, F. Wu, and D. Chen, 2014, *Experimental Study on The Mechanical Properties and Microstructure of Chopped Basalt Fibre Reinforced Concrete*, Materials and Design, vol. 58, no, pp. 187-193.
- [9] I.D.G Ary Subagia, Leonard D Tijing, Cheol Sang Kim, Felipe P Vista IV, and Ho Kyong Shon, 2014, *Mechanical Performance of Multiscale Basalts Fiber-Epoxy Laminates Containing Tourmaline Micronano Particles*, Composites Part B: Engineering, vol. 58, pp. 611-617.
- [10] I.D.G Ary Subagia, Yonjig Kim, 2013, *A Study on Flexural Properties of Carbon/Basalt/Epoxy Hybrid Composites*, Journal of mechanical science and technology, vol. 27, no. 4, pp. 987-992.
- [11] Lokantara, Suardana, 2009, *Studi Perlakuan Serat serta Penyerapan Air terhadap Kekuatan Tarik Komposit Tapis Kelapa/Polyester*, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakram, vol.3, no.1, pp.49-56.