JIKES: JURNAL ILMU KESEHATAN
Tahun 2026, Volume 5, Nomor 1, Bulan Juli-Desember: hlm 1399-1412
e-ISSN: 2963-069X | URL: https://yptb.org/index.php/jik | e-Mail: jurnalq17@gmail.com

Lisensi: CC-BY
DOI: https://doi.org/10.71456/jik.v5i1.2609

KARAKTERISASI FISIKOKIMIA SCAFFOLD HIDROKSIAPATIT-PVA DARI TULANG KAKAP PUTIH (*Lates calcarifer*)

Cindy Fauziah[1*], Nurvidian Khasanah[2], Salma Hilmy Rusydi Hashim[3], & La Ode Muhammad Anwar[4]

[*1-4] Universitas Medika Suherman
*e-mail : cindyfauziah04@gmail.com

Submit Tgl: 22-Agustus-2026 Diterima Tgl: 30-Agustus-2026 Diterbitkan Tgl: 13-Oktober-2026

Abstrak: Hidroksiapatit (HAp) dari tulang ikan berpotensi dimanfaatkan sebagai biomaterial *scaffold*, tetapi sifatnya yang kaku dan rapuh memerlukan penambahan polimer seperti polyvinyl alcohol (PVA). Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi konsentrasi PVA terhadap karakteristik fisik dan kimia *scaffold* HAp tulang ikan kakap putih (*Lates calcarifer*). Penelitian menggunakan metode eksperimental laboratorium *in vitro*. Populasi berupa limbah tulang ikan kakap putih dari Pasar Muara Angke, dengan sampel yang dipilih secara *purposive*. Instrumen meliputi viskometer digital, mikroskop cahaya, FTIR, furnace, oven, dan timbangan analitik. Data viskositas dianalisis menggunakan *One-Way ANOVA* dan *Tukey HSD*, sedangkan karakteristik lainnya dianalisis deskriptif. Hasil menunjukkan rata-rata viskositas meningkat dari 35.093,33 mPa.s pada PVA 2,5% menjadi 54.780,00 mPa.s pada PVA 5% ($p = 0{,}001$). Seluruh *scaffold* berpori, sedangkan PVA 5% menghasilkan struktur paling kokoh. FTIR mengidentifikasi gugus O-H, C-O, dan PO_4^{3-}. Disimpulkan bahwa peningkatan konsentrasi PVA memengaruhi viskositas dan kekokohan *scaffold* HAp.

Kata Kunci: Rekayasa Jaringan Tulang, Hidroksiapatit, *Polyvinyl Alcohol*, *Scaffold*, Tulang Ikan

Abstract: *Hydroxyapatite (HAp) derived from fish bones has potential as a biomaterial for scaffold applications, but its rigid and brittle properties require the addition of polymers such as polyvinyl alcohol (PVA). This study aimed to analyze the effect of varying PVA concentrations on the physical and chemical characteristics of HAp scaffolds derived from white snapper bones (Lates calcarifer). The study used an in vitro laboratory experimental method. The population consisted of white snapper bone waste obtained from Muara Angke Market, with samples selected purposively. The instruments included a digital viscometer, light microscope, FTIR, furnace, oven, and analytical balance. Viscosity data were analyzed using One-Way ANOVA and Tukey HSD, while other characteristics were analyzed descriptively. The results showed that the mean viscosity increased from 35,093.33 mPa.s at 2.5% PVA to 54,780.00 mPa.s at 5% PVA ($p = 0.001$). All scaffolds exhibited porous structures, while the 5% PVA scaffold produced the most rigid structure. FTIR identified O-H, C-O, and PO_4^{3-} functional groups. In conclusion, increasing PVA concentration affected the viscosity and rigidity of the HAp scaffold.*

Keywords: *Bone Tissue Engineering, Hydroxyapatite, Polyvinyl Alcohol, Scaffold, Fish Bone*

Cara mengutip Fauziah, C., Khasanah, N., Hashim, S. H. R., & Anwar, L. O. M. (2026). Karakterisasi Fisikokimia Scaffold Hidroksiapatit-PVA dari Tulang Kakap Putih (Lates calcarifer). *JIKES : Jurnal Ilmu Kesehatan, 5*(1), 1399–1412. https://doi.org/10.71456/jik.v5i1.2609

Copyright©2026: Cindy Fauziah, Nurvidian Khasanah, Salma Hilmy Rusydi Hashim, & La Ode Muhammad Anwar

PENDAHULUAN

Fraktur merupakan kondisi patah atau retaknya tulang akibat trauma ketika tulang tidak mampu menahan tekanan dan gaya (Nurfitriani, Dhedie, et al., 2025). Penyembuhan normal ditandai dengan terbentuknya kalus sebagai bagian dari regenerasi tulang (Lianturi et al., 2021). Namun, proses tersebut dapat mengalami gangguan hingga terjadi *non-union* dengan angka kejadian mencapai 26,67% (Oktavina et al., 2020). Kondisi ini menunjukkan perlunya material pendukung regenerasi tulang yang mampu membantu proses penyembuhan secara optimal.

Penggunaan graft seperti autograft dan allograft masih memiliki keterbatasan. Autograft dapat menimbulkan nyeri dan morbiditas pada lokasi donor, sedangkan allograft berisiko menyebabkan respons imun dan infeksi (Fahrezzi et al., 2025). Oleh karena itu, diperlukan *scaffold* biomaterial dengan biokompatibilitas, osteokonduktivitas, stabilitas struktur, dan porositas yang sesuai. Hidroksiapatit (HAp) menjadi salah satu material yang banyak digunakan karena memiliki sifat osteokonduktif dan biokompatibel, tetapi HAp sintetis memiliki komposisi yang kurang menyerupai mineral tulang alami serta membutuhkan proses produksi yang kompleks dan biaya tinggi (Leni & Hariyani, 2022; Nabila & Sebayang, 2025).

Indonesia memiliki potensi limbah tulang ikan yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber HAp alami, termasuk tulang ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) yang kaya kalsium-fosfat (J.S.A et al., 2022). Produksi ikan kakap pada tahun 2024 mencapai 385.199 ton (KKPRI, 2024), sehingga limbah tulangnya berpotensi dikembangkan sebagai biomaterial. HAp dari tulang ikan memiliki struktur mineral yang lebih menyerupai tulang asli dan lebih ramah lingkungan dibandingkan HAp sintetis (Rohania, Deswardani, Fendriani, Anjelina, & Mutia, 2025). Namun, HAp bersifat kaku dan rapuh sehingga perlu dikombinasikan dengan material lain seperti PVA untuk meningkatkan sifat fungsional dan kekuatannya (Leni & Hariyani, 2022; Nabila & Sebayang, 2025).

PVA merupakan polimer yang mudah larut dalam air, biokompatibel, tidak toksik, ramah lingkungan, dan relatif ekonomis sehingga dapat digunakan dalam pembuatan *scaffold* HAp-PVA (Rohania et al., 2025). PVA juga memiliki stabilitas proses yang baik, kekuatan mekanik yang tinggi, serta laju degradasi yang dapat dikendalikan sehingga sesuai digunakan sebagai material pendukung rekayasa jaringan tulang (Khasanah et al., 2026). Karakteristik *scaffold* dapat diketahui melalui uji viskositas, pengamatan morfologi menggunakan mikroskop cahaya, serta analisis FTIR untuk mengidentifikasi gugus fungsi dan memastikan terbentuknya hidroksiapatit (Nurtamara et al., 2024; Sulistiyono et al., 2022). Namun, penelitian HAp dari tulang ikan kakap putih masih berfokus pada sintesis dan karakterisasi dasar, sementara formulasi *scaffold* HAp-PVA masih perlu dikaji (Rohania et al., 2025).

Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh variasi konsentrasi PVA terhadap karakteristik *scaffold* HAp dari tulang ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) melalui uji viskositas, pengamatan makroskopik dan mikroskopik, serta identifikasi gugus fungsi menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infrared*). Penelitian ini penting untuk mendukung pemanfaatan limbah tulang ikan sebagai biomaterial. Kebaruan penelitian terletak pada pengembangan *scaffold* HAp dari tulang ikan kakap putih yang dikombinasikan dengan PVA

Copyright©2026: Cindy Fauziah, Nurvidian Khasanah, Salma Hilmy Rusydi Hashim, & La Ode Muhammad Anwar

berdasarkan variasi konsentrasi dan karakterisasi fisik serta kimia, sehingga diharapkan menghasilkan *scaffold* yang lebih stabil dan homogen untuk pengembangan regenerasi jaringan tulang.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan rancangan eksperimental laboratorium (*in vitro*) untuk mengoptimasi dan mengkarakterisasi *scaffold* hidroksiapatit (HAp) dari tulang ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) dengan variasi konsentrasi PVA sebesar 2,5%, 3%, dan 5%. Karakterisasi dilakukan melalui uji viskositas, makroskopik, mikroskop cahaya, dan FTIR untuk mengetahui karakteristik fisik, morfologi, dan gugus fungsi *scaffold* (Nurtamara et al., 2024; Sulistiyono et al., 2022).

Populasi penelitian berupa limbah tulang ikan kakap putih (*Lates calcarifer*) dari Pasar Muara Angke, Jakarta Utara. Sampel dipilih secara *purposive* dengan kriteria ikan segar, tidak busuk, dan bebas kontaminasi, kemudian tulang dibersihkan dan diolah menjadi HAp sebagai bahan *scaffold* (J.S.A et al., 2022; Rohania, Deswardani, Fendriani, Anjelina, & Mutia, 2025).

Instrumen penelitian meliputi FTIR, viskometer digital, mikroskop cahaya, timbangan analitik, *furnace*, oven, serta peralatan laboratorium pendukung. Data kuantitatif berupa viskositas dianalisis menggunakan *One Way ANOVA* dengan SPSS versi 26 setelah uji *Shapiro-Wilk* dan *Levene*, kemudian dilanjutkan *Tukey HSD* apabila $p < 0,05$. Data makroskopik, mikroskopik, dan FTIR dianalisis secara deskriptif (Nurtamara et al., 2024; Sulistiyono et al., 2022).

Tulang ikan dibersihkan, direbus ±3 jam, dikeringkan pada 60 °C selama 24 jam, kemudian dikalsinasi pada 700 °C selama 3 jam, digerus, dan diayak menggunakan mesh 100 untuk menghasilkan serbuk HAp. *Scaffold* dibuat dengan melapisi spons yang telah diberi perlakuan NaOH dengan slurry HAp dan PVA 2,5%, 3%, dan 5%, kemudian dikeringkan dan dipanaskan hingga 1000 °C. Selanjutnya dilakukan uji viskositas, pengamatan makroskopik dan mikroskop cahaya, serta FTIR pada rentang 400 sampai 4000 cm^{-1} untuk mengidentifikasi gugus fungsi HAp (Nurtamara et al., 2024; Sulistiyono et al., 2022).

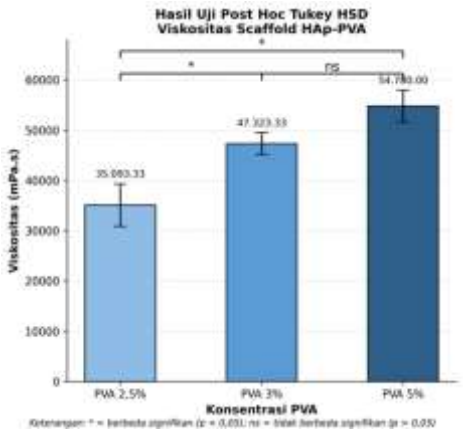
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Karakterisasi Viskositas

Tabel 1 Hasil Statistik Deskriptif

Konsentrasi	Viskositas (mPa.s)			Std.
(%)	1	2	3	Deviasi
2,5	30350	36480	38450	**4224,29**
3	45450	46830	49690	**2162,62**
5	51960	54190	58190	**3156,63**

Copyright©2026: Cindy Fauziah, Nurvidian Khasanah, Salma Hilmy Rusydi Hashim, & La Ode Muhammad Anwar



Gambar 1 Uji Post Hoc Tukey HSD

Hasil Karakterisasi Makroskopik



Scaffold HAp-PVA 2,5%



Scaffold HAp-PVA 3%



Scaffold HAp-PVA 5%

Gambar 2 Scaffold HAp-PVA

Tabel 2 Uji Makroskopik

Parameter	**PVA 2,5%**	**PVA 3%**	**PVA 5%**
Warna	Putih	Putih	**Putih**
Bentuk	Bulat, mengikuti cetakan spons poliuretan	Bulat, mengikuti cetakan spons poliuretan	**Bulat, mengikuti cetakan spons poliuretan**
Tekstrur	Kasar dan berongga	Kasar dan berongga	**Kasar dan berongga**
Permukaan	Tidak rata dan tampak berpori	Tidak rata dan tampak berpori	**Tidak rata dan tampak berpori**
Bau	Tidak berbau	Tidak berbau	**Tidak berbau**

Copyright©2026: Cindy Fauziah, Nurvidian Khasanah, Salma Hilmy Rusydi Hashim, & La Ode Muhammad Anwar

Kondisi Fisik	Kurang kokoh dan mudah hancur	Cukup kokoh dan tidak mudah hancur	**Lebih kokoh dan tidak mudah hancur**

Hasil Karakterisasi Mikroskopik

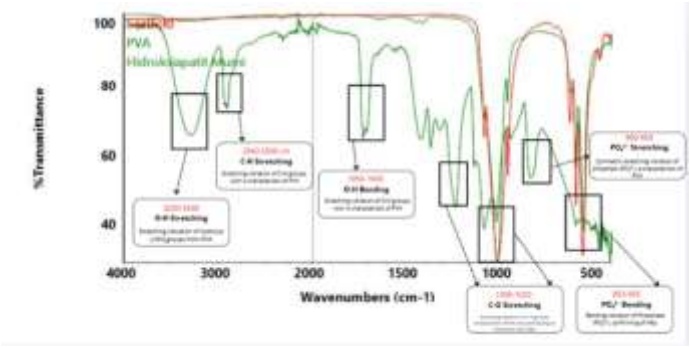


Gambar 3 Uji Morfologi *Scaffold* Perbesaran 4x dan 10x

Tabel 3 Uji Morfologi Scaffold HAp-PVA

Konsentrasi PVA	Hasil	Hasil Pengamatan
2,5%	(+)	**Pori terlihat/terbentuk**
3%	(+)	**Pori terlihat/terbentuk**
5%	(+)	**Pori terlihat/terbentuk**

Hasil Karakterisasi FTIR



Gambar 4 Hasil Uji FTIR

Keterangan:

- Spektrum merah menunjukan *scaffold*
- Spektrum hijau menunjukan PVA dan hidroksiapatit murni

Copyright©2026: Cindy Fauziah, Nurvidian Khasanah, Salma Hilmy Rusydi Hashim, & La Ode Muhammad Anwar

Tabel 4 Hasil Interpretasi FTIR

Sampel	Rentang Panjang Gelombang	Satuan	Gugus Fungsi Yang Teridentifikasi	Jenis Vibrasi	Interpretasi
Hidroksiapatit (HAp)	560–630	cm^{-1}	PO_4^{3-}	Bending (tekuk)	**Menunjukkan karakteristik khas hidroksiapatit.**
	960–1090	cm^{-1}	PO_4^{3-}	Stretching (ulur)	**Menunjukkan keberadaan gugus fosfat pada hidroksiapatit.**
	3200–3500	cm^{-1}	O–H	Stretching (ulur)	**Menunjukkan gugus hidroksil penyusun hidroksiapatit.**
PVA	2940–2850	cm^{-1}	C–H	Stretching (ulur)	**Menunjukkan vibrasi ulur gugus C–H khas PVA.**
	1650–1600	cm^{-1}	O–H	Bending (tekuk)	**Menunjukkan vibrasi tekuk gugus hidroksil.**
	1090–1020	cm^{-1}	C–O	Stretching (ulur)	**Menunjukkan gugus C–O khas PVA.**
Scaffold + HAP + PVA	3200–3500	cm^{-1}	O–H	Stretching (ulur)	**Menunjukkan keberadaan gugus hidroksil dari HAp dan PVA.**
	1090–1020	cm^{-1}	C–O, PO_4^{3-}	Stretching (ulur)	**Menunjukkan kombinasi gugus C–O PVA dan gugus fosfat hidroksiapatit.**
	603–565	cm^{-1}	PO_4^{3-}	Bending (tekuk)	**Menunjukkan vibrasi tekuk gugus fosfat sebagai ciri khas hidroksiapatit.**

Pembahasan

1. Uji Viskositas

Hasil analisis statistik deskriptif pada Tabel 5.1 menunjukkan bahwa nilai rata-rata viskositas *scaffold* HAp-PVA meningkat seiring bertambahnya konsentrasi PVA, yaitu berturut-turut sebesar 35.093,33 ± 4.224,29 mPa.s pada konsentrasi 2,5%, 47.323,33 ± 2.162,62 mPa.s pada konsentrasi 3%, dan 54.780,00 ± 3.156,63 mPa.s pada konsentrasi 5%. Pola peningkatan ini konsisten dengan hasil uji Shapiro-Wilk dan Levene's Test pada Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 yang menunjukkan bahwa seluruh data terdistribusi normal dan homogen, sehingga analisis dapat dilanjutkan menggunakan uji parametrik *One-Way ANOVA*.

Copyright©2026: Cindy Fauziah, Nurvidian Khasanah, Salma Hilmy Rusydi Hashim, & La Ode Muhammad Anwar

Hasil uji *One-Way ANOVA* pada Tabel 5.4 menunjukkan nilai F sebesar 27,369 dengan signifikansi sebesar 0,001 ($p < 0,05$), sehingga H_0 ditolak dan H_a diterima. Temuan ini membuktikan bahwa variasi konsentrasi PVA memberikan pengaruh yang signifikan secara statistik terhadap nilai viskositas *scaffold* HAp-PVA. Hasil ini sejalan dengan Ermawati & Adi (2023) yang melaporkan bahwa peningkatan konsentrasi polivinil alkohol meningkatkan viskositas sediaan secara bermakna akibat bertambahnya kerapatan rantai polimer di dalam sistem. Kecenderungan serupa juga dilaporkan oleh Wahyuningrum et al. (2025) yang menjelaskan bahwa viskositas sediaan farmasi umumnya meningkat sejalan dengan penambahan konsentrasi bahan pembentuk gel atau polimer, sebagaimana juga ditegaskan Sumardi et al. (2026) dalam kajian aliran non-Newton pada sediaan farmasi.

Hasil uji lanjut *Post Hoc Tukey HSD* pada Tabel 5.5 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara konsentrasi PVA 2,5% dengan 3% ($p = 0,009$) dan 2,5% dengan 5% ($p = 0,001$). Sebaliknya, perbandingan antara konsentrasi 3% dan 5% tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p = 0,072$). Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan viskositas terjadi secara nyata ketika konsentrasi PVA dinaikkan dari 2,5% menjadi 3%, sedangkan peningkatan dari 3% menjadi 5% tidak memberikan perubahan viskositas yang berbeda secara signifikan. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa pada konsentrasi PVA yang lebih tinggi, peningkatan viskositas mulai melambat. Menurut Rohania et al. (2025) hal ini terjadi karena interaksi antar-rantai polimer PVA mulai mencapai kondisi jenuh, sehingga penambahan PVA tidak lagi meningkatkan viskositas secara proporsional.

Secara keseluruhan, hasil karakterisasi viskositas menunjukkan bahwa konsentrasi PVA berperan penting dalam menentukan kekentalan sediaan *scaffold* HAp-PVA. Konsentrasi PVA 5% menghasilkan viskositas tertinggi sehingga berpotensi memberikan matriks *scaffold* yang lebih kokoh dan stabil selama proses pembentukan.

2. Uji Makroskopik

Pengamatan makroskopis merupakan pengamatan secara visual yang dilakukan untuk mengidentifikasi bentuk dan warna dari suatu sediaan (Hashim et al., 2026). Berdasarkan hasil pengamatan makroskopis pada Tabel 5.2 menunjukkan bahwa seluruh formula *scaffold* HAp-PVA (konsentrasi PVA 2,5%, 3%, dan 5%) yang dibuat dengan metode replikasi spons PU berhasil membentuk struktur padat berpori. Pembentukan pori ini terjadi karena *slurry* HAp-PVA melapisi kerangka spons PU, yang kemudian meninggalkan ruang kosong yang membentuk pori pada *scaffold* setelah tahap pengeringan dan sintering, sejalan dengan hasil pengamatan mikroskopik yang menunjukkan adanya pori pada seluruh variasi konsentrasi PVA.

Perbedaan fisik utama antarformula tidak terletak pada warna, bentuk, tekstur, permukaan, maupun bau — parameter-parameter tersebut relatif seragam pada ketiga konsentrasi, yaitu berwarna putih, berbentuk bulat mengikuti cetakan spons PU, bertekstur kasar dengan permukaan tidak rata dan tampak berongga, serta tidak berbau. Warna putih menunjukkan bahwa proses sintering pada suhu 1000°C selama 5 jam berlangsung dengan baik sehingga sebagian besar komponen organik dari spons

Copyright©2026: Cindy Fauziah, Nurvidian Khasanah, Salma Hilmy Rusydi Hashim, & La Ode Muhammad Anwar

poliuretan dapat terbakar tanpa meninggalkan residu karbon yang berarti (Paredes et al., 2022). sementara bentuk bulat yang konsisten menunjukkan bahwa metode *polyurethane sponge replication* mampu mempertahankan bentuk cetakan selama proses pembuatan *scaffold* (Zhao et al., 2024). Kondisi permukaan yang tidak rata dan berongga ini juga sejalan dengan temuan Rohania et al. (2025) pada *scaffold* HAp berbasis tulang ikan, yang melaporkan permukaan tidak rata dengan pori berbentuk tidak beraturan.

Perbedaan yang lebih terlihat justru terdapat pada kondisi fisik atau kekokohan *scaffold*. Pada konsentrasi PVA 2,5%, *scaffold* terlihat kurang kokoh dan mudah hancur; pada konsentrasi 3%, struktur sudah cukup kokoh dan tidak mudah hancur; sedangkan pada konsentrasi 5%, *scaffold* menghasilkan struktur yang paling kokoh. Peningkatan kekokohan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi PVA yang ditambahkan, semakin baik kemampuan pengikatan partikel HAp yang dihasilkan sehingga membantu mempertahankan integritas struktur *scaffold* (Zhao et al., 2024). Hasil ini sejalan dengan uji viskositas yang menunjukkan peningkatan viskositas seiring bertambahnya konsentrasi PVA, di mana viskositas yang lebih tinggi membantu slurry melapisi rangka spons dengan lebih baik sehingga partikel HAp dapat menempel dan membentuk struktur yang lebih stabil.

3. Uji Mikroskopik

Berdasarkan hasil pengamatan menggunakan mikroskop cahaya, *scaffold* HAp–PVA pada variasi konsentrasi PVA 2,5%, 3%, dan 5% sama-sama menunjukkan terbentuknya struktur pori pada permukaannya. Terbentuknya pori pada seluruh formulasi menunjukkan bahwa metode polyurethane (PU) sponge replication yang digunakan dalam penelitian ini berhasil menghasilkan *scaffold* berpori. Pada metode ini, spons poliuretan berfungsi sebagai *template* tiga dimensi yang memiliki jaringan pori saling terhubung. Ketika *slurry* HAp–PVA melapisi kerangka spons dan dilanjutkan dengan proses pengeringan serta sintering, spons akan terbakar sehingga meninggalkan rongga yang membentuk struktur pori pada *scaffold* (Priwintoko et al., 2023; Putra et al., 2025).

Selain dipengaruhi oleh metode fabrikasi, pembentukan pori pada *scaffold* juga dipengaruhi oleh karakteristik slurry, terutama viskositas dan homogenitas campuran HAp–PVA. Viskositas slurry berperan penting dalam menentukan ketebalan pelapisan material pada kerangka polyurethane (PU) sponge sehingga memengaruhi ukuran dan distribusi pori *scaffold*, viskositas yang sesuai menghasilkan pelapisan yang merata dan pori yang lebih homogen, sedangkan viskositas yang terlalu tinggi atau rendah menyebabkan ukuran dan distribusi pori menjadi kurang seragam (Dammler et al., 2021).

Proses sintering juga berpengaruh terhadap morfologi *scaffold* yang dihasilkan. Selama pembakaran di dalam furnace, terjadi penghilangan spons poliuretan dan densifikasi material keramik. Apabila suhu atau laju pemanasan tidak optimal, sebagian dinding pori dapat mengalami penyusutan (*shrinkage*), sehingga bentuk pori menjadi tidak beraturan atau sebagian tertutup (Madani et al., 2025). Oleh karena itu, parameter sintering menjadi salah satu faktor penting dalam mempertahankan struktur pori *scaffold*.

Copyright©2026: Cindy Fauziah, Nurvidian Khasanah, Salma Hilmy Rusydi Hashim, & La Ode Muhammad Anwar

Keberadaan pori pada *scaffold* memberikan keuntungan bagi aplikasi regenerasi tulang. Struktur pori memungkinkan difusi oksigen, nutrisi, dan produk metabolisme ke seluruh bagian *scaffold*, sekaligus menyediakan ruang bagi adhesi, migrasi, proliferasi, dan diferensiasi sel sehingga mempercepat pembentukan jaringan tulang baru (Percival et al., 2024).

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Priwintoko et al. (2023) yang melaporkan bahwa metode PU sponge replication mampu menghasilkan *scaffold* HAp dengan struktur pori yang saling terhubung karena mengikuti bentuk spons poliuretan sebagai *template*. Temuan ini juga didukung oleh Chen et al. (2024), yang menyatakan bahwa homogenitas dan viskositas *slurry* merupakan faktor utama yang menentukan keseragaman distribusi pori pada *scaffold* keramik.

Hasil analisis pengamatan morfologi menunjukkan bahwa variasi konsentrasi PVA memengaruhi karakteristik pori pada *scaffold* HAp–PVA. Berdasarkan hasil pengamatan, *scaffold* dengan konsentrasi PVA 2,5% memiliki bukaan pori yang relatif lebih kecil, sedangkan pada konsentrasi 3% dan 5% pori tampak semakin besar dengan distribusi yang lebih jelas. Perbedaan tersebut diduga berkaitan dengan peningkatan viskositas slurry akibat bertambahnya konsentrasi PVA, sehingga memengaruhi proses pelapisan slurry pada kerangka *polyurethane* (PU) sponge selama metode *sponge replication* (Alcázar & Moreno, 2023). Meskipun demikian, seluruh variasi konsentrasi tetap menghasilkan *scaffold* berpori yang berpotensi untuk aplikasi regenerasi tulang.

4. Uji FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*)

Karakterisasi *scaffold* HAp-PVA dilakukan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terbentuk hasil penggabungan hidroksiapatit (HAp) sebagai fase anorganik dengan *polyvinyl alcohol* (PVA) sebagai matriks polimer. Analisis spektrum dilakukan pada rentang bilangan gelombang 400–4000 cm^{-1}. Hasil interpretasi gugus fungsi pada *scaffold* HAp-PVA dapat dilihat pada Gambar 5.8 dan Tabel 5.4.

Berdasarkan Gambar 5.8 menunjukkan pita serapan yang lebar pada bilangan gelombang sekitar 3200–3600 cm^{-1} yang diidentifikasikan sebagai vibrasi ulur (*stretching vibration*) gugus hidroksil (O–H). Gugus hidroksil ini berasal dari hidroksiapatit maupun PVA, yang menunjukkan bahwa gugus fungsi khas kedua material masih dipertahankan setelah proses pencampuran (Hooi et al., 2022). Kehadiran gugus OH pada permukaan *scaffold* memberikan sifat hidrofilik pada material, yang berperan penting terhadap kemampuan *scaffold* menyerap cairan pada lingkungan biologis serta mendukung kompatibilitas dengan jaringan tubuh.

Daerah bilangan gelombang 1090–1020 cm^{-1} menunjukkan pita serapan gugus C–O yang berasal dari PVA, sedangkan daerah 960–1090 cm^{-1} menunjukkan vibrasi ulur gugus fosfat (PO_4^{3-}) yang berasal dari hidroksiapatit. Kedua pita serapan ini saling tumpang tindih pada spektrum *scaffold*, yang menunjukkan bahwa kombinasi gugus C–O dari PVA dan gugus fosfat dari hidroksiapatit berhasil teridentifikasi bersama dalam satu sistem komposit (Chocholata et al., 2022).

Copyright©2026: Cindy Fauziah, Nurvidian Khasanah, Salma Hilmy Rusydi Hashim, & La Ode Muhammad Anwar

Pita tekuk gugus fosfat pada kisaran 560–630 cm^{-1} tetap teridentifikasi pada *scaffold*. Keberadaan pita tersebut menunjukkan bahwa struktur kristal hidroksiapatit masih dipertahankan setelah proses pencampuran dengan PVA. Apabila terjadi dekomposisi atau transformasi fase hidroksiapatit, pita serapan karakteristik fosfat pada daerah tersebut akan melemah secara signifikan atau menghilang (Quinaz et al., 2024). Karena pita tersebut masih terlihat jelas pada spektrum *scaffold*, dapat disimpulkan bahwa hidroksiapatit tetap berada dalam fase yang stabil setelah dikombinasikan dengan PVA.

Berdasarkan hasil karakterisasi FTIR, tidak ditemukan adanya gugus fungsi baru pada spektrum *scaffold*, yang menunjukkan bahwa proses pencampuran HAp dan PVA tidak menghasilkan reaksi kimia yang membentuk senyawa baru. Hasil tersebut mendukung bahwa pembentukan *scaffold* berlangsung melalui interaksi fisik, yaitu ikatan hidrogen antara gugus hidroksil (OH^-) PVA dan gugus hidroksil maupun fosfat pada permukaan hidroksiapatit (Ryabenkova et al., 2022). Interaksi tersebut meningkatkan adhesi antarfase sehingga partikel hidroksiapatit dapat terikat lebih baik di dalam matriks polimer tanpa mengubah struktur kimia dasar masing-masing komponen (Liu et al., 2022). Mekanisme interaksi fisik semacam ini justru diharapkan pada biomaterial rekayasa jaringan karena mampu mempertahankan bioaktivitas hidroksiapatit sekaligus menjaga fleksibilitas matriks polimer (Babakhani et al., 2025).

Berkaitan dengan sifat kebasahan (*wettability*) material, spektrum FTIR *scaffold* HAp-PVA yang didominasi oleh gugus hidroksil (O–H) pada daerah 3200–3600 cm^{-1} menunjukkan bahwa *scaffold* ini bersifat hidrofilik. Sifat hidrofilik tersebut berasal dari kedua komponen penyusunnya: PVA yang secara inheren bersifat hidrofilik dan mudah larut dalam air (Asri et al., 2022). Serta permukaan hidroksiapatit yang kaya akan gugus hidroksil dan fosfat bermuatan negatif sehingga mudah berinteraksi dengan molekul air melalui ikatan hidrogen (Ryabenkova et al., 2022). Sifat hidrofilik ini menguntungkan untuk aplikasi *scaffold* sebagai biomaterial, karena mendukung penyerapan cairan tubuh, difusi nutrisi, serta infiltrasi sel ke dalam struktur pori *scaffold*, sehingga berpotensi mendukung proses regenerasi jaringan tulang secara optimal (Khan & Rumon, 2025).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, variasi konsentrasi PVA berpengaruh terhadap karakteristik *scaffold* HAp dari tulang ikan kakap putih (*Lates calcarifer*). Peningkatan konsentrasi PVA dari 2,5%, 3%, hingga 5% meningkatkan nilai viskositas, dengan rata-rata berturut-turut sebesar 35.093,33 ± 4.224,29 mPa.s, 47.323,33 ± 2.162,62 mPa.s, dan 54.780,00 ± 3.156,63 mPa.s. Hasil *One-Way ANOVA* menunjukkan adanya pengaruh signifikan variasi konsentrasi PVA terhadap viskositas ($p = 0{,}001$), sedangkan uji *Post Hoc Tukey HSD* menunjukkan perbedaan signifikan antara konsentrasi 2,5% dengan 3% dan 2,5% dengan 5%, tetapi tidak antara 3% dan 5%. Secara makroskopik, seluruh *scaffold* berwarna putih, berbentuk bulat mengikuti cetakan spons poliuretan, bertekstur kasar dan berongga, tidak berbau, serta memiliki permukaan tidak rata dan berpori. Konsentrasi PVA 5% menghasilkan *scaffold* yang paling kokoh. Pengamatan mikroskopik menunjukkan

Copyright©2026: Cindy Fauziah, Nurvidian Khasanah, Salma Hilmy Rusydi Hashim, & La Ode Muhammad Anwar

terbentuknya pori pada seluruh variasi, sedangkan FTIR mengidentifikasi gugus O-H, C-O, dan PO_4^{3-} yang menunjukkan keberadaan HAp dan PVA dalam *scaffold*.

Penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena karakterisasi yang dilakukan terbatas pada viskositas, pengamatan makroskopik, mikroskop cahaya, dan FTIR, sehingga belum mencakup pengujian sifat mekanik, ukuran pori secara kuantitatif, maupun pengujian biologis *in vitro*. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan karakterisasi yang lebih komprehensif, terutama pengujian kekuatan mekanik, porositas dan distribusi ukuran pori, serta uji biokompatibilitas untuk memperoleh informasi yang lebih lengkap mengenai kelayakan *scaffold*. Secara praktis, hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan tulang ikan kakap putih sebagai sumber HAp yang dikombinasikan dengan PVA dapat menjadi alternatif pengembangan material *scaffold* berbasis limbah perikanan. Variasi konsentrasi PVA dapat digunakan sebagai salah satu pertimbangan dalam memperoleh karakteristik *scaffold* yang lebih kokoh dan stabil, sekaligus mendukung pemanfaatan limbah tulang ikan sebagai bahan biomaterial untuk pengembangan regenerasi jaringan tulang.

DAFTAR PUSTAKA

Alcázar, C., & Moreno, R. (2023). Manufacture of titania foams by replica method and infiltration with anatase nanoparticles. *European Journal of Materials*, *3*(1). https://doi.org/10.1080/26889277.2023.2225542

Asri, L. A. T. W., Anindya, A., Kartika, Y. E., Puspitasari, D., Triadhi, U., & Ardy, H. (2022). Polyvinyl alcohol-cellulose nanocrystal hydrogel containing anti-inflammatory agent. *Indonesian Journal of Chemistry*, *22*(5), 1293–1303. https://doi.org/10.22146/ijc.73357

Babakhani, A., Peighambardoust, S. J., & Ghahremani-Nasab, M. (2025). Fabrication of biodegradable nanocomposite scaffolds with hydroxyapatite, magnetic clay, and graphene oxide for bone tissue engineering.

Chen, J., Birchall, M., Macrobert, A. J., & Song, W. (2024). Liquid crystalline hydroxyapatite nanorods orchestrate hierarchical bone-like mineralization. *Small*, 2310024, 1–16. https://doi.org/10.1002/smll.202310024

Chocholata, P., Kulda, V., Dvorakova, J., Supova, M., Zaloudkova, M., & Babuska, V. (2022). In situ hydroxyapatite synthesis enhances biocompatibility of PVA/HA hydrogels.

Dammler, K., Schelm, K., Betke, U., & Fey, T. (2021). Open-cellular alumina foams with hierarchical strut porosity by ice templating: A thickening agent study.

Ermawati, D. E., & Adi, L. P. (2023). Pengaruh konsentrasi polivinil alkohol terhadap sifat fisik dan kimia sediaan *peel-off mask* ekstrak etanol kayu secang (*Caesalpinia sappan* L.). *02*(01), 43–53.

Fahrezzi, D. D., Nugrahadi, H., & Zainal, N. (2025). Perbandingan hasil pengobatan antara metode autograft dengan metode allograft pada cedera ACL. *3*(2), 202–209.

Copyright©2026: Cindy Fauziah, Nurvidian Khasanah, Salma Hilmy Rusydi Hashim, & La Ode Muhammad Anwar

Hashim, S. H. R., Ulfa, U., Ananda, D. A., Susanti, D., & Salsabila, C. A. (2026). Formulasi dan evaluasi potensi tabir surya sediaan krim ekstrak terpurifikasi daun jambu air dan daun mangga. *12*(1), 268–276.

Hooi, M. T., Phang, S. W., Yow, H. Y., David, E., & Xin, N. (2022). FTIR spectroscopy characterization and critical comparison of poly(vinyl)alcohol and natural hydroxyapatite derived from fish bone composite for bone-scaffold. *Journal of Physics: Conference Series, 2120*(1), 012004. https://doi.org/10.1088/1742-6596/2120/1/012004

J.S.A, G., Sitanggang, W., & Panjaitan, M. K. K. (2022). Potensi pemanfaatan limbah ikan untuk pembuatan pakan ikan lele grasela. *5*(2), 10–15.

Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2022). *Fraktur terbuka*. Direktorat Jenderal Kesehatan. https://keslan.kemkes.go.id/view_artikel/1747/fraktur-terbuka

Khan, M. M. R., & Rumon, M. M. H. (2025). Synthesis of PVA-based hydrogels for biomedical applications: Recent trends and advances.

Khasanah et al. (2026), *Recent Trends in Electrospun Nanofibers for Drug Delivery Systems in Asia*, Indonesian Journal of Pharmacy, 37(2), 257–286.

KKPRI. (2024). *Produksi perikanan*. https://portaldata.kkp.go.id/portals/data-statistik/prod-ikan/summary

Leni, A., & Hariyani, N. A. (2022). Hidroksiapatit sebagai salah satu bahan yang paling umum digunakan pada cangkok tulang: Tinjauan pustaka. *8*(2), 172–178.

Lianturi, G. M., Yonathan, C., Winata, H., Kedokteran, F., Kristen, U., Wacana, K., Bedah, D., Kedokteran, F., Kristen, U., Wacana, K., Anatomi, D., Kedokteran, F., & Krida, U. K. (2021). Gambaran union pada dua bulan setelah fraktur. *27*(2), 109–113.

Liu, B., Zhang, J., & Guo, H. (2022). PVA faces several limitations that hinder its broader applicability, including limited barrier and thermal properties.

Madani, A. O. P., Rahayu, S., Alaydrus, M. M., S., A. T., A., M. I. A., Purnaning, D., & Ardianto, T. (2025). Sintesis dan karakterisasi injectable bone substitute berbasis cangkang *Pinctada maxima* dengan modifikasi konsentrasi polyvinyl alcohol. *5*(2), 585–594.

Nabila, S., & Sebayang, B. (2025). Perbedaan efek penambahan hidroksiapatit pada bahan basis gigi tiruan resin akrilik polimerisasi panas terhadap kekuatan impak: Studi eksperimental laboratoris. *37*(April), 76–83. https://doi.org/10.24198/jkg.v37i1.60109

Nurfitriani, S., Dhedie, A., Sam, P., & Putra, F. M. (2025). Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat keberhasilan terapi pada fraktur tertutup dan terbuka: *Literature review*. *13*(03), 29–45.

Copyright©2026: Cindy Fauziah, Nurvidian Khasanah, Salma Hilmy Rusydi Hashim, & La Ode Muhammad Anwar

Nurtamara, L., Amintarti, S., Ajizah, A., Irianti, R., & Widiyastuti, D. A. (2024). Pelatihan penggunaan mikroskop cahaya bagi mahasiswa Pendidikan Biologi FKIP ULM dengan menggunakan preparat segar. *01*(02), 46–50.

Oktavina, R., Yonathan, C., Aziz, R. R., Winata, H., Anatomi, D., Kedokteran, F., Kristen, U., & Wacana, K. (2020). Gambaran union pada fraktur tulang panjang bagian metafisis di RS Ciputra Januari–Desember 2020. *28*(3), 295–298.

Paredes, C., Roleček, J., Pejchalová, L., Miranda, P., & Salamon, D. (2022). Impact of residual carbon after DLP and SPS-sintering on compressive strength and *in-vitro* bioactivity of calcium phosphate scaffolds. *Open Ceramics, 11*, 100281. https://doi.org/10.1016/j.oceram.2022.100281

Percival, K. M., Paul, V., & Husseini, G. A. (2024). Recent advancements in bone tissue engineering: Integrating smart scaffold technologies and bio-responsive systems for enhanced regeneration.

Priwintoko, B., Ismail, R., Fitriyana, D. F., & Subagyo, Y. (2023). Effect of sintering temperature and polyvinyl alcohol composition as binder on the formation of porous hydroxyapatite as bone graft using sponge replication method: A review. *3*(3), 136–151.

Putra, F. S., Annaufal, M. J. A., Edahwati, L., & Program. (2025). Penambahan magnesium oksida (MgO) terhadap sifat sintesis hidroksiapatit berpori. *X*(4), 16032–16038.

Quinaz, T., Freire, T. F., Olmos, A., Martins, M., Ferreira, F. B. N., Xavier, J., & Dourado, N. (2024). The influence of hydroxyapatite crystals on the viscoelastic behavior of poly(vinyl alcohol) braid systems.

Rohania, M., Deswardani, F., Fendriani, Y., Anjelina, R., Mutia, R., & Anggraini. (2025). Scaffold hidroksiapatit (HAp) dari limbah tulang ikan tenggiri (*Scomberomorus commerson*): Studi variasi PVA terhadap ukuran kristal dan ukuran pori. *Jurnal Riset Fisika Indonesia, 5*, 121–129.

Ryabenkova, Y., Jadav, N., Conte, M., Hippler, M. F. A., Reeves-McLaren, N., Coates, P. D., Twigg, P., & Paradkar, A. (2022). Mechanism of hydrogen-bonded complex formation between ibuprofen and nanocrystalline hydroxyapatite. https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.6b04510

Sulistiyono, F. D., Almasyhuri, & Mukrim, R. F. (2022). Formulasi sediaan obat kumur kombinasi ekstrak daun jambu biji. *Chimica et Natura Acta, 10*(1), 22–25.

Sumardi, N. I., Saputri, D. M., Apriyanti, N., & Zola, E. G. (2026). Aliran non-Newton yang digunakan dalam sediaan farmasi. *10*(2), 151–161.

Wahyuningrum, R., Ilyas, I. L., Pratiwi, I. S., A, A. N., & Saputri, A. (2025). Review artikel: Viskositas sediaan farmasi (emulsi, suspensi, krim, gel, pasta). *8*(12), 8011–8019. https://doi.org/10.56338/jks.v8i12.9554

Copyright©2026: Cindy Fauziah, Nurvidian Khasanah, Salma Hilmy Rusydi Hashim, & La Ode Muhammad Anwar

Zhao, X., Li, L., Zhang, Y., Liu, Z., Xing, H., & Gu, Z. (2024). 3D printing and property of biomimetic hydroxyapatite scaffold.