

PERANCAH TULANG BERBASIS KOMPOSIT HIDROKSIAPATIT/SILIKA MELALUI METODE 3D-PRINTING: SEBUAH KAJIAN NARATIF

Evi.J^{1*}, Siska Oktaviyani¹, Mahjur² dan Fitri Afriani¹

¹Jurusan Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung, Kampus Terpadu UBB, Bangka, 33172, Indonesia

²Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung, Kampus Terpadu UBB, Bangka, 33172, Indonesia

*e-mail: evi.junaidi0025@gmail.com

ABSTRAK

Perancah tulang merupakan solusi alternatif yang dikembangkan untuk membantu proses terapi tulang. Salah satu material yang memiliki biokompatibilitas baik dan dapat diaplikasikan sebagai perancah adalah hidroksiapatit (HA). Pengembangan komposit HA/silika bertujuan untuk memperbaiki berbagai karakteristik dari perancah berbasis HA murni. Di dalam artikel ini, dilakukan suatu kajian naratif terkait pemanfaatan cangkang kerang sebagai sumber kalsium dalam sintesis HA dan pasir tailing timah sebagai sumber silika. Berbagai metode sintesis HA dan pemurnian silika dikomparasikan agar diperoleh metode paling optimal untuk menghasilkan komposit HA/silika. Selanjutnya, di dalam artikel ini juga dipaparkan potensi pemanfaatan teknologi 3D-printing dalam fabrikasi perancah. Hal ini dikarenakan teknologi 3D-printing memiliki prospek yang menjanjikan untuk dapat menghasilkan perancah dengan struktur kompleks secara presisi, mudah dan cepat sehingga dapat memenuhi kebutuhan pasien. Selain itu, dipaparkan pula tantangan dari aplikasi teknologi 3D-printing sehingga dapat memberikan masukan bagi penelitian terkait di masa yang akan datang.

Kata Kunci: Perancah; Hidroksiapatit; Silika, 3D-printing; Material alam

ABSTRACT

[Title: Hydroxyapatite/Silica Composite-Based Bone Scaffolding Through 3D-Printing Method: A Narrative Review] Bone scaffolding is an alternative solution developed to assist the bone therapy process. One of the materials with good biocompatibility and can be applied as a scaffold is hydroxyapatite (HA). The development of HA/silica composites aims to improve various characteristics of pure HA-based scaffolding. In this article, a narrative review is conducted regarding the use of cockle shells as a source of calcium in the synthesis of HA and tin tailings sand as a silica source. Various HA synthesis and silica purification methods were compared to obtain the optimal HA/silica composites method. Furthermore, this article also describes the potential use of 3D-printing technology in scaffolding fabrication. It is because 3D-printing technology has a promising prospect for producing scaffolding with complex structures precisely, efficiently, and quickly to meet patient needs. Also, we explained the challenges of applying 3D-printing technology to provide input for related research in the future.

Keywords: Scaffold; Hydroxyapatite; Silica; 3D-printing; Natural sources

PENDAHULUAN

Patah tulang merupakan peristiwa yang kerap ditemui ketika terjadi kecelakaan lalu lintas, bencana alam, penyakit, kecelakaan olahraga dan lain sebagainya (Sya'ban, *et al.*, 2017; Sagarana, *et al.*, 2017). Berdasarkan data Riset Kesehatan Dasar oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Kesehatan Republik Indonesia (2013), di Indonesia tercatat lebih dari 20.829 kasus kecelakaan dan sebanyak 1.775 orang diantaranya mengalami patah tulang (Kementerian Kesehatan RI, 2013).

Berbagai alternatif penyembuhan tulang telah diaplikasikan seperti *autograft*, *allograft*, dan *xenograft*. Namun ketiga alternatif tersebut dapat menyebabkan komplikasi dalam penyembuhan luka, infeksi, inflamasi, penolakan serta kelangkaan donor. Selain itu, *allograft* juga beresiko menularkan

penyakit seperti AIDS dan hepatitis (Venkatesan & Kim, 2010). Keterbatasan tersebut memicu perkembangan riset pada bidang rekayasa jaringan dan menawarkan perancah tulang sebagai solusi alternatif yang aman (Amin & Ulfah, 2017).

Salah satu material yang menjanjikan sebagai bahan dasar pembuatan perancah tulang adalah hidroksiapatit (HA) karena memiliki biokompatibilitas yang baik dan komposisinya menyerupai mineral penyusun tulang manusia (Ardhiyanto, 2011). Selain itu, hidroksiapatit dapat dikembangkan menjadi perancah berpori sehingga dapat mempercepat proses terapi tulang karena pori-pori dalam perancah akan menjadi jalan bagi proses penetrasi sel dan distribusi nutrisi agar pertumbuhan tulang dapat berjalan dengan baik (Ichsan, 2018). Namun demikian, hidroksiapatit

memiliki kekuatan mekanik yang buruk (Afriani, *et al.*, 2019). Oleh karena itu, pengembangan perancah berpori berbasis komposit hidroksiapatit saat ini lebih menarik dibandingkan perancah hidroksiapatit murni.

Dalam beberapa tahun terakhir, telah dilakukan berbagai upaya sintesis hidroksiapatit berbasis bahan alam (Afriani, *et al.*, 2019; Afriani, *et al.*, 2020). Sebagai negara maritim, Indonesia memiliki berbagai sumber bahan baku hidroksiapatit yang melimpah salah satunya adalah limbah cangkang kerang dengan kandungan kalsium yang tinggi (Balgies, *et al.*, 2011). Selain melimpah, cangkang kerang memiliki kandungan CaCO_3 yang tinggi, yang bertransformasi menjadi CaO ketika dikalsinasi. CaO merupakan bahan utama dalam pembuatan hidroksiapatit (Saryati, *et al.*, 2012). Kandungan kalsium dalam cangkang kerang relatif lebih tinggi dibandingkan berbagai kandidat sumber kalsium lain seperti tulang sapi dan tulang ikan.

Kandidat yang dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam HA adalah silika. Silika telah banyak dipelajari sebagai bahan yang dapat diterima oleh tubuh karena memiliki sifat biokompatibilitas yang baik (Wang, *et al.*, 2015). Hal yang menarik adalah silika dapat diperoleh di lahan tailing pasca-tambang timah, mengingat Indonesia, khususnya Kepulauan Bangka Belitung tergolong ke dalam tiga besar penghasil timah terbesar di dunia (Riogilang & Masloman, 2009; Evi.J, *et al.*, 2019;). Berbagai penelitian juga telah dilakukan untuk meningkatkan kemurnian timah seperti melalui metode pelindian asam (Afriani, *et al.*, 2018) dan melalui metode padatan (Evi.J, *et al.*, 2019). Kedua metode tersebut dapat menghasilkan silika dengan kemurnian >90%.

Beberapa metode yang lazim digunakan dalam fabrikasi perancah berpori adalah replikasi porogen (Tripathi & Basu, 2012), *foaming* (Montufar, *et al.*, 2010), *freeze-drying* (Afriani, *et al.*, 2015) dan *3D Printing* (Serra, *et al.*, 2013). Namun, diantara metode-metode tersebut, metode 3D printing merupakan metode yang mendapat perhatian besar saat ini karena dapat menyediakan desain spesifik, kompleksitas struktural tinggi, fabrikasi yang cepat serta biaya yang rendah (Guvendiren, *et al.*, 2016). Namun demikian, pemanfaatan metode 3D-printing dalam pengembangan material perancah tulang berbasis komposit hidroksiapatit masih tergolong baru sehingga dibutuhkan suatu kajian yang dapat merangkum berbagai penelitian yang telah dilakukan. Oleh karena itu, di dalam artikel ini dilakukan kajian naratif terkait pengembangan perancah berbasis hidroksiapatit menggunakan

metode 3D-printing. Adapun untuk memperbaiki karakteristik hidroksiapatit dalam perancah berpori maka pada kajian ini juga dilakukan pembahasan terutama untuk material perancah berbasis komposit hidroksiapatit/silika dari tailing timah. Beberapa aspek penting yang dibahas dalam artikel ini meliputi: pengembangan hidroksiapatit dari bahan alam berupa cangkang kerang, pemurnian silika dari tailing timah, dan aplikasi 3D-printing untuk pengembangan perancah.

KANDUNGAN DAN METODE SINTESIS HIDROKSIAPATIT CANGKANG KERANG

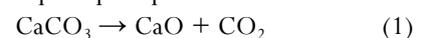
a. Kandungan Cangkang Kerang

Beberapa jenis kerang yang telah digunakan dalam sintesis HA diantaranya adalah: kerang ale-ale (*Meretrix meretrix*), kerang hijau (*Perna viridis*), kerang darah (*Anadara granosa*), dan kerang remis (*Meretrix casta*). Pada dasarnya, pemilihan jenis kerang tersebut, selain berdasarkan pada kelimpahannya, juga didasarkan pada kandungan kalsiumnya. Berdasarkan data kandungan cangkang kerang pada Tabel 1 tampak bahwa cangkang kerang mengandung kalsium lebih dari 35% dan cangkang kerang darah (*Anadara granosa*) memiliki kalsium tertinggi yakni sebesar 90%.

Tabel 1. Data kandungan beberapa cangkang kerang

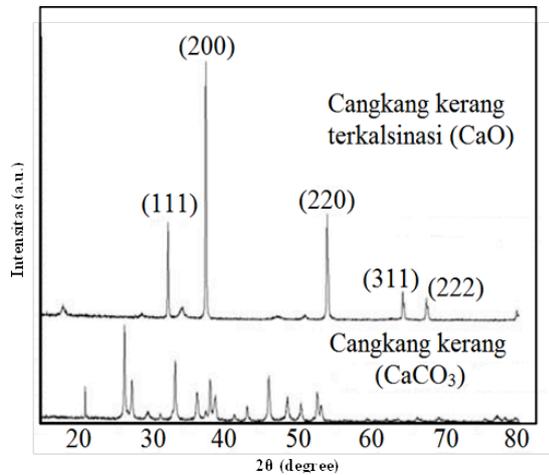
Jenis Kerang	Kandungan Kalsium (Ca)
Kerang Ale-Ale (Hairunisa, <i>et al.</i> , 2019)	89,887 %
Kerang Hijau (Akbar, <i>et al.</i> , 2019)	84 %
Kerang Darah (Akbar, <i>et al.</i> , 2019)	90 %
Kerang Remis (Kumar & Rangaiyan, 2016)	38,95 %

Melalui hasil analisis difraksi sinar-x (XRD) pada Gambar 1 dapat diketahui bahwa senyawa kalsium yang terkandung pada cangkang kerang adalah CaCO_3 dengan fasa aragonite berstruktur rhombohedral. Fasa tersebut sesuai dengan data JCPDS No. 020179. Untuk mendekomposisi karbonat dalam senyawa tersebut dapat dilakukan dengan kalsinasi pada temperatur 1000°C sehingga tercapai reaksi seperti pada persamaan 1:



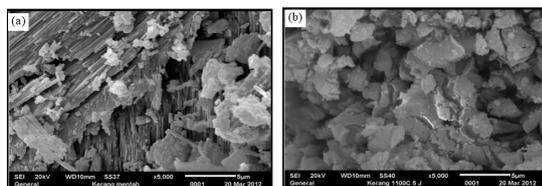
Fenomena dekomposisi tersebut telah dikonfirmasi melalui penelitian yang dilakukan oleh Singhasiri dan Tantemsapya (2016) dengan pola XRD cangkang kerang terkalsinasi seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Adapun CaO yang terbentuk melalui proses

kalsinasi tersebut memiliki struktur kubik dan sesuai dengan data JCPDS file no. 061550.



Gambar 1. Pola XRD cangkang kerang sebelum dan setelah kalsinasi 1000°C (Singhasiri & Tantemsapya, 2016).

Pada Gambar 2 disajikan morfologi permukaan cangkang kerang darah sebelum dan setelah kalsinasi pada 1100°C. Citra SEM tersebut menunjukkan bahwa setelah dilakukan kalsinasi partikel-partikel yang berkaitan dengan CaO memiliki luas permukaan yang lebih besar dibandingkan CaCO₃. Selain itu, proses pemanasan pada temperatur tinggi akan membuat CaCO₃ bertransformasi menjadi CaO *microsphere* berpori (Boro, *et al.*, 2011). Melalui analisis BET diketahui bahwa cangkang kerang setelah dikalsinasi memiliki luas permukaan sekitar 4.1 m²/g, ukuran pori rata-rata 12 nm dengan total volume pori sebesar 0,01 cm³/g (Singhasiri & Tantemsapya, 2016).



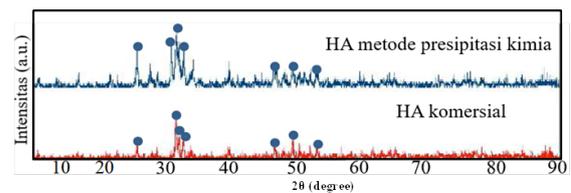
Gambar 2. SEM morfologi permukaan cangkang kerang darah: (a) kerang mentah dan (b) kerang setelah kalsinasi 1.100 °C (Saryati, *et al.*, 2012).

b. Metode Sintesis Hidroksiapatit (HA) Cangkang Kerang Dan Karakteristiknya

Terdapat beberapa metode sintesis HA dari cangkang kerang seperti: hidrotermal suhu rendah (Muhara, *et al.*, 2015), presipitasi kimia (Ali, *et al.*, 2014), dan kopresipitasi (Afriani, *et al.*, 2019). Namun demikian, inti dari pemanfaatan cangkang kerang dalam proses sintesis HA terletak pada aspek

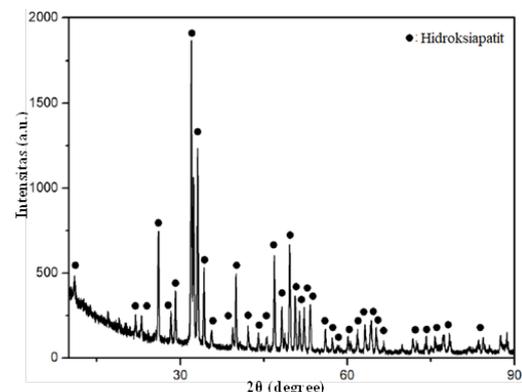
penggunaan serbuk cangkang kerang sebagai sumber kalsium. Adapun untuk mentransformasikan senyawa kalsium oksida menjadi kalsium fosfat dapat dilakukan melalui penambahan senyawa berbasis fosfat sesuai dengan rasio Ca/P dari HA yaitu: 1,67.

Pada metode hidrotermal yang dilakukan oleh (Azis, *et al.*, 2015) dapat disintesis HA dengan struktur kristal heksagonal melalui pemanasan pada temperatur 140°C. Adapun konfirmasi kesesuaian tersebut diindikasikan oleh pola XRD yang sesuai dengan pola XRD HA standar (ICDD 01-074-9780). Adapun pada metode presipitasi kimia yang dilakukan oleh (Ali, *et al.*, 2014), HA dapat disintesis dengan cara mentitrasi cangkang kerang yang telah dikalsinasi pada temperatur 900°C dengan H₃PO₄. Hasil pentitrasi tersebut kemudian dipanaskan pada temperatur 850°C. Hal ini dikarenakan pada suhu tersebut HA sintesis dengan metode presipitasi kimia menghasilkan puncak yang identik dengan HA komersial seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil analisis XRD HA dari cangkang kerang dengan metode presipitasi kimia (Ali, *et al.*, 2014)

Metode kopresipitasi yang diawali dengan menghaluskan kerang kemudian dikalsinasi pada temperatur 1000°C untuk menghasilkan CaO. Serbuk cangkang kerang hasil kalsinasi tersebut selanjutnya ditambahkan (NH₄),2HPO₄ dengan perbandingan Ca/P=1,67. Melalui metode ini berhasil disintesis HA dengan kemurnian tinggi seperti ditunjukkan oleh pola XRD pada Gambar 4 (Afriani, *et al.*, 2019).



Gambar 4. Hasil analisis XRD HA dari cangkang kerang dengan metode kopresipitasi (Afriani, *et al.*, 2020)

Puncak-puncak pola XRD yang dihasilkan sesuai dengan data standar HA dengan referensi: PDF2-01-084-1998. Tiga puncak tertinggi yang terkait dengan HA terletak pada sudut 2θ : $31,99^\circ$, $33,09^\circ$, dan $32,39^\circ$. Berdasarkan kajian beberapa metode sintesis HA berbasis limbah cangkang kerang yang dipaparkan maka metode yang paling menarik untuk dikembangkan lebih lanjut adalah metode kopresipitasi. Hal ini dikarenakan metode kopresipitasi dapat menghasilkan HA dengan kemurnian tinggi serta relatif mudah untuk diaplikasikan.

KANDUNGAN DAN METODE PEMURNIAN SILIKA TAILING TIMAH

a. Potensi Kandungan Silika Tailing Timah

Saat ini telah terdapat beberapa jenis pasir yang dapat digunakan dalam sintesis silika seperti: Pasir Sungai Noeltoko, Pasir Pantai Koka, Pasir Pantai Tablolong, Pasir Tailing Pasca Tambang Timah dan Pasir Pantai Purus. Selain berdasarkan pada kelimpahannya, pemilihan pasir tersebut juga didasarkan pada kandungan silika yang terdapat dalam pasir. Umumnya, pasir mengandung silika dalam jumlah yang relatif tinggi seperti dipaparkan pada Tabel 2. Berdasarkan Tabel tersebut tampak bahwa pasir-pasir yang telah diteliti memiliki kandungan silika lebih dari 35%. Namun demikian, tampak bahwa pasir tailing timah mengandung kadar silika tertinggi dibandingkan dengan pasir jenis lainnya yaitu mencapai 89%.

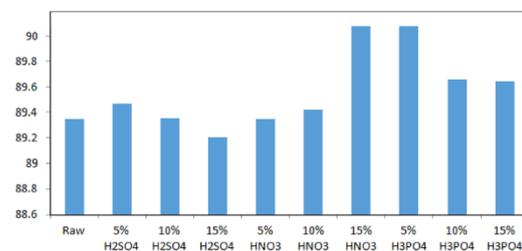
Tabel 2. Data kandungan beberapa pasir

Jenis Kerang	Kandungan Silika (SiO ₂)
Pasir Sungai Noeltoko (Sutal, <i>et al.</i> , 2019)	56,12 %
Pasir Pantai Koka (Pingak, <i>et al.</i> , 2018)	38,91 %
Pasir Pantai Tablolong (Pingak, <i>et al.</i> , 2019)	36,47 %
Pasir Tailing Timah (Evi.J, <i>et al.</i> , 2019)	89,35 %
Pasir Pantai Purus (Hayati & Astuti, 2015)	71,701 %

b. Metode Pemurnian Pasir Silika dan Karakteristiknya

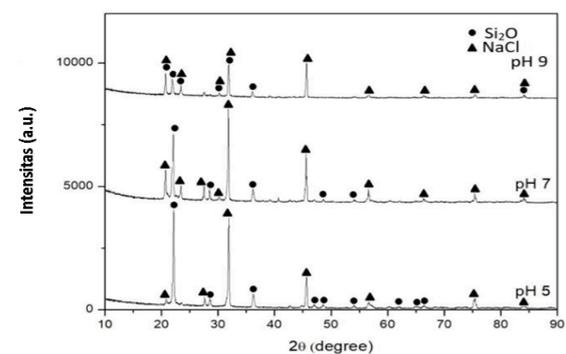
Terdapat beberapa metode pemurnian silika dari pasir tailing seperti metode: pelindian asam (Afriani, *et al.*, 2018), *solid-state* (Evi.J, *et al.*, 2019), dan kopresipitasi (Hayati & Astuti, 2015). Pada metode pelindian asam yang dilakukan oleh (Afriani,

et al., 2018) dilakukan variasi larutan asam yaitu: H₂SO₄, HNO₃, dan H₃PO₄ untuk mengetahui jenis asam yang paling optimal untuk meningkatkan kadar silika. Berdasarkan analisis XRF seperti ditunjukkan pada Gambar 5 tampak bahwa HNO₃ merupakan asam yang dapat meningkatkan kemurnian silika dalam pasir tailing hingga mencapai >90%. Metode pelindian asam tidak mengubah fasa kristal dari silika tailing timah yaitu tipe alpha-silica (PDF2- 01-078-1253). Meskipun metode pelindian asam dapat meningkatkan kadar silika dalam pasir tailing timah namun metode ini menghasilkan limbah buangan yang bersifat asam dan tidak ramah lingkungan. Oleh karena itu apabila metode ini ingin diaplikasikan lebih lanjut maka dibutuhkan suatu teknologi pengolahan limbah yang baik.



Gambar 5. Hasil analisis XRF silika dari pasir tailing timah setelah pelindian asam (Afriani, *et al.*, 2018).

Pada metode *solid-state*, pemurnian dilakukan dengan menggiling pasir tailing bersama dengan NaOH lalu dipanaskan pada suhu 1000°C kemudian ditetesi asam agar terbentuk gel. Metode ini berhasil meningkatkan kadar silika dalam pasir tailing timah menjadi 90,53% dengan data XRD seperti disajikan pada Gambar 6 (Evi.J, *et al.*, 2019).



Gambar 6. Hasil analisis XRD silika tailing timah metode *solid-state* (Evi.J, *et al.*, 2019).

Adapun fasa silika yang dihasilkan dari metode ini tidak mengalami perubahan yaitu tetap memiliki struktur tetragonal. Dibandingkan dengan metode pelindian asam, metode *solid-state* dapat menghasilkan silika dengan kemurnian yang lebih

tinggi namun dengan penggunaan bahan yang lebih ramah lingkungan dan lebih ekonomis. Selain itu, pengotor dalam bentuk NaCl yang dihasilkan dalam penelitian ini relatif mudah untuk dibuang melalui taHAan pencucian dengan akuades. Oleh karena itu, metode *solid-state* lebih menarik untuk diaplikasikan pada sintesis komposit HA/silika.

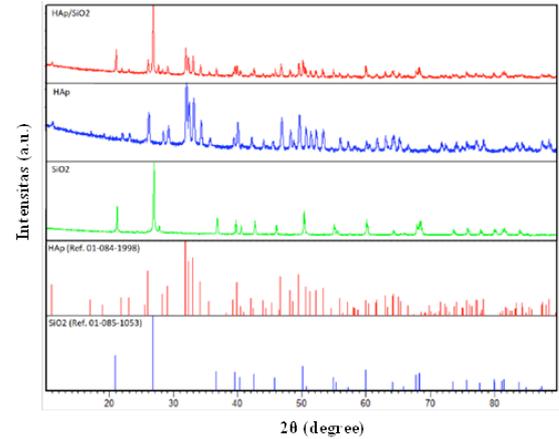
KARAKTERISTIK PERANCAH HA/SILIKA

Kelompok bahan individu termasuk polimer, keramik dan hidrogel tidak dapat sepenuhnya mereplikasi sifat tulang bila digunakan sendiri. Kekurangan ini dapat diatasi dengan menambahkan material yang mampu meningkatkan kekuatan bagi perancah. Sebagai perancah, material yang digunakan harus bersifat biokompatibel, osteokonduktif, osteointegratif, dan memiliki kekuatan mekanis yang cukup untuk memberikan dukungan struktural selama pertumbuhan tulang dan renovasi (Burg, *et al.*, 2000).

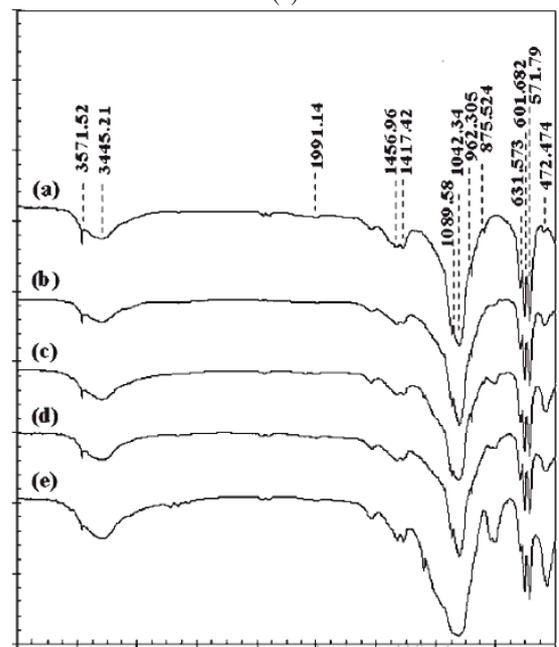
HA memiliki sifat yang hampir sama dengan karakteristik tulang dan memiliki biokompatibilitas yang baik. Namun dibalik kelebihan tersebut HA memiliki beberapa kelemahan seperti sifat mekanik yang buruk (Rapacz-Kmita, *et al.*, 2006). Oleh karena itu diperlukan material yang cocok untuk mengkompositkan HA sehingga bisa dijadikan perancah dengan karakteristik yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan HA murni tanpa dikompositkan. Silika (SiO_2) merupakan material yang kerap digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik suatu komposit. Selain itu, silika diketahui memiliki sifat biokompatibilitas yang cukup baik sehingga dapat digunakan sebagai material perancah pada rekayasa jaringan.

Pembuatan komposit HA/silika dapat dilakukan melalui pencampuran secara langsung dengan mediasi air (Afriani, *et al.*, 2019) maupun melalui metode sol-gel (Latifi, *et al.*, 2011). Kedua metode tersebut dapat menghasilkan campuran HA dan silika yang tidak bereaksi secara kimia berdasarkan konfirmasi dari pola XRD maupun FTIR seperti ditunjukkan pada Gambar 7.

HA yang dikompositkan memiliki keunggulan dengan sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan dengan HA murni karena silika dapat meningkatkan kepadatan mineral tulang pada hewan dan manusia. Selain itu, komposit HA/silika memiliki sifat bioaktivitas lebih baik bila dibandingkan dengan HA murni (Anitha, *et al.*, 2017). Kehadiran silika dalam komposit HA/silika juga dapat membantu HA lebih cepat terdegradasi karena silika secara efektif dapat menurunkan ukuran kristalit dari komposit HA/silika (Latifi, *et al.*, 2011).



(a)



(b)

Gambar 7. (a) Pola XRD komposit HA/silika (Afriani, *et al.*, 2019) dan (b) hasil FTIR komposit HA/silika (Latifi, *et al.*, 2011).

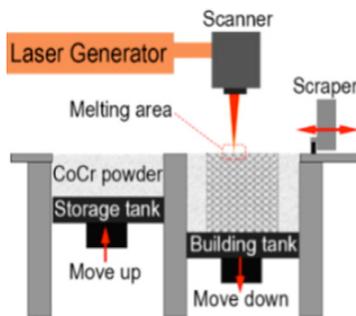
APLIKASI 3D-PRINTING PADA FABRIKASI PERANCAH HA/SILIKA

a. Cara Kerja 3D-Printing dan Parameter Kunci yang Mempengaruhi

Berbeda dengan metode pemrosesan material konvensional yang cenderung bersifat subtraktif, metode rekayasa material melalui 3D-printing lebih sering disebut dengan metode aditif. Hal ini dikarenakan dalam metode 3D-printing, struktur suatu material, dalam hal ini perancah, dibangun secara lapis demi lapis atau bahkan piksel demi piksel. Pada awal mula teknologi ini dikembangkan pada tahun 1993 oleh MIT, teknik 3D-printing dilakukan dengan memodifikasi printer inkjet standar. Saat ini teknologi 3D-printing dapat dikategorikan menjadi tiga kelompok yaitu: 3D-

printing berbasis serbuk, 3D-printing berbasis tinta, dan pencetakan berbasis polimer. Karena mampu menghasilkan struktur yang kompleks dengan resolusi tinggi dan dapat menghasilkan produk medis yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan melalui kombinasi dengan teknik rekonstruksi citra maka teknologi 3D-printing memiliki prospek yang sangat menjanjikan dalam rekayasa jaringan (Liu & Yan, 2018).

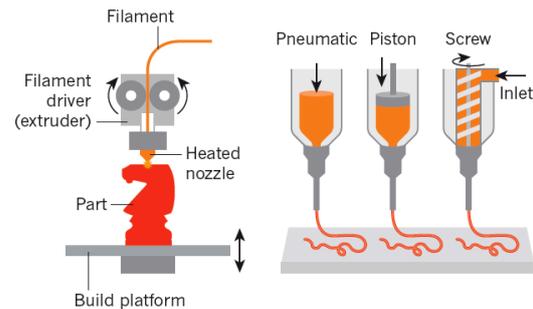
Teknologi 3D-printing berbasis serbuk pada prinsipnya bekerja menggunakan butiran serbuk sebagai bahan baku dan perekat serbuk yang biasanya berupa polimer atau dengan metode penggabungan termal lainnya. Cara kerja metode ini mirip dengan printer komersial yang dapat disesuaikan tingginya (terdapat tambahan sumbu-z) sehingga memungkinkan untuk mencetak struktur 3D. Pada cartridge printer tersimpan larutan perekat sebagai pengganti pigmen asli. Ketika perekat tersebut dideposisikan pada butiran serbuk maka hal tersebut akan merekatkan dan membentuk struktur yang diinginkan. Seiring perkembangannya, metode ini terbagi menjadi dua yaitu: *selective laser sintering* (SLS) dan *binder jetting* (BJ). Namun, seluruh metode tersebut bekerja pada prinsip dasar yang sama seperti ditunjukkan oleh Gambar 8 (Liu & Yan, 2018).



Gambar 8. Skema cara kerja 3D-printing berbasis serbuk (Limmahakun, *et al.*, 2017).

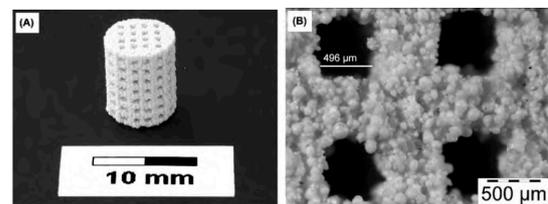
Pada teknologi 3D-printing berbasis tinta metode pencetakan dilakukan dengan cara mendepositkan material yang bersifat cair secara terus menerus atau secara diskrit keluar dari nozel ke platform 3D lapis demi lapis. Metode ini secara sederhana ditunjukkan oleh Gambar 9. Berdasarkan karakteristik tersebut maka teknologi 3D-printing berbasis tinta lebih cocok diterapkan untuk menghasilkan material jaringan yang lunak karena dapat mencetak bio-tinta yang dicampur dengan sel hidup atau berbagai bahan pendukung pertumbuhan sel yang bersifat cair.

Adapun untuk metode 3D-printing berbasis polimerisasi dilakukan dengan cara paparan fotopolimer cair dengan laser dan area paparan tersebut dipadatkan melalui reaksi berantai polimer. Proses paparan tersebut dilakukan secara terus menerus untuk setiap lapisan sehingga struktur 3D-kompleks dapat dibangun. Metode ini paling cocok untuk menghasilkan suatu material dengan struktur 3D berbasis bahan polimer (Zheng, *et al.*, 2016).



Gambar 9. Skema cara kerja 3D-printing berbasis tinta (Truby & Lewis, 2016).

Gambar 10 merupakan contoh perancah 3D yang dilakukan oleh (Leukers, *et al.*, 2005). Gambar 10(a) merupakan struktur perancah 3D sedangkan Gambar 10(b) merupakan tampilan detail struktur saluran interkoneksi dengan diameter 500 μm .

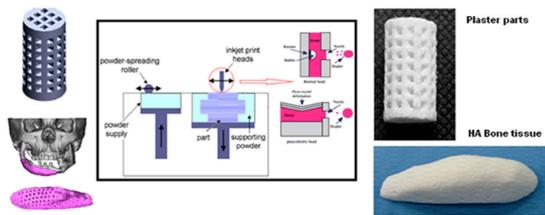


Gambar 10. (a) Struktur perancah 3D dan (b) detail struktur saluran interkoneksi dengan diameter 500 μm (Leukers, *et al.*, 2005).

Material berbasis 3D *printing* memiliki berbagai keuntungan signifikan dalam bidang biomedis. Hal ini dikarenakan kemampuannya untuk memproduksi komponen dengan volume rendah serta bisa menyesuaikan bentuk dengan kebutuhan pengguna/pasien dengan biaya murah dan memberikan fleksibilitas yang cukup baik (Bandyopadhyay, *et al.*, 2015). Dengan demikian, sangat menarik untuk menyiapkan perancah berpori 3D dengan permukaan berstruktur nano untuk membantu proses terapi tulang.

b. Potensi Pengembangan Perancah Berbasis HA/Silika Menggunakan 3D-Printing

Berdasarkan cara kerja ketiga jenis teknologi 3D-printing yang telah dipaparkan maka metode yang paling memungkinkan dan sederhana untuk dapat menghasilkan perancah tiga dimensi berbasis komposit HA/silika adalah metode 3D-printing berbasis serbuk. Metode tersebut memberikan kemungkinan untuk menghasilkan struktur 3D menggunakan bahan berupa serbuk yang dapat terdiri dari gabungan serbuk HA dan serbuk silika. Adapun untuk material perekat dapat dipilih dari material berbasis PVA atau PLA. Hal ini dikarenakan material tersebut tergolong dalam polimer dengan biokompatibilitas baik dan bersifat *biodegradable* sehingga tidak bersifat *toxic* apabila tertinggal dalam jumlah yang tidak signifikan (Gendviliene, *et al.*, 2020). Hal ini didukung oleh penelitian yang telah dilakukan oleh Saijo, *et al.* (2009) yang memodifikasi printer inkjet menjadi printer 3D untuk menghasilkan perancah berbasis HA seperti ditunjukkan oleh Gambar 11.



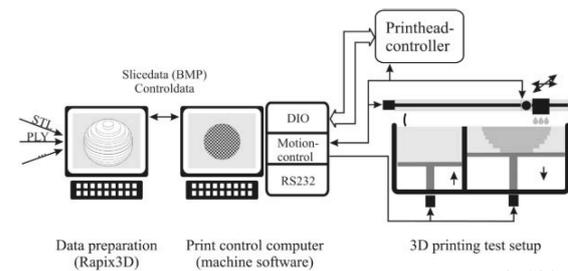
Gambar 11. Tata letak proses 3DP inkjet (Shirazi, *et al.*, 2015).

Untuk dapat menghasilkan paduan serbuk HA dan silika dapat dilakukan dengan metode homogenisasi serbuk baik melalui pencampuran padatan atau dimediasi oleh air. Serbuk HA dengan karakteristik baik dapat dihasilkan dari cangkang kerang dengan kopresipitasi dan serbuk silika dapat diperoleh dari pasir tailing timah yang dimurnikan dengan metode *solid-state*.

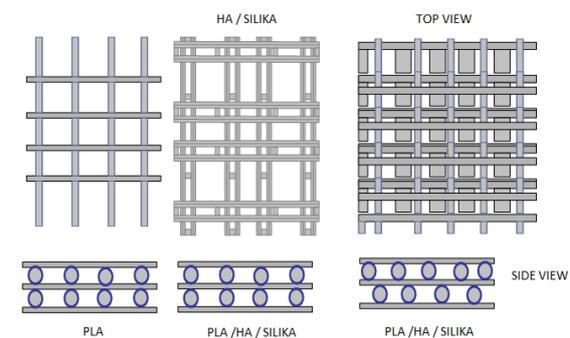
Dalam pembuatan desain 3D printing, proses dimulai dengan mendesain bentuk 3D yang diinginkan. Perekat dicetak melalui cetakan 3D sehingga menghasilkan cetakan sesuai dengan desain dan dilanjutkan dengan mekanisme pelapisan serbuk HA/silika dari reservoir ke platform. Perekat diaplikasikan pada lapisan material serbuk menggunakan *microdispensing valve* sesuai dengan bentuk penampang. Saat pelapisan selesai, bangunan kotak piston bergerak ke bawah dengan ketebalan lapisan dan lapisan baru material serbuk disimpan.

Langkah ini diulang hingga seluruh desain 3D terlapiasi oleh material serbuk seperti ditunjukkan oleh Gambar 12 (Seitz, *et al.*, 2005).

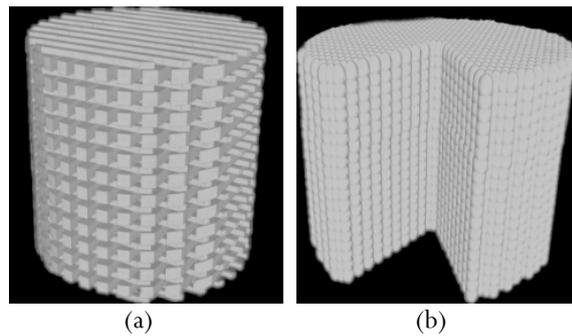
Proses desain struktur 3D-printing dapat dilakukan dengan *software* berbasis CAD seperti Sketchup. Proses pendesainan struktur dapat dilakukan sesuai dengan kebutuhan pasien dan saran dari para dokter. Sebagai contoh, pada Gambar 13 disajikan skema pembentukan struktur 3D perancah yang telah penulis buat. TaHAan pertama dapat dilakukan dengan membuat lapisan PLA sebagai material perekat dan sebagai *template* pembentukan struktur 3D. Selanjutnya selapis demi selapis dilakukan pendesaian lapisan HA/silika dan dilanjutkan kembali dengan PLA secara terus menerus. Hasil dari proses pendesaian ini dalam bentuk 3D disajikan pada Gambar 14. Tampak bahwa, desain struktur 3D dapat dilakukan secara mudah sesuai dengan kebutuhan pasien dan dapat memenuhi persyaratan berpori yaitu memiliki pori dengan ukuran 100 - 400 μm untuk memastikan vaskularisasi yang baik, nutrisi pengiriman dan sel lampiran / pertumbuhan (Park, *et al.*, 2011).



Gambar 12. Rantai proses mulai dari persiapan data, kontrol proses hingga pencetakan 3D (Seitz, *et al.*, 2005)



Gambar 13. Pola perancah Ha/silika dan komposisi PLA



Gambar 14. Desain perancah 3D HA/silika: (a) penampang luar dan (b) penampang dalam

TANTANGAN DAN PENGEMBANGAN SELANJUTNYA

Meskipun fabrikasi perancah komposit hidroksiapatit berbasis cangkang kerang/silika pasir tailing timah dengan teknologi 3D-printing memiliki prospek menjanjikan, tetapi terdapat beberapa tantangan yang harus diselesaikan agar metode tersebut dapat diaplikasikan secara luas. Beberapa tantangan utama adalah terkait dengan perekat yang digunakan dan karakteristik serbuk HA/silika yang digunakan. Umumnya perekat yang digunakan dalam proses fabrikasi adalah polimer. Pada kenyataannya, tidak semua bahan perekat polimer dapat diterima oleh tubuh. Oleh karena itu, dikembangkan suatu metode lanjutan yang dapat mendekomposisi dengan sempurna bahan perekat dalam suatu perancah misalkan dengan sintering pada temperatur di atas titik uap/titik leleh material perekat. Selain itu, konsentrasi perekat perlu diperhatikan pada proses 3D-printing karena berkaitan dengan tingkat sebaran pada mulut nozel. Terkait karakteristik serbuk HA/silika juga memiliki peranan yang sangat penting dalam 3D-printing. Serbuk yang digunakan harus memiliki ukuran dan kondisi yang sesuai dengan kebutuhan dan kemampuan printer. Apabila ukuran partikel terlalu besar maka printer akan kesulitan untuk mengikuti pola dengan presisi namun jika ukuran partikel terlalu halus maka proses pelapisan dapat memakan waktu yang lama. Begitu pula dengan tingkat kebasahan partikel/serbuk yang harus sesuai dengan kondisi printer (Shirazi, *et al.*, 2015). Selain berkaitan dengan kualitas bentuk perancah yang dihasilkan, ukuran partikel serbuk juga mempengaruhi kekuatan mekanik perancah. Oleh karena itu, dibutuhkan kajian lanjutan terkait karakteristik mekanik perancah yang dihasilkan serta berbagai uji *in-vivo* dan *in-vitro* agar perancah yang dihasilkan dapat memenuhi seluruh persyaratan yang

telah ditetapkan (Hagood, *et al.*, 2002; Bandyopadhyay, *et al.*, 2015).

KESIMPULAN DAN SARAN

Perancah tulang 3D dapat disintesis menggunakan bahan utama berupa komposit HA/silika. HA dapat diperoleh dari serbuk cangkang kerang melalui beberapa metode seperti presipitasi kimia, hidrotermal, dan kopresipitasi. Namun diantara metode-metode tersebut, metode kopresipitasi dari cangkang kerang darah memiliki prospek paling menjanjikan mengingat kadar kalsiumnya yang tinggi dan metode tersebut dapat menghasilkan HA dengan kemurnian tinggi. Adapun sumber silika dapat diperoleh dari pasir tailing setelah sebelumnya dimurnikan dengan metode *solid-state*. Komposit HA/silika memiliki sifat lebih unggul dibandingkan HA murni baik dari segi bioaktivitas, kekuatan mekanik, serta sifat biodegradasinya. Metode 3D-printing berbasis serbuk merupakan metode yang sangat memungkinkan untuk memfabrikasi perancah 3D dari komposit HA/silika. Dengan menggunakan *software* CAD seperti Sketchup dapat dilakukan pendesaianan struktur perancah 3D sesuai dengan kebutuhan pasien serta persyaratan yang telah ditetapkan. Namun demikian, agar dapat diaplikasikan secara luas diperlukan beberapa penelitian lanjutan terutama yang berkaitan dengan material perekat dan karakteristik partikel serbuk HA/silika. Hal tersebut sangat penting untuk menjamin bahwa perancah yang dihasilkan tidak hanya sesuai secara struktur namun juga memenuhi persyaratan sifat mekanik dan biologis/medis melalui pengujian secara *in-vivo* maupun *in-vitro*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini didanai oleh Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan – Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi melalui skema PKM-PE 2020

DAFTAR PUSTAKA

- Afriani, F., Dahlan, K., Nikmatin, S. & Zuas, O., 2015. Alginate affecting the characteristics of porous beta-TCP/alginate composite scaffolds. *Journal of Optoelectronics and Biomedical Materials*, 7(3), pp. 67-76.
- Afriani, F. *et al.*, 2018. *Purification of silica from tin tailing by acid leaching methods*. Pangkalpinang, Atlantis Press.
- Afriani, F. *et al.*, 2019. Synthesis and characterization of hydroxyapatite/silica composites based on cockle shells waste and tin tailings. *IOP Conference Series: Earth and*

- Environmental Science*, Volume 353, p. 012032.
- Afriani, F. *et al.*, 2020. Synthesis of porous hydroxyapatite scaffolds from waste cockle shells by polyurethane sponge replication method. *Gravity: Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Fisika*, 6(1), pp. 28-33.
- Akbar, F. *et al.*, 2019. Sintesis Ca₂P₂O₇ dari limbah kerang dengan metode solvothermal. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 15(3), pp. 110-113.
- Ali, N. H. M., Subuki, I. & Ismail, M. H., 2014. Synthesized Hydroxyapatite Powder from Clamshell via Chemical Precipitation Method. *Advanced Materials Research*, Volume 911, pp. 72-76.
- Amin, A. & Ulfah, M., 2017. Sintesis dan Karakterisasi komposit hidroksiapatit dari tulang ikan lamuru (*Sardinella longiceps*) - kitosan sebagai bone filler. *Jurnal Farmasi UIN Alauddin Makassar*, Volume 5, pp. 9-15.
- Anitha, A. *et al.*, 2017. Bioinspired Composite Matrix Containing Hydroxyapatite–Silica Core–Shell Nanorods for Bone Tissue Engineering. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 9(32), pp. 26707-26718.
- Ardhiyanto, H., 2011. Peran hidroksiapatit sebagai bone graft dalam proses penyembuhan tulang. *Stomatognatic (J.K.G. Unej)*, 8(2), pp. 118-121.
- Azis, Y., Jamarun, N., Arief, S. & Nur, H., 2015. Facile Synthesis of Hydroxyapatite Particles from Cockle Shells (*Anadaragrana*) by Hydrothermal Method. *Oriental Journal of Chemistry*, 31(2), pp. 1099-1105.
- Balgies, Dewi, S. & Dahlan, K., 2011. *Sintesis dan Karakterisasi Hidroksiapatit Menggunakan Analisis X-Ray Diffraction*. s.l., Balgies.
- Bandyopadhyay, A., Bose, S. & Das, S., 2015. 3D Printing of Biomaterials. *MRS bulletin*, 40(2), pp. 108-115.
- Boro, J., Deka, D. & Thakur, A. J., 2011. A review on solid oxide from waste shells as catalyst for biodiesel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), pp. 904-910.
- Burg, K., Porter, S. & Kellam, J., 2000. Biomaterial developments for bone tissue engineering. *Biomaterials*, 21(23), pp. 2347-2359.
- Evi, J., Tiandho, Y., Rafsanjani, R. A. & Afriani, F., 2019. Purification of silica from tin tailings through solid-state method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 353(1), p. 012025.
- Gendviliene, I. *et al.*, 2020. Assessment of the morphology and dimensional accuracy of 3D printed PLA and PLA/HA scaffolds. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, Volume 104, pp. 1-7.
- Guvendiren, M., Molde, J., Soares, R. M. & Kohn, J., 2016. Designing Biomaterials for 3D Printing. *ACS Biomaterials Science & Engineering*, 2(10), pp. 1679-1693.
- Hairunisa, Shofiyani, A. & Syahbanu, I., 2019. Sintesis kalsium oksida dari cangkang kerang ale-ale (*Meretrix meretrix*) pada suhu kalsinasi 700 C. *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, 8(1), pp. 36-40.
- Hagood, K. P., Litster, J. D., Biggs, S. R. & Howes, T., 2002. Drop Penetration into Porous Powder Beds. *Journal of Colloid and Interface Science*, Volume 253, p. 353–366.
- Hayati, R. & Astuti, 2015. Sintesis nanopartikel silika dari pasir pantai purus padang sumatera barat dengan metode kopresipitasi. *Jurnal Fisika Unand*, 4(3), pp. 282-287.
- Ichsan, A. R., 2018. *Simulasi Prediksi Pengaruh Degradasi Implan Perancah Tulang Berpori Terhadap Sifat Mekanis Besi Murni pada Tulang Trabekular*, Sumatera Selatan: Universitas Sriwijaya.
- Kementerian Kesehatan RI, 2013. *Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas)*. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan.
- Kumar, G. & Rangaiyan, V., 2016. Chemical and mineralogical measurements on estuarine clam *meretrix casta* shells of yadanthittu estuary, southeast coast of India. *The Pharmaceutical and Chemical Journal*, 3(1), pp. 142-148.
- Latifi, S., Fathi, M. & Golozar, M., 2011. Preparation and characterisation of bioactive hydroxyapatite–silica composite nanopowders via sol–gel method for medical applications. *Advances in Applied Ceramics*, 110(1), pp. 8-14.
- Leukers, B. *et al.*, 2005. Hydroxyapatite scaffolds for bone tissue engineering made by 3D printing. *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*, 16(12), pp. 1121-1124.
- Limhakhun, S. *et al.*, 2017. Stiffness and strength tailoring of cobalt chromium graded cellular structures for stress-shielding reduction. *Materials & Design*, Volume 114, pp. 633-641.

- Liu, J. & Yan, C., 2018. *3D printing of scaffolds for tissue engineering*. s.l.:Intech Open.
- Montufar, E. *et al.*, 2010. Foamed surfactant solution as a template for self-setting injectable hydroxyapatite scaffolds for bone regeneration. *Acta Biomaterialia*, Volume 6, p. 876–885.
- Muhara, I., Fadli, A. & Akbar, F., 2015. Sintesis Hidroksiapatit Dari Kulit Kerang Darah Dengan Metode Hidrotermal Suhu Rendah. *Jom FTEKNIK*, 2(1), pp. 1-5.
- Park, S. A., Lee, S. H. & Kim, W. D., 2011. Fabrication of porous polycaprolactone/hydroxyapatite (PCL/HA) blend scaffolds using a 3D plotting system for bone tissue engineering. *Bioprocess Biosyst Eng*, Volume 34, p. 505–513.
- Pingak, R., Johannes, A. & Laponi, L., 2018. Analisis Potensi Pasir Tablolong Dan Pasir Koka Sebagai Sumber Silika Menggunakan Uji XRF Dan XRD. *Jurnal Fisika: Fisika Sains dan Aplikasinya*, 3(2), pp. 132-136.
- Pingak, R., Ahab, A. & Baunsele, S., 2019. Pemurnian silika dari pasir tablolong menggunakan metode ekstraksi sederhana. *SAINSTEK*, 4(1), pp. 123-136.
- Rapacz-Kmita, A., Ślósarczyk, A. & Paszkiewicz, Z., 2006. Mechanical properties of HA–ZrO₂ composites. *Journal of the European Ceramic Society*, 26(8), pp. 1481-1488.
- Riogilang, H. & Masloman, H., 2009. Pemanfaatan Limbah Tambang Untuk Bahan Kontruksi Bangunan. *EKOTON*, Volume 9, pp. 96-73.
- Sagaran, V., Manjas, M. & Rasyid, R., 2017. Distribusi Fraktur Femur yang Dirawat di Rumah Sakit Dr. M. Djamil, Padang (2010-2012). *J Kesehatan Andalas*, Volume 6, p. 586–589.
- Saijo, H. *et al.*, 2009. Maxillofacial reconstruction using custom-made artificial bones fabricated by inkjet printing technology. *Journal of Artificial Organs*, 12(3), pp. 200-205.
- Saryati, S. *et al.*, 2012. Hidroksiapatit berpori dari kulit kerang. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 13(4), pp. 31- 35.
- Seitz, H. *et al.*, 2005. Three-Dimensional Printing of Porous Ceramic Scaffolds for Bone Tissue Engineering. *Wiley InterScience*, pp. 782-78.
- Serra, T., Planell, J. & Navarro, M., 2013. High-resolution PLA-based composite scaffolds via 3-D printing technology. *Acta Biomaterialia*, Volume 9, p. 5521–5530.
- Shirazi, S. *et al.*, 2015. A review on powder-based additive manufacturing for tissue engineering: selective laser sintering and inkjet 3D printing. *Science and Technology of Advanced Materials*, Volume 16, pp. 1-20.
- Singhasiri, T. & Tantemsapya, N., 2016. The utilization of waste egg and cockle shell as catalysts for biodiesel production from food processing waste oil using stirring and ultrasonic agitation. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 38(21), pp. 3125-3131.
- Sutal, Y., Pingak, R. K., Ahab, A. S. & Baunsele, S., 2019. Kajian awal ekstraksi silika dari pasir Noeltoko menggunakan X-Ray Fluoresence. *SAINSTEK*, 4(1), pp. 75-78.
- Sya'ban, S., Fatmaningrum, W. & Bayusentono, S., 2017. The Profile of Fracture in Patients Under 17 Years of Age at RSUD Dr. Soetomo in the Period of 2013-2014. *J of Orthopaedic and Traumatology Surabaya*, Volume 6, p. 21–32.
- Tripathi, G. & Basu, B., 2012. A porous hydroxyapatite scaffold for bone tissue engineering: Physico-mechanical and biological evaluations. *Ceramics International*, Volume 38, p. 341–349.
- Truby, R. L. & Lewis, J. A., 2016. Printing soft matter in three dimensions. *Nature*, 540(7633), pp. 371-378.
- Venkatesan, J. & Kim, S., 2010. Chitosan Composites for Bone Tissue Engineering-An Overview. *Marine Drugs*, Volume 8, pp. 2252-2266.
- Wang, Y. *et al.*, 2015. Mesoporous silica nanoparticles in drug delivery and biomedical applications. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 11(2), pp. 313-327.
- Zheng, X. *et al.*, 2016. Multiscale metallic metamaterials. *Nature materials*, 15(10), pp. 1100-1106.