

## KERAMIK (*ADVANCE CERAMICS*) SEBAGAI MATERIAL ALTERNATIF DI BIDANG KESEHATAN

Fatahul Arifin, Eka Satria Martomi

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya  
Jl. Sriwijaya Negara Bukit Besar Palembang 30139 Telp: 0711-353414, Fax: 0711-453211  
Email: farifinus@polisriwijaya.ac.id, fatahul\_arifin@lycos.com

### RINGKASAN

Keramik adalah material non metal yang telah di kenal luas dan banyak dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Pada umumnya keramik tahan terhadap temperatur yang tinggi, kekerasan yang sangat tinggi, massa jenis yang rendah dan mempunyai thermal konduktivitas yang rendah dari pada logam. Keburukan dari keramik adalah cacat (*flaws*), seperti retak (*cracks*), ruang hampa (*voids*), terperangkapnya kotoran/udara (*inclusion*). Dimana cacat ini akan mudah menyebar. Dimana dalam perkembangannya dapat digunakan untuk bidang kesehatan seperti dalam pencangkakan tulang atau jaringan lunak dalam tubuh manusia. Salah satu material keramik yang digunakan adalah Hydroxyapatite (HAp). Di alam Hydroxyapatite mudah dijumpai yaitu material ini berbentuk batu karang (*coral*). Dimana material ini mempunyai keuntungan dapat menyesuaikan keadaan pada tubuh (*biocompatible*). Disamping itu juga HAp, mempunyai kelemahan yaitu untuk fatik (*fatigue*), material ini tak mampu menahan beban bila material ini digunakan dalam bentuk yang besar (*bulk*) seperti dalam ilmu bedah tulang.

### ABTRACTS

Ceramics are non-metal material and are able to meet in daily activities. Generally, ceramic have superior high temperature strength, higher hardness, lower density and lower thermal conductivity than metal. The disadvantages of ceramics as structural materials are flaws, such as cracks, voids, and inclusions. In development of ceramics can be used in medical field for instance, implant of bone or tissue of the body. Hydroxyapatite (HAp) is one of ceramics that is applied in medical field. In natural resources HAp is easy to find in every place in the world. The advantage of ceramics is bio-comfortable and disadvantages is poor fatigue properties, this material cannot be used in bulk form fro load bearing application such as orthopedics.

**Kata kunci : Alternatif, Bio-keramik, Hidrooxyapatite**

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

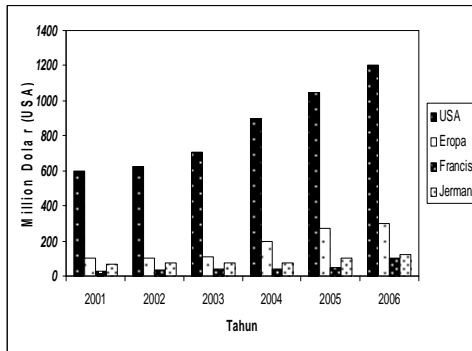
Keramik banyak di definisikan sebagai bahan non-metal (Chiang, Y dan Jakus, K, 1999), dan keramik juga banyak digunakan dalam aktivitas sehari-hari oleh manusia. Keramik dibentuk dari pasir dan tanah liat seperti batubata, gerabah dan benda seni lainnya. Sekarang ini struktur keramik lebih baik dari yang tradisional yaitu dibuat sempurna mungkin yang tahan terhadap temperatur tinggi dan mempunyai struktur yang tangguh. Dibidang sains dan teknologi, keramik sangatlah penting seperti di bidang komunikasi material ini digunakan sebagai filter dan resonator, di

bidang komunikasi tanpa kabel, kamera focus otomatis, dan system koreksi visi pada teleskop *Hubble*.

Dibidang kesehatan keramik digunakan untuk perbaikan ,rekonstruksi dan penggantian bagian tulang dan gigi serta bagian lembut (*tissue*) dari tubuh, yang sekarang ini sangatlah mungkin dikembangkan menjadi bio-keramik (gambar2).

Sekarang ini juga dari banyak kecelakaan di lalu lintas banyak mengakibatkan seseorang mengalami patah tulang atau lebih tragis lagi harus kehilangan anggota tubuhnya seperti kaki, tangan dan jari jemarinya. Atau juga seseorang yang mengalami kanker tulang

dan diharuskan tulang itu diangkat maka untuk itu haruslah digantikan atau diperbaiki bentuknya agar tidak menimbulkan cacat yang membuat orang tersebut menjadi minder. Untuk itu dengan kemajuan ilmu, dibidang material maka semua itu dapat diatasi dengan menggantinya dengan keramik sebagai bahan alternatif pengganti baja tahan karat (*stainless steel*).



Gambar 1. Pasar Global Bio-keramik Sintentik Untuk Pengganti Tulang (Sborniccha, 2005)

### Perumusan masalah

Adapun rumusan masalah yang dapat diformulasikan dalam tulisan ini adalah: Dapatkah keramik dapat menjadi bahan alternatif pengganti bagian tubuh manusia?

Untuk itu dengan mencari dan membaca literatur yang ada baik buku atau tulisan artikel yang terdapat dan diakses melalui internet yaitu; sifat mekanis dari keramik, keuntungan dan kerugian bila memakai keramik agar dapat menunjang bahwa keramik memang cocok sebagai bahan alternatif pengganti tulang, atau jaringan lunak dari tubuh itu serta membandingkan data yang ada dengan sifat mekanis logam baja tahan karat.

Hal inilah yang melatar belakangi memilih judul keramik (*advance ceramics*) sebagai bahan alternative di dalam bidang kesehatan.

### Tujuan Penulisan

Dalam penulisan ini penulis ingin memberikan data-data informasi mengenai keramik sebagai material pengganti untuk bidang kesehatan seperti; untuk tulang, gigi, atau jaringan lunak (*tissue*) dari tubuh manusia yang dinamakan bio keramik (*bio-ceramics*). Dan juga di dalam tulisan ini nantinya didapat data mengenai keunggulan dari keramik, seperti dari berat jenisnya, sifat mekanisnya, sehingga dapat menunjang konsep dari keramik sebagai

bahan alternatif pengganti jaringan tubuh yang rusak.

### PEMBAHASAN

Sekarang ini, Bio keramik telah banyak digunakan untuk memperbaiki kualitas hidup orang banyak. Material ini didisain secara khusus seperti *polycrystalline alumina* atau *hydroxyapatite* atau *partial stabilized zirconia*, gelas keramik (*bio-active glass*) dan *polyethylene-hydroxyapatite composite* yang sangat baik digunakan untuk perbaikan, rekontruksi dan penggantian bagian tubuh yang rusak, seperti tulang. Sebagai contoh alumina telah digunakan selama lebih dari 20 tahun pada operasi persendian tulang (*hip*) karena bahan ini mempunyai koefisien gesek yang rendah (*low coefficient of friction*) dan mempunyai gaya geser yang minimum (Lukkassen D dan Meidell A, 2003).

Kesuksesan secara klinik membutuhkan pengawasan yang terus menerus untuk kesetabilan antara bagian yang lunak dan kesesuaian kelakuan bahan yang di cangkakan terhadap bagian tubuh yang digantikan. Lubang mikro bio-keramik terdiri dari kalsium phospat, yang berdiameter 100 sampai 150 mikron, yang digunakan untuk melapisi material cangkakan dengan metal atau digunakan di daerah pengisian untuk pertumbuhan tulang.

Di daerah pertumbuhan jaringan lunak didalamnya timbul pori-pori untuk menguatkan bagian sambungan antara cangkakan dan daerah jaringan lunak dan menghasilkan peningkatan daya tahan terhadap pergerakan material yang dicangkakan dengan jaringan lembut.

### Mekanikal dan pisikal property

Pada umumnya keramik tahan terhadap temperatur yang tinggi, kekerasan yang sangat tinggi, massa jenis yang rendah dan mempunyai thermal konduktivitas yang rendah dari pada logam. Keburukan dari keramik adalah cacat (*flaws*), seperti retak (*cracks*), ruang hampa (*voids*), terperangkapnya kotoran/udara (*inclusion*). Dimana cacat ini akan mudah menyebar. Bila cacatnya berukuran 10 sampai dengan 50 mikronmeter maka akan mengurangi kekuatannya sekitar 5 % dari kekuatan teoritisnya (Nathan, R, 1985). Karena terlalu kecilnya cacat maka akan sulit dilihat dan di kurangi. Untuk itu cacat ini sangatlah penting untuk dikurangi. Walaupun begitu cacat ini akan muncul pada structuk keramik.

Tabel 1. Perbandingan Mekanikal dan Fisikal Struktur Keramik (SiC, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, ZrO<sub>2</sub>) dengan Besi dan Paduan Aluminium

Material	Massa Jenis (g/cm <sup>2</sup> )	Kekuatan Tarik pada Temperatur Ruang (MPa)	Kekuatan tarik di temperatur 1.095 <sup>o</sup> C	Kekerasan (kg/mm <sup>2</sup> )	Termal Konditivitas 250/1, 100 <sup>o</sup> C (W/m <sup>o</sup> C)
Variasi sintered material SiC	3.2	340-550 (flexure)	340-550 (flexure)	2500-2790	85/175
Variasi sintered material Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	2,7-3,2	205-690 (flexure)	205-690 (flexure)	1.366	17/60
Transformation toughened ZrO <sub>2</sub>	5,8	345-620 (flexure)	-	625-1.125	1.713,5
Steels (4100,4300, 8600, and 5600 series)	7-8	1.035-1.380 (tensile yield)	Cair	450-650	43
Alumunium	2,5	415-4895 (tensile yield)	Cair	100-500	140-225

Nathan, R, 1985

Tabel 2. Faktor Penting Dalam Pemilihan Material Untuk Penerapan Bio-medical Penggunaan

Faktor	Penggunaan		
	Karakteristik secara biologi /kimia	Kareteristik secara pisik	Karakteristik secara Mekanik/struktur
Material tingkat I	- komposisi kimia	- Massa jenis	- modulus elastis - modulus geser - rasio Poisson's - kekutan luluh ( <i>yield</i> ) - kekuatan tarik - kekutan tekan
Material tingkat II	- Pelekatan ( <i>Adhesion</i> )	- Topologi permukaan - Texture - Kekasaran	- kekerasan - modulus flexural - kekuatan flextural
Kebutuhan khusus (tergantung dari penggunaa)	- biofungsional - bioinert - bioaktif - biostabiliti - kelakuan biodegradasi	- geometri dan bentuk - termal koefiesien ekspansi - konduktiviti elektrik - warna - indek refraktif - opacity atau translucency	- kekakuan atau ketangguhan - fracture taoughness - kekuatan fatik - ketahanan creep - ketahanan gesekan dan geseran - kekuatan perakatan - kekuatan impak - kekuatan resapan - ketahan abrasi
Proses dan Fabrikasi	- dapat diproduksi lagi (reproducibility), kualitas, kebersihan (sterilizability), dapat dipaketkan, dapat diproses lanjut.		
Karakteristik dari organ ( <i>host</i> )	: jaringan lembut (tissue), organ, species, usia, jenis kelamin, ras, kondisi kesehatan, aktivitas, respon systematis.		
Medical/surgical procedure	, priodik applikasi/kegunaan		
Biaya			

Ramakrisna S, 2001

Sekarang ini, perkembangan biomaterial pengganti tulang adalah dengan mengkombinasikan mengamati secara mekanikal dari bentuk tulang sesungguhnya yaitu dengan membentuk kembali aktivitas dari

selnya. Umumnya bahan yang dipakai adalah hydroxyapatite yang disingkat HA atau Hap. Secara natural material ini mempunyai struktur kristal hexagonal dan berwarna putih. Komponen penting dari HA adalah Ca<sub>2+</sub> dan

( $\text{PO}_4$ )<sub>3</sub>, kalsium dan dikalsium pospat,  $\text{CaHPO}_4$ , trikalsium pospat (TCP), dan  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  (Mitchell, B.S, 2004).

Material bioaktif memproduksi material khusus secara biologi pada permukaan material yang menghasilkan ikatan antara jaringan lunak dan material cangkakan. Bentuk permukaan dari lapisan hydroxycarbonate apatite yang merupakan jaringan pengikat dari material cangkakan dan ini akan merubah komposisi dari lapisan.

Pada umumnya, tulang adalah jaringan keras yang mempunyai modulus elastisitas dan kekuatan tarik yang tinggi.

Tabel 3. Mekanikal Property dari Jaringan Keras (*Hard Tissue*)

Jaringan Keras	Modulus (GPa)	Kekuatan Tarik (MPa)
Tulang <i>Cortical</i> (arah memanjang)	17,7	13,3
Tulang <i>Cortical</i> (arah melintang)	12,8	52
Tulang <i>Cancellous</i>	0,4	7,4
<i>Enamel</i>	84,3	10
<i>Dentine</i>	11,0	39,3

Black, J dan Hasting G.W., 1998

Tabel 4. Mekanikal Properti dari Tipe Bio-material Metal dan Keramik

Material	Modulus	Kekuatan tarik (MPa)
Paduan Logam		
Stainless Steel	190	586
Co-Cr alloy	280	1085
Ti-alloy	116	965
Amalgam	30	58
Keramik		
Alumina	380	300
Zirconia	220	820
Bioglass	35	42
Hydroxyapatite	95	50

Black, J dan Hasting G.W., 1998

Seperti terlihat dari tabel 3 dan tabel 4 diatas, logam dan keramik terlihat cocok untuk bahan alternatif pengganti jaringan keras (*hard tissue*). Hydroxyapatite merupakan senyawa tidak stabil, akan membusuk pada temperature 800-1200°C tergantung dari stokiometri senyawa tersebut.

### Perbandingan antara beberapa material untuk tulang cangkakan.

Bahan yang lain yang digunakan untuk penggantian tulang adalah bio-komposit (*biocomposites*), Tulang adalah komposit dengan massa jenis yang berbeda-beda. Komponen utamanya adalah *osteon*, yang merupakan saluran silinder yang digunakan untuk sistem peredaran dan susunan saraf.

*High-density polyethylene* (HDPE) adalah bionert composite yang sangat berat fraksi molekulnya seperti *ultra molecular weight polyethylene* (UHMWPE). Keuntungan UHMWPE adalah sangat baik daya luncur, kekuatan impak, ketahanan patik, dan cocok untuk tubuh (*biocompatibility*). Untuk jangka panjang material ini berbahaya karena tidak tahan gaya geser, ketangguhannya rendah dan sifat jalarnya (*creep*) yang tinggi.

Selain bahan HDPE dari tipe UHMPE adalah *Hydroxyapatite* (HAp) dimana komposisi dari material tulang 95% dari 75% dari tulang ada pada material ini. Dari alasan ini HAp sangatlah cocok untuk pengganti tulang.

### Faktor-faktor utama dalam penggunaan keramik basis Hydroxyapatite (HAp)

Dibandingkan dengan material yang lain, seperti polyethylene, HAp ini masih terbatas digunakan di bidang biologi. Jika material ini digunakan maka secara umum digambarkan sebagai keramik biasa (*ceramic substrate*) atau gelas untuk kaca mikroskop (*glass slide*) tanpa memperhatikan komposisinya, structure mikro atau struktur permukaan dari HAp ini. Para ahli biologi hanya memperhatikan komponen organiknya. Sebagai tambahanya, effect dari system biologi pada keramik tidak pernah di perhatikan. Keramik mempunyai potensi yang sangat luas di bidang tumbukan (*impacting*) dikarenakan komposisi dan kelenturan prosesnya, dan perubahan permukaan kimianya akan memberikan dalam biomolekul (Chiang, Y dan Jakus, K, 1999). Batu karang (Coral) adalah sumber utama dari HAp. HAp ini diproduksi untuk keperluan ilmu pengobatan klinik karena mudah untuk disesuaikan aplikasinya. Keutamaan dari keramik adalah mempunyai kemampuan menyatu hal ini dikarenakan keramik secara biologi mempunyai kemampuan untuk mengoptimalkan biomineral. Karena ini lah keramik sangat cocok untuk pengganti tulang atau aktivitas bedah (*surgery activities*).

### Keuntungan dan kerugian menggunakan keramik base HAp untuk pengganti tulang

#### a. Keuntungan

Ada beberapa keuntungan dalam penggunaan Hidroxyapatite bioaktif keramik base untuk menghasilkan material yang unggul. Keuntungan dari kenyamanan dalam tubuh (*biocompatible*) dari Hidroxyapatite adalah:

- Cepat bersesuaian kedalam tubuh manusia, saat bersamaan tubuh tidak merasakan apa-apa kalau ada benda asing didalamnya.
- Hidroxyapatite mempunyai kemampuan pengikat ke tulang.

#### b. Kerugian

- Tidak dapat digunakan untuk bentuk yang besar (*bulk*) khususnya beban

fatik (*fatigue*) karena tidak mampu menahan beban yang besar. Seperti dalam ilmu bedah tulang.

- Sifat perakat antara pelapis kalsium pospate dan material cangkaknya sangat kurang/lemah.

### Manufaktur dari hydroxyapatite keramik

Proses pelapisan adalah salah satu proses untuk membuat hydroxyapatite. Pelapisan adalah suatu proses yang sangat baik untuk mendapatkan sifat biocompatible untuk unsur yang dimiliki oleh sambungan tulang dengan keramik.

Beberapa teknik pelapisan dalam pembuatan hydroxyapatite dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Proses Pelapisan Keramik

Teknik	Ketebalan	Keuntungan	Kerugian
Pelapisan berlubang (Dip Coating)	0,05 – 0,5 mm	Murah Pelapisan mudah dan cepat serta dapat melapisi bentuk yang rumit.	Mebutuhkan suhu sintering yang tinggi. Kesalahan pada thermal ekspansi.
Pelapisan percikan (Sputter Coating)	0,02 – 1 $\mu$ m	Pelapisan merata ke seluruh permukaan	Mahal Waktu yang dibutuhkan lama, Tidak dapat melapisi bentuk yang rumit.
Teknik Endapan Laser (Pulsed Laser Deposition)	0,05 – 5 $\mu$ m	Sama seperti pelapisan percik	Mahal Waktu yang dibutuhkan lama, Tidak dapat melapisi bentuk yang rumit
Press panas dan press isostatik panas (Hot pressing and Hot Isostatic pressing)	0,2 – 2,0 mm	Untuk pelapisan padat.	Tidak dapat melapisi bentuk yang rumit, Butuh suhu yang tinggi Kesalahan pada thermal ekspansi Mahal Sifat elatis yang berbeda
Teknik Endapan Elektroporetik (Electrophoretic Deposition)	0.1 -2.0 mm	Ketebalan yang seragam Pengendapan yang cepat Dapat melapisi bentuk yang rumit	Sulit, karena dapat terjadi retak dalam pelapisan. Mebutuhkan suhu sintering yang tinggi
Penyemprotan thermal (thermal spraying)	30 – 200 $\mu$ m	Pengendapan yang tinggi	Pendinginan yang cepat dapat mengakibatkan terjadinya ruang hampa (amorphous).
Sol-Gel	< 1 $\mu$ m	Dapat melapisi bentuk yang rumit Mebutuhkan suhu yang rendah Murah karena pelapisannya tipis	Material pelapisnya mahal Beberapa proses membutuhkan pengontrolan dalam atmosfer proses.

Chiang, Y dan Jakus, K, 1999

Penyemprotan thermal ini hanya cocok dan diterima bila untuk material pelapisan HAP. Saat penyemprotan harus lah benar, karena variabel-variabel control dalam proses ini sangatlah sulit. Sedikit saja terjadi perubahan maka akan berpengaruh pada proses akhir pelapisan dengan kata lain maka proses pelapisan akan gagal.

Pada pelapisan HAP ini, bila suhunya tidak stabil maka hasilnya akan terjadi cacat/rusak. Hal ini dapat dicegah bila memakai system serbuk dalam pelapisannya. Alasannya karena pada proses di suhu tinggi serbuk akan mencegah HAP terjadinya dekomposisi senyawa kalsiumpospat.

Table 6. Mekanisme Dasar Pengikat Pelapisan Penyemprotan Thermal

Mechanical interlocking
Pengikat logam (Metallic bonds)
Dispersion forces
Chemisorption dan epitaxy
Diffusion
Pengikat kimia (chemical bond)
Senyawa Intermetallic

Berndt, C. C. dan Lin, C.K., 1993

Istilah adhesi adalah sangat penting pada saat proses pelapisan penyemprotan thermal. Yang berarti dua permukaan yang ada gaya ikatan atom "valence" atau gaya interlocking dari keduanya (ASTM, 1991)

Dalam prosesnya ada tiga kategori seperti pada tabel 6. Pada proses ini banyak mengandung struktur mikro, retak mikro atau mikro diantara sumbernyadan dapat menghasilkan energi selama proses pelapisan dilakukan.

Umumnya, bagian yang dicangkokkan akan mempunyai ketahanan yang baik, dan bila cangkokan ini dilepaskan dari tulang maka akan terjadi kegagalan untuk mengembalikan proses pelapisan tulang ini. Hal ini menandakan bahwaikatan antara tulang dan pelapisan sangatlah kuat dari pada ikatan logam (www.azom.com, 2006)

## KESIMPULAN

Berdasarkan dari uraian diatas maka dapat disimpulkan bahwa keramik ini sangatlah cocok sebagai bahan alternative untuk bidang kesehatan dikarena bila ditinjau dari massa jenisnya lebih ringan dari logam yaitu 2,7-3,2 g/cm<sup>3</sup>, mempunyai ketahan terhadap suhu tinggi dibandingkan logam, dan keramik ini mempunyai kekerasan yang tinggi yaitu 2500-2750 kg/mm<sup>2</sup>. Keramik ini juga mempunyai sifat yang dapat menyesuaikan dengan keadaan tubuh (*bio-compartable*). Oleh sebab itulah maka keramik ini juga dapat dijadikan pertimbangan bagi para ahli di bidang kesehatan untuk alternative bahan pengganti bagian tubuh selain logam tahan karat (stainless steels).

## DAFTAR PUSTAKA

- Berndt, C. C., Lin, C.K., 1993, *Measurement of adhesion for thermally sprayed materials*, Journal of Adhesion Science and technology no. 17 hal 1235-1264
- Black, J., Hasting, G.W., 1998, *Handbook of biomaterial properties*, Chapman and Hall, London
- Chiang, Y., Jakus, K, 1999, *Fundamental needs in ceramics*, NSF workshop report, Massachusetts Institute of Technology, NSF Grant#DMR-9714807
- Griffon, D.J., 2002, *Evaluation of osteoproduktive biomaterial: allograft, bone inducing, agent, bioactive glass, and ceramics*, Department of clinical veterinary sciences, University of Helsinki
- Hayes, B., *Better bone implant, Using Space Technology*, 2006, NASA, <http://www.science.nasa.gov>, diakses 13 oktober 2006
- Lukkassen D., Meidell A., 2003, *In Advance Material and Structures and their Fabrication Process*, ed. 3th , Narvic University College, HiN.
- Mano, J.F., Sausa, R.A., 2004, *Bioinert, biodegradable and injectable polymer matrix composite for hard tissue replacement: state of art and recent development*, Journal of composite Science and technology no. 64 hal. 789-817.
- Mitchell, B.S., 2004, *An Introduction to Material Engineering and Science, for Chemical Material Engineers*. ISBN 0-471-43623-2, Jhon Wiley and Sons Inc.
- Nathan, R., 1985, *Application of high performance ceramic in heat engine design*, Journal of material Science and Energy no. 71 hal. 227-249.
- Pompe, W., Gelinsky, M., Hofinger, I., and Nicolai, K., 1999. *Funtionally grade collagen hydroapatite materials for bone replacement*, Journal of Ceramic Transactions 114 hal. 65-72
- Ramakrisna, S., Mayer, J., Wintermantel, E., Leong, K.W., 2001, *Biomedical application of polymer composite material*, A review Journal of Computer Science and Technology No. 61 hal. 1189-1224
- Sbornicchia, P, *Classification of calciumphospate bone graft substitutes*, University of Torvergata, 2005 diakses pada 15 oktober 2006, <http://www.cirmib.ing.unitn.it/Lecture/Lecture2005/Bonegraftsubtitutes.pdf>.
- ....., *Hydroxyapatite*, diakses tanggal 12 oktober 2006 dari <http://www.azom.com/detail.asp?ArticleID=107>
- ....., 1991, *Therminology of Adhesion, American Society for Testing Material*, D 907-91b, Philadelphia