

Bab II

Tinjauan Pustaka

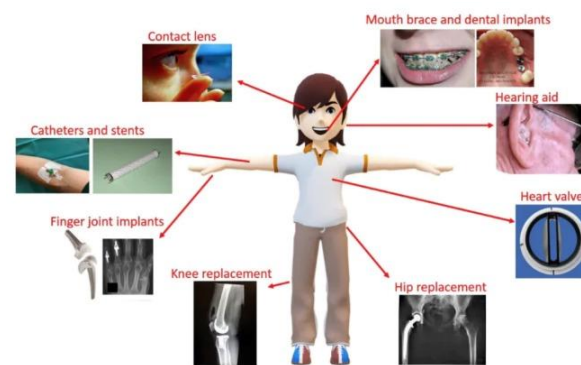
2.1 Biomaterial

Biomaterial adalah material yang ditanam di dalam tubuh manusia untuk mengganti jaringan organ tubuh yang terserang penyakit, rusak ataupun cacat baik berasal dari makhluk hidup maupun sintetik (Widyastuti, 2009). Persyaratan yang harus dipenuhi biomaterial sangat berat. Penggantian atau perbaikan anggota badan, jaringan, organ atau fungsi mempersyaratkan bahwa material yang digunakan harus mempunyai sifat mekanik, fisis dan kimia yang khusus (Bidhendi, 2011). Pada umumnya tidak ada biomaterial yang mempunyai sifat biokompatibel yang menyeluruh, karena suatu material untuk suatu aplikasi bisa saja biokompatibel, tetapi tidak untuk aplikasi lain. Oleh karena itu biokompatibilitas berbeda-beda tergantung aplikasinya. Biomaterial membutuhkan pemahaman mendasar dari sifat-sifat material secara umum, biomaterial alami terbagi atas *allograft* (tulang manusia), *xenograft* (tulang sapi), dan *autograft* (Tulang dari pasien yang sama) (Dewi, 2009). Biomaterial terbagi menjadi lima jenis yaitu (Muddugangadhar *et al.* 2011):

1. Biotoleran, ialah material yang dapat bertahan tanpa memberikan efek atau kerusakan pada jaringan tubuh. Biasanya akan muncul jaringan tipis yang membungkus material ini sebagai antarmuka dengan jaringan atau susunan tubuh.

2. *Bioinert* diartikan sebagai suatu bentuk reaksi dalam pembentukan fibrous oleh jaringan tubuh manusia pada susunan atau permukaan biomaterial.
3. Bioaktif merupakan suatu ikatan secara langsung dalam biokimia dan juga biologis pada antarmuka biomaterial dan juga tulang induk melalui proses lapisan apatit biomaterial.
4. Biotoleran dan *bioinert*, contohnya seperti logam dan karbon yang biasanya disebut dengan istilah implant, alasannya karena ketika ditanamkan ke jaringan tubuh manusia, material jenis ini tidak akan pernah menyatu dengan jaringan tubuh.
5. Material kalsium fosfat yang sering digunakan dalam bidang ortopedi dan kedokteran gigi sebagai material pengganti tulang. Cara yang digunakan adalah dengan memberikan mineral tulang pada bagian yang sudah mengalami kerapuhan melalui suntikan suspensi atau koloid mineral atau hormon ke tulang pada bagian yang rapuh yaitu *injectable bone substitute*.

Salah satu pemanfaatan biomaterial pada tubuh manusia dapat dilihat pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Biomaterial (Ratner, 2019)

Berdasarkan Gambar 2.1 terdapat jenis aplikasi implan pada aplikasi biomaterial yaitu pin, penyambung patah tulang dan *stent* jantung. Pemilihan logam ditinjau berdasarkan sifat biokompatibel, sifat mekanik serta biaya produksi. Logam yang banyak diaplikasikan pada bidang biomedis adalah baja tahan karat 316L, paduan kobalt-kromium-molibdenum (CCM) dan paduan titanium. Material logam sebagai biomaterial dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Sifat Mekanik Biomaterial *Artificial Hip Joints* (Waily *et al*, 2020)

Material	<i>Mechanical Properties</i>					
	σ_{st}	σ_y	ϵ_f	HV	E	σ_f
SS 316l	650	280	45	190	211	280
Co-Cr alloy	1540	1050	9	450	541	290
Cast Co-Cr Alloy	690	290	8	300	241	300
Titanium	710	270	30	-	121	300
Ti-6Al-4V	1000	970	12	-	121	-
<i>Natural Bone</i>	137,3	-	1,49	26,3	30	-

Berikut ini merupakan contoh aplikasi pada biomaterial pada Gambar 2.2.



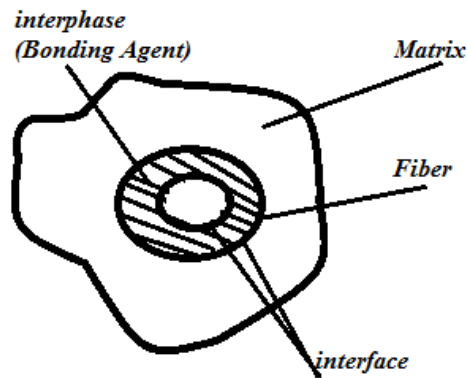
Gambar 2.2 Aplikasi Produk Biomaterial (Zenith, 2021)

2.2 Komposit Material

Material padat dikelompokkan menjadi 3 klasifikasi dasar yaitu logam, keramik, dan polimer akan tetapi 3 jenis material tersebut dapat dikombinasikan

menjadi sebuah material yang disebut material komposit. Material komposit merupakan teknologi rekayasa material hasil kombinasi makroskopik dari dua atau lebih komponen berbeda, dengan tujuan mendapatkan sifat fisik dan mekanis tertentu yang lebih baik daripada sifat masing-masing komponen penyusunnya (Sari, 2018). Dengan perbedaan dari material penyusunnya maka komposit antara material harus berikatan dengan kuat, sehingga perlu adanya penambahan *wetting agent* yang mempunyai kemampuan untuk membasahi serat (penguat) yang terjadi akibat adanya interaksi antara molekul dari kedua material tersebut (Prabowo, 2016). Berdasarkan matriknya komposit diklasifikasikan menjadi tiga kelompok yaitu komposit matrik logam, komposit matrik keramik dan komposit matrik keramik. Komposit terdiri dari dua penyusun yaitu matrik dan penguat. Matriks adalah komponen penyusun dengan fraksi volume terbesar, sedangkan penguat adalah komponen yang dilingkupi oleh matrik yang berfungsi sebagai penahan beban utama. Komposisi matrik logam dapat diklasifikasi dengan beberapa cara. Salah satu klasifikasi adalah berdasarkan jenis dan kontribusi komponen penguat (*reinforce*) yang dapat berupa partikel, *layer*, fiber dan penetrasi material komposit. Material komposit yang menggunakan bahan yang jenis penguat yang berbeda dalam matriks yang sama disebut dengan komposit *hybrid* (Jamir *et al.*, 2018). Komposit jenis ini memiliki jangkauan pengaplikasian yang lebih luas karena memiliki lebih dari satu penguat. Adanya dua penyusun material komposit yaitu matrik dan penguat maka terbentuklah daerah-daerah yaitu *interphase* dan *interface*. *Interphase* adalah tempat pelekatan antar dua penyusun (matrik dan penguat), sedangkan *interface* adalah tempat permukaan *phase* yang berbatasan

dengan *phase* lain. Terbentuknya daerah-daerah tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Komponen Penyusun Komposit (Jones R, 2019)

2.3 Komposit Biomaterial

Secara garis besar komposit dapat didefinisikan sebagai material yang terdiri dari perpaduan dua atau lebih material yang memiliki sifat yang berbeda sehingga menghasilkan material baru dengan sifat yang berbeda dibandingkan sifat material dasar sebelum dicampur. Terdapat dua komponen utama yang ada pada komposit, yaitu matrik dan penguat. Matrik adalah bagian dengan fraksi volume terbesar yang berfungsi untuk mentransfer beban dan melindungi penguat, sedangkan penguat adalah penahan beban utama pada komposit dan diantara matrik dan penguat terdapat *interface* (pelekat antara dua penyusun) (V.Vasiliev, 2007).

Berdasarkan matrik komposit dapat di klasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu (Sapuan, 2017):

1. *Metal Matrix Composite* (MMC) didefinisikan sebagai komposit bermatrik logam, seperti komposit matrik alumunium yang digunakan pada industri otomotif. Kedua adalah

2. Polymer Matrix Composite (PMC) yang didefinisikan sebagai komposit yang menggunakan polimer sebagai matriknya. Contoh dari PMC adalah komposit polietilen dengan penguat serat aramid yang digunakan sebagai rompi anti peluru. Ketiga adalah
3. *Ceramic Matrix Composite* (CMC) yang memiliki definisi komposit bermatrik keramik. Setiap jenis komposit memiliki kelebihan dan kekurangan masing masing sehingga setiap komposit memiliki aplikasi yang berbeda.

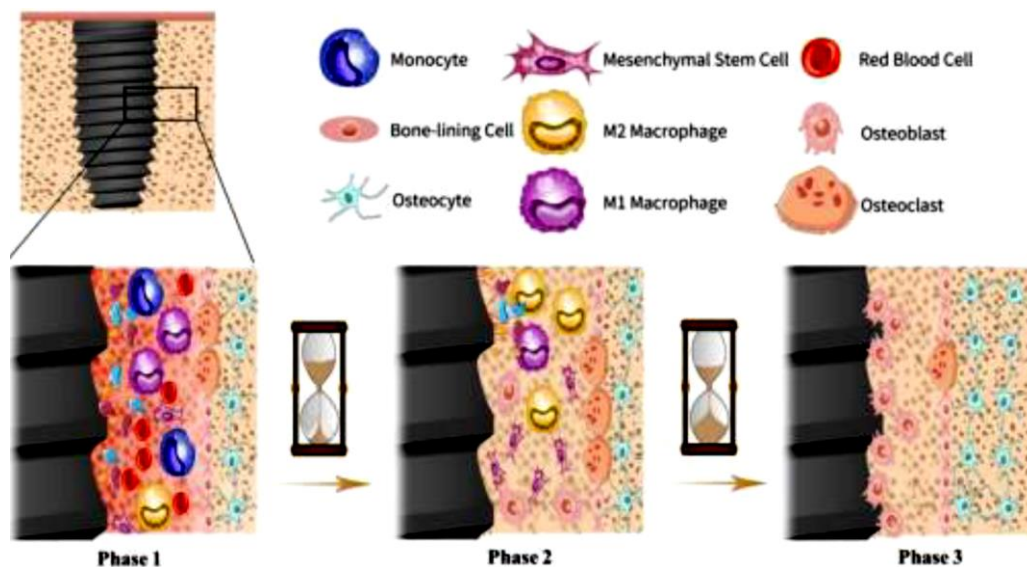
Komposit untuk aplikasi biomaterial harus memiliki sifat yaitu tidak mudah terdegradasi, bersifat *bioinert* dan *biocompatible* sehingga *ceramic matrix composite* yang sangat cocok untuk digunakan sebagai komposit biomaterial (Chang, 2018).

Dikarenakan sifat komposit disesuaikan berdasarkan aplikasinya bidang kesehatan. Beberapa contoh adalah pada aplikasi implan gigi dan tulang, *dental filling*, prostetik pinggul, hingga semen tulang (*bone cement*). Dikarenakan untuk bagian tulang manusia, selain *bioactive* komposit tersebut harus memiliki sifat *osteoconduction* (Ogueri, 2020). Material yang memiliki sifat *osteoconduction* disebut *osteoconductive material*. *Osteoconductive material* adalah kemampuan material untuk ditempati oleh sel *osteoprogenitor* sehingga regenerasi tulang dapat terjadi. Hidroksiapatit memiliki sifat *osteoconduction*, maka komposit bermatrik sangat cocok digunakan sebagai *dental filling* maupun *bone cement* (Klenke, 2016).

Biomaterial yang berada dalam tubuh, terjadi interaksi antara material dengan tubuh. Interaksi terdiri dari tiga fase yaitu (Li, 2021):

1. Fase 1 terjadi pada permukaan biomaterial yang diselubungi oleh darah, biomolekul, protein, glikoprotein, dan lipid yang membentuk lapisan bioaktif.
2. Fase 2 terjadi pada penyerapan jaringan tulang awal dimulai dengan proliferasi dan diferensiasi sel osteon yang mengarah ke mineralisasi.
3. Fase 3 terjadi pada permukaan yang ditutupi oleh osteoblas dan osteoklas menyebabkan *osteointegration*.

Respon sel tubuh manusia yang diaplikasikan implan biomaterial dan terjadi interaksi antar sel di setiap masing-masing fase yang dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Respon Sel Tubuh Terhadap Implan (Li, 2021)

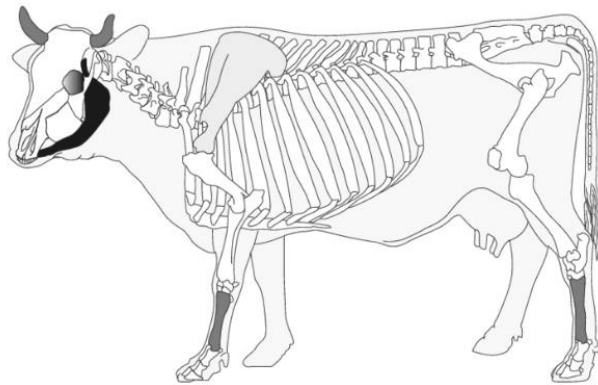
Dalam merancang komposit perlu memperkirakan nilai dari sifat yang terbentuk pada material komposit. Salah satu metode paling umum yang digunakan untuk menghitung nilai dari sifat komposit adalah menggunakan *Rule of Mixture* (ROM). ROM merupakan salah satu metode memungkinkan untuk memprediksi

sifat komposit yang tersusun dari dua atau lebih bahan berbeda dengan sifat yang berbeda dengan cara mengkalikan nilai sifat matrik dan penguat dengan fraksi volumenya (FV). *Rule of Mixture* (ROM) bisa digunakan untuk memprediksi modulus elastisitas, kuat tarik hingga kekerasan. Berikut adalah persamaan matematika dari *rule of mixture* yang dijelaskan pada persamaan berikut (Kim, 2000):

$$HV_{\text{Composite}} = (HV_{\text{matrix}} \times FV_{\text{Matrix}}) + (HV_{\text{reinforce}} \times FV_{\text{reinforce}}).....(2.1)$$

2.4 Tulang Sapi

Di Indonesia, produksi daging sapi sangat banyak karena tingkat konsumsi daging sapi di Indonesia cukup tinggi. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) produksi daging sapi di Indonesia pada tahun 2022 sekitar 436,7 ton (BPS, 2022). Karena produksi daging sapi yang sangat banyak mengakibatkan limbah tulang sapi yang sangat banyak juga, dan salah satu pemanfaatan limbah tulang sapi yaitu pada dunia kesehatan yang dimanfaatkan sebagai biomaterial. Tulang sapi bisa dimanfaatkan sebagai biomaterial karena salah satu sumber biologi untuk menghasilkan HAp (Barakat, 2008). Tulang sapi dipilih sebagai sumber hidroksiapatit karena ketersediaan sumber yang melimpah, mudah diperoleh serta bernilai ekonomis. Tulang sapi merupakan sisa hasil (*by product*) dari pemotongan sapi yang belum diolah secara optimal, sehingga tulang sapi memiliki nilai ekonomis yang rendah. Sejalan berkembang teknologi khususnya pada teknologi pengolahan hasil ternak, maka limbah tulang telah dikembangkan dan dimanfaatkan baik dalam bentuk produk pangan maupun non-pangan. Gambaran potensi pemanfaatan *by product* dari tulang sapi dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Pemanfaatan Tulang Sapi (Clavel, 2010)

Pada Gambar 2.5 presentase pemanfaatan tulang sapi paling banyak dimanfaatkan pada bagian tulang paha sapi, presentase pemanfaatan tulang bagian tersebut berkisar 90-100%, namun pemanfaatan tulang sapi tersebut masih terbatas dan mempunyai nilai ekonomis yang rendah. Komposisi tulang paha sapi terdiri dari 70% zat non organik dan 30% zat organik dengan mineral penyusun tulang memberikan sifat kaku pada tulang. Ikatan senyawa yang dimiliki oleh tulang menentukan fasa hidroksiapatit tulang. Fasa hidroksiapatit terbagi menjadi dua yaitu fasa stokiometrik hidroksiapatit dan fasa non stokiometrik. Penentuan fasa tergantung nilai rasio Ca/P. Nilai rasio Ca/P Fasa stoikiometrik dan fasa non stoikiometrik hidroksiapatit sebesar 1,67 dan tidak sama dengan 1,67. Hidroksiapatit non stokiometrik ditemukan pada bagian *enamel* dan *dentine* pada gigi dengan nilai rasio Ca/p > 1,67 (Manalu *et al*, 2015).

Komponen utama tulang adalah mineral organik dengan penyusun sekitar 65% yang terdiri dari senyawa apatit, 25% senyawa organik yang terdiri dari kolagen dan 10% terdiri dari air yang berikatan dengan komposit mineral-kolagen serta molekul air tidak terikat yang mengalir secara bebas melalui pembuluh darah

pada tulang (Burr, 2014). Penghilangan kandungan air pada zat organik oleh panas tidak akan merubah sebagian besar struktur tulang, namun pemanasan tersebut dapat mengurangi berat tulang. Komposisi kimia tulang sapi dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Komposisi Kimia Tulang Sapi (Septimus, 1964)

Senyawa	Kadar (%)
Gelatin	33,3
Kalsium Fosfat	57,35
Kalsium Karbonat	3,85
Magnesium Fosfat	2,05
Sodium Karbonat	3,45
Total	100

2.5 Hidroksiapatit (HAp)

Hidroksiapatit dengan rumus senyawa $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ adalah mineral apatit yang terdiri dari kalsium dan fosfor sebagai penyusun kerangka tulang dan gigi. Hidroksiapatit merupakan salah satu fasa kalsium fosfat untuk tulang dan gigi yang banyak dikembangkan (Manalu *et al*, 2015). Komposisi kimia hidroksiapatit terdiri dari 39% Ca, 18,5% P dan 3,38% OH. Hidroksiapatit digunakan di bidang biomaterial dikarenakan senyawa pembentuknya yang sama dengan tulang manusia.

Biokeramik HAp telah banyak digunakan sebagai pengganti tulang buatan karena sifat biologis yang menguntungkan yang meliputi: biokompatibilitas, bioafinitas, bioaktivitas, osteokonduksi osteointegrasi serta osteoinduksi (dalam kondisi tertentu). Hidroksiapatit mengandung ion kalsium dan fosfat sehingga tidak

ada toksisitas lokal atau sistem yang dapat merusak tubuh (Ching, 2018). Ketika ditanamkan, tulang yang baru terbentuk mengikat langsung ke hidroksiapatit melalui lapisan yang kurang kandungan kalsium karbonat pada antarmuka tulang atau implan. Metode *in vitro* dikembangkan untuk melihat pertumbuhan apatit pada permukaan hidroksiapatit yang menunjukkan bioaktivitas dengan menggunakan *simulated body fluid* (SBF).

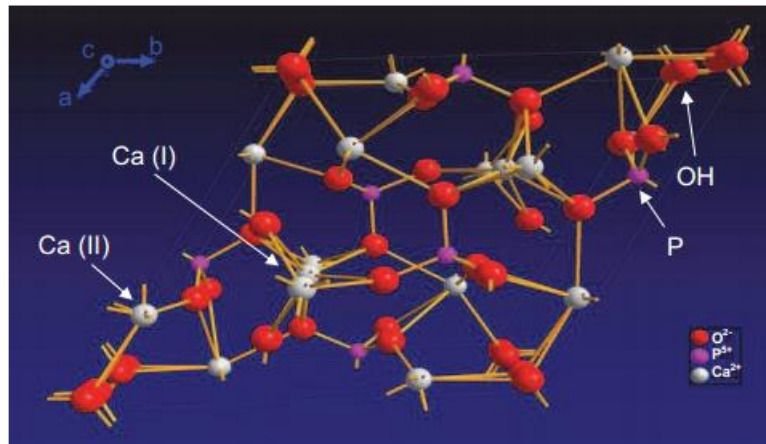
Bahan bioaktif menghasilkan lapisan apatit seperti tulang pada *in vitro* dikenal sebagai lapisan kalsium fosfat amorf atau hidroksikarbonat pada permukaannya ketika ditinjau berdasarkan SBF. Mekanisme pembentukan apatit pada permukaan hidroksiapatit karena sebagian dekomposisi hidroksiapatit dan pertukaran ion antara SBF dan hidroksiapatit. Pembentukan lapisan apatit memungkinkan implan untuk mengikat langsung ke jaringan inang. Material *disk* pada tulang belakang yang dilapisi hidroksiapatit menunjukkan peningkatan kompatibilitas terhadap sel *fibroblast* dibandingkan dengan *disk* yang tidak dilapisi (Mucalo, 2015).

Permukaan pada hidroksiapatit mendukung adhesi pada sel osteoblastik, pertumbuhan, dan diferensiasi pada tulang baru yang diendapkan dengan menyisip dari tulang hidup yang berdekatan. Hidroksiapatit dapat berfungsi sebagai sarana pengiriman sitokin sesuai jumlah untuk mengikat dan memusat pada *bone morphogenetic proteins* (BMP) *in vivo*. Pada *in vivo*, hidroksiapatit diletakkan pada jaringan diserap secara selektif oleh tubuh manusia dan digantikan oleh jaringan tulang yang baru (Slosarczyk, 2020).

Penelitian tersebut menunjukkan bahwa hidroksiapatit memiliki sifat osteokonduktif sehingga dapat merangsang pertumbuhan tulang. Pada tahun 2008 O.S. Schindler melakukan penelitian menggunakan komposit berbahan CaSO_4 dan hidroksiapatit sebagai pengganti *bone graft* pada manusia. Berdasarkan percobaan tersebut didapatkan bahwa komposit CaSO_4 dengan hidroksiapatit dapat berperan sebagai kerangka untuk pertumbuhan tulang dan menghindari komplikasi pada bagian tersebut (Kattimani, 2016).

Terdapat dua struktur kristal berbeda yang terdapat pada hidroksiapatit yaitu struktur monoklinik dan heksagonal. Hidroksiapatit yang disintesis memiliki struktur kristal heksagonal, struktur terdiri dari susunan gugus PO_4^{3-} yang diikat oleh ion Ca^{2+} . Sedangkan hidroksiapatit pada bentuk monoklinik lebih tersusun dan stabil secara termodinamik yang dapat terbentuk pada temperatur tinggi dan reaktif terhadap logam. Meskipun hidroksiapatit struktur monoklinik lebih baik dibandingkan dengan heksagonal, namun sulit diproduksi untuk kebutuhan implan. Selain kandungan yang telah disebutkan, hidroksiapatit juga terdapat kandungan unsur dan senyawa lain seperti CO_3 , Mg, Na, F dan Cl.

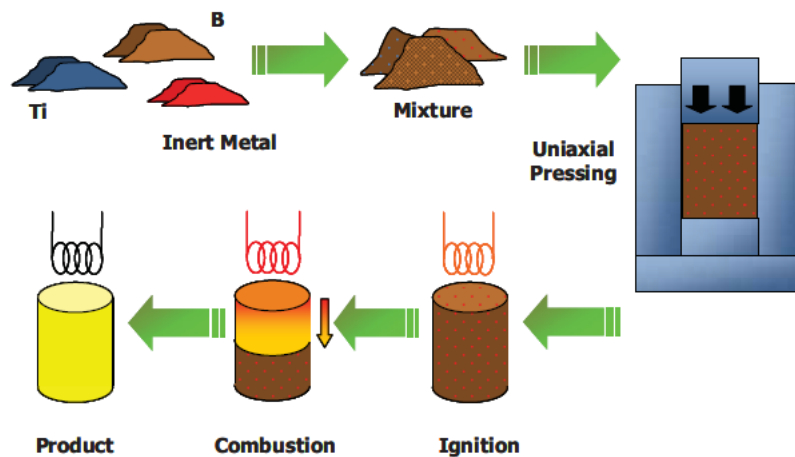
Jumlah yang sesuai dengan jenis jaringan tertentu memiliki variasi yang berkaitan dengan sifat dan bioaktivitas. Salah satu faktor penting adalah semakin dekat nilai rasio Ca/P ke 1,67 maka semakin besar nilai stabilitas bahan dalam tubuh manusia karena bersifat *inert*, dan nilai rasio yang semakin menurun menyebabkan bioaktivitas yang semakin baik (Rivera-Munoz, 2011). Struktur kristal hidroksiapatit dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Struktur Kristal Hidroksiapatit (Rivera-Munoz, 2011)

2.6 *Self Propagating Intermediate Temperature Synthesis*

Self propagating Intermediate temperature Synthesis (SIS) merupakan alternatif pada proses metode *Self propagating High temperature Synthesis* (SHS) disebabkan temperatur penerapan di bawah 1000°C (Pramono *et al*, 2022). Berikut skematik proses *self propagating intermediate temperature synthesis* dapat dilihat pada Gambar 2.7.

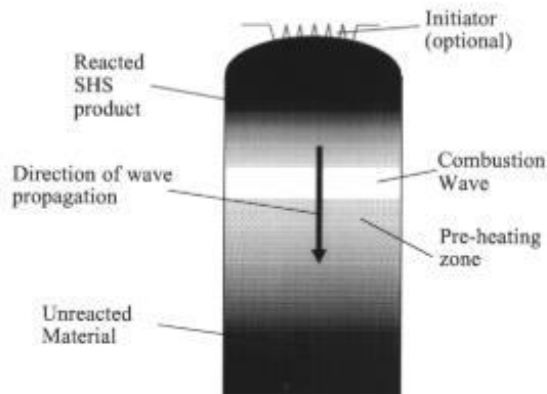


Gambar 2.7 Skematik *Self Propagating Intermediate Temperature Synthesis*

(Pacheco, 2007)

Namun, karena SIS dioperasikan pada temperatur di bawah 1000°C, maka perlu adanya bantuan untuk membantu reaksi pembakaran dengan baik yaitu dengan kompaksi. Hal ini dapat mendorong difusi antara matriks hidroksiapatit dan penguat Aluminium dengan Magnesium sebagai *wetting agent* (Pramono *et al*, 2022).

Pada metode SHS reaksi eksotermik berupa pembebasan energi panas yang berfungsi dalam pembentukan ikatan antar permukaan karena energi panas yang diberikan akan masuk kedalam cetakan khusus SHS sehingga terjadi pembakaran yang terkontrol yang akan mempermudah ikatan antar permukaan yang terbentuk. Metode *Self propagating High temperature Synthesis* (SHS) dilakukan dengan cara pemanasan pada suhu tinggi yang mengakibatkan pembakaran terkontrol pada sampel yang berada dalam sebuah cetakan khusus temperatur SHS bisa mencapai 3000°C. Metode pemanasan SHS memiliki prinsip dasar penghapusan keseluruhan atau sebagian dari suplai energi eksternal dan pemanfaatan dari panas internal yang dilepaskan dalam reaksi kimia, kemudian realisasi dari reaksi pembakaran secara cepat dan alami yang menghasilkan produk dan struktur khusus sesuai yang diinginkan, dan kontrol laju proses, temperatur, derajat perubahan dan komposisi dan struktur dari produk dengan variasi pada laju pelepasan panas dan transfer (X Galina dan V George, 2000). Berikut ini adalah gambaran proses pemanasan yang dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Skematik Proses SHS (Xanthopoulou dan Vekinis, 2001)

Adapun prinsip dasar dari proses pemasanan dengan metode sebelumnya yaitu metode *Self-propagating High Temperature Synthesis* (SHS) antara lain sebagai berikut (Merzhanov, 1997):

1. Reaksi pembakaran yang cepat akan menghasilkan produk dengan komposisi serta struktur yang diinginkan.
2. Energi eksternal sebagian besar dapat dihilangkan dengan memanfaatkan panas dari dalam yang dikeluarkan melalui reaksi kimia.
3. Pengamatan laju proses, temperatur, derajat konversi, komposisi serta struktur dari produk dapat dilakukan melalui laju perpindahan panas

2.7 Limbah Kaleng Alumunium

Limbah kaleng adalah limbah yang tidak bisa diurai secara alami karena tergolong limbah anorganik (BPS, 2021). Banyaknya penggunaan alumunium dalam kehidupan sehari-hari baik itu dalam rumah tangga maupun industri akan membuat limbah alumunium semakin banyak jika hal ini tidak di tangani dengan cepat maka limbah ini akan memberikan dampak yang buruk bagi lingkungan,

limbah alumunium dapat mencemari tanah dan air. Oleh karena itu, limbah kaleng harus didaur ulang karena limbah kaleng mengandung alumunium meskipun ada campuran unsur lain didalam seperti Mn dan Mg dan kandungan alumunium pada kaleng tipe 3XXX sebesar 97,8% memiliki potensi yang tinggi untuk di daur ulang menjadi sesuatu yang lebih bermanfaat khususnya dalam pembuatan material teknik (Alsaffar, 2008).

Scrap kaleng minuman adalah salah satu contoh dari salah satu bidang pengemasan. *Scrap* kaleng minuman dapat didaur ulang sebagai upaya untuk mengurangi limbah dan mengurangi tempat pembuangan sampah, selain itu aluminium hasil dari daur ulang dapat dimanfaatkan sebagai salah satu material penambah nilai untuk proses pencampuran dengan aluminium dari proses metode Hall-Heroult, sehingga penggunaan aluminium dari proses Hall-Heroult dapat di minimalisasi dengan penambahan aluminium dari hasil proses daur ulang. *Scrap* kaleng minuman mengandung sekitar 95% aluminium dan beberapa unsur logam pepadu seperti magnesium, mangan, seng, silikon dan tembaga. Penggunaan alumunium antara lain untuk pembuatan kabel kerangka kapal terbang, mobil dan berbagai produk peralatan rumah tangga karena alumunium memiliki sifat ringan dan kuat, kemampuan penghantar listrik yang baik, dan ketahanan korosi yang baik (Alsaffar, 2008).

2.8 Fluxing

Fluxing adalah metode perlakuan yang digunakan untuk menghilangkan pengotor pada bagian logam paduan (Gilstad, 2013). Metode perlakuan ini dengan membahkan senyawa kimia ke dalam leburan aluminium. Pemisahan dan

penghilangan oksida diperlukan untuk meminimalkan *slag* dalam aluminium cair. Hal ini biasanya dilakukan dengan menggunakan padatan maupun gas fluks yang mengandung klorin, fluorin, klorida dan atau fluorida. *Flux* adalah senyawa yang ditambahkan ke dalam leburan aluminium untuk mengikat pengotor yang berasal dari limbah aluminium menjadi *dross*. Flux yang digunakan adalah garam NaCl dan KCl. Kandungan aluminium pada kaleng minuman cukup tinggi yaitu di atas 90% namun masih memiliki pengotor, maka harus dihilangkan pengotornya terlebih dahulu yaitu dengan cara melakukan pemurnian menggunakan metode *fluxing*, selain dengan mendaur ulangnya dapat pula menjaga lingkungan (Prihadi dan Juniarsih, 2015). Berikut merupakan karakterisasi material *flux* pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Karakterisasi Material *Flux* (Prihadi dan Juniarsih, 2015)

	<i>Molecular Gas</i> (g/mol)	<i>Solid Density</i> (g/cm ³)	<i>Melting Point</i> (°C)	<i>Boiling Point</i> (°C)
NaCl	58,44	2,165	801	1413
KCl	74,56	1,984	770	1500
LiCl	43,39	2,068	605	1325
AlF ₃	83,98	2,882	-	1291
Na ₃ AlF ₆	209,94	2,9	1.010	-

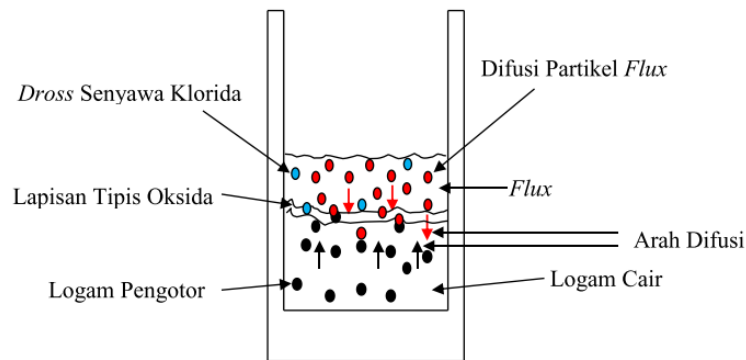
Fluxing adalah cara terbaik untuk mendapatkan logam bersih dengan mencegah pembentukan oksida yang berlebihan, menghilangkan inklusi non metalik dari lelehan aluminium, dan mencegah serta menghilangkan penumpukan oksida dari dinding tungku. Proses *fluxing* memiliki dua tujuan yaitu:

1. Untuk memisahkan logam pengotor dengan reaksi kimia

2. Memisahkan inklusi dari aluminium cair, baik melalui pengendapan maupun dengan metode flotasi di atas aluminium cair

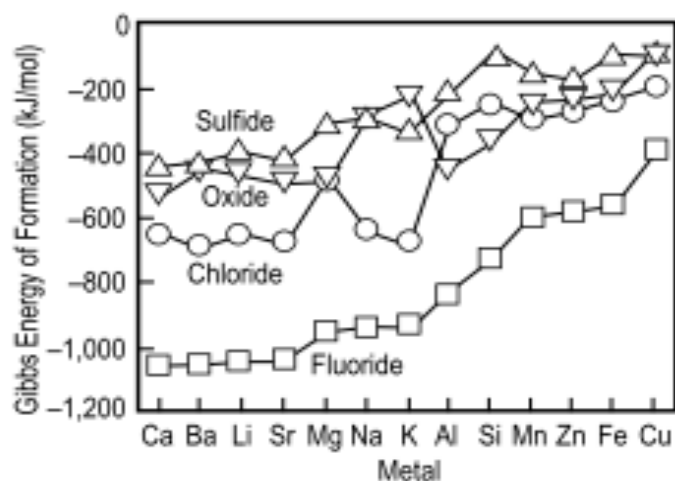
Flux yang digunakan yaitu senyawa Cl atau gas Cl₂ pada peleburan *scrap* aluminium. Senyawa tersebut digunakan karena sangat mudah beraksi dengan logam pengotor pada aluminium, menghasilkan padatan stabil yang mengendap dan mengambang di antara aluminium cair (Bell, 2003). Teknik *fluxing* sering digunakan untuk menghilangkan pengotor (*impurities*) dalam leburan aluminium dan membentuk lapisan Al₂O₃ karena penambahan *flux* untuk melindungi leburan aluminium. Pada proses *fluxing* umumnya tergantung pada temperatur. Temperatur harus cukup tinggi untuk memberikan kontak dan reaktivitas yang baik agar pemisahan dapat berjalan dengan baik.

Garam anorganik biasanya digunakan sebagai pelindung atau *cover fluxes*. Komposisi normal dari lapisan garam anorganik adalah (50:50) dari NaCl dan KCl (Oediyani *et al.*, 2017). *Cover flux* dapat digunakan selama proses peleburan untuk mengurangi oksidasi dengan membentuk lapisan protektif diantara leburan dan udara. *Cover flux* dapat juga digunakan untuk menghilangkan beberapa pengotor ketika elemen pada *flux* bereaksi dengan pengotor menjadikan pengotor bagian dari lapisan atas pada leburan. *Cover flux* dapat digunakan bersamaan dengan *fluxing* menggunakan gas untuk mengurangi terjadinya oksidasi dan terbentuknya gas buang beracun. Berikut skematik difusi partikel *flux* dalam mengikat logam pengotor pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Skematik Difusi Partikel *Flux* dalam Mengikat Logam Pengotor (Oediyani, Zain dan Juniarsih, 2017)

Utigard *et al* mengemukakan bahwa pengotor dalam aluminium dapat dihilangkan melalui penambahan flux dengan memanfaatkan prinsip energi bebas gibbs (Utigard *et al*, 1998). Pengotor pada aluminium umumnya logam alkali (litium, sodium, kalsium) dalam jumlah yang sangat kecil (<20 ppm) dan magnesium dalam konsentrasi yang besar (0,2-10%). Pada Gambar 2.10 energi bebas Gibbs standar pembentukan beberapa sulfida, oksida, klorida, dan fluorida.



Gambar 2.10 Energi Bebas Gibbs Standar Pembentukan Beberapa Sulfida, Oksida, Klorida, dan Fluorida (Utigard *et al*, 1998)

Telah diketahui bahwa stabilitas senyawa meningkat seiring dengan meningkatnya nilai negatif dari energi bebas Gibbs pembentukan, maka secara termodinamik kestabilan senyawa secara berturut-turut dari fluorida > klorida > oksida > sulfida. Ketika Cl₂ dimasukkan ke dalam aluminium yang mengandung elemen logam lain, maka klorin akan bereaksi dengan logam pengotor. Hal yang sama pun terjadi pada fluorida. Li, Na, K, Ca, Mg, dan Ba bentuknya akan lebih stabil jika berada sebagai klorida dan fluoride daripada aluminium, sehingga dapat dihilangkan dengan penambahan Cl₂, F₂, atau SF₂. Reaksi untuk magnesium adalah:



MgCl₂ akan berada dalam fasa cair di atas suhu 712°C; sifatnya yang kurang rapat daripada aluminium membuatnya akan mengambang di atas permukaan, sehingga dapat dipisahkan.

2.9 Aluminium

Aluminium adalah logam yang paling banyak terdapat di kerak bumi, dan unsur ketiga terbanyak setelah oksigen dan silikon. Aluminium terdapat di kerak bumi sebanyak kira-kira 8,07% hingga 8,23% dari seluruh massa padat dari kerak bumi, dengan produksi tahunan dunia sekitar 30 juta ton pertahun dalam bentuk bauksit dan bebatuan lain (corundum, gibbsite, boehmite, diaspor, dan lain-lain) (USGS). Perkembangan aluminium berdasarkan pada sifat yang ringan, tahan korosi, kekuatan dan keuletan yang cukup baik terutama aluminium paduan, mudah diproduksi dan bernilai ekonomis. Penggunaan aluminium sebagai bahan pembuat pesawat terbang memanfaatkan sifat ringan dan kuat (ASM, 1990).

Aluminium murni adalah logam yang lunak, tahan lama, ringan, dan dapat ditempa dengan penampilan permukaan bervariasi antara warna perak hingga abu-abu berdasarkan tingkat kekasaran permukaan. Nilai kekuatan tensil aluminium murni adalah 90 MPa, sedangkan aluminium paduan memiliki nilai kekuatan tensil berkisar 200-600 MPa. Aluminium memiliki berat sekitar satu pertiga baja. Tahan terhadap korosi pada fenomena pasivasi, yaitu terbentuknya lapisan aluminium oksida ketika aluminium terpapar dengan udara bebas. Lapisan aluminium oksida mencegah terjadinya oksidasi lebih jauh. Aluminium paduan dengan tembaga kurang tahan terhadap korosi akibat reaksi galvanik dengan paduan tembaga. Aluminium juga merupakan konduktor panas dan elektrik yang baik. Jika dibandingkan dengan massanya, aluminium memiliki keunggulan dibandingkan dengan tembaga, yang saat ini merupakan logam konduktor panas dan listrik yang cukup baik, namun cukup berat. Pada aluminium paduan, kandungan unsur yang berada di dalamnya dapat bervariasi tergantung jenis paduannya. Aluminium 2014, yang umum digunakan dalam penempaan, memiliki kandungan 4,5% Cu, 0,8% Si, 0,8% Mn, dan 1,5% Mg. Aluminium merupakan logam yang paling banyak terkandung di kerak bumi. Saat ini aluminium berkembang luas dalam banyak aplikasi industri seperti industri otomotif, rumah tangga, maupun elektrik, karena beberapa sifat dari aluminium itu sendiri, yaitu (Ross, 2013):

1. Ringan

Aluminium memiliki sifat ringan, bahkan lebih ringan dari magnesium dengan densitas sekitar 1/3 dari densitas besi. Kekuatan dari paduan aluminium dapat mendekati dari kekuatan baja karbon dengan kekuatan

tarik 700 MPa (100 ksi). Kombinasi ringan dengan kekuatan yang cukup baik membuat aluminium sering diaplikasikan pada kendaraan bermotor, pesawat terbang, alat-alat konstruksi seperti tangga, maupun pada roket.

2. Mudah dalam pembentukannya

Aluminium merupakan salah satu logam yang mudah untuk dibentuk dan mudah dalam fabrikasi seperti *forging*, *bending*, *rolling*, *casting*, *drawing*, dan *machining*. Struktur kristal yang dimiliki aluminium adalah struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*), sehingga aluminium tetap ulet meskipun pada temperatur yang sangat rendah.

1. Tahan terhadap korosi

Aluminium tahan terhadap korosi karena fenomena pasivasi. Pasivasi adalah pembentukan lapisan pelindung akibat reaksi logam terhadap komponen udara sehingga lapisan tersebut melindungi lapisan dalam logam dari korosi. Hal tersebut dapat terjadi karena permukaan aluminium mampu membentuk lapisan alumina (Al_2O_3) bila bereaksi dengan oksigen.

2. Konduktifitas panas tinggi

Konduktifitas panas aluminium tiga kali lebih besar dari besi, maupun dalam pendinginan dan pemanasan. Sehingga banyak digunakan pada radiator mobil,, alat penukar kalor, alat-alat masak, dan komponen mesin.

3. Konduktifitas listrik tinggi

Konduktifitas listrik dari aluminium dua kali lebih besar dari pada tembaga dengan perbandingan berat yang sama. Sehingga sangat cocok digunakan dalam kabel transmisi listrik.

4. Tangguh pada temperatur rendah

Aluminium tidak menjadi getas pada temperatur rendah hingga – 100°C, bahkan menjadi lebih keras dan ketangguhan meningkat. Sehingga aluminium dapat digunakan pada material bejana yang beroperasi pada temperatur rendah.

5. Mudah didaur ulang (*recyclability*)

Aluminium mudah untuk didaur ulang, bahkan 30% produksi aluminium di Amerika berasal dari aluminium yang didaur ulang. Pembentukan kembali aluminium dari material bekas hanya membutuhkan 5% energi dari pemisahan aluminium dari bauksit.

Diantara kelebihan aluminium juga memiliki beberapa kekurangan yaitu kekuatan dan kekerasan yang rendah bila dibanding dengan logam lain seperti besi dan baja. Sifat-sifat fisik aluminium dapat ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Sifat Fisik Aluminium (Aprillian, H. 2017)

<i>Element</i>	<i>Atomic Weight</i>	<i>Melting Point (°C)</i>	<i>Boiling Point (°C)</i>	<i>Latent Heat of Fusion</i>		<i>Mean Specific Heat 0-100°C</i>	
				<i>kJ/kg</i>	<i>Cal/g</i>	<i>kJ/kg.k</i>	<i>(cal/g°C)</i>
Aluminium	26,97	660,4	2520	386,8	92,4	0,917	0,219
<i>Thermal Conductivity</i>		<i>Resistivity\ (ohm.cm at 20°C)</i>		<i>Density (g/cm³)</i>	<i>Brinell Hardness</i>	<i>Vol. Change on Melting</i>	

(W/m.K)				(%)
238	2,67	2,70	17	6,6

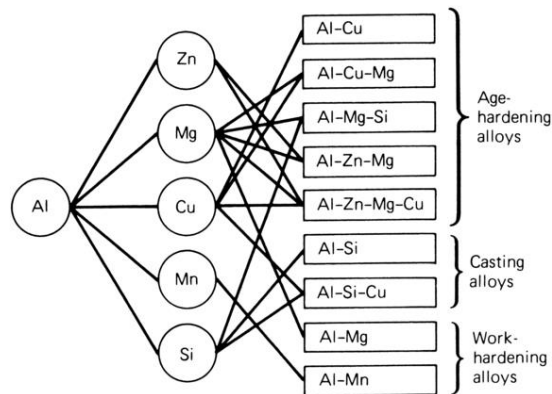
Berikut gambar slag pada aluminium pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Slag Aluminium

2.10 Aluminium dan Paduannya

Umumnya semua jenis logam memiliki kegunaan yang sempit pada kondisi murni, karena memiliki sifat yang tunggal. Oleh karena itu, dengan menambahkan elemen lain pada suatu material akan merubah sifat fisik maupun mekanik dari suatu material sehingga material tersebut lebih dapat diaplikasikan diberbagai keadaan, begitu juga dengan aluminium. Misalnya penambahan unsur tembaga pada aluminium akan meningkatkan kekerasan, namun mengurangi ketahanan terhadap korosi. Terdapat 15 unsur yang dapat dipadukan dengan aluminium, dan semuanya dapat merubah sifat fisik maupun mekanik dari aluminium. Paduan aluminium secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.12 berikut ini (ASM, 1990).



Gambar 2.12 Paduan Alumunium (ASM, 1990)

Bahan baku kaleng minuman aluminium tentunya adalah aluminium. Basis aluminium, untuk kaleng minuman sebagian besar terdiri dari aluminium, tetapi juga mengandung sedikit logam lain. Ini biasanya magnesium, mangan, besi, silikon, dan tembaga. Berikut gambar penyusun seri aluminium pada kaleng dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Seri Penyusun Aluminium Bagian Komponen Kaleng

Pada Gambar 2.13 tutup terbuat dari paduan yang sedikit berbeda dari aluminium untuk alas dan sisi kaleng, kaleng minuman terbuat dari dua paduan aluminium (Alsaffar dan Bdeir, 2008):

1. Seri 3xxx (Al-Mn)

Pada seri ini contohnya 3004 sebagai tubuh kaleng

2. Seri 5xxx (Al-Mg)

Untuk seri 5 contohnya adalah 5182 digunakan sebagai tutup kaleng

Berikut ini adalah komposisi paduan aluminium kaleng minuman pada Tabel

2.5.

Tabel 2.5 Komposisi Paduan Aluminium Kaleng Minuman

Paduan Al	% Komposisi		
	Al	Mn	Mg
3004	97,8	1,2	1,0
5182	95,2	0,35	4,5

2.11 Magnesium

Magnesium (Mg) telah dibuat secara industri dalam tahun 1930-an dengan jalan elektrolisa campuran kloridanya yang terfusikan. Setelah itu pada tahun 1956 telah dikembangkan dalam industri suatu cara yang dinamakan cara *Pidgeon* dimana campuran dolomit yang dikalsinasikan dan ferrosilikon dalam bentuk bubuk direduksi dalam vakum pada temperatur tinggi. Ketahanan korosi pada magnesium mendekati ketahanan korosi paduan aluminium dan lebih baik dari ketahanan korosi baja lunak. Magnesium dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Serbuk Magnesium (Diana, 2015)

Magnesium merupakan kation terbanyak ke empat di dalam tubuh dan kation terbanyak kedua di dalam intraseluler setelah potasium. Magnesium (Mg) mempunyai peranan penting dalam struktur dan fungsi tubuh manusia. Tubuh manusia dewasa mengandung kira-kira 25 gram magnesium. Total magnesium dalam tubuh laki-laki dewasa diperkirakan 1 mol (24 g).

Magnesium adalah unsur yang dapat meningkatkan nilai kekuatan dan kekerasan pada kondisi perlakuan panas. Dalam pembuatan komposit, magnesium berfungsi sebagai *wetting agent* untuk meningkatkan pembasahan antara matrik dan penguat dengan cara menurunkan tegangan permukaan antara keduanya dan menghaluskan butiran kristal secara efektif pada alumunium. Selain itu, magnesium meningkatkan ketahanan terhadap korosi paduannya namun menurunkan sifat mampu cor dan meningkatkan kekuatan serta kekerasan. Penambahan magnesium (Mg) digunakan untuk meningkatkan daya lekat dan mampu basah antar material komposit dan menghaluskan butir. Magnesium yang digunakan jenis magnesium dengan kadar kemurnian sebesar 98,5%, supaya paduan cepat tercampur dan magnesium (Mg) yang digunakan berupa serbuk (Prabowo, 2016).

2.12 Titanium

Titanium adalah jenis logam transisi yang banyak digunakan dalam sektor biomaterial dikarenakan sifat mekanik yang mendukung. Logam ini tidak beracun dan memiliki ketahanan korosi yang baik sehingga tidak bereaksi jika diimplan ke dalam tubuh manusia. Titanium diklasifikasi sebagai biomaterial *inert* yang aman secara biologis. Hal ini berarti pada dasarnya tidak mengalami perubahan apapun

ketika diimplan dalam tubuh manusia. Tubuh manusia mampu mendeteksi keadaan material asing yang mencoba untuk mengisolasi material tersebut dengan membungkusnya dalam selaput jaringan (Oldani and Dominguez, 2012).

Saat ini, titanium dan paduan titanium digunakan dalam aplikasi biomedis. Beberapa adalah titanium CP digunakan sebagai implan gigi, pelapis permukaan gigi, gigi tiruan baik sebagian maupun lengkap dan kabel ortodontik. Sedangkan paduan tempa Ti dengan Ni dan Ti dengan Molybdenum digunakan untuk kabel ortodontik. Selain digunakan sebagai biomaterial logam, titanium juga digunakan sebagai penguat dalam komposit. Penambahan titanium dalam komposit dikarenakan titanium memiliki densitas rendah, berkekuatan tinggi memiliki ketahanan korosi yang tinggi, serta memiliki sifat biokompatibilitas (Balbinotti, 2011).