

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tulang Os Maxilla

2.1.1 Anatomi dan Fungsi Tulang Os Maxilla

Os maxilla adalah tulang rahang atas pada manusia dan diketahui memiliki fungsi dalam menyokong gigi-gigi yang berada dibagian atas mulut. Selanjutnya, rahang atas juga diketahui berfungsi dalam menjaga bentuk tulang hidung tetap ideal. Keberadaan dari tulang rahang atas ini diketahui juga merupakan penyokong dari keberadaan tulang langit-langit. Untuk fraktur maxilla sendiri kejadiannya lebih rendah di bandingkan dengan fraktur midface lainnya. Berdasarkan studi yang di lakukan oleh (Rowe dan Killey pada tahun 1995), rasio antara fraktur maxilla dan mandibulla melebihi 4:1 beberapa studi terakhir yang di lakukan pada unit trauma rumah sakit-rumah sakit di beberapa negara menunjukkan insiden fraktur maxilla lebih banyak terkait dengan fraktur mandibula. Data lainnya juga di laporkan dari *trauma centre* level 1 bahwa diantara 663 pasien fraktur tulang wajah hanya 25,5 % berupa fraktur maxilla. Dibawah ini **Gambar 2.1** tulang os maksilla.



Gambar 2.1 Tulang Os maxilla (www.DW.com)

Maxilla terbentuk dari dua bagian komponen piramidal iregular yang berkontribusi terhadap pembentukan bagian tengah wajah dan bagian orbit, nasal fossa, oral cavity, dan sebagian besar palatum, nasal cavity, serta apertura piriformis.

Maxilla terdiri dari badan dan empat prosesus; frontal, zygomatic, palatina, dan alveolar. Badan maxilla mengandung sinus maxilla yang besar. Pada masa anak-anak, ukuran sinus ini masih kecil, tapi pada saat dewasa ukuran akan membesar dan menembus sebagian besar struktur sentral pada wajah. Secara konseptual kerangka wajah terdiri dari empat pasang dinding penopang (*buttress*) vertikal dan horizontal. *Buttress* merupakan daerah tulang yang lebih tebal yang menyokong unit fungsional wajah (otot, mata, oklusi dental, airway) dalam relasi yang optimal dan menentukan bentuk wajah dengan cara memproyeksikan selubung *soft tissue* di atasnya. *Vertical buttresses* terdiri dari sepasang maxillari lateral (+ dinding orbital lateral) atau *zygomatic buttreas*, maxillari medial (+ dinding orbital medial) atau *nasofrontal buttreas*, *pterygomaxillary buttreas*, dan *posterior vertical buttreas*. Atau *mandibullar buttreas*. *Horizontal buttreas* juga terdiri dari sepasang maxillari transversal atas (+ lantai orbital), maxillari transversal bawah (+ palatum), mandibullar transversal atas dan mandibullar transversal bawah. Korpus mandibula pada orang dewasa mempunyai *processus alveolaris* yang ditandai adanya penonjolan di permukaan luar, sedangkan pada orang tua yang giginya telah tanggal *processus alveolaris* mengalami regresi. Bagian depan dari korpus os maxilla terdapat *protuberantia mentale* yang meninggi pada tiap-tiap sisi membentuk *tuberculum mentale*. Bagian permukaan luar di garis vertical premolar kedua terdapat foramen *mentale*. Bagian posterior korpus os maxilla mempunyai dua *processus* yaitu *processus coronoideus anterior* yang merupakan insersio otot pengunyahan dan *processus condylaris* bagian posterior yang berhubungan langsung dengan sendi *temporo mandibular*. Permukaan dalam ramus mandibula terdapat foramen mandibula yang masuk ke dalam kanalis mandibula, sedangkan permukaan korpus mandibula terbagi oleh peninggian yang miring disebut *linea mylohyoidea* (Platzer, 1997).

Os maxilla berdasarkan yang dilakukan oleh Rene Le Fort, (Thomas, 2007) terdapat tiga pola fraktur maxilla, yaitu Le Fort 1, Le Fort 11, Le Fort 111, selain fraktur Le Fort, terdapat pula fraktur alveolar, dan vertikal atau sagital maupun parasagital. Berikut adalah tiga pola menurut Rene Le Fort:

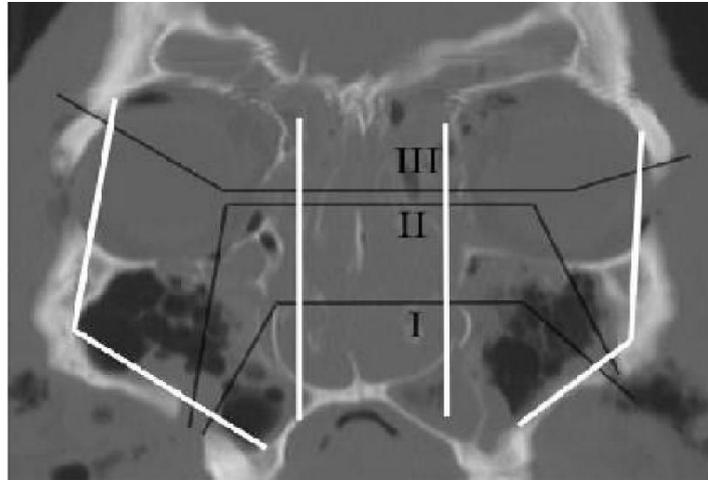
1. Fraktur Le Fort 1 (Thomas. 2007)

Fraktur Le Fort 1 dapat terjadi sebagai suatu kesatuan tunggal atau bergabung dengan fraktur-fraktur Le Fort 11 dan 111. Pada fraktur Le Fort 1, garis frakturnya dalam jenis fraktur transversus rahang atas melalui lubang piriform di atas alveolar ridge. Di atas lantai sinus maxillaris, dan meluas ke posterior yang melibatkan pterygoid plate. Fraktur ini memungkinkan maxilla dan palatum durum bergerak secara terpisah dari bagian atas wajah sebagai sebuah blok yang terpisah tunggal. Fraktur Le Fort 1 ini sering disebut sebagai fraktur transmaxillari. Pemeriksaan klinis pada fraktur Le Fort 1 dilakukan dalam dua pemeriksaan yakni secara ekstra oral dan intra oral. Pada pemeriksaan ekstra oral, pemeriksaan dilakukan dengan visualisasi dan palpasi. Secara visualisasi dapat terlihat adanya edema pada bibir atas dan ekimosis. Sedangkan secara palpasi terdapat bergesernya lengkung rahang atas. Pada pemeriksaan intra oral, pemeriksaan dilakukan secara visualisasi dan palpasi. Secara visualisasi dapat terlihat adanya open bite anterior. Sedangkan secara palpasi terdapat rasa nyeri. Selanjutnya pemeriksaan Le Fort 1 dilakukan dengan foto rontgen dengan proyeksi wajah anterolateral.

2. Fraktur Le Fort 11 (Thomas, 2007)

Fraktur Le Fort 11 lebih jarang terjadi. Dan mungkin secara klinis mirip dengan fraktur hidung. Bila fraktur horizontal biasanya berkaitan dengan tipisnya dinding sinus, fraktur piramidal melibatkan sutura-sutura. Sutura zigomatikomaksilaris dan nasofrontalis merupakan sutura yang sering terkena. Seperti pada fraktur Le Fort 1, bergesernya lengkung rahang atas, biasa merupakan suatu keluhan atau ditemukan saat pemeriksaan. Derajat gerakan sering tidak lebih besar dibanding fraktur Le Fort 1, seperti juga gangguan oklusinya tidak separah pada Le Fort 1. Pemeriksaan klinis pada fraktur Le Fort 11 dilakukan dalam dua pemeriksaan yakni secara ekstra oral dan intra oral. Pada pemeriksaan intra oral, pemeriksaan dilakukan dengan visualisasi dan palpasi. Secara visualisasi dapat terlihat pupil cenderung sama tinggi, Ekimosis dan edema periorbital. Sedangkan secara palpasi terdapat tulang hidung bergerak bersama dengan wajah tengah. Mati rasa pada daerah kulit yang dipersarafi oleh nervus infraorbitalis. Pada pemeriksaan intra oral, pemeriksaan dilakukan secara visualisasi dan palpasi. Secara visualisasi dapat terlihat adanya gangguan oklusi tetapi tidak separah jika dibandingkan dengan fraktur Le Fort 1. Sedangkan secara palpasi terdapat bergesernya lengkung rahang atas. Pemeriksaan selanjutnya

dilakukan dengan foto rontgen proyeksi wajah anterolateral, foto wajah polos dan CT scan.



Gambar 2.2 CT scan koronal (Thomas. 2007)

3. Fraktur Le Fort 111 (Thomas. 2007)

Fraktur Le Fort 111 adalah fraktur kraniofasial *disjunction*, merupakan cedera yang parah. Bagian tengah wajah benar-bener terpisah dari tempat perlekatannya yakni basis kranii. Fraktur ini biasanya di sertai dengan cedera kranioserebral, yang mana bagian yang terkena trauma dan besarnya tekanan dari trauma yang bisa mengakibatkan pemisahan tersebut. Cukup kuat untuk mengakibatkan trauma intrakranial. Pemeriksaan klinis pada fraktur Le Fort 111 dilakukan secara ekstra oral. Pada pemeriksaan ekstra oral, pemeriksaan dilakukan dengan visualisasi. Secara visualisasi dapat terlihat pembengkakkan pada daerah kelopak mata, ekimosis periorbital bilateral. Usaha untuk melakukan tes mobilitas pada maksilla akan mengakibatkan pergeseran seluruh bagian atas wajah. Pemeriksaan selanjutnya dilakukan dengan pemeriksaan foto rontgen proyeksi wajah anterolateral, foto wajah polos dan CT scan. Perawatan fraktur maksilla (Thomas, 2007).

Perawatan pada masing-masing fraktur maksillofasial itu berbeda satu sama lain. Oleh sebab itu perawatannya akan dibahas satu persatu pada masing-masing fraktur maksillofasial. Tetapi sebelum perawatan definitif dilakukan, maka hal yang pertama sekali dilakukan adalah penanganan kegawatdaruratan yakni berupa pertolongan pertama (bantuan hidup dasar) yang dikenal dengan singkatan ABC. Apabila terdapat pendarahan aktif pada pasien, maka hal yang harus dilakukan adalah hentikanlah

dulu pendarahannya. Bila pasien mengeluh nyeri maka dapat diberi analgetik untuk membantu menghilangkan rasa nyeri. Setelah penanganan kegawatdaruratan tersebut dilaksanakan, maka perawatan definitif dapat dilakukan.

Pada Fraktur Le Fort 1 dirawat dengan menggunakan arch bar, fiksasi maksilomandibular, dan suspensi kraniomandibular yang didapatkan dari pengawatan sirkumzigomatik. Apabila segmen fraktur mengalami impaksi, maka dilakukan pengungkitan dengan menggunakan tang pengungkit, atau secara tidak langsung dengan menggunakan tekanan pada splin/arch bar.

Sedangkan perawatan pada fraktur Le Fort II serupa dengan fraktur Le Fort I. Hanya perbedaannya adalah perlu dilakukan perawatan fraktur nasal dan dasar orbita juga. Fraktur nasal biasanya direduksi dengan menggunakan molding digital dan splinting.

Selanjutnya pada fraktur Le Fort III dirawat dengan menggunakan arch bar, fiksasi maksilomandibular, pengawatan langsung bilateral atau pemasangan pelat pada sutura zigomatikofrontalis dan suspensi kraniomandibular pada prosesus zigomatikus ossis frontalis.

2.1.2 Klasifikasi Fraktur Tulang Secara umum.

Banyak klasifikasi fraktur yang ditulis dalam berbagai buku, namun secara praktis dapat dikelompokkan menjadi,

1. Menurut Penyebab Terjadinya Fraktur

a) Fraktur Traumatik

- Trauma langsung (direct), trauma tersebut langsung mengenai anggota tubuh penderita.
- Trauma tidak langsung (indirect), terjadi seperti pada penderita yang jatuh dengan tangan menumpu dan lengan atas-bawah lurus, berakibat fraktur kaput radii atau klavikula. Gaya tersebut dihantarkan melalui tulang-tulang anggota gerak atas dapat berupa gaya berputar, pembengkokan (bending) atau kombinasi pembengkokan dengan kompresi seperti fraktur butterfly maupun kombinasi gaya berputar, pembengkokan dan kompresi seperti fraktur oblik dengan garis fraktur pendek. Fraktur juga dapat terjadi akibat tarikan otot seperti fraktur patella karena kontraksi quadrisep yang mendadak.

b) Fraktur Fatik atau Stress

Trauma yang berulang dan kronis pada tulang yang mengakibatkan tulang menjadi lemah. Contohnya pada fraktur fibula pada olahragawan.

c) Fraktur Patologis

Trauma yang telah terjadi proses patologis yang mengakibatkan tulang tersebut rapuh dan lemah. Biasanya fraktur terjadi spontan.

2. Menurut Hubungan dengan Jaringan Ikat Sekitarnya

a) Fraktur Simple/ Tertutup, disebut juga fraktur tertutup oleh karena kulit di sekeliling fraktur sehat dan tidak sobek.

b) Fraktur terbuka, kulit disekitar fraktur sobek sehingga fragmen tulang berhubungan dengan dunia luar (bone expose) dan berpotensi untuk menjadi infeksi. Fraktur terbuka dapat berhubungan dengan ruangan di tubuh yang tidak steril seperti rongga mulut.

c) Fraktur komplikasi, fraktur tersebut berhubungan dengan kerusakan jaringan atau struktur lain seperti saraf, pembuluh darah, organ visera atau sendi.

3. Menurut Bentuk Fraktur

a) Fraktur Komplit, garis fraktur membagi tulang menjadi dua fragmen atau lebih. Garis fraktur bias transversal, oblik atau spiral. Kelainan ini dapat menggambarkan arah trauma dan menentukan fraktur stabil atau unstable.

b) Fraktur Inkomplit, kedua fragmen fraktur terlihat saling impaksi atau masih saling tertancap.

c) Fraktur Komunitif, fraktur yang menimbulkan lebih dari dua fragmen.

d) Fraktur Kompresi, fraktur ini umumnya terjadi di daerah tulang konselus.

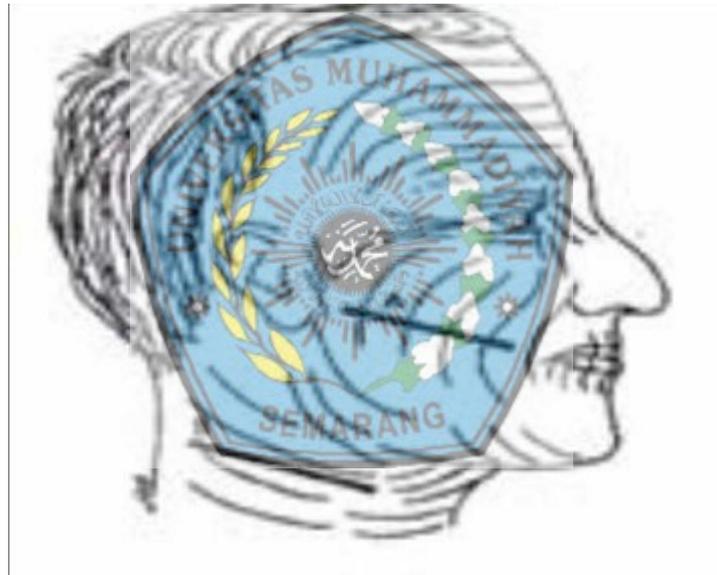
Hal tersebut diatas merupakan klasifikasi fraktur secara umum, sedangkan 2.1.3 klasifikasi fraktur Os maxilla diantaranya adalah,

Trauma maxillomafacial dapat di klarifikasikan menjadi dua bagian, yaitu trauma jaringan keras wajah dan trauma jaringan lunak wajah. Trauma jaringan lunak biasanya disebabkan trauma benda tajam, akibat pecahan kaca pada kecelakaan lalu lintas atau pisau dan golok pada perkelahian (Ghazali, 2007).

1. Trauma Jaringan Lunak Wajah

Luka adalah kerusakan anatomi, diskontinuitas suatu jaringan oleh karena trauma dari luar. Trauma pada jaringan lunak wajah dapat diklasifikasikan berdasarkan (Wim de jong, 2000) jenis luka dan penyebab

- a) eksplorasi
- b) Luka sayat (*vulnus scissum*), luka robek (*vulnus leceratum*), luka tusuk (*vulnus punctum*)
- c) Luka bakar (*combustio*)
- d) Luka tembak (*vulnus sclopetorum*)
- e) Berdasarkan ada atau tidaknya kehilangan jaringan (*skin avulsion* dan *skin loss*)
- f) Dikaitkan dengan unit estetik
Menguntungkan atau tidak menguntungkan, dikatkan dengan garis langer.
- g) Berdasarkan derajat kontaminasi
- h) Klasifikasi lain



Gambar 2.3 Relesi menyilang garis langer tidak menguntungkan (padersen, 2007)

2. Trauma jaringan keras wajah.

Klasifikasi trauma pada jaringan keras wajah dilihat dari fraktur tulang yang terjadi dan dalam hal ini tidak ada klasifikasi yang definitif. Secara umum dilihat dari terminologinya trauma pada jaringan keras wajah dapat di klasifikasikan bedasarkan (padersen, 2007).

- a) Dibedakan bedasarkan lokasi anatomis dan estetik.
- b) Dibedakan berdasarkan kekhususan (padersen, 2007)

Berdasarkan ada tidaknya gigi. Klasifikasi berdasarkan gigi pasien penting diketahui karena akan menentukan jenis terapi yang akan kita ambil. Dengan adanya gigi, penyatuan fraktur dapat dilakukan dengan jalan pengikatan gigi dengan menggunakan kawat. Berikut derajat fraktur os maxilla berdasarkan ada tidaknya gigi:

- a) kelas 1: gigi terdapat di 2 sisi fraktur, penanganan pada fraktur kelas 1 ini dapat melalui interdental wiring (memasang kawat pada gigi).
- b) Fraktur kelas 2: gigi hanya terdapat di salah satu fraktur
- c) Fraktur kelas 3: tidak terdapat gigi di kedua sisi fraktur, pada keadaan ini dilakukan melalui open reduction, kemudian dipasangkan plate and screw, atau bisa juga dengan cara intermaxillary fixation.

Dengan melihat cara perawatan, maka pola fraktur Os maxilla dapat digolongkan menjadi,

1. Fraktur Unilateral

Fraktur ini biasanya hanya tunggal, tetapi kadang terjadi lebih dari satu fraktur yang dapat dijumpai pada satu sisi maksila dan bila hal ini terjadi, sering didapatkan pemindahan fragmen secara nyata. Suatu fraktur korpus maksila unilateral sering terjadi.

2. Fraktur Bilateral

Fraktur bilateral sering terjadi dari suatu kombinasi antara kecelakaan langsung dan tidak langsung. Fraktur ini umumnya akibat mekanisme yang menyangkut angulus dan bagian leher kondilar yang berlawanan atau daerah gigi kaninus dan angulus yang berlawanan.

3. Fraktur Multipel

Gabungan yang sempurna dari kecelakaan langsung dan tidak langsung dapat menimbulkan terjadinya fraktur multiple. Pada umumnya fraktur ini terjadi karena trauma tepat mengenai titik tengah dagu yang mengakibatkan fraktur simfisis dan kedua kondilus.

4. Fraktur Berkeping-keping (comminuted)

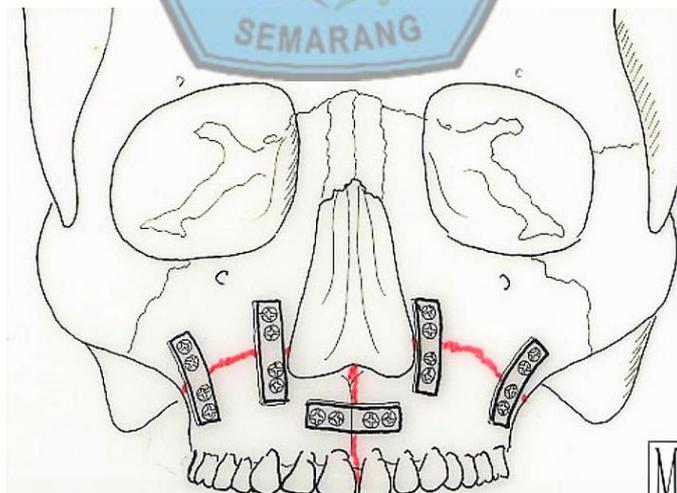
Fraktur ini hamper selalu diakibatkan oleh kecelakaan langsung yang cukup keras pada daerah fraktur, seperti pada kasus kecelakaan terkena peluru saat perang. Dalam sehari-hari, fraktur ini sering terjadi pada simfisis dan

parasimfisis. Fraktur yang disebabkan oleh kontraksi muskulus yang berlebihan. Kadang fraktur pada prosesus koronoid terjadi karena adanya kontraksi reflex yang datang sekonyong-konyong mungkin juga menjadi penyebab terjadinya fraktur pada leher kondilar.

2.2 Fiksasi Internal

2.2.1 Definisi Fiksasi Internal

Patah tulang dapat terjadi pada berbagai tulang salah satunya tulang os maxilla. Penangan patah tulang dapat dilakukan dengan cara tradisional dan cara medis. Penanganan patah tulang secara medis dapat disebut dengan reduksi, yaitu mengembalikan posisi tulang ke posisi anatomis (Brunner, 2001). Reduksi tertutup adalah ekstremitas dipertahankan dengan gips, traksi, brace, dan fiksator eksterna, sedangkan reduksi terbuka dengan pendekatan bedah dengan memasang alat fiksasi internal seperti nis, pen, kawat, sekrup, plat, paku dan batang logam. Tulang femur yang retak untuk pemulihan diperlukan perangkat stabilisasi berupa fiksasi internal plate dan sekrup (Alisdair R, et al, 2012). Fungsi utama fiksasi internal untuk mempertahankan pengurangan fraktur selama penyembuhan tulang (Gaston M.S, Simpson A.H.R.W, 2007).



Gambar 2.4 Contoh Fiksasi Internal Pada Tulang Os Maksila
(www.DW.com)

2.2.2 Tipe Fiksasi Internal

Tipe paling umum dari fiksasi internal adalah *wire*, plat, *rod*, pin, *nail*, dan sekrup digunakan di dalam tubuh untuk menyangga tulang secara langsung.

1. *Wire*

Wire seringkali digunakan sebagai jahitan atau benang guna “menjahit” tulang kembali bergabung bersama.

- Dapat dipakai bersama-sama dengan bentuk-bentuk lain fiksasi internal untuk memegang tulang.
- Dapat digunakan sendiri-sendiri untuk mengobati fraktur tulang-tulang kecil, seperti misalnya yang dijumpai pada tangan dan kaki.

2. Pin

- Pin menahan potongan tulang bersama-sama. Mereka biasanya dipakai pada potongan-potongan tulang yang terlalu kecil untuk difiksasi dengan sekrup.
- Semua pin biasanya dilepaskan setelah satu panjang waktu tertentu, namun mungkin dapat ditinggal untuk menetap pada beberapa jenis fraktur.

3. Plat

Plat mirip seperti bidai internal yang memegang ujung-ujung fraktur tulang bersama-sama.

- Dibentangkan pada tulang dan disekrup pada tempatnya. Bila kedua tulang berjalan paralel satu sama lainnya sama-sama pecah, seperti misalnya pada anggota gerak bawah, pemasangan plat pada satu tulang adalah menyediakan cukup penyanggaan juga bagi tulang satunya.
- Mungkin dapat dibiarkan terus pada tempatnya atau dilepaskan (pada kasus terpilih) setelah sembuh sempurna.

4. *Nail* atau *Rod*

Pada beberapa fraktur tulang panjang, cara terbaik untuk menyejajarkan ujung-ujung tulang adalah dengan memasukkan sebuah rod atau nail melalui rongga pusat tulang yang dalam keadaan normalnya berisikan sumsum.

- Dipertahankan pada tempatnya menggunakan sekrup hingga fraktur sembuh.
- Dapat dibiarkan terus dalam tulang setelah penyembuhan sempurna.

5. Sekrup

Dari pada semua tipe implan, sekrup tulang dipakai untuk fiksasi lebih sering. Walaupun sekrup tulang merupakan sebuah peralatan sederhana, terdapat beberapa disain yang didasarkan atas bagaimana sekrup tersebut akan dipakai.

- Dapat dipakai sendiri – sendiri untuk memegang fraktur, demikian juga bersama dengan plat, *rod*, atau *nail*.
- Dapat didisain untuk satu tipe spesifik fraktur.
- Dapat dibiarkan terus berada pada tempatnya, atau dilepaskan setelah tulang sembuh.

2.2.3 Material Plat Fiksasi Internal

Material fiksasi internal secara medis sering disebut implan, pengertian secara umum suatu implan adalah merupakan wahana yang ditempatkan secara tepat dalam jaringan tubuh untuk tujuan tertentu (elias.UGM.ac.id). Material yang digunakan untuk fiksasi internal menggunakan material biokompatibel yang *rigid*, seperti stainless steel, kobalt kromium, titanium dan material komposit (Ali M.S, 1990; Saidpour S H, 2006).

1. Stainless Steel

Bahan fiksasi internal yang sering digunakan adalah bahan stainless steel, dimana banyak dikenal penggunaannya pada sektor industri dan dunia medis karena karakteristiknya yang menguntungkan seperti berpenampilan menarik (*attractive*), tahan korosi (*corrosion resistance*), berkekuatan tinggi (*high strength*) dan rendah perawatan (*low maintenance*). Dalam dunia ilmu bedah tulang atau disebut ortopedi, dimana menggunakan stainless steel sebagai alat bantu penyambung tulang patah untuk menggantikan fungsi bagian tubuh tertentu. Bagi tubuh manusia alat bantu penyambung tulang merupakan benda asing yang harus menyesuaikan diri dengan lingkungannya berupa cairan darah yang mengandung klorida (Sulistiyawan, dkk, 2003).

Stainless steel mempunyai campuran kromium minimal 10,5 % berat. Menurut Alvarado, J. dkk (2003) manfaat dari stainless steel adalah:

- a) Hambatan korosi tinggi, bahan ini dapat menghambat korosi tinggi baik di atmosfer maupun dalam lingkungan air.

- b) Tahan panas dan api, campuran paduan kromium dan nikel melindungi kekuatan stainless steel dari temperatur tinggi.
- c) Sehat, stainless steel mudah dibersihkan sehingga menjadi pilihan pertama untuk bahan yang kondisi sehat, hampir setiap alat yang berhubungan dengan kesehatan seperti rumah sakit, dapur, rumah jagal dan proses makanan menggunakan stainless steel.
- d) Penampilan baik, lapisan terang membuat perawatan yang mudah pada stainless steel.
- e) Keuntungan kekuatan pada berat, sifat keras yang dimiliki stainless steel sangat bagus pada pengerjaan dingin dan bentuk yang tipis.
- f) Mudah fabrikasi, dengan modern pembuatan baja stainless steel dapat mudah dipotong, las, bentuk, dimesin dan dibuat.
- g) Tahan dipukul, keuletan yang tinggi membuat stainless steel mampu pukul.
- h) Harga yang mahal. Ketika total ongkos dipertimbangkan, stainless steel sering menjadi opsi yang sedikit mahal.

Alvarado, J. dkk (2003) mengatakan bahan stainless steel termasuk *biocompatibility*. Penambahan bahan nikel pada struktur austenite berpotensi melepaskan Ni²⁺, Cr³⁺ dan Cr⁶⁺ dalam body stainless steel yang terbatas pada alat ortopedi. Bahan stainless steel yang sering digunakan untuk implikasi biomaterial adalah stainless steel 316L. Selain stainless steel bahan untuk implan adalah titanium (Ti-6Al-4V).

2. Titanium (Ti-6Al-4V)

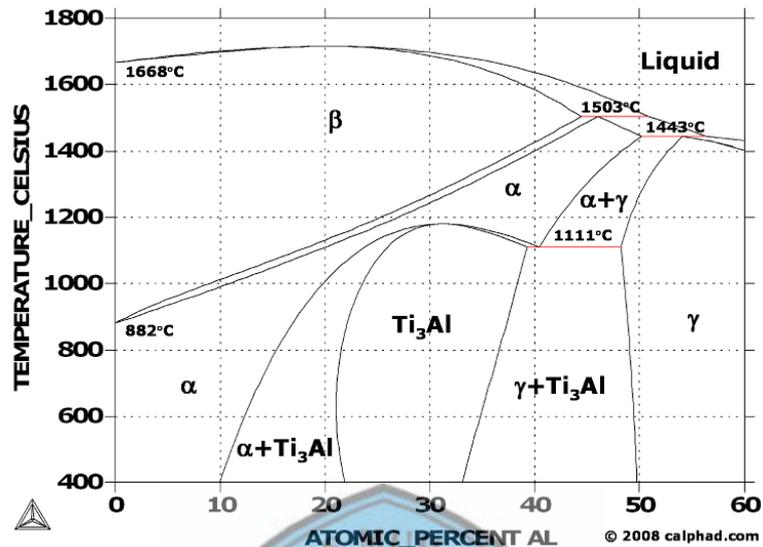
Titanium adalah biomaterial yang paling banyak digunakan untuk fabrikasi implan karena sifat ketahanan korosi yang baik, panas, dingin dan mekanik yang sangat baik seperti sifat keseimbangan kekuatan tinggi yang wajar dan modulus elastis rendah dibandingkan dengan logam biomaterial lainnya, produksinya sebagai implan telah digunakan di *Ortopedi* dan kedokteran gigi (Baszkiewicz, 2008). Titanium murni memiliki densitas rendah sekitar 4,5 g/cm³, biokompatibilitas yang baik, tahan korosi dan sifat mekanis yang sesuai dengan tulang yaitu ringan, modulus elastis rendah, *high strength dan high resilient* (Masaro C et all, 2002). Titanium dan paduannya secara luas digunakan pada aplikasi biomedis yaitu untuk *hip cup shells, dental crowns and bridge, orthopedic, endosseous dental implant* dan plat untuk *oral maxillofacial surgery* (Lee CM et all, 2002).

Tabel 2.1 Komposisi Logam Dan Paduan (Dee et al, 2002)

Elemen	316L, Stainless Steel (ASTM F138,139)	Co-Cr-Mo (ASTM F799)	Grade 4 Ti (ASTM F67)	Ti-6Al-4V (ASTM F136)
Al	-	-	-	5.5 – 6.5
C	0.03 max	0.35 max	0.010 max	0.08 max
Co	-	Balance	-	-
Cr	17.0	26.0 – 30.0	-	-
Fe	Balance	0.75 max	0.30 – 0.50	0.25 max
H	-	-	0.0125 – 0.015	0.0125 max
Mo	2.00	5.0 – 7.0	-	-
Mn	2.00 max	1.0 max	-	-
N	-	0.25 max	0.03 – 0.05	0.05 max
Ni	10.00	1.0 max	-	-
O	-	-	0.18 – 0.40	0.13 max
P	0.03 max	-	-	-
S	0.03 max	-	-	-
Si	0.75 max	1.0 max	-	-
Ti	-	-	Balance	Balance
V	-	-	-	3.5 – 4.5
W	-	-	-	-

Karena kepasifan tinggi, ketebalan terkontrol, pembentukan cepat, kemampuan untuk memperbaiki dirinya sendiri seketika jika rusak, tahan terhadap serangan kimia, aktivitas katalitik untuk sejumlah reaksi kimia, dan modulus elastisitas yang sesuai dengan tulang, titanium adalah bahan yang dipilih untuk aplikasi *intraosseous* (Tschernitschek, 2005). Pemasangan batang titanium sebagai internal fiksasi memang lazim digunakan pada fraktur tulang – tulang yang panjang seperti femur. Titanium dipercaya lebih baik dan lebih sedikit efek sampingnya dibandingkan dengan bahan stainless steel, bahan titanium juga menimbulkan efek samping seperti reaksi alergi ngilu, kandungan metal dalam darah dan lain – lain (www.alodokter.com). Untuk mengurangi berbagai efek samping tersebut dilakukan pelapisan pada titanium selain itu menggunakan bahan tertentu seperti

hydroxyapatite dapat meningkatkan percepatan pembentukan tulang (Bora dan cuneyt, 2000) Yang ditunjukkan pada **Gambar 2.5** dibawah ini.

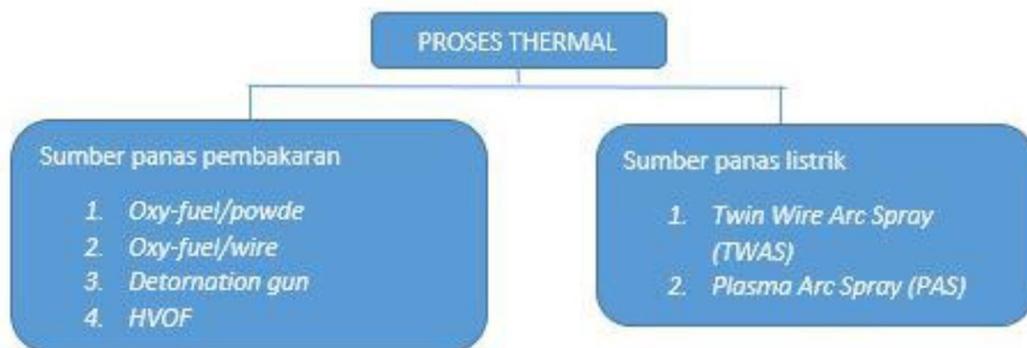


Gambar 2.5 Diagram Fasa Ti-Al (Teknologi bahan, 2016)

2.3 Thermal Spray

2.3.1 Klasifikasi Thermal Spray

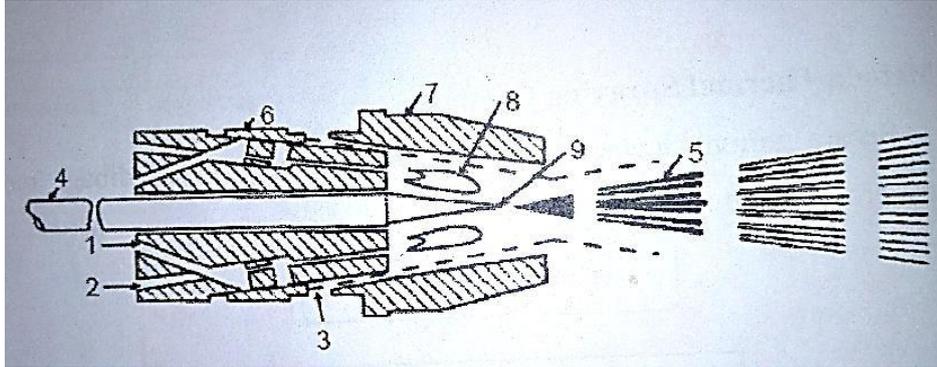
Secara umum metoda thermal spray coating dibagi menjadi dua yaitu dengan sumber panas pembakaran dan sumber panas listrik. Berikut klasifikasi dari proses *thermal spray* yang ditunjukkan pada **Gambar 2.6** dibawah ini.



Gambar 2.6 Klasifikasi Proses *Thermal Spray* (Irawan.I, 2016)

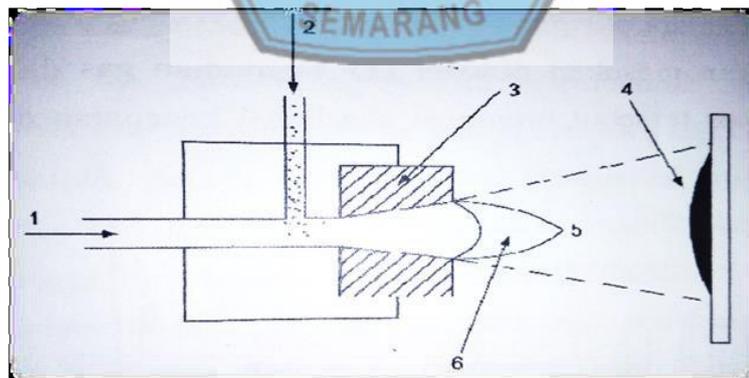
a) *Oxy-Fuel*

Oxy-Fuel gas combustion atau dikenal dengan istilah *flame spraying* yang terdiri dari dua jenis masukan yaitu masukan *wire* (*wire flame spraying*) dan masukan *powder* (*powder flame spraying*). Metode *Oxy-Fuel gas combustion* digambarkan seperti **Gambar 2.7** dan **Gambar 2.8** Dibawah ini.



Gambar 2.7 Skema Proses *Oxy – Fuel* Masukan Powder (Pawlowski,2008)

1. Fluida gas (bahan bakar dan oksigen)
2. Masukan Powder
3. Area pembakaran
4. Hasil coating
5. *Particle stream*
6. *Combution flame*



Gambar 2.8 Skema Dari Proses *Oxy – Fuel* Wire (Pawlowski,2008)

1. Pemasukan oksigen
2. Pemasukan bahan bakar
3. Pemasukan udara bertekanan tinggi
4. Wire/rod

5. Stream of molten droplet
6. Nozzle untuk gas kerja
7. Compressed air cap
8. Flame
9. Molten end of wire

b) *Detonation Gun*

Proses *thermal spray* dengan metode pembakaran gas memiliki komposisi gas yang bercampur dengan oksigen sekitar 1:1 hingga 1:1,1 dengan menghasilkan temperatur bakar sekitar 3000 hingga 3350 K (2727°C – 3077°C) dengan kecepatan pembakaran mencapai 80 hingga 100 m/s. Untuk masukan powder ukuran partikel sekitar 5 – 100 mikron dan feed rate sekitar 50 hingga 100 g/min. Untuk masukan wire / rod ukuran wire beragam mulai dari 3 hingga 6 mm dengan feed rate 40 hingga 60 gr/min. *Detonation gun* merupakan salah satu metode *thermal spray* yang menghasilkan porositas hasil coating yang sangat kecil. Adapun prinsip kerja dari metoda ini yaitu campuran antara oksigen (4) dan asetilen (5) yang masuk melalui satu saluran bersama dengan masukan powder (1). Kemudian gas dinyalakan muncul ledakan dan ledakan tersebut membuat akselerasi kecepatan dari powder menuju substrat. Metode *detonation gun* seperti **Gambar 2.9** dibawah ini.



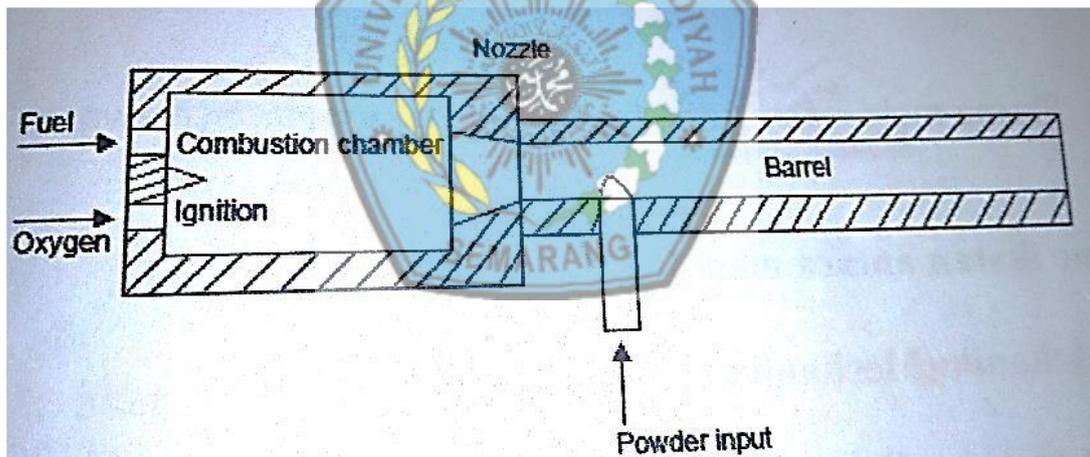
Gambar 2.9 Skema Dari Proses Detonation Gun (Pawlowski,2008)

1. Tempat powder dimasukan
2. Spark plug
3. Gun barrel
4. Tempat oksigen dihembuskan
5. Tempat masukan nitrogen
6. Plug

c) HVOF

High Velocity Oxy-Fuel (HVOF), HVOF adalah jenis thermal spray yang membutuhkan oksigen dan bahan bakar gas pada tekanan tinggi. Jenis bahan bakar yang digunakan adalah propana, propelina, dan hydrogen. Bahan bakar dan oksigen dicampur dan mengubahnya dalam ukuran yang sangat kecil dalam ruang pembakaran di bawah kondisi yang terkontrol pembakarannya maupun tekanannya. Proses ini menghasilkan kecepatan sangat tinggi yang digunakan untuk mendorong partikel guna mendekati kecepatan suara (supersonic) sebelum menumbuk substrat.

Paduan antara oksigen dan bahan bakar (methana, propana) yang teratomisasi disudut dengan api dan menghasilkan temperatur yang mendekati 3.000 °C. Bubuk disemprotkan ke dalam ruang pembakaran dengan menggunakan nitrogen dan meleleh. Udara dengan tekanan tinggi dan oksigen yang tekanannya terkontrol menghasilkan gumpalan-gumpalan bubuk cair berbentuk intan dengan kecepatan yang sangat tinggi. Metode HVOF ditunjukkan seperti **Gambar 2.10** Dibawah ini.



Gambar 2.10 Skema Proses Spray *High Velocity Oxy- Fuel* (HVOF) (Pawlowski,2008)

2.3.2 Material *Powder Thermal Spray*

1. *Hydroxyapatite*

Keramik digunakan sebagai bahan pembuat sambungan tulang. Menurut (Hench 1991) keramik adalah bahan yang tahan terhadap mikroba, tidak merusak jaringan tubuh. Bahan keramik dan kaca sudah lama digunakan dalam industri

kesehatan seperti tempat obat. (Menurut Suh 1998) keramik merupakan bahan dengan kekuatan dan kekerasan yang tinggi sehingga tahan terhadap keausan. Bahan ini mempunyai kelemahan yaitu mudah pecah karena sangat rapuh. Keramik sering didefinisikan bahan molekul kristal yang teratur, hal ini cukup untuk menjadi pertimbangan dalam penggunaan keramik dalam biomaterial, apalagi dengan strukturnya yang teratur tidak merusak jaringan tubuh.

Tabel 2.2 Sifat Mekanik Dan Biomaterial Keramik (Dee et al, 2002) (Hench, 1991)

Biomaterial Keramik	Modulus Young E (Gpa)	Kekuatan tekanan σ (Mpa)	Kekuatan tarik σ (Mpa)
Alumina	380	4500	350
Bioglass-ceramics	22	500	56-83
Calcium phosphates	40-117	510-896	69-193
Pyrolytic carbon	18-28	517	280-560

Pada tahun 1960an penggunaan keramik pada kedokteran mulai dikenalkan sebagai biokeramik. Bahan ini umumnya pada tekanan tinggi mempunyai kekuatan tarik rendah dan kerapuhan yang tinggi, tapi keramik monokristalin menunjukkan kerapuhan yang berkurang dan meningkatkan kekuatan tarik. Permukaan alumina dilapisi lapisan air tipis akibat hidrofisitas tinggi terhadap jaringan sekitarnya. Lapisan tipis ini juga bersifat pelumas, tetapi kerapuhan juga masih sebagai masalah (Suh, 1998). Alumina direkomendasikan yang mempunyai kekuatan tarik paling baik tetapi masih kalah dibandingkan biomaterial metalik. Alumina mempunyai sifat menguntungkan dengan mempunyai sifat koefisien gesek rendah dan tingkat keausan. karena sifat ini, alumina telah digunakan sebagai permukaan bantalan dalam penggantian sendi (Dee, et. al. 2002). Dalam beberapa dekade terakhir hidroksiapatit telah digunakan pada pengisi cacat tulang pada lokasi yang bebas dari pembebanan (sebagai contoh tulang hidung atau tulang telinga tengah). Selain itu hidroksiapatit juga telah digunakan sebagai pengisi gigi yang keropos atau berlubang. Tetapi pada kasusnya untuk tulang yang kena pembebanan dipakai pengganti logam sebagai implant tulang.

Hydroxyapatite ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, HA) merupakan biomaterial anorganik penting yang menarik perhatian peneliti terkait bidang biomaterial dalam beberapa tahun terakhir, karena kesamaan kimia dan struktural dengan fase mineral tulang dan gigi, HA secara luas digunakan untuk memperbaiki jaringan keras, akibatnya fosfat anorganik ini telah dipelajari secara ekstensif untuk aplikasi berupa serbuk, komposit atau bahan pelapis (Weng, 2000). Hal ini telah diamati bahwa HA yang disinter padat memiliki banyak aplikasi pengganti tulang dan digunakan untuk memperbaiki cacat tulang pada gigi dan ortopedi, sebagai pengganti gigi langsung, augmentation of alveolar ridges, material pulp capping dan dan lain-lain (Shiny, 2000). Untuk mengganti atau memperbaiki tulang, bahan yang dirancang harus memiliki kemampuan yang membuat ikatan dengan tulang inang induk (Kokubo, 2003). HA juga telah diteliti untuk aplikasi non medis lainnya, misal sebagai media pengepakan untuk kromatografi kolom, sensor gas, katalis dan lain sebagainya (Cheng, 2003).

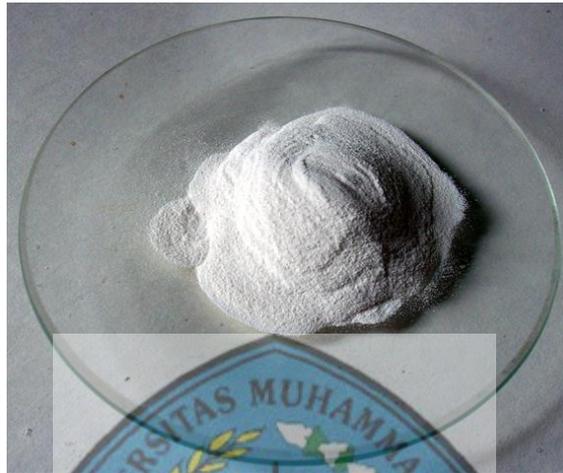
2. Alumunium Oksida

Aluminium oksida adalah sebuah senyawa kimia dari aluminium dan oksigen, dengan rumus kimia Al_2O_3 . Nama mineralnya adalah alumina, dan dalam bidang pertambangan, keramik dan teknik material senyawa ini lebih banyak disebut dengan nama alumina. Aluminium oksida adalah insulator (penghambat) panas dan listrik yang baik.

Umumnya Al_2O_3 terdapat dalam bentuk kristalinyang disebut corundum atau α -aluminium oksida. Al_2O_3 dipakai sebagai bahan abrasif dan sebagai komponen dalam alat pemotong, karena sifat kekerasannya. Aluminium oksida berperan penting dalam ketahanan logam aluminium terhadap perkaratan dengan udara. Logam aluminium sebenarnya amat mudah bereaksi dengan oksigen di udara. Aluminium bereaksi dengan oksigen membentuk aluminium oksida, yang terbentuk sebagai lapisan tipis yang dengan cepat menutupi permukaan aluminium. Lapisan ini melindungi logam aluminium dari oksidasi lebih lanjut. Ketebalan lapisan ini dapat ditingkatkan melalui proses anodisasi. Beberapa alloy (paduan logam), seperti perunggu aluminium, memanfaatkan sifat ini dengan menambahkan aluminium pada alloy untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi. Al_2O_3 yang dihasilkan melalui anodisasi bersifat amorf, namun beberapa proses oksidasi

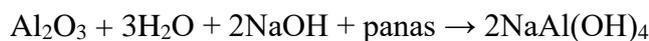
seperti *plasma electrolytic oxydation* menghasilkan sebagian besar Al_2O_3 dalam bentuk kristalin, yang meningkatkan kekerasannya.

Secara alami, aluminium oksida terdapat dalam bentuk kristal corundum. Batu mulia rubi dan sapphire tersusun atas corundum dengan warna-warna khas yang disebabkan kadar ketidakmurnian dalam struktur corundum seperti yang di contohkan pada **Gambar 2.11** Dibawah ini.

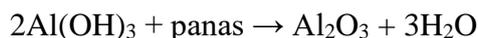


Gambar 2.11 Alumunium Oksida (Alumina)

Aluminium oksida, atau alumina, merupakan komponen utama dalam bauksit bijih aluminium yang utama. Pabrik alumina terbesar di dunia adalah Alcoa, Alcan, dan Rusal. Perusahaan yang memiliki spesialisasi dalam produksi dari aluminium oksida dan aluminium hidroksida misalnya adalah Alcan dan Almatis. Bijih bauksit terdiri dari Al_2O_3 , Fe_2O_3 , and SiO_2 yang tidak murni. Campuran ini dimurnikan terlebih dahulu melalui Proses Bayer:



Fe_2O_3 tidak larut dalam basa yang dihasilkan, sehingga bisa dipisahkan melalui penyaringan. SiO_2 larut dalam bentuk silikat $\text{Si}(\text{OH})_6^{2-}$. Ketika cairan yang dihasilkan didinginkan, terjadi endapan $\text{Al}(\text{OH})_3$, sedangkan silikat masih larut dalam cairan tersebut. $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang dihasilkan kemudian dipanaskan



Al_2O_3 yang terbentuk adalah alumina.

Pada 1961, perusahaan General Electric mengembangkan Lucalox, alumina transparan yang digunakan dalam lampu natrium. Pada Agustus 2006, ilmuwan Amerika Serikat yang bekerja untuk 3M berhasil mengembangkan teknik

untuk membuat alloy dari aluminium oksida dan unsur-unsur lantanida, untuk memproduksi kaca yang kuat, yang disebut alumina transparan.

2.4 Pengujian Mekanik

2.4.1 Uji Scanning Electron Microscope

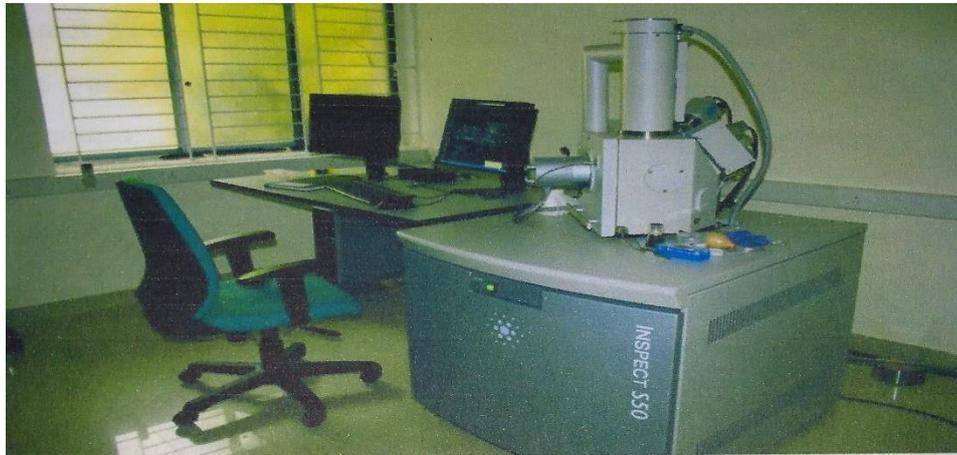
Sampel struktur mikro diambil dari bagian yang dilapisi thermal barrier coating pada permukaan titanium. Pembesaran yang dilakukan 200, 1000, 5000, dan 10.000 kali. keseragaman wilayah distribusi coating yang diamati (Mahadevan, 2008). Scanning Electron Microscope (SEM) untuk menganalisa struktur mikro sampai topografi permukaan dengan pembesaran sampai 3000.00 kali dan resolusi 4 – 9 nm. Prinsip kerja SEM menggunakan tumbukan electron untuk menganalisis objek yang ditranformasikan menjadi gambar. Berikut adalah contoh **Gambar 2.12** yang dihasilkan oleh *scanning electron microscope* pada salah satu spesimen, pada bagian ini yang di tampilkan dari hasil *scanning electron microscope* adalah bagian permukaannya dan sisi samping.



Gambar 2.12 Hasil *Scanning* Pelapisan HA Pada Titanium (Bora dan Cuneyt, 2000)

Pengujian SEM ini menggunakan standar ASTM F 1372-93, pengujian SEM ini dilakukan di Universitas Diponegoro Semarang. Tahap proses pengujian berdasarkan standar ASTM F 1372-93, plat spesimen yang akan diuji dipotong dengan ukuran 8 x 8mm. Kemudian sampel dibersihkan dengan *isopropyl alcohol*, setelah dibersihkan diletakkan pada alat uji SEM dan difokuskan ke permukaan dengan pembesaran sampai 5000 kali sehingga diperoleh gambar dari permukaan yang dilapisi. Hal yang sama dilakukan untuk melihat sisi samping. Cara menganalisa hasil pengujian SEM dengan melihat kerapatan struktur mikro dari pelapisan dan dari sisi samping dilihat apakah pelapis terdifusi atau tidak.

Dibawah ini **Gambar 2.13** adalah mesin uji *Scanning Elektron Miscroscope* (SEM):

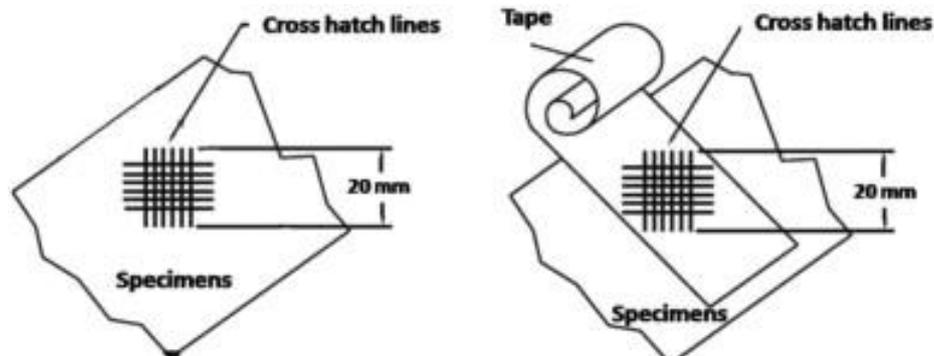


Gambar 2.13 alat uji Scanning Elektron Miscroscope (SEM)

(<http://mrc.iic.ernet.in>)

2.4.2 Uji Adhesive atau Kerekatan

Adhesi adalah kecenderungan partikel atau permukaan yang berbeda untuk melekat satu sama lain sedangkan kohesi mengacu pada kecenderungan partikel atau permukaan yang serupa atau sama saling melekat satu sama lain (Kendall, 1994). Beberapa bahan dapat bergabung pada sendi dengan difusi, hal ini dapat terjadi ketika molekul kedua bahan tersebut bergerak dan larut satu sama lain, seperti ketika serbuk logam atau keramik ditekan bersama dan dipanaskan, atom membaaur dari satu partikel ke partikel berikutnya kemudian bergabung dengan partikel menjadi satu (Maeda, 2002). Berikut **Gambar 2.14** dibawah ini contoh pengujian kerekatan.



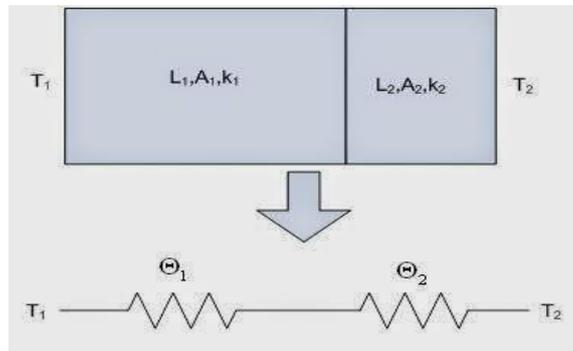
Gambar 2.14 Proses Pengujian Kerekatan (*Adhesive Tap Test*)

Uji kerekatan ini menggunakan standar ASTM D 3395-09 *Measurement adhesion by tape test*. Metode test ini menggunakan metode metode *cross cut tape*,

metode ini membuat goresan secara cross sampai pada permukaan logam, kemudian menempelkan adhesive tape test dengan standar minimal daya adhesi $40 \pm 2,8$ g/mm. Setelah adhesive test tape di angkat, permukaan dianalisis sesuai dengan standar yang telah ditentukan sesuai dengan ASTM D 3395-09. Tahap proses pengujian berdasarkan ASTM D 3395-09 adalah dengan membersihkan permukaan spesimen dengan disemprot menggunakan kompresor untuk menghilangkan debunya. Lakukan pengukuran pada bidang yang dilapisi dengan ukuran kotak 2 x 2mm. Gores hasil pengukuran dengan pisau sampai pada bagian substrat berdasarkan ukuran yang ditentukan dengan banyak kotak 6 x 6 kotak. Jika menggunakan pisau khusus uji kerekatan bisa langsung terbentuk tanpa pengukuran. Setelah itu tempelkan *adhesive tape* jenis 3M untuk menguji kerekatan kemudian tekan dengan penghapus agar merata melekatnya. Setelah itu tarik *adhesive tape* dan lihat bagian yang terkelupas. Kemudian prosentase lapisan yang terkelupas bandingkan dengan panduan berdasarkan ASTM 3395-09. Cara menganalisisnya dari berbagai ketebalan lapisan, lapisan manakah yang paling kuat tingkat kerekatannya dan lihat penyebabnya berdasarkan hasil uji SEM sebelumnya.

2.4.3 Uji Konduktifitas Thermal

Proses dimana sesuatu yang dipindahkan diantara sebuah sistem dan sekelilingnya akibat perbedaan temperatur ini berlangsung disebut kalor, perpindahan kalor pada umumnya terjadi dengan tiga cara yaitu konduksi, konveksi dan radiasi (Zeemansky et all, 1986). Konduksi adalah perpindahan kalor dari suatu bagian benda padat ke bagian lain dari benda padat yang sama atau dari benda padat yang satu ke benda padat yang lain karena terjadi persinggungan fisik atau menempel tanpa terjadinya perpindahan molekul – molekul dari benda padat itu sendiri (Incropera et all, 1981). Konduktifitas panas suatu bahan adalah ukuran kemampuan bahan untuk menghantarkan panas atau *thermal* (Isaacs, 1994). Dibawah ini **Gambar 2.15** skema laju konduksi pada dinding komposit.



Gambar 2.15 Gambar Skematik Laju Konduksi Pada Dinding Komposit

Pengujian konduktifitas *thermal* ini menggunakan standar ASTM C 177-1997 menggunakan *less method*. Pengujian ini dengan cara memanfaatkan panas pada permukaan atas secara menyeluruh, kemudian sisi atas dan bawah dipasang termometer atau alat *thermopel*. Sehingga diperoleh perbedaan suhu atas dan suhu bawah antara plat yang dilapisi dan yang tidak dilapisi. Tahap proses pengujian konduktifitas panas dengan cara membersihkan terlebih dahulu spesimen dengan disemprot menggunakan kompresor untuk membersihkan dari debu. Oleskan pelumas kebidang spesimen agar kontak panas lebih baik. Tempatkan ujung alat ukur pada sisi yang dilapisi dan bagian sisi yang tidak dilapisi. Catat hasil suhu hasil pengukuran pada sisi yang dilapisi dan sisi yang tidak dilapisi. Cara menganalisa dari data hasil pengujian perbedaan suhu yang paling besar pada spesimen dengan ketebalan berapa dan lihat penyebabnya berdasarkan uji SEM dan kerekatan. Dibawah ini **Gambar 2.16** contoh alat pengujian konduktifitas thermal.



Gambar 2.16 Alat uji konduktifitas Thermal (Laboratory Stimart Amni 2017)

Berikut dibawah ini adalah rumus *resistant* atau uji konduktifitas thermal yang terjadi pada titanium dan hydroxiapatit.

$$Q = \frac{T1 - T3}{Ra + Rb}$$

$$Q = \frac{T1 - T3}{\frac{\Delta T}{Ka} + \Delta T/Kb}$$

