

Perkembangan dan Aplikasi Biomaterial dalam Bidang Kedokteran Modern: A Review

Irza Sukmana¹, Ahmad Yudi Eka Risano², Mahruri Arif Wicaksono³, dan Rizal Adi Saputra⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung,

Gedung A, Lt 2 FT, Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro, Bandar Lampung, 35145

Email: irza.sukmana@gmail.com

Abstract

The medical device market in Indonesia experiences growth every year, Indonesia implements imports of medical devices. Indonesia has many experts in the field of medical devices and their production processes, at university, research institutions and other government institutions. The government provides multi-year grants for research on biomaterials and medical devices. Materials to make medical devices are called biomaterials. Biomaterials can be defined as synthetic materials that interact directly with living bodies in the form of implants or as medical devices. Biomaterials can function to repair, replace, support and or restore parts of the human body. Biomaterials have undergone many developments, types of biomaterials, advanced biomaterials adapted to applications in the medical field. Biomaterials can be in the form of metals, ceramics, polymers or composites with research that continues to advance and be developed. This paper aims to highlight types and application of biomaterials in the medical field as well as the potential application of advanced biomaterials in the future.

Keywords: medical devices, biomaterials, biocompatibility, advanced biomaterials.

Abstrak

Pasar alat kesehatan di Indonesia mengalami laju pertumbuhan yang tinggi setiap tahunnya, sampai Indonesia menerapkan impor untuk alat kesehatan. Indonesia memiliki banyak tenaga ahli dibidang alat kesehatan dan proses produksinya, di universitas, lembaga riset dan institusi pemerintah lainnya. Sehingga pemerintah memberikan hibah multi tahun untuk penelitian biomaterial dan alat kesehatan. Bahan atau material untuk membuat alat kesehatan disebut dengan biomaterial. Biomaterial dapat didefinisikan sebagai material sintetik yang berinteraksi langsung dengan tubuh makhluk hidup berupa implant atau sebagai alat kesehatan (medical devices). Biomaterial dapat berfungsi untuk memperbaiki (to repair), mengganti (to replace), mendukung (to support) dan atau mengembalikan (to restore) bagian tubuh manusia. Biomaterial mengalami banyak perkembangan, jenis-jenis biomaterial, biomaterial maju yang disesuaikan dengan aplikasi dibidang kedokteran. Biomaterial dapat berupa logam, keramik, polimer maupun komposit dengan penelitian yang terus maju dan dikembangkan. Artikel ini bertujuan untuk mereview berbagai aplikasi biomaterial yang telah diimplementasikan dan peluang berbagai aplikasi biomaterial maju di masa yang akan datang.

Kata Kunci: alat kesehatan, biomaterial, biokompatibilitas, biomaterial maju.

1. PENDAHULUAN

Aplikasi material untuk keperluan kedokteran modern terus meningkat, baik pada tingkat nasional, regional dan global. Indonesia sendiri merupakan negara dengan pasar alat kesehatan dengan pertumbuhan yang sangat pesat. Perkembangan industri alat kesehatan pada awal tahun 2018 mengalami peningkatan sebesar 25.3% pada tahun 2018 [1]. Dari angka pertumbuhan tersebut, hanya 6% produk lokal alat kesehatan yang beredar. Kandungan produk lokal tersebut lebih rendah jika dibandingkan dengan

Malaysia (10%), Vietnam (13%) dan Thailand (33%). Hal ini menyebabkan Indonesia menerapkan impor alat kesehatan sebanyak 94% dari kebutuhan [2].

Indonesia memiliki banyak tenaga ahli dibidang alat kesehatan dan proses produksinya, yang berkembang di universitas, lembaga riset dan institusi pemerintah lainnya [3]. Pemerintah juga memfasilitasi investasi, memberi insentif dan prioritas kepada industri lokal, dan memperketat regulasi impor untuk meningkatkan produk lokal alat kesehatan. Kemenristekdikti telah memberikan hibah multi tahun untuk penelitian biomaterial dan alat Kesehatan ditingkat universitas dan perguruan tinggi. Bahan atau material untuk membuat alat kesehatan disebut dengan biomaterial disiplin ilmu dari Teknik Material dan Metalurgi. Biomaterial merupakan cabang ilmu yang luas cakupannya dan merupakan salah satu topik penelitian yang menarik dalam beberapa tahun terakhir ini, dimana meliputi: aspek kedokteran, ilmu dasar (biologi, kimia dan fisika) dan ilmu teknik (mesin, elektro dan material). Artikel ini bertujuan memberikan pengenalan biomaterial terutama pada material logam sebagai material yang paling banyak dipakai untuk pembuatan alat kesehatan dan aplikasi di bidang kedokteran modern [4].

Biomaterial dapat didefinisikan sebagai material sintetik untuk membuat alat kesehatan dan dalam pemakaiannya berinteraksi dengan sistem biologi [5]. Biomaterial dipakai untuk membuat implan dan devices (surgical implants and devices) yang menggantikan bagian atau fungsi organ tubuh secara aman dan ekonomis [6] Biomaterial merupakan suatu bahan murni atau paduan dan campuran yang berasal dari alam atau sintetis yang bertujuan untuk aplikasi adanya kontak dengan tubuh manusia dan berfungsi untuk memperbaiki (to repair), mengganti (to replace), mendukung (to support) dan atau mengembalikan (to restore) fungsi organ dan atau bagian tubuh manusia. Dalam aplikasinya, biomaterial dapat berupa bahan dengan spesifikasi teknis yang khusus atau boleh jadi dalam berbentuk alat kesehatan lengkap (medical devices) [4]. Biomaterial dapat dijelaskan sebagai ilmu kimia-fisik yang mempelajari interaksi dengan lingkungan biologi. Sebelum digunakan biomaterial harus memiliki sifat biokompatibilitas. Biokompatibilitas dapat artikan sebagai parameter kemampuan material untuk bisa digunakan sebagai implan pada tubuh makhluk hidup, sehingga daerah implant tersebut dapat memberikan respon tertentu/spesifik, yang sesuai dengan tujuan implantasinya.

Ide untuk menggantikan bagian tubuh dan organ manusia dengan material telah ada sejak lebih dari dua ribu (2000) tahun yang lalu, dimana bangsa Mesir dan China di dataran Asia dan Afrika, serta Aztec di dataran Amerika) telah memiliki peradaban kuno dengan menggunakan emas untuk perawatan gigi. Pada masa itu sehingga dapat diketahui potensi aplikasi biomaterial hanya diuji secara coba-coba (trial and error) terhadap tubuh manusia, sehingga banyak ditemukan kasus-kasus kegagalan implan. Setelah diketahui ilmu dan teknologi biomaterial, kemudian dunia kedokteran dan sains modern mulai menerapkan teknik pengujian biokompatitas material sebelum digunakan untuk aplikasi dibidang kedokteran. Kemudian prinsip aplikasi biomaterial dipeluas konsepnya melalui pendekatan yang sering disebut dengan rekayasa jaringan dan organ buatan atau tissue engineering and artificial organ, dimana biomaterial tersebut diaplikasikan dalam bentuk kombinasi material dengan dimensi dan sifat khusus untuk menjadi matriks di lingkungan sekitar sel (extracellular matrix atau ECM) untuk menghasilkan suatu metabolisme dan kondisi biomekanik agar terjadinya pertumbuhan jaringan fungsional tubuh [4].

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian untuk penulisan review artikel ini merujuk pada literatur terbaru yang berhubungan dengan klasifikasi biomaterial secara umum, dan biomaterial berbasis logam. Data dari literatur tersebut kemudian dikategorikan dalam table untuk menjelaskan berbagai aplikasi nyata di bidang kedokteran modern sebagaimana pada bagian hasil dan diskusi.

2.1 Klasifikasi Biomaterial

Untuk digunakan sebagai aplikasi biomaterial dapat menggunakan berbagai jenis bahan Teknik, namun tidak semua bahan Teknik bisa digunakan untuk biomaterial. Material Teknik yang dapat digunakan sebagai biomaterial harus memiliki sifat fisik dan mekanik yang sesuai dengan bagian tubuh (implant) yang digantikan. Sebelum digunakan biomaterial diuji dengan beberapa pengujian biologis agar saat digunakan aman tidak membahayakan bagi tubuh. Beberapa jenis material Teknik yang dapat digunakan sebagai biomaterial yaitu pada tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Jenis biomaterial dibidang kedokteran

No.	Biomaterial	Kelebihan	Kekurangan	Aplikasi	Referensi
1	Logam: Stainless steel, titanium, paduan kobalt-khrom	Kuat, tangguh, dan ulet	Non bioaktif	Implan ortopedik, gigi, sendi buatan, ring jantung (<i>stent</i>)	[7]
2	Keramik: zirconia, alumina, bioglass, hidroksiapatit	Bioaktif, inert,	Gelas, hydrophilic	Implan ortopedik, gigi, pengisi tulang	[8]
3	Polimer: nilon, polilaktid, polietilen, polyester, poli-asam laktat	Bioaktif, elastis, ulet,	Kekuatan tarik rendah	Graft pembuluh darah, benang jahit (<i>suture</i>), soket sendi buatan	[9]
4	Komposit: nilon/TKKS, PLA/enaf, PLA/HA, LA/epoxy, dsb	Sifat paduan, ulet, getas, elastis	Sulit dibuat	Semen tulang, resin gigi, scaffold kulit, <i>hearth valve</i>	[10]

2.2 Biomaterial Logam

Logam banyak digunakan untuk aplikasi biomaterial dibidang ortopedik dan gigi, karena memiliki sifat mekanik yang baik daripada jenis material lainnya. Logam memiliki keunggulan dibandingkan dengan jenis material lain yaitu seperti kekuatan tariknya, modulus young, ketangguhan, tahan korosi, mudah ditempa, mudah direkayasa, sehingga logam banyak digunakan sebagai implant ortopedik dan gigi.

Beberapa logam untuk digunakan sebagai biomaterial harus memiliki sifat mekanik yang sesuai, seperti pada tabel 2 dan tabel 3.

Tabel. 2 Properties logam sebagai biomaterial

No.	Logam, metalurgi dan komposisinya (wt%)	Massa Jenis (g/cm ³)	Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Modulus young (IPK)	Keuletan (%)
1	SS316L, Plat anil Fe, 16–18,5 Cr, 10–14 Ni, 2-3	8.00	190	490	193	40

	Bulan, \2 Mn, \1 Si, \0,03C (Hermawan, et al., 2011)					
2	Fe, Plat anil 99,8 Fe Paduan Fe-Mn-Pd,	7.87	150	210	200	40
3	Fe, 10,2 Mn, 0,92 Pd, 0,12 C (Schinhammer, et al., 2010)	T/A	850	1450	T/A	11
4	Mg, lembaran anil 99,98 Mg (Hermawan, et al., 2010)	1.74	90	160	45	3
5	Paduan WE43 Mg, temper T6 Mg, 3,7–4,3 Y, 2,4–4,4 Nd, 0,4–1 Zr (Hermawan, et al., 2011)	1.84	170	220	44	2
6	Paduan Mg-Ca, diekstrusi Mg, 1 Ca (Li, et al., 2008)	T/A	140	240	T/A	11

Tabel 3. Logam untuk aplikasi biomaterial

No.	Bagian tubuh	Implant	Jenis logam	Referensi
1	SS316L; Ti; Ti-6Al-4V SS316L; Ti; Ti-6Al-4V; Ti-6Al-7Nb Co-Cr-Mo; T-6Al-4V; Ti-6Al-7Nb	• Fiksasi tulang (pelat, skrup, pin, join) • Fiksasi tulang belakang • Sendi buatan	Ortopedik	[11]
2	SS316L; Co-Cr-Mo; Ti; Ti-6Al-4V	• Pelat dan skrup	Kraniofasial	[12]
3	Ti-6Al-4V SS316L; Co-Cr-Mo; Ti Ti; Ti-6Al-4V SS316L	• Katup buatan • Ring (<i>stent</i>) • Pembungkus pacu jantung • <i>Stent graft</i>	Kardiovaskuler	[12]
4	SS316L Pt	• Gendang telinga buatan • Elektroda telinga dalam	Otorinologi	[13] [14]
5	Ag-Sn(-Cu), Au Au-Cu-Ag; Au-Cu-Ag-Pt-Pd; Ti; Co-CrSS316L; Co-Cr-Mo; Ti-Ni; Ti-Mo Ti; Ti-6Al-4V; Ti-6Al-7Nb; Au	• Tambal gigi • <i>Inlay, crown, bridge</i> • Kawat ortodontik • Implan gigi • Gigi palsu • Sanggah gigi	Gigi	[4]

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Stainless Steel

Stainless steel 316L (SS316L) merupakan logam yang paling banyak dipakai untuk berbagai jenis implan dari ortopedik sampai kedokteran gigi. Jenis stainless steel yang dipakai untuk implan mengandung ~18% Cr dan ~8% Ni yang membuatnya tahan korosi dan lebih kuat dari baja karbon. Penambahan molibdenum (Mo) meningkatkan lebih lanjut ketahanan korosinya terhadap larutan yang mengandung ion klorida (Cl⁻), kemudian disebut dengan tipe 316. Selanjutnya, penurunan kadar karbon (C) dari 0,08% ke 0,03% meningkatkan ketahanannya terhadap sensitisasi dan korosi intergranular, kemudian disebut dengan tipe 316L. ASTM telah menstandarkan stainless steel untuk implan dalam standar ASTM F138, F899 dan F2181. Stainless steel telah dikembangkan untuk bebas dari kandungan Ni untuk mengurangi kemungkinan toksik, kemudian diganti dengan paduan lain dengan tetap mempertahankan kestabilan fasa austenite, dapat menggunakan nitrogen (N) untuk menciptakan paduan Fe-Cr-N, Fe-Cr-Mo-N dan Fe-Cr-MnMo-N [11].

3.2. Paduan Cobalt-Chrome (Co-Cr)

Paduan Co-Cr dikenal dengan ketahanan ausnya, sehingga banyak dipakai untuk implant pada bagian tubuh yang dinamis, seperti pada gigi dan sendi. Misalnya paduan tempa Co-Ni-Cr-Mo banyak dipakai untuk membuat implan panggul dan lutut. Seperti stainless steel, paduan ini menjadi tahan korosi karena terbentuknya lapisan oksida pelindung Cr₂O₃ di permukaan [15]. Standar ASTM paduan Co-Cr yaitu menggunakan standar ASTM F75, F90, F562, dan F1537.

3.3. Titanium (Ti) dan Paduannya

Ti memiliki densitas 4,5 g/cm³, Ti merupakan logam yang ringan dibanding dengan SS316L (7,9 g/cm³) dan paduan Co-Cr-Mo (8,3 g/cm³) (Brandes and Brook, 1992). Paduan Ti-6Al-4V memiliki kekuatan tarik dan ketahanan korosi yang tinggi karena terdapat lapisan pelindung oksida TiO₂. Ti dapat dipadukan dengan Ni dikenal sebagai Nitinol, memiliki sifat ingat bentuk (shape memory effect) yang sangat menarik untuk aplikasi khusus seperti kawat restorasi gigi [15]. Titanium dan paduannya menggunakan standar ASTM F67, F136, dan F2063.

3.4. Logam Mulia dan Paduan Tantalum (Ta)

Logam mulia seperti emas (Au), perak (Ag), platinum (Pt) dan paduannya lebih banyak dikenal dalam kedokteran gigi karena mampu coranya yang baik, juga keuletan dan ketahanan korosinya. Termasuk kedalam paduan ini adalah Au-Ag-Cu, yang jika ditambahkan seng (Zn) dan timah (Sn) dikenal sebagai solder gigi, juga Au-Pt-Pd yang dipakai untuk reparasi gigi (porcelain-fused-to-metal) [16].

Untuk aplikasi implant dapat menggunakan logam paduan amorf dan logam biodegradabel. Tantalum memiliki ketajaman citra X-ray dan kerentanan magnetiknya yang rendah, Ta sering dipakai sebagai penanda X-ray untuk stent. Logam amorf memiliki ketahanan korosi, ketahanan aus, kekuatan tarik dan kekuatan leleh yang lebih tinggi dibanding logam kristalin. Paduan amorf berbasis zirkonium (Zr) bermodulus elastisitas rendah dapat dipakai untuk implan tulang mini [17]. Paduan amorf magnesium (Mg) juga menunjukkan perilaku degradasi dengan evolusi hidrogen tidak teramati [18].

3.5. Biomaterial Berbasis Keramik

Biomaterial keramik (biokeramik) dapat dibagi kedalam tiga kelompok: 1) biokeramik inert, seperti zirconia, alumina, aluminium nitrid dan karbon; 2) biokeramik aktif,

seperti hidroksiapatit, bioglas, dsb.; 3) keramik biodegradable, seperti kalsium aluminat, kalsium fosfat, dsb. Keramik memiliki sifat keinertan, kekuatan tekan yang tinggi dan estetika banyak diaplikasikan untuk gigi buatan. Karbon memiliki sifat kekuatan spesifiknya yang tinggi dan hemokompatibilitasnya sehingga digunakan untuk daun katup jantung. Biokeramik dapat dipakai untuk pelapis pada permukaan implan logam, termasuk nitride, diamond like carbon dan yang terbaru bioglas dan hidroksiapatit [8].

3.6. Biomaterial Berbasis Polimer

Keunggulan utama biomaterial polimer (biopolimer) dibanding logam dan keramik adalah kemudahan proses pembuatan produknya dalam berbagai bentuk. Biopolimer dapat dibagi menjadi dua kelompok: 1) non-absorbabel, seperti akrilik, nylon, polietilen, dll.; dan 2) absorbabel, seperti poliglikolik asid dan polilaktik asid, dll [9]. Polimer dapat berbentuk padat atau jeli, atau lapisan tipis di permukaan implan logam dengan sifat mekanik dan fisik yang dapat diatur. Polimer absorbabel telah digunakan sebagai lapisan pembawa obat (drug delivery carrier) pada ring jantung (drug eluting stent) [19].

3.7. Biomaterial Berbasis Komposit

Penggunaan komposit untuk pengisi tulang menggunakan matrik organik bermodulus elastis rendah dengan penguat fiber mineral dengan modulus elastis tinggi, berstruktur pori yang diisi cairan tubuh. Komposit dapat mengontrol sifat material yang memiliki sifat kombinasi yaitu kaku, kuat, tangguh dan ringan. Biomaterial komposit seperti pada implan ortopedik berstruktur pori, tambalan gigi, dan semen tulang (resin polietilen diperkuat akrilik) [20].

3.8. Aplikasi Biomaterial

Biomaterial umumnya digunakan sebagai material yang kontak langsung dengan system biologi seperti implant, alat Kesehatan, dll. Implant biomaterial merupakan material yang digunakan sebagai pengganti bagian system tubuh yang mengalami kerusakan atau masalah untuk sementara (scaffold) atau selamanya. Biomaterial implant scaffold berfungsi sebagai material penunjang yang berfungsi untuk merangsang jaringan baru untuk tumbuh seperti, implant tulang logam berpori. Biomaterial sebagai implant selamanya seperti penunjang pembantu detak jantung, valve, alat bantu pernapasan dan lain sebagainya.

Biomaterial untuk kebutuhan implantasi (implantable biomaterials) sudah sejak lama digunakan sejak lebih dari dua ribu (2000) tahun yang lalu, dimana bangsa- bangsa Mesir dan China di dataran Asia dan Afrika, serta Aztec di dataran Amerika, telah memiliki peradaban kuno dengan menggunakan emas untuk perawatan gigi. Logam untuk alat kesehatan telah mengalami perkembangan sejak penemuan baja tahan karat (stainless steel) di tahun 1920an dan pembentukan komite F04 dari ASTM (American Society for Testing and Materials) tahun 1962.

Logam digunakan sebagai implan untuk intervensi trauma, penyakit atau malfungsi organ tubuh yang mengutamakan sifat mekanik yang tinggi. Logam implant umumnya memiliki sifat mekanik yang rendah dan mudah korosi [21]. Kemudian pada rekayasa material ditemukan baja tahan karat 18Cr-8Ni yang dapat digunakan sebagai biomaterial. Beberapa jenis logam implant yang sering digunakan yaitu, paduan stainless steel, paduan Co-Cr, Ti dan paduannya, dan logam mulia. Bagian tubuh yang dapat menggunakan biomaterial yaitu pada tabel 4 sebagai berikut.

Tabel 4. Bagian tubuh yang dapat menggunakan bioamterial

No.	Bagian Tubuh	Tipe/Jenis Biomaterial	Referensi
1.	Sistem Rangka Tubuh		
	• Pengganti Sendi tulang lutut dan panggul	• Titanium, Ti-Al-V, Baja tahan karat	[7]
	• Pelat dan baut tulang (<i>bone plates</i>)	• Titanium, Platina, Paduan Cobalt-Chrom, Baja tahan karat, dan Mg	[22]
	• Retak tulang (<i>bone defect</i>)	• Hidroksiapatit (HA)	[8]
	• Urat dan jaringan ikat (<i>tendon and ligament</i>)	• Polimer Teflon, Dacron	[23]
2.	Rongga Mulut		
	• Implan gigi palsu	• Titanium dan paduan Ti-Al-V, Baja tahan karat, Kalsium Fosfat, Alumina,	[24]
3.	Sistem Jantung dan Pembuluh Darah		
	• Alat bantu pembuluh darah (<i>stent</i>) • Katup jantung buatan • Alat penstabil detak jantung	• Polimer Teflon, Dacron, Poliuretan • Jaringan yang di Proses Ulang, Besi Tahan Karat, Karbon	[9]
4.	Sistem Organ Tubuh		
	• Perbaikan kulit	• Silikon-Kolagen Komposit	[20]
5.	Sistem Ginjal		
	• <i>Catheter</i> (saluran urinari luar)	• Karet silikon, Teflon, poli-uritan	[14]
6.	Sistem Otot		
	• Urat dan jaringan ikat (<i>tendon and ligament</i>)	• Polimer Teflon dan Cacron	[23]
7.	Sistem Indra		
	• Pengganti Koklea	• Elektroda platinum	[14]

	• Lensa Intraokular • Lensa kontak • Perban kornea	• Metil metakrilat, karet silikon, - hidrogel • Silikon akrilat, hidrogel • Kolagen, hidrogel	
--	--	--	--

Dalam aplikasi medis, biomaterial dapat diintegrasikan membentuk seperangkat alat yang ditanam (implanted) pada tubuh, sehingga secara biologis tubuh akan lebih cepat memberikan respon terhadap implant tersebut berupa penolakan atau penerimaan terhadap implant material yang di pasangkan. Oleh karena itu, sebelum ditanam, biomaterial harus sudah memiliki izin (approval) dari lembaga khusus, sebagaimana Food and Drug Administration (FDA) di Amerika Serikat dan Balai Pengawasan Obat dan Makanan (BP-POM) di Indonesia. Contoh implant logam yang digunakan dibidang kedokteran yaitu pada gambar 1, gambar 2, dan gambar 3 berikut.



Gambar 1. a). Implant hip joint replacement [25], b). Beberapa aplikasi implan logam [3]
Gambar 2. Biomaterial di bidang kedokteran modern [24]

3.9. Biomaterial Maju (Advanced Biomaterials)

Biomaterial telah mengalami kemajuan dengan berbagai riset di perguruan tinggi, instansi, balai penelitian, balai Kesehatan dll. Pada biomaterial maju telah menggunakan material paduan, yang disesuaikan dengan kebutuhan sehingga sesuai dengan implant atau bagian tubuh yang digantikan. Pada biomaterial maju terdapat implant biomaterial yang tidak memerlukan pengangkatan kembali setelah ditanam karena aman terdegradasi didalam tubuh makhluk hidup. Beberapa penelitian biomaterial yang sedang dilakukan seperti biomaterial dengan paduan modulus elastisitas rendah, paduan

bebas nikel, glass metallic, Beberapa perkembangan biomaterial yang terakhir yaitu seperti logam berpori, logam amorf dan biomaterial drug delivery.

Prinsip aplikasi biomaterial juga telah diperluas konsepnya melalui pendekatan yang sering disebut dengan rekayasa jaringan dan organ buatan atau tissue engineering and artificial organ, dimana biomaterial tersebut diaplikasikan dalam bentuk kombinasi material dengan dimensi dan sifat khusus untuk menjadi matriks di lingkungan sekitar sel (extracellular matrix atau ECM) untuk menghasilkan suatu 18 metabolisme dan kondisi biomekanik agar terjadinya pertumbuhan jaringan fungsional [4].

Dalam perkembangan bioteknologi terkini muncul konsep biomaterial aktif. Bioaktivitas mendorong interaksi positif antara implan dan jaringan sekitarnya. Tingkat aktivitas biologi tertentu diperlukan untuk area tertentu seperti rekayasa jaringan dimana interaksi langsung antara biomaterial dan komponen jaringan sangat esensial. Dalam kasus tertentu, fungsi biomaterial hanya diperlukan sementara waktu selama proses penyembuhan dan diharapkan terdegradasi setelahnya [25]. Polimer biodegradable (absorbabel) adalah biomaterial yang pertama yang diteliti dan dipakai untuk biomaterial [26]. Logam biodegradabel baru ini digunakan pada aplikasi klinis pada skrup dan pin tulang yang terbuat dari paduan magnesium [25].

Biomaterial logam diharapkan untuk memiliki modulus elastisitas rendah demi mengurangi efek pelindung beban (stress shielding effect), memiliki ketahanan aus dan kemampubentukan yang tinggi. Modulus elastisitas paduan Ti-Nb seperti Ti-29Nb13Ta-4.6Zr [27] dan Ti-35Nb-4Sn [28] dapat turun serendah 50-60 GPa, nilai yang mendekati modulus elastisitas tulang kortikal (10-30 GPa). Ketahanan aus paduan cor Co-Cr dapat ditingkatkan dengan meningkatkan kandungan C dan penambahan Zr dan N dimana pengerasan presipitat yang optimal memungkinkan formasi dan distribusi partikel halus karbida serta mencegah munculnya fasa sigma [29]. Peningkatan mampu bentuk dari paduan Co-Cr didapat dari penambahan N yang mencegah formasi karbida dan fasa intermetalik [30].

Berikut dijelaskan beberapa jenis biomaterial maju seperti logam berpori, logam amorf, biomaterial with drug delivery system yang dapat diaplikasikan di masa kini dan yang akan datang.

3.10. Logam berpori

Logam berpori pada logam dapat menurunkan modulus elastisitas untuk mendekati sifat asli tulang cancellous bone. Struktur ini dapat dibuat melalui proses metalurgi serbuk, metoda space holder, dekomposisi foaming agent, rapid prototyping dan additive manufacturing [31]. Logam berpori dapat menggunakan metode kombinasi rapid prototyping dengan pengecoran [32], atau metalurgi serbuk [33], atau dekomposisi fiber 3D [34] dan selective laser melting [35]. Fabrikasi solid free form, sebuah teknik manufaktur rapid prototyping, telah berhasil membuat struktur kompleks dari perancah tulang (bone scaffold). Semua teknologi ini memungkinkan pembuatan konstruksi rekayasa jaringan (tissue engineering) dengan kontrol distribusi spasial untuk pertumbuhan sel optimal [36].

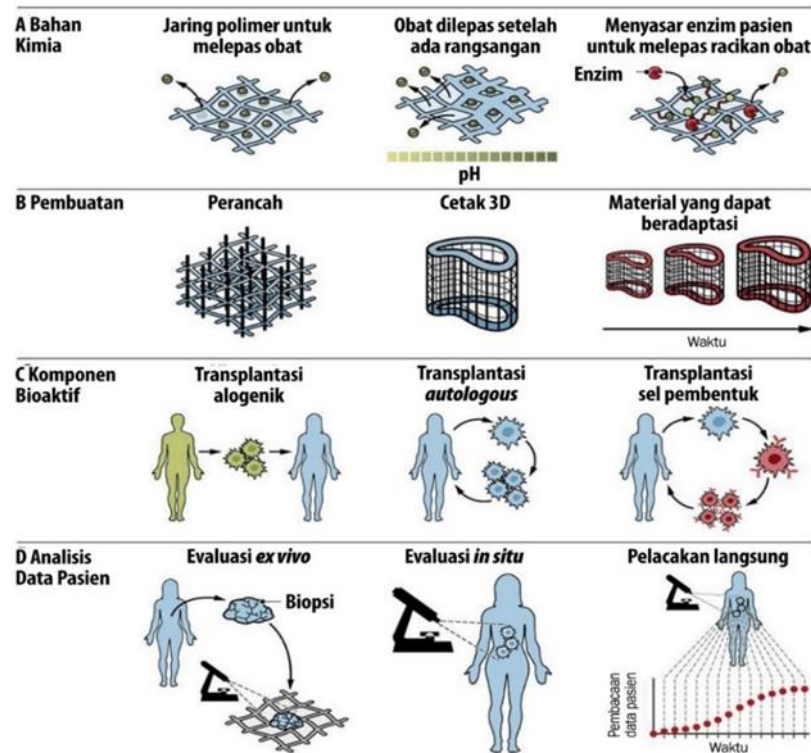
3.11. Logam amorf

Logam amorf (metallic glasses) telah diteliti untuk aplikasi biomaterial [37], Logam amorf bebas Ni berbasis Zr menunjukkan kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan ketahanan korosinya lebih baik dibandingkan dengan paduan kristalannya [38]. Logam amorf memiliki resistensi tinggi terhadap kristalisasi ketika proses pendinginan sehingga memungkinkan formasi struktur amorf secara masif [39].

3.12. Biomaterial with drug delivery system

Biomaterial drug delivery merupakan biomaterial yang memiliki fungsi sebagai penghantaran obat yang dirancang untuk melepaskan obat secara kontinu dan terkontrol dalam waktu yang panjang pada sirkulasi darah [40]. Enkapsulasi obat merupakan NDDS (Novel drug delivery system) dimana zat aditif terikat dengan biomaterial, membuat pelepasan obat menjadi selektif dan perlahan [41]. Biopolymer banyak berperan dalam system NDDS ini seperti polimer LA, PLA, PDLA, PLLA [9].

Polimer absorbabel telah banyak digunakan sebagai lapisan pembawa obat (drug delivery carrier) pada ring jantung (*drug eluting stent*) [19]. Biomaterial yang telah mengalami riset lebih lanjut, penjelasannya yaitu seperti pada gambar 4 di bawah ini.



Gambar 3. Biomaterial maju dengan drug delivery system [25]

4. KESIMPULAN

Bahan atau material untuk membuat alat kesehatan disebut dengan biomaterial. Biomaterial dapat didefinisikan sebagai material sintetik yang berinteraksi langsung dengan tubuh makhluk hidup berupa implant atau sebagai alat kesehatan. Biomaterial mengalami banyak perkembangan, jenis-jenis biomaterial, biomaterial maju yang disesuaikan dengan aplikasi di bidang kedokteran. Biomaterial dapat berupa logam, keramik, polimer maupun komposit dengan penelitian yang terus maju dan dikembangkan. Biomaterial telah banyak digunakan sebagai implan pada ortopedik dan gigi seperti material logam berbasis Titanium, Tantalum, Cobalt-Chrome, Stainless Steel dan paduan logam lain. Selain itu juga biomaterial berbasis keramik, polimer, dan komposit juga telah banyak diimplementasikan. Potensi pengembangan biomaterial di Indonesia cukup besar, mengingat jumlah kasus kegagalan medis yang memerlukan implantasi biomaterial sangat banyak terjadi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas support Penelitian Professorship BLU Universitas Lampung tahun anggaran 2022.

REFERENCES

- Kemenkes – Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2018). Perkembangan Industri Alat Kesehatan Dalam Negeri Meningkat. <https://www.kemkes.go.id/article/view>.
- CNBC Indonesia. (2021). Impor Alat Kesehatan. CNBC Television broadcast. Jakarta, Profit CNBC Indonesia
- Mahyudin, F., and Hermawan, H. (2016). *Biomaterials and Medical Devices: A Perspective from an Emerging Country*. Heidelberg: Springer
- Ratner, B.D., et al., (2004). *Biomaterial Science*, 2nd Edition, Elsevier Academic Press, San Diego, California, USA
- Williams, D.F. (1987). *Definitions in Biomaterials*. Progress in Biomedical Engineering. Amsterdam : Elsevier.
- Park, J.B., and Lakes, R.S. (2007). *Biomaterials: An Introduction*. 3rd ed. Heidelberg: Springer
- Hermawan, et al. (2010). Development of Metal Biodegradable Stent, *Acta Biomaterial* 6:1693–1697
- Kokubo, T. (2008). *Bioceramics Clinical Applications*. Cambridge: Woodhead Publishing
- Gupta, B., Revagade, N. and Hilborn, J. (2007). Poly(LA) fiber: an overview. *Prog Polym Sci* 34. PP. 455–482.
- Cheng, T. S., Uy Lan, D. N., Phillips, S., and Tran, L. Q. N. (2018). Characteristics of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber and Mechanical Properties of Its Unidirectional Composites. Singapore Institute of Manufacturing Technology (SIMTech) : A-STAR. DOI 10.1002/pc.24824
- Yang, K, and Ren, Y. (2010). Nickel-Free Austenitic Stainless Steels for Medical Applications. *Sci*
- Hermawan, H., and Mantovani, D. (2009) Biomaterial as Biodegradable Metals : A Concept Advance. *Minerva Biotechnol* 21:207–216
- Witte, F., et al. (2006). *Book of Biomaterials*. Ed. 27. Vol. 10
- Fisher, J.P., Mikos, A.G., and Bronzino, J.D. (2007). *Tissue Engineering and Artificial Organs*. CRC Press: Taylor and Francis group
- Staiger, M.P., Pietak, A.M.H., Huadmai, J., and Dias, G. (2006). Titanium, Magnesium and its Alloys as Orthopedic Biomaterials: A Review. *Biomaterials*. Vol. 27, ed. 17, hal.28–34
- John, C.W. (2000). Biocompatibility of Dental Casting Alloys: A review. *J Pros Dent* :83:223-34
- Wang, Y.B., Zheng, Y.F., Wei, S.C., and Li, M. (2011). In Vitro Study on Zr-Based Bulk Metallic Glasses as Potential Biomaterials. *J Biomed Mater Res* 96B:34-46
- Zberg, B., Uggowitzer P.J., and Loffler, J.F. (2009). Mg-Zn-Ca Glasses Without Clinically Observable Hydrogen Evolution for Biodegradable Implants. *Nature Materials* 2009; 8 : 887-91
- Jenkins, M. (2007). *Biomedical Polymers*. Cambridge: Woodhead Publishing
- Ambrosio, L. (2009). *Biomedical Composites*. Cambridge: Woodhead Publishing
- Sherman, W.O. (1912). Vanadium Steel Bone Plates and Screws. *Surg Gynecol Obstet* ;14:629-34
- Witte, F. (2010). The History of Biodegradable Magnesium Implants: A Review. *Acta Biomaterial*. Vol. 6. Ed. 16, hal. 80–92
- Auras, R., Lim, L.T., Selke, M. and Tsuji, H. (2010). *Poly (LA): Synthesis, Structures, Properties, Processing, and Application*. Hoboken NJ: John Wiley & Sons Inc

- Zeng, R.C., Dietzel, W., Witte, F., Hort, and Blawert, C. (2008). *Advanced Basic of Engineering Materials*. Hal. 10 B3.
- Hermawan, H. (2018). Updates on Research and Development of Absorbable Metals for Biomedical Devices. *Prog Biomater* 7:93-110
- Stack, R.S., Califf R.M., Phillips, H.R., Pryor, D.B. and Quigley, P.J. (1988). Interventional Cardiac Catheterization at Duke Medical Center. *Am J Cardiol* 62:3F-24F
- Kuroda, D., Niinomi M., Morinaga M., Kato, Y., and Yashiro, T. (1998). Design and Mechanical Properties of New Type Titanium Alloys for Implant Materials. *Mater Sci Eng A*. 243:244-9
- Matsumoto, H., Watanabe S., and Hanada, S. (2005). Beta Ti-Nb-Sn Alloys with Low Young's Modulus and High Strength. *Mater Trans* ; 46:1070-8
- Lee, S.H., Nomura N., and Chiba A. (2008). Significant Improvement in Mechanical Properties of Biomedical Co-Cr-Mo Alloys with Combination of N Addition and Cr-Enrichment. *Mater Trans*, 49:26
- Chiba, A., Lee, S.H., Matsumoto, H., and Nakamura, M. (2009). Construction of Processing Map for Biomedical Co-28Cr-6Mo-0.16N Alloy by Studying its Hot Deformation Behavior Using Compression Tests. *Mater Sci Eng A* 513-514:286-93
- Ryan, G., Pandit, A., and Apatsidis, D.P. (2006). Fabrication Methods of Porous Metals for Use in Orthopaedic Applications. *Biomaterials* 27:2651-70
- Lopez, H.M.A., Sohler, J., Gaillard, C., Quillard, S. and Dorget, M. (2008). Rapid Prototyped Porous Titanium Coated with Calcium Phosphate as a Scaffold for Bone Tissue Engineering. *Biomaterials* ; 29:2608-15.
- Ryan, G.E., Pandit A.S., and Apatsidis, D.P. (2008). Porous Titanium Scaffolds Fabricated Using a Rapid Prototyping and Powder Metallurgy Technique. *Biomaterials* 29:3625-35
- Li, J.P., Habibovic, P., Van den Doel, M., Wilson, C.E., and De Wijn, J.R. (2007). Bone Ingrowth in Porous Titanium Implants Produced by 3D Fiber Deposition. *Biomaterials* 28:281020.
- Hollander, D.A., Von Walter, M., Wirtz, T., Sellei, R. And Schmidt-Rohlfing B. (2006). Structural, Mechanical and In Vitro Characterization of Individually Structured Ti-6Al-4V Produced by Direct Laser Forming. *Biomaterials* 27:955-63
- Hutmacher, D.W., Sittering M., and Risbud, M.V. (2004). Scaffold-Based Tissue Engineering: Rationale for Computer-Aided Design and Solid Free-Form Fabrication Systems. *Trend Biotechnol* 22:354- 62
- Schroers, J., Kumar, G., Hodges, T., Chan, S., and Kyriakides, T. (2009). Bulk Metallic Glasses for Biomedical Applications. *JOM* 61:21-9
- Chen, Q., Liu, L., and Zhang, S.M. (2010). The potential of Zr-based Bulk Metallic Glasses as Biomaterials. *Front Mater Sci China* 2010 ; 4 : 34-44
- Johnson, W. (2002). Bulk Amorphous Metal an Emerging Engineering Material. *JOM* 54:40-3
- Nair, L. S., and Laurencin, C. T. (2006). Polymers as Biomaterials for Tissue Engineering and Controlled Drug Delivery, *Adv Biochem Engin/Biotechnol*, Vol. 102, pp. 47–90
- Langer, R. (2000). Biomaterials in Drug Delivery and Tissue Engineering: One Laboratory's Experience. *Acc. Chem. Res.* Vol. 33. No. 2. PP. 94-101.