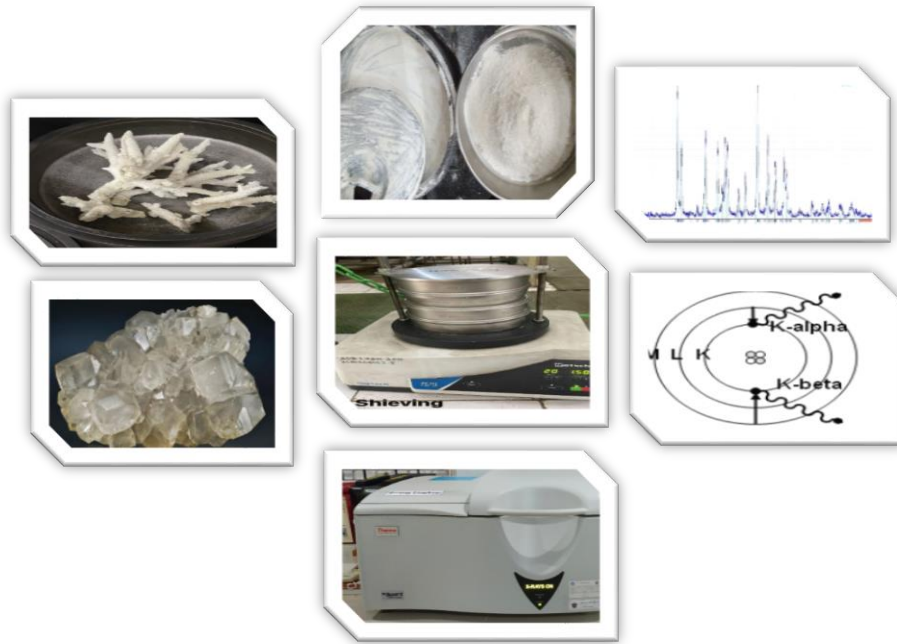


**IDENTIFIKASI SENYAWA KALSIMUM KARBONAT PADA *Acropora* sp YANG  
BERPOTENSI SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI TULANG PADA KASUS REKONSTRUKSI  
TULANG MAKSILOFASIAL**

**IDENTIFICATION OF CALCIUM CARBONATE COMPOUNDS IN *Acropora* sp WHICH  
HAVE POTENTIAL AS BONE SUBSTITUTION MATERIALS IN CASES OF  
MAXILLOFACIAL BONE RECONSTRUCTION**



**MAULANA MUSLIM  
J 045 191 006**



**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN DOKTER GIGI  
SPESIALIS BEDAH MULUT DAN MAKSILOFASIAL  
FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

**IDENTIFIKASI SENYAWA KALSIUM KARBONAT PADA *Acropora* sp YANG  
BERPOTENSI SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI TULANG PADA KASUS REKONSTRUKSI  
TULANG MAKSILOFASIAL**

**MAULANA MUSLIM  
J 045 191 006**



**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN DOKTER GIGI SPESIALIS  
BEDAH MULUT DAN MAKSILOFASIAL  
FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

**IDENTIFICATION OF CALCIUM CARBONATE COMPOUNDS IN *Acropora* sp WHICH  
HAVE POTENTIAL AS BONE SUBSTITUTION MATERIALS IN CASES OF  
MAXILLOFACIAL BONE RECONSTRUCTION**

**MAULANA MUSLIM  
J 045 191 006**



**PROGRAM SPECIALIST DENTISTRY  
ORAL AND MAXILLOFACIAL SURGERY  
FACULTY OF DENTISTRY  
HASANUDDIN UNIVERSITY  
MAKASSAR  
2024**

**IDENTIFIKASI SENYAWA KALSIUM KARBONAT PADA *Acropora* sp YANG  
BERPOTENSI SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI TULANG PADA KASUS REKONSTRUKSI  
TULANG MAKSILOFASIAL**

Tesis

*Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar spesialis bedah mulut  
dan maksilofasial*

Program Pendidikan Dokter Gigi Spesialis Bedah Mulut dan  
Maksilofasial

Disusun dan diajukan oleh

MAULANA MUSLIM  
J 045 191 006

Kepada

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN DOKTER GIGI  
SPESIALIS BEDAH MULUT DAN MAKSILOFASIAL  
FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2024**

## TESIS

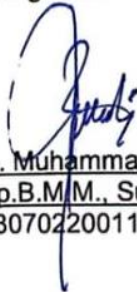
IDENTIFIKASI SENYAWA KALSIMUM KARBONAT PADA *Acropora* sp  
YANG BERPOTENSI SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI TULANG PADA  
KASUS REKONSTRUKSI TULANG MAKSILOFASIALMaulana Muslim  
J 045 191 006

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian Program Studi Pendidikan  
Spesialis Bedah Mulut dan Maksilofasial Kedokteran Gigi Universitas  
Hasanuddin pada tanggal 26 Februari 2024 dan dinyatakan telah  
memenuhi syarat kelulusan  
Pada

Program Pendidikan Dokter Gigi Spesialis Bedah Mulut Dan Maksilofasial  
Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin Makassar

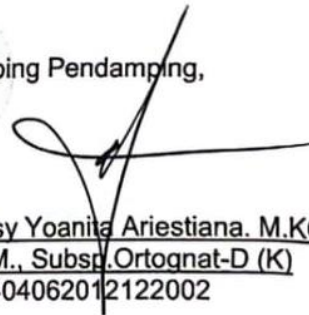
Mengesahkan:

Pembimbing Utama



Prof. drg. Muhammad Ruslin, M.Kes.,  
Ph.D., Sp.B.M.M., Subsp.Ortognat-D (K)  
NIP.197307022001121001

Pembimbing Pendamping,



drg. Yossy Yoanita Ariestiana, M.KG.,  
Sp.B.M.M., Subsp.Ortognat-D (K)  
NIP.198404062012122002

Ketua Program Studi Bedah Mulut dan  
Maksilofasial FKG-UNHAS,

drg. Andi Tahir, M.Kes., Sp.B.M.M.,  
Subsp.C.O.M (K)  
NIP.197410102003121002

Dekan Fakultas Kedokteran Gigi  
Universitas Hasanuddin

drg. Irfan Sugianto, M.Med.Ed., Ph.D  
NIP.198102151008011009

**PERNYATAAN KEASLIAN TESIS  
DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA**

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis berjudul "Identifikasi senyawa kalsium karbonat pada *Acropora* sp yang berpotensi sebagai bahan substitusi tulang pada kasus rekonstruksi tulang maksilofasial" adalah benar karya saya dengan arahan dari tim pembimbing (Prof. drg. Muhammad Ruslin, M.Kes., Ph.D., Sp.B.M.M., Subsp.Ortognat-D (K) sebagai Pembimbing Utama dan drg. Yossy Yoanita Ariestiana, M.KG., Sp.B.M.M., Subsp.Ortognat-D (K) sebagai Pembimbing Pendamping). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan telah dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 17 Februari 2024



Maulana Muslim  
J045191006

## Ucapan Terima Kasih

Alhamdulillah, Dengan memanjatkan puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas segala berkah dan karuniaNya, shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, yang telah menunjukkan jalan yang lurus kepada umat manusia sehingga penulis dapat menyelesaikan karya tulis akhir pada waktunya. Perkenankan penulis untuk menyampaikan rasa hormat dan terima kasih serta penghargaan yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, motivasi, dan perhatian selama penulis menempuh pendidikan, terutama pada proses penelitian, penyusunan hingga penyempurnaan karya ilmiah tesis ini.

Rasa hormat dan terima kasih serta penghargaan yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Prof. drg. Muhammad Ruslin, M.Kes., Ph.D., Sp.B.M.M., Subsp.Ortognat-D (K) sebagai Pembimbing Utama dan Ibu drg. Yossy Yoanita Ariestiana, M.KG., Sp.B.M.M., Subsp.Ortognat-D (K) sebagai Pembimbing Pendamping sekaligus Sekertaris Program Studi Spesialis Bedah Mulut dan Maksilofasial, atas bimbingan ilmu dan arahnya pada penelitian ini maupun selama saya menempuh pendidikan.
2. Kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc. selaku Rektor Universitas Hasanuddin, Bapak drg. Irfan Sugianto, M.Med.Ed., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin beserta seluruh tim pengajar pada Program Studi Bedah Mulut dan Maksilofasial yang telah memfasilitasi, membimbing dan memberikan saya ilmu selama menempuh pendidikan.
3. Kepada Bapak drg. Andi Tajrin, M. Kes., Sp.B.M.M., Subsp.C.O.M. (K), selaku Ketua Program Studi Spesialis Bedah Mulut dan Maksilofasial sekaligus Penasehat Akdemik, yang telah banyak memberikan ilmu, bimbingan, senantiasa memotivasi dan menginspirasi penulis selama mengikuti proses pendidikan dan penelitian.
4. drg. Nursyamsi, M.Kes sebagai Pembimbing Statistik yang senantiasa meluangkan waktu memberikan bimbingan dan arahan pada penyusunan Karya Tulis Akhir ini
5. Kepada Senior saya (drg.Faisal, drg. Trio, drg Iradatullah) dan teman-teman seperjuangan Angkatan Tiga (drg. Rona Liansari, drg. Inna Husnul Ibnu, drg, Octhavianus Kano, drg. Hanri) kalian sangat hebat dan membanggakan, terima kasih atas saling berbagi ilmu, dan saling memberi motivasi selama menempuh pendidikan serta rekan-rekan residen Bedah Mulut dan Maksilofasial FKG Unhas dari Angkatan 1 sampai dengan angkatan 11 yang membantu, mendukung dan memberikan semangat selama masa pendidikan yang penuh perjuangan ini.
6. Staf dan pegawai di Rumah Sakit Gigi dan Mulut dan Laboratorium Politeknik Kimia serta Laboratorium Penelitian dan Pengembangan Sains Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin, sebagai tempat penelitian dan pengolahan bahan penelitian.

Akhirnya, tesis ini penulis persembahkan kepada kedua orang tua tercinta, Ayahdana H. Syahrana dan Ibunda Hj. Junaida, saya mengucapkan terima kasih dan sembah sujud atas doa, kasih sayang, dan pengorbanan mereka selama saya menempuh pendidikan. Penghargaan saya yang besar dan ucapan terima kasih juga kepada istri tersayang dan anak-anak ku serta seluruh keluarga atas motivasi dan dukungannya sebagai support system yang tak ternilai.

Penulis sadar bahwa tesis ini masih jauh dari kesempurnaan oleh karena itu, besar harapan penulis kepada pembaca atas kontribusinya baik berupa saran dan kritik yang sifatnya membangun demi kesempurnaan tesis ini. Akhirnya semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat-Nya kepada kita semua dan informasi yang disajikan dalam tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua, Aamiin.

Penulis,



Maulana Muslim

## ABSTRAK

Maulana Muslim. **Identifikasi Senyawa Kalsium Karbonat Pada *Acropora* sp Yang Berpotensi Sebagai Bahan Substitusi Tulang Pada Kasus Rekonstruksi Tulang Maksilofasial** (dibimbing oleh Muhammad Ruslin dan Yossy Yoanita Ariestiana)

**Latar Belakang:** Defek tulang merupakan salah satu masalah klinis terpenting dengan angka kejadian lebih dari 2 juta pasien per tahun. Defek tulang rahang dapat terjadi setelah operasi pengangkatan lesi kista dan neoplasma, kelainan bawaan seperti celah bibir dan langit, hipoplasia tulang tengkorak viseral, infeksi dan defek pasca ekstraksi serta atrofi tulang rahang akibat usia lanjut atau penyakit lainnya. Oleh karena itu, perlu terapi regeneratif untuk membantu penyembuhan dan pembentukan tulang baru. **Tujuan:** Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi senyawa bioaktif yang terdapat dalam *coral Acropora* sp yang berpotensi menjadi alternatif bahan substitusi tulang pada rekonstruksi tulang maksilofasial. **Metode:** Jenis penelitian ini adalah penelitian eksploratif. Dilaksanakan pada Bulan November 2022 – April 2023. Sampel *coral* diambil dari perairan laut Pulau Kodingareng Keke. **Hasil:** Terdapat kandungan zat aktif senyawa *coral Acropora* sp yang diidentifikasi dengan analisis *X-Ray Fluorescence* (XRF) dan *X-Ray Diffraction* (XRD). **Kesimpulan:** Teridentifikasi senyawa kalsium karbonat pada *Acropora* sp yang berpotensi sebagai bahan substitusi tulang pada kasus rekonstruksi tulang maksilofasial.

**Kata kunci:** *Acropora* sp, *Biocoral*, *Bone graft*, *Calcium Carbonate*, *Scaffold*.



## ABSTRACT

MAULANA MUSLIM. *Identification Of Calcium Carbonate Compounds In Acropora Sp Which Have Potential As Bone Substitution Materials In Cases Of Maxillofacial Bone Reconstruction* (supervised by Muhammad Ruslin and Yossy Yoanita Ariestiana)

**Background:** Bone defects are one of the most important clinical problems with an incidence of more than 2 million patients per year. Jawbone defects can occur after surgical removal of cysts dan neoplasms, congenital abnormalities such as cleft lip dan palate, visceral skull hypoplasia, post-extraction infections dan defects as well as jawbone atrophy due to old age or other diseases. Therefore, regenerative therapy is needed to help heal dan form new bone. **Objective:** This study aims to identify bioactive compounds contained in Acropora sp coral which have the potential to be an alternative bone substitute material for maxillofacial bone reconstruction. **Method:** This type of research is exploratory research. To be carried out in November 2022 – April 2023. Coral samples were taken from the sea waters of Kodingareng Keke Island. **Results:** There are active substances in the coral compound Acropora sp which were identified using X-Ray Fluorescence (XRF) and X-Ray Diffraction (XRD) analysis. **Conclusion:** A calcium carbonate compound was identified in Acropora sp which has the potential as a bone substitute material in cases of maxillofacial bone reconstruction.

Keywords : Acropora sp, Biocoral, Bone Graft, Calcium Carbonate, Scaffold.

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
HALAMAN SAMPUL .....	i
HALAMAN JUDUL .....	ii
HALAMAN JUDUL BAHASA INGGRIS .....	iii
PERNYATAAN PENGAJUAN .....	iv
HALAMAN PENGESAHAN .....	v
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH .....	vii
ABSTRAK .....	viii
ABSTRACT .....	ix
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN .....	xv
BAB I PENDAHULUAN .....	16
1.1 Latar Belakang .....	16
1.2 Tinjauan Teori .....	2
1.2.1 Defek Tulang Maksilofasial .....	2
1.2.2 Sel-sel tulang .....	2
1.2.3 <i>Bone Graft</i> (Cangkok Tulang) .....	3
1.2.4 <i>Acropora</i> sp .....	6
1.2.5 Kalsium Karbonat (CaCO <sub>3</sub> ) .....	7
1.2.5.1 <i>X-Ray Fluorescence</i> (XRF) .....	8
1.2.5.2 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD) .....	10
1.3 Perumusan Masalah .....	11
1.4 Tujuan dan Manfaat .....	11
1.4.1 Tujuan .....	11
1.4.2 Manfaat .....	11

BAB II METODE PENELITIAN .....	12
2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	12
2.1.1 Waktu Penelitian .....	12
2.1.2 Lokasi Penelitian.....	12
2.3 Metode Penelitian.....	12
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN.....	15
3.1 Hasil Penelitian .....	15
3.2 Pembahasan .....	16
3.3 Keterbatasan Penelitian .....	17
BAB VI PENUTUP .....	18
4.1 Kesimpulan.....	18
4.2 Saran .....	18
DAFTAR PUSTAKA.....	19
LAMPIRAN.....	27

**DAFTAR TABEL**

Tabel 1. Hasil Uji XRF.....	15
-----------------------------	----

**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 1. Acropora sp.....	6
Gambar 2. Calcit (Kalsium Karbonat berbentuk alami) .....	7
Gambar 3. Elektron Tereksitasi Keluar .....	9
Gambar 4. Terbentuknya K-alpha dan K-Beta.....	10
Gambar 5. Hasil perbandingan komposisi mineral hidroksiapatit.....	11
Gambar 8. Tahap penghalusan <i>coral</i> .....	13
Gambar 9. Alur Penelitian .....	14
Gambar 10. Derajat Kristalisasi XRD (X-Ray Diffraction) dari Kalsium Karbonat Acropora sp.....	16
Gambar 11. Hasil Pemeriksaan XRD (X-Ray Diffraction) dari kalsium karbonat Acropora sp.....	16

**DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1. Surat Izin Penelitian .....	26
Lampiran 2. Rekomendasi Persetujuan Etik.....	27
Lampiran 3. Pengambilan sampel <i>Acropora</i> sp .....	28
Lampiran 4. <i>Grinding Acropora</i> sp .....	28
Lampiran 5. <i>Shieving</i> .....	29
Lampiran 6. Proses pemeriksaan XRF sampel <i>coral Acropora</i> sp .....	29

## DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

Istilah/Singkatan	Arti dan Penjelasan
<i>Acropora</i> sp	Salah satu terumbu <i>coral</i> tipe bercabang yang termasuk kedalam famili <i>Acroporidae</i> .
<i>Allograft</i>	Merupakan <i>graft</i> tulang yang berasal dari donor manusia baik donor hidup maupun donor jenazah.
BMP	<i>Bone Morphogenetic Protein</i> .
<i>Bone graft</i>	Materi pengganti tulang yang telah banyak digunakan dalam pencangkokan tulang yang rusak.
DBM	<i>Demineralization Bone Matrix</i> .
DXRF	<i>Wavelength dispersive XRF</i> .
EDXRF	<i>Energy Dispersive XRF</i> .
FGF	<i>Fibroblastic Growth Factors</i> .
<i>Grinding</i>	Proses pengurangan ukuran partikel bahan olahan dari bentuk besar/kasar diubah menjadi ukuran yang lebih kecil.
IGF	<i>Insulin-Like Growth Factor</i> .
Kalsium karbonat	Kalsium karbonat atau CaCO <sub>3</sub> adalah garam karbonat dari kalsium. Seperti yang sudah diketahui, kalsium adalah mineral yang penting untuk kesehatan tulang.
Neoplasma	Masa jaringan yang abnormal, tumbuh berlebihan, tidak terkoordinasi dengan jaringan normal dan tumbuh terus-menerus meskipun rangsang yang menimbulkan telah hilang.
Osteogenesis	Perkembangan dan pembentukan tulang dari sel-sel yang berasal dari <i>graft</i> atau inang.
Osteoinduksi	Proses di mana sel punca mesenkimal di dan sekitar lokasi inang untuk berdiferensiasi menjadi kondroblas dan osteoblast.
Osteokonduksi	Proses pertumbuhan tulang pada permukaan cangkok yang ditanamkan dan memberikan kemampuan untuk memungkinkan kolonisasi sel baru, pertumbuhan tulang, dan pembentukan pembuluh darah.
PDGF	<i>Platelet-Derived Growth Factor</i> .
<i>Scaffold</i>	Suatu struktur sementara yang digunakan untuk menyangga manusia dan material dalam konstruksi.
<i>Shieving</i>	Metode pengukuran ukuran partikel padat yang paling penting untuk partikel berukuran diatas 0 mm. Operasi pengayakan biasanya dilakukan untuk partikel atau material berukuran relatif kasar.
XRD	<i>X-Ray Diffraction</i> digunakan untuk mengidentifikasi adanya fasa kristalin di dalam material benda dan serbuk, dan untuk menganalisis sifat-sifat struktur.
XRF	<i>X-Ray Fluorescence</i> merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui kandungan mineral dan persentasenya dalam suatu material.

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Defek tulang alveolar adalah perubahan pada morfologi tulang alveolar yang dapat terjadi akibat kista, neoplasma, kelainan bawaan seperti celah bibir dan langit-langit, hipoplasia tulang tengkorak viseral, infeksi dan defek pasca ekstraksi serta atrofi tulang rahang akibat usia lanjut atau penyakit lainnya (Kumar, Vinita and Fathima, 2013; Wang *et al.*, 2015; Gökmenoğlu, 2016; Julia *et al.*, 2016). Defek tulang adalah salah satu masalah klinis terpenting dengan angka kejadian lebih dari 2 juta pasien per tahun (Campana *et al.*, 2014). Oleh karena itu, perlu terapi regeneratif untuk membantu penyembuhan dan pembentukan tulang baru (Matuda *et al.*, 2019; Shukla *et al.*, 2019).

Adanya defek khususnya pada daerah estetik seperti daerah kraniofasial, memberikan tekanan psikologis yang mendalam pada seseorang, hal ini mempengaruhi kepercayaan diri, harga diri dan kemampuan berinteraksi sosial (Prakash, Bahri and S K Bhandari, 2021). Menurut penelitian sebelumnya, kualitas hidup pasien maksilofasial berubah dan integrasi sosial menjadi sulit, harapan pasien untuk kembali ke keadaan normal seringkali runtuh (Pisulkar, Pakhan and Godbole, 2018). Penelitian Hatamleh *et al.* menyebutkan pasien merasa percaya diri, tidak khawatir akan diperhatikan, dan merasa nyaman dan stabil selama berbagai aktivitas setelah pembedahan (Hatamleh, Hatamleh and Nuseir, 2023). Beberapa metode rekonstruksi tulang sering digunakan, salah satunya adalah penggunaan cangkok tulang alami maupun sintesis (Battafarano *et al.*, 2021). Cangkok tulang dapat diklasifikasikan menjadi *autograft*, *allograft*, *xenograft* dan material sintesis *alloplastic*. Pada rekonstruksi maksilofasial, *autograft* masih menjadi pilihan utama dalam merestorasi defek tulang (Fu *et al.*, 2013; Wang and Yeung, 2017; Xian *et al.*, 2020). Kekurangan metode ini adalah pembedahan yang menyakitkan, risiko infeksi, perdarahan, kerusakan saraf dan hilangnya fungsi membuat para peneliti mencari alternatif lainnya untuk mendapatkan bahan paling cocok (Goldberg and Stevenson, 2005; Joshi *et al.*, 2010).

Pilihan cangkok seperti *xenograft* dapat menjadi bahan rekonstruksi tulang (Kumar *et al.*, 2016; Balaji, Manikandan and Ramsundar, 2020). Beberapa bahan *xenograft* telah terbukti dapat digunakan untuk rekonstruksi pada maksilofasial selain karena aplikasi yang mudah serta ketersediaan yang cukup (Tovar *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2015).

Bahan *xenograft* yang tersedia di pasaran saat ini umumnya adalah berasal dari *bovine* (tulang sapi) dan *porcine* (tulang babi) yang harus diseleksi secara ketat untuk menghindari penularan infeksi (Mahyudin, 2018). Namun, beberapa kepercayaan agama seperti Islam, Hindu, Yudaisme, dan Sikh melarang penggunaan bahan-bahan dari sumber hewan tertentu (Jenkins *et al.*, 2010; Eriksson, Burcharth and Rosenberg, 2013; Goyal, Goyal and Brittberg, 2013). Selain itu beberapa bahan *xenograft* dari *bovine* dan *porcine* tidak bersifat induksi (Manassero *et al.*, 2013). Di sisi lain, *Xenograft* memiliki keunggulan berupa ketersediaan bahan yang melimpah dan ukuran bahan besar (Hasanah, 2017). Sehingga menjadi tantangan *dunia* kedokteran untuk menemukan bahan dasar *xenograft* yang ideal.

Pemrosesan pada suhu tinggi untuk menghindari reaksi kekebalan, alergi dan penyakit menular seperti *spongiform encephalopathy* dianggap bertanggung jawab untuk memodifikasi struktur hidroksiapatit yang selanjutnya mengarah pada pengurangan potensi penyerapan (Yudin, 2022). Menurut Raymond *et al.*, (1994) kandungan kalsium karbonat memberikan harapan yang baik dalam perbaikan defek tulang dengan mempercepat stimulasi pembentukan tulang baru. Kalsium karbonat (CaCO<sub>3</sub>) bersifat bioresorbable, dan memiliki biokompatibilitas dan osteokonduktivitas yang sangat baik (Yu *et al.*, 2010) Biomaterial berbasis kalsium karbonat telah diusulkan sebagai alternatif yang menjanjikan untuk perbaikan kerusakan tulang (Combes *et al.*, 2006).

Menurut Campana *et al.*, (2014) perlu adanya kandungan CaCO<sub>3</sub> sebagai *xenograft* dengan bahan dasar yang lebih menyerupai tulang dari *coral* (Campana *et al.*, 2014). Pengganti tulang berbasis CaCO<sub>3</sub> yang berasal dari eksoskeleton *coral* alami (aragonit) diserap dan direnovasi lebih cepat dibandingkan pengganti berbasis kalsium fosfat (Umamoto *et al.*, 2021). Pada sebuah penelitian menyebutkan bahwa karakterisasi material *coral* termodifikasi merupakan campuran hidroksiapatit dan CaCO<sub>3</sub>, namun CaCO<sub>3</sub> merupakan komponen utamanya. Keunggulan CaCO<sub>3</sub> adalah penyerapan yang relatif cepat bahan secara alami (Fu *et al.*, 2013).

*Coral* merupakan sumber kimia yang kaya akan berbagai zat aktif yang dikaitkan dengan segudang manfaat. Dalam penyembuhan tulang, bahan ini lebih disukai karena biokompatibilitas, osteokonduksi, osteointegrasi, dan efek osteogenetiknya (1) (Esbah Tabaei *et al.*, 2021). *Coral* juga memenuhi kriteria kurangnya reaksi antigenik, teratogenik atau karsinogenik, pasokan jumlah yang cukup, dukungan dan stabilitas memuaskan, morbiditas minimum hingga komplikasi nol, sifat hidrofilik, penanganan mudah dan biaya rendah (Pountos and Giannoudis, 2016).



Dalam penelitian lainnya disebutkan pula bahwa *coral* merupakan sumber penting metabolit bioaktif, budidaya *coral* untuk produksi metabolit layak secara ekonomi (Leal *et al.*, 2013) Produk *coral* yang mengandung  $\text{CaCO}_3$  dalam dunia kedokteran juga digunakan sebagai bahan sintesis pembawa obat antikanker yang dikenal aman, murah, dan bersih (Chen *et al.*, 2024).

Berdasarkan beberapa penelitian, jenis *coral Acropora* sp merupakan jenis *coral* dengan struktur dan sifat fisik yang sama dengan tulang dan merupakan perancah yang sepenuhnya dapat diserap yang mendukung tulang yang dimediasi regenerasi *Mesenchymal stem cells* (MSC), serta unggul dengan potensi antioksidan dan antimikroba. (Manassero *et al.*, 2013; Vaikundamoorthy dan Sundaramoorthy, 2016; Decambron *et al.*, 2017)

Uji XRD dilakukan untuk mengetahui kandungan struktur *Acropora* sp. Perbandingan antara X-Ray Diffraction (XRD) dan Fourier Transform Infrared (FTIR) dapat dibahas mengenai kelebihan dan kemampuan masing-masing teknik dalam analisis material. XRD lebih cocok digunakan untuk analisis struktur kristal pada bahan padat seperti mineral, garam, logam, dan senyawa organik, sementara FTIR lebih cocok untuk identifikasi gugus fungsi pada senyawa padat. XRD memiliki kemampuan penetrasi yang lebih baik dibandingkan dengan FTIR, sehingga lebih cocok digunakan untuk analisis struktur kristal pada bahan padat. FTIR lebih efektif dalam mengidentifikasi gugus fungsi pada senyawa padat karena sinar inframerah yang digunakan dalam FTIR memiliki energi yang lebih rendah, sehingga lebih mudah mengakses gugus fungsi yang terkandung dalam senyawa. Di sisi lain, XRD memiliki kelebihan dalam analisis struktur kristal, sementara FTIR lebih cocok untuk identifikasi gugus fungsi. Kedua teknik memiliki kelebihan masing-masing yang sesuai dengan kebutuhan analisis yang akan dilakukan (Astuti, 2016; Warastuti, Abbas and Suryani, 2017; Alqaheem and Alomair, 2020; Montoya-Escobar *et al.*, 2022; Gesteinslabor and Jahns, 2024).

Berdasarkan uraian tersebut, penulis tertarik untuk mengetahui identifikasi senyawa kalsium karbonat pada *Acropora* sp yang berpotensi sebagai bahan substitusi tulang pada kasus rekonstruksi tulang maksilofasial.

## 1.2 Tinjauan Teori

### 1.2.1 Defek Tulang Maksilofasial

Defek pada regio maksilofasial dapat bersifat intraoral termasuk defek maksila, defek mandibula yang mempengaruhi kontinuitas mandibula, defek velofaringeal atau defek pada *soft palate* dan defek ekstraoral seperti defek *like residual ocular*, auricular, orbital, kranial, hidung atau kombinasi (Prakash, Bahri and S.K. Bhandari, 2021).

Berbagai penyebab kejadian defisit tulang rahang baik karena trauma atau kecelakaan, operasi pengangkatan kista, tumor rahang atau neoplasma, kelainan bawaan (celah bibir dan langit atau hipoplasia tulang tengkorak visceral), peradangan periodontal, gigi abses atau ekstraksi dan akhirnya atrofi rahang karena usia lanjut atau penyakit lainnya (Kumar, Vinitha and Fathima, 2013; Wang *et al.*, 2015; Julia *et al.*, 2016).

Setiap defek pada daerah maksilofasial menyebabkan hilangnya bentuk, fungsi dan estetika. Hal ini membahayakan integritas wilayah kraniofasial dan dengan demikian menimbulkan dampak yang lebih dalam pada seseorang. Defek pada daerah maksilofasial mungkin bersifat intraoral termasuk defek maksila dan bervariasi dalam lokasi dan ukuran kecacatan (Prakash, Bahri and S.K. Bhandari, 2021).

Kelompok defek pada tulang terbagi menjadi defek tulang kecil dan defek tulang besar (*Massive bone defect*). Defek tulang yang berukuran kecil terdapat beberapa pilihan seperti penanganan cangkok tulang kecil, pemberian *bone material substitute*, pemberian *growth factor* dan injeksi sumsum tulang (Rushadi and Rantam, 2011). Pada *massive bone defect* dengan kerusakan yang lebih besar, penanganannya lebih kompleks oleh karena memerlukan operasi yang lebih besar. Dalam hal ini, digunakan untuk rekonstruksi tulang yang hilang dengan tujuan mengembalikan fungsi anggota gerak. Dengan demikian, seiring dengan bertambahnya prevalensi defek tulang mengakibatkan meningkatnya penggunaan *graft* (Darwis and Warastuti, 2008; Rushadi and Rantam, 2011).

### 1.2.2 Sel-sel tulang

Asal mula sel-sel tulang berasal dari stem sel tulang yang berkembang menjadi mesoderm progenitor kemudian membentuk jalur mesenkim (preosteoblas, osteoblas, osteosit, dan *bone-lining cells*) dan jalur hemopoetik (preosteoklas dan osteoklas). Sel-sel yang membantu menyusun matriks tulang dan berperan dalam regenerasi tulang adalah osteoblas, osteosit, *bone lining cell*, dan osteoklas (Florencio-silva *et al.*, 2015).

#### 1.2.2.1 Osteoblas

Osteoblas merupakan sel kuboid yang berada sepanjang permukaan tulang, berukuran (20-30  $\mu\text{m}$ ) sekitar 4-6 % dari seluruh sel tulang. Osteoblas berasal dari sel osteoprogenitor MSC dan jaringan ikat lainnya, yang berdiferensiasi dan berkembang biak menjadi osteoblas sebelum membentuk tulang.

Beberapa fungsi dari osteoblas adalah mensintesis kolagen dan non-kolagen dari matriks tulang organik, mengarahkan susunan fibril matriks ekstraseluler, mineralisasi osteoid, melalui alkalifosfat yang memediasi resorpsi osteoblas dengan mensintesis sitokin spesifik, dan mensintesis *growth factors*, serta diferensiasi sel yang dimediasi oleh sejumlah besar *bone morphogenic proteins* (BMPs), *growth factors* dan sitokin. Osteoblas bertahan selama 1- 10 minggu, memiliki tiga perjalanan perkembangan: osteoblas inaktif menjadi *bone-lining cells*, matriks termineralisasi yang dihasilkan akan mengelilingi osteoblas dan menjadi osteosit, menghilang dari tempat pembentukan tulang sebagai hasil dari apoptosis (Noble and Reeve, 2000; Samavedi, Whittington and Goldstein, 2013).

#### 1.2.2.2 Osteosit

Osteosit merupakan sel yang jumlahnya 90-95 % dari total sel tulang dan berumur panjang hingga 25 tahun. Osteosit terletak di dalam lakuna yang dikelilingi oleh matriks tulang termineralisasi. Jumlah osteosit berbeda tergantung pada jenis tulangnya. Osteosit berasal dari MSC melalui diferensiasi osteoblas. Dalam proses ini terdapat 4 tahap osteosit yaitu: osteoid-osteosit, preosteosit, *young-osteosit*, *mature-osteosit*. Setelah matriks termineralisasi, beberapa osteoblas tetap terperangkap di dalamnya dan berubah menjadi osteosit. Osteoblas, osteoklas, dan *bone lining cells* berada di permukaan tulang sedangkan osteosit berada di bagian dalam tulang. Osteosit berbentuk bintang dan ditemukan di bagian dalam lakuna, berkomunikasi satu sama lain melalui kanalikuli tulang yang diisi dengan cairan tulang ekstraseluler. Osteosit mengatur dirinya sendiri menjadi sebuah *syncytium* dari sel-sel yang saling berhubungan yang membentuk sebuah struktur tunggal yang menjamin suplai oksigen dan nutrisi. Saat trauma terjadi pada tulang, penghentian suplai darah menyebabkan hipoksia dan nekrosis dari osteosit. Osteosit juga berpartisipasi dalam sintesis dan mineralisasi matriks osteoid, mengontrol remodeling tulang, mendeteksi variasi beban mekanis, berkontribusi terhadap regulasi hemostatis Ca dan PO<sub>4</sub> (Noble and Reeve, 2000; Samavedi, Whittington and Goldstein, 2013). Osteosit merupakan tahap akhir dari osteoblas yang tidak mampu memperbarui diri. Kerusakan pertumbuhan osteosit mengarah pada kerapuhan tulang atau osteoporosis (Truesdell and Saunders, 2019).

#### 1.2.2.3 Bone-lining cells

Sel pipih osteoblas yang menutup permukaan tulang, merupakan osteoblas tidak aktif dan terdapat pada permukaan tulang. *Bone-lining cells* berperan dalam resorpsi tulang hingga remodeling tulang, homeostasis Ca, dan diferensiasi osteoklastik. Sel ini akan diaktivasi menjadi osteoblas pada saat pembentukan sel tulang baru. Fungsi *bone-lining cells* adalah mencegah interaksi langsung antara osteoklas dan matriks tulang, ketika resorpsi tulang seharusnya tidak terjadi, berpartisipasi dalam diferensiasi osteoklas, memproduksi osteoprotegerin (OPG) dan *receptor activator of nuclear factor ligdan* (RANKL) (Noble and Reeve, 2000; Samavedi, Whittington and Goldstein, 2013; Oktaviani *et al.*, 2018).

#### 1.2.2.4 Osteoklas

Osteoklas merupakan sel besar berinti banyak yang berasal dari makrofag hematopoietik dan *monocyte stem-cell line*, Bila distimulasi sel ini berproliferasi dan bergabung membentuk *large multinucleated osteoclas*, biasanya memiliki 3–20 nukleus dan sejumlah besar mitokondria, lisosom, dan memproduksi asam fosfatase yang berfungsi untuk melarutkan mineral dalam tulang. Faktor-faktor yang mempengaruhi diferensiasi sel osteoklas diantaranya *macrophage colony-stimulating factor* (M-CSF) yang disekresikan oleh osteoprogenitor MSC dan osteoblast, *receptor activator of nuclear factor* (RANK) ligdan yang disekresikan oleh osteoblas, osteosit dan sel stroma. Kedua faktor ini mengaktivasi faktor transkripsi dan ekspresi gen osteoklas. Pembentukan osteoklas terjadi saat RANKL berikatan dengan RANK, dimana proses ini disebut osteoklastogenesis. Di sisi lain osteoprotegerin yang disekresikan oleh osteoblas, sel stroma, gingiva, dan fibroblast periodontal berikatan dengan RANKL, mencegah interaksi RANK/RANKL sehingga menghambat osteoklastogenesis. Sistem RANKL/RANK/OPG adalah mediator kunci dari osteoklastogenesis (Noble and Reeve, 2000; Samavedi, Whittington and Goldstein, 2013).

### 1.2.3 Bone Graft (Cangkok Tulang)

Ilmu pencangkokan tulang telah maju secara signifikan, khususnya dalam dua dekade terakhir, dengan pemahaman mendasar tentang penyembuhan tulang *secoral* menggabungkan prinsip-prinsip biologi seluler dan molekuler. Saat ini, cangkok tulang digunakan dalam ortopedi rekonstruktif, mulai dari pengobatan jenis patah tulang sederhana hingga prosedur penyelamatan ekstremitas yang ekstensif dan rekonstruksi tulang belakang yang kompleks. Dengan demikian, beberapa faktor mempengaruhi keberhasilan penggabungan tulang yang dicangkokkan, termasuk jenis cangkok tulang yang digunakan, lokasi implantasi, teknik pengawetan, faktor lokal dan sistemik, vaskularisasi cangkokan dan antar cangkokan inang yang mencakup imunogenetik antara donor dan inang, serta sifat mekanik tulang yang bergantung pada ukuran, bentuk, dan jenis cangkok yang digunakan (Stevenson, 1999; Khan *et al.*, 2005).

Bone graft atau cangkok tulang disebut sebagai *gold standard* terapi tulang. Bone graft digunakan untuk memberikan dukungan, mengisi celah kosong antara tulang dan implan, serta dapat mempercepat penyembuhan pada kelainan skeletal. Pengganti tulang ini berfungsi pasif membimbing atau mengantar sel bermigrasi melalui matriks, sehingga terjadi perbaikan (Wang, Miron and Zhang, 2019). Bahan yang ideal untuk rehabilitasi tulang harus memiliki karakteristik berikut (Wang, Miron and Zhang, 2019; Ferraz, 2023):

1. Sifat osteogenik, osteoinduktif dan osteokonduktif;
2. Stimulasi neo-angiogenesis;
3. Kurangnya reaksi antigenik, teratogenik atau karsinogenik;
4. Suplai dalam jumlah yang cukup;
5. Dukungan dan stabilitas yang memuaskan;
6. Minimum hingga nol morbiditas - komplikasi;
7. Sifat hidrofilik;
8. Penanganan yang mudah;
9. Biaya rendah

Klasifikasi cangkok tulang didasarkan pada sumber cangkok dan pengetahuan diperlukan untuk memahami indikasi, fungsi, biologi, dan kontraindikasi dari berbagai jenis cangkok tulang (Martinez and Walker, 1999; Joshi *et al.*, 2010). Cangkok tulang atau penggantian tulang yang ideal harus menyediakan tiga elemen penting termasuk matriks osteokonduktif, sifat atau faktor osteoinduktif dan sel osteogenik (Fesseha and Fesseha, 2020).

#### 1.2.31 Autograft

Cangkok *autologous* atau *autogenous* adalah cangkok jaringan dari satu titik ke titik lain dari tubuh individu yang sama. Jenis cangkok tersebut dapat dikumpulkan dari krista iliaka, simfisis mandibula (daerah dagu), dan ramus mandibula anterior (*processus coronoideus*). Penggunaan pencangkokan tulang yang paling umum adalah penerapan implan gigi untuk memulihkan area edentulous dari gigi yang hilang. Selain itu, cangkok tulang digunakan *en bloc* (termasuk dari dagu atau area ramus asenden rahang bawah) atau partikulat, agar dapat menyesuaikan dengan lebih baik terhadap defek. Periosteum dan arteri nutrisi biasanya diangkat dengan sepotong tulang sehingga cangkokan akan tetap hidup dan tumbuh saat dicangkokkan ke tempat inang yang baru. Setelah tulang yang dicangkokkan diamankan ke lokasi barunya, biasanya tulang itu akan mengembalikan suplai darah ke tulang yang telah ditempelkan. Selain itu, pencangkokan tulang terutama digunakan dalam implan gigi untuk menyatukan sendi dan mencegah gerakan, memperbaiki tulang yang patah yang mengalami keropos tulang dan belum sembuh (Bansal *et al.*, 2009; Kumar, Vinitha and Fathima, 2013; DeCamp, 2015). Selain itu, tulang *autograft* adalah yang paling disukai saat menerapkan cangkok blok karena risiko penolakan cangkok lebih kecil karena cangkok berasal dari tubuh *host* (Laurencin, Khan and El-Amin, 2006). Selanjutnya, *autograft* memiliki sifat osteoinduktif, osteogenik dan osteokonduktif. Namun, *autograft* membutuhkan tempat bedah tambahan dan ini menyebabkan banyak rasa sakit pasca operasi dan komplikasi pada pasien (Joshi *et al.*, 2010).

#### 1.2.32 Allograft

Allograft dapat diambil dari manusia dan kadaver. Tidak seperti *autograft*, *allograft* diambil dari individu selain yang menerima cangkok. Ada tiga jenis *allograft* tulang yang tersedia termasuk diantaranya adalah (Greenberg *et al.*, 2010): Tulang segar atau segar-beku;

1. *Allograft* tulang kering bentuk-beku;
2. *Allograft* tulang kering beku demineralisasi.

*Allograft* harus dikumpulkan dari tulang yang sehat dan penggunaan *allograft* untuk perbaikan tulang seringkali memerlukan sterilisasi dan penonaktifan protein. Matriks ekstraseluler jaringan tulang mengandung berbagai jenis faktor pertumbuhan tulang, protein, dan bahan bioaktif lainnya yang diperlukan untuk induksi tulang dan penyembuhan tulang yang sukses. Selain itu, faktor dan protein yang diinginkan dihilangkan dari jaringan yang termineralisasi dengan menggunakan zat demineralisasi seperti asam klorida. Kandungan mineral tulang terdegradasi dan agen osteoinduktif tetap berada dalam *demineralized bone matrik* (Maiti, Singh and Mogha, 2002).

2. Varian Sintetis (aloplastik), Komposit hidroksiapatit (HA) memiliki rasio mineral terhadap matriks organik, mendekati rasio tulang manusia. Bergantung pada kelarutan dalam lingkungan fisiologis, tulang buatan dapat dibentuk dari keramik seperti  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  dan  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{CaSO}_4$  dan bioglass yang aktif secara biologis (CDC, 2002). Bahan-bahan ini bergabung dengan faktor pertumbuhan, ion seperti strontium atau campuran dengan aspirasi sumsum tulang untuk meningkatkan aktivitas biologis. Kehadiran unsur-unsur seperti strontium dapat menghasilkan kepadatan mineral tulang yang lebih tinggi dan peningkatan proliferasi osteoblas (Kumar, Vinitha and Fathima, 2013).

3. *Xenograft*, adalah cangkok tulang dari spesies selain manusia, digunakan sebagai matriks terkalsifikasi (Jahangir *et al.*, 2008; DeCamp, 2015), misalnya tulang sapi dan *coral* alami. Salah satu xenograft yang sering digunakan adalah *deproteinized bovine bone mineral* (DBBM) yang berasal dari sapi. Keuntungan menggunakan DBBM adalah aman, kandungan mineralnya menyerupai struktur tulang manusia, dan tidak mudah diresorpsi. *Xenograft* dapat mempertahankan volumenya hingga bertahun-tahun, tidak seperti *allograft* yang rentan mengalami resorpsi dimensional (Miron, 2023). *Anorganic porcine-derived, Xenograft* jenis ini berasal dari babi dianggap memiliki sifat yang sama dengan struktur pembentukan tulang manusia, menunjukkan sifat osteokonduktif dan risiko rendah terhadap penyebaran penyakit (Dumitrescu, 2011). *Coral Madreporic* seperti spesies *Porites*, *Acropora*, *Lobophyllia*, *Goniopora*, *Polyphyllia* dan *Pocillopora* diketahui memiliki kemiripan dengan tulang *cancelous*. *Xenograft* jenis ini juga telah diaplikasikan pada defek rahang, yang menunjukkan sifat osteokonduktif dan berfungsi sebagai *carrier* untuk faktor pertumbuhan, sehingga meningkatkan pembentukan tulang (Wahab, 2022).

Penggunaan pencangkokan tulang yang paling umum adalah penerapan implan gigi untuk memulihkan area edentulous dari gigi yang hilang. Selain itu, cangkok tulang digunakan secara *en bloc* (dengan mengambil dari daerah symphysis dan area ramus asenden rahang bawah) atau secara partikulat, agar dapat beradaptasi secara lebih baik pada area defek (Campana *et al.*, 2014; Fesseha and Fesseha, 2020).

Tergantung pada jenis cangkok, tulang melakukan fungsi yang berbeda ketika dimasukkan pada daerah *host*. Dengan demikian, mekanisme biologis yang memberikan alasan untuk pencangkokan tulang adalah osteogenesis, osteoinduksi, osteokonduksi, dan dukungan mekanis (Martinez and Walker, 1999; Kumar, Vinitha and Fathima, 2013).

1. Osteogenesis adalah perkembangan dan pembentukan tulang dari sel-sel yang berasal dari *graft* atau *host*. Penanganan dan kelangsungan hidup sel cangkok (cangkok kortikal dan *cancelous*) adalah fase paling penting dan awal dalam perbaikan dan remodeling tulang. Berbeda dengan cangkok lainnya, cangkok *cancelous* memiliki area permukaan yang luas yang terdiri dari struktur trabekuler intim yang dilapisi dengan *osteoblas* yang membuatnya lebih menarik di tempat tulang baru terbentuk. Selain itu, konsep osteogenesis memberikan justifikasi biologis dekortikasi untuk fusi tulang belakang. Mengekspos ruang intramedullari dari *processus transversus*, lamina, dan pedikel dengan membuka sumsum tulang lokal ke tempat fusi. Unsur-unsur sumsum kemudian menyediakan alas fusi dengan protein osteoinduktif, sel osteogenik potensial, dan suplai darah lokal (Stevenson, 1999).
2. Osteoinduksi adalah proses di mana MSC pada daerah resipien cangkok berdiferensiasi menjadi kondroblas dan osteoblas. Diferensiasi dimodulasi oleh pencangkokan faktor-faktor pertumbuhan turunan matriks yang aktivitasnya dipicu ketika mineral tulang dihilangkan. Faktor *growth factor* ini termasuk protein morfogenetik tulang atau BMPs, yang merupakan hormon faktor pertumbuhan yang pertama kali. Faktor-faktor lain yang terlibat dengan pembentukan tulang meliputi mitogen, seperti faktor pertumbuhan turunan trombosit, interleukin, faktor pertumbuhan fibroblas, faktor pertumbuhan seperti insulin dan faktor perangsang koloni granulosit-makrofag. Faktor angiogenik, seperti faktor pertumbuhan yang berasal dari endotelial vaskular, juga dilepaskan (Albrektsson and Johansson, 2001; Garcia-Gareta, Coathup and Blunn, 2015).
3. Osteokonduksi adalah proses pertumbuhan tulang pada permukaan cangkok yang ditanamkan dan memberikan kemampuan untuk memungkinkan kolonisasi sel baru, pertumbuhan tulang, dan pembentukan pembuluh darah (vaskularisasi). *Scaffold* ini memungkinkan pembentukan tulang baru sepanjang pola yang dapat diprediksi yang ditentukan oleh biologi cangkok dan lingkungan mekanis cangkok inang di permukaan (Laurencin, Khan and El-Amin, 2006). Agar pencangkokan tulang berhasil, aktivitas osteogenik dan pembentukan tulang saja tidak cukup. Tulang baru harus didistribusikan secara merata dalam volume yang dicangkokkan dan harus bersatu dengan tulang *host* (Albrektsson and Johansson, 2001; Khan *et al.*, 2005).

Dukungan mekanik, cangkok tulang, selain mengisi defek tulang yang besar, memberikan dukungan mekanis dan menahan beban untuk tulang yang terkena. Selain itu, cangkok harus distabilkan dengan kompresi yang dikembangkan pada antarmuka cangkok inang dengan menggunakan fiksasi internal yang kaku untuk memastikan stabilitas cangkok di dalam situs penerima. Ada beberapa potensi komplikasi pencangkokan tulang yang bergantung pada jenis cangkok yang digunakan dan termasuk (i) Invasi bedah di lokasi donor dan sumber tulang yang terbatas pada autograft, (ii) Penolakan *allograft* dan alloimplant yang dimediasi kekebalan, (iii) Penularan agen infeksius dengan *allograft* dan alloimplant, (iv) Kesulitan teknis dengan cangkokan vaskularisasi, (v) Fraktur, nyeri, seroma, perdarahan, dan infeksi di tempat pengambilan, (vi) Infeksi dan ketidakstabilan di tempat cangkokan menyebabkan kegagalan (Martinez and Walker, 1999; Khan *et al.*, 2005).

Persiapan lokasi cangkok penting untuk keberhasilan prosedur pencangkokan, dan kepatuhan yang cermat terhadap prinsip bedah sangat penting. Perawatan harus diambil untuk memastikan kontak luas permukaan yang memadai antara situs cangkok dan penerima tanpa interposisi jaringan lunak. Penggunaan *reamer* atau bur yang berlebihan dapat menyebabkan pembentukan panas yang berlebihan, menyebabkan nekrosis di lokasi cangkok (Fesseha and Fesseha, 2020). Untuk menjaga osteogenisitas *autograft corticocancellous*, waktu pengambilan yang lebih singkat, penyimpanan dalam wadah tertutup, dan perhatian khusus terhadap hidrasi (Stevenson, 1999; Khan *et al.*, 2005).

#### 1.2.4 *Acropora* sp

Mengingat potensi ketersediaan terumbu *coral* di dunia cukup besar yaitu diperkirakan sekitar 250.000 km<sup>2</sup>. Terumbu *coral* mungkin hanya menempati sekitar 0,1% dari luas lautan dunia, dengan lebih dari setengah total luas terumbu terdapat di Pasifik dan Asia Tenggara (Sellang and Pi, 2020). Indonesia secara keseluruhan dan pulau Sulawesi pada khususnya merupakan perairan yang mempunyai kekayaan jenis *coral* terbesar di dunia. Konsentrasi kekayaan jenis *coral* terdapat di sekitar Sulawesi bagian utara dimana di daerah ini dapat ditemukan lebih dari 80 *genera* (Suharsono, 2008). Ditemukan 47 spesies *Acropora* yang teridentifikasi dalam penelitian ini tercatat 31 spesies (66%) yakni dari Pulau Kodingareng Keke (Yafie *et al.*, 2022). Jumlah spesimen *coral Acropora* yang tercatat pada penelitian ini telah dikoleksi maksimum sebanyak 104 spesimen salah satunya di Kodingareng Keke (Rezky H, 2022).

Terumbu *coral* dan bentang alam sedimen terumbu sebagian besar terdiri dari CaCO<sub>3</sub> yang hampir seluruhnya dihasilkan dari proses ekologi. Komponen konstruksi utama di dalam terumbu *coral* adalah *coral* pembentuk kerangka (Kench, Perry and Spencer, 2019).

*Coral Acropora* sp (Gambar 1) merupakan dari divisi *Cnidaria* kelas *Anthozoa* ordo *Sclerectinia* famili *Acroporidae* genus *Acropora* dan spesies *Acropora* sp (Rezky, 2019). *Coral* tersusun atas rangka CaCO<sub>3</sub> yang merupakan komponen alaminya (Fu *et al.*, 2013; Warastuti, Abbas and Suryani, 2017). Senyawa bioaktif adalah senyawa yang mampu memberikan efek fisiologis positif diluar nilai gizi dasar bahan pangan. Pada umumnya, senyawa bioaktif diserap dari saluran pencernaan ke dalam sistem peredaran darah, lalu dibawa ke organ targetnya (Warastuti, Abbas and Suryani, 2017).



**Gambar 1. *Acropora* sp**

Sumber: Data primer, 2023, Pulau Kodingareng Keke Makassar

*Acropora* merupakan salah satu terumbu *coral* tipe bercabang yang termasuk kedalam famili *Acroporidae*, mempunyai empat genus terdiri dari *Acropora*, *Anacropora*, *Astreopora* dan *Montipora*. *Acropora* memiliki jaringan tumbuh utama pada axial koralit dan radial koralit. Bentuk percabangan sangat bervariasi dari *korimbosa*, *arboresen*, dan *kapitosa*. genus ini mempunyai sekitar 113 jenis, tersebar di seluruh perairan Indonesia (Purnama *et al.*, 2020). Identifikasi *coral* merupakan tantangan yang cukup berat, diantaranya adalah kunci identifikasi yang digunakan untuk mendeskripsikan spesies dari genus satu dengan yang lain tidak bisa menggunakan standaryang sama. Tantangan berikutnya adalah adanya plastisitas fenotip pada *coral*, semua *scleractinian coral* akan sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan. Perbedaan kedalaman dari spesies yang sama akan membentuk variasi morfologi terhadap koralit dan bentuk pertumbuhan *coral* serta kecilnya ukuran polip, sehingga diperlukan alat bantu stereoskop untuk mengidentifikasi suatu *coral* (Luthfi O M, 2016).

Koloni dengan bentuk percabangan arboresen, kompak, bagian ujung cabang selalu membentuk percabangan. Axial koralit relatif panjang dengan bukaan lebar. Radial koralit bentuk tabung dengan bukaan dimidiate dan sebagian tenggelam, tersebar merata terlihat teratur. Konesteum retikulata dengan beberapa duri diantara radial koralit. Spesies ini memiliki kemampuan bertahan hidup dari pesisir hingga batas tubir pesisir. Spesies ini ditemukan pada kedalaman 1-3 meter pada saat pengambilan sampel. Berdasarkan buku identifikasi *coral* koloni pada spesies *Acropora pulchra* memiliki bentuk percabangan arboresen atau korimbosa tergantung dimana tumbuhnya. Tempat dangkal akan membentuk percabangan korimbosa yang tebal, sedangkan tempat yang lebih dalam akan berbentuk arboresen. Axial koralit berbentuk tabung pendek sedangkan

radial koralit berbentuk tabung dengan bentuk tebal dan radial koralit yang lain tenggelam (Purnama *et al.*, 2020).

Biomaterial cangkang tulang yang berasal dari organisme laut yang termineralisasi telah diselidiki dengan jelas selama 50 tahun terakhir. Beberapa spesies laut menghasilkan struktur mineral dalam anatomi mereka yang menyerupai tulang manusia. Contoh spesies tersebut termasuk bunga coral (*Porifera*), ganggang merah (*Rhodophyta*), coral (*Cnidaria*) dan berbagai organisme lain seperti siput (*Mollusca*), bintang laut (*Echinodermata*) dan lainnya. Di antara biomaterial yang berasal dari laut tersebut, coral adalah salah satunya yang paling banyak dipelajari dalam bidang rekayasa jaringan tulang (Pountos dan Giannoudis, 2016).

*Acropora* sp mengandung kandungan klorofil berkurang ( $0,11-0,76 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ), enzim antioksidan dalam jaringan coral, Alkali fosfatase (AKP), oksida nitrat (NO), laktat dehidrogenase (LDH), Glukosa-6-fosfat dehidrogenase (G6PDH) untuk sel jalur pentosa fosfat (Xiao *et al.*, 2021), terdapat pula polip yang mengekstrak ion kalsium dan karbonat dari air laut untuk membangun koralit guna melindungi tubuhnya (Omer, 2021).

### 1.2.5 Kalsium Karbonat ( $\text{CaCO}_3$ )

$\text{CaCO}_3$  merupakan senyawa kimia yang terdiri dari satu atom karbon, satu atom kalsium dan tiga atom oksigen.  $\text{CaCO}_3$  berbentuk bubuk putih atau kristal tidak berwarna. Saat dipanaskan, menghasilkan karbondioksida dan kalsium oksida (disebut juga kapur tohor).  $\text{CaCO}_3$  memiliki berat molekul 100,1 gram per mol.  $\text{CaCO}_3$  terjadi secara alami dalam tiga bentuk mineral: kalsit, aragonit dan vaterit. Kalsit (Gambar 2), bentuk yang paling umum, dikenal karena perkembangannya yang indah dan variasi kristalnya yang sangat banyak (Britannica Online Encyclopedia, 1869).



**Gambar 2. Calcit (Kalsium Karbonat berbentuk alami)**

Sumber: Kursteiner (2017)

$\text{CaCO}_3$  adalah mineral inorganik dengan sifat fisis kalsium karbonat seperti, morfologi, fase, ukuran dan distribusi ukuran harus dimodifikasi, morfologi dan fase  $\text{CaCO}_3$  terkait dengan kondisi sintesis seperti, konsentrasi reaktan, suhu, waktu aging dan zat adiktif alam (Kirboga and Oner, 2020).

Kalsium paling banyak ditemukan dalam tulang. Sekitar 50% dari jumlah totalnya terionisasi, dan hanya kalsium terionisasi dapat digunakan oleh tubuh. Protein dan albumin dalam darah berikatan dengan kalsium sehingga mengurangi jumlah kalsium terionisasi yang bebas. Kalsium diperlukan untuk transmisi impuls saraf serta untuk kontraksi otot miokardium dan otot rangka. (Kee *et al.*, 2007) Kalsium adalah mineral paling banyak dalam tubuh dan termasuk paling penting. Tubuh membutuhkan kalsium untuk membentuk dan memperbaiki tulang dan gigi, membantu fungsi saraf, kontraksi otot, pembentukan darah dan berperan dalam fungsi jantung. Semua kalsium yang masuk ke dalam tubuh (melalui makanan atau asupan) sebagian besar disimpan oleh tubuh dan tidak dibuang melalui urin atau feses (Kurniawan, 2015).

Pada kondisi normal, kadar kalsium terkontrol dengan baik. Saat jumlah kalsium menurun, kalsium dilepaskan dari tulang untuk mengembalikan jumlah kalsium dalam darah. Saat jumlah kalsium darah naik, kelebihan kalsium mungkin disimpan di tulang atau dikeluarkan dari tubuh melalui urin atau feses (Suharsono, 2008). Kalsium merupakan mineral yang paling banyak terdapat dalam tubuh sekitar 99% total kalsium dalam tubuh ditemukan dalam jaringan keras yaitu tulang dan gigi. Kalsium didalam tulang mudah dimobilisasikan ke dalam cairan tubuh dan darah, bila diperlukan untuk diteruskan kepada sel-sel jaringan yang lebih memerlukannya. Terutama *trabecula* dari struktur tulang merupakan tempat penimbunan kalsium yang mudah sekali melepaskan kalsium untuk dalam keperluan lain (Kurniawan, 2015).



Inorganik tulang disusun oleh mineral tulang berupa hidroksiapatit, yang tersusun atas kristal kalsium fosfat dan karbonat. Kandungan lainnya adalah magnesium, natrium, kalium, mangan, fluorida dan karbonat. Kehadiran berbagai ion selain kalsium, fosfat, dan hidroksil, menyebabkan mineral pembentuk tulang tidak bisa dikatakan secara stokiometri dengan hidroksiapatit dengan formula kimia  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ . Hidroksiapatit mempunyai sifat biokompatibel, bioaktif, dan osteokonduktif. Secara termodinamik pH, temperatur dan komposisi fisiologi fluida pada hidroksiapatit sangat stabil. Hidroksiapatit bersifat osteokonduksi, yaitu mampu menginduksi dan menstimulasi sel-sel punca dan osteoblas untuk berproliferasi dan diferensiasi dalam pembentukan tulang baru atau proses regenerasi tulang (Kular *et al.*, 2012; Türk *et al.*, 2019).

Karbonat merupakan salah satu mineral yang terdapat di tulang dalam jumlah sedikit, sekitar 4% ditemukan pada ikan, 8% ditemukan pada mamalia, dan 13 persen ditemukan pada kura-kura. Karbonat dalam tubuh juga berperan dalam menjaga keseimbangan asam basah. Analisis kimia menunjukkan bentuk biomineral terbanyak dari apatit mengandung karbonat, yang merupakan bagian penting mencapai 2-8% berat, tergantung pada sumbernya (tulang, gigi, kalsifikasi patologis), spesies, dan usia. Karbonat dapat disubstitui menjadi dua ion pada struktur hidroksiapatit: yaitu pada  $\text{PO}_4$  3- (membentuk karbonat apatit tipe B, B-CAp) dan pada OH yang berada sepanjang jalur *crystallographic C-axis* (membentuk karbonat apatit tipe A, A-Cap) (Madupalli, Pavan and Tecklenburg, 2017). Beberapa kelebihan sifat karbonat apatit dibandingkan dengan hidroksiapatit bila dalam kaitannya dengan proses remodeling tulang yaitu karbonat apatit merupakan komposisi yang lebih menyerupai tulang manusia sedangkan hidroksiapatit bukan merupakan komposisi tulang manusia, karbonat apatit dapat diresorpsi dengan baik oleh osteoklas sedangkan hidroksiapatit tidak dapat diresorpsi, karbonat apatit memiliki kemampuan kelarutan yang baik pada kondisi asam lemah yaitu ketika osteoklas bekerja meresorpsi tulang dengan mengeluarkan ion  $\text{H}^+$ , karbonat apatit dapat memacu pertumbuhan tulang secara cepat dan sempurna sedangkan hidroksiapatit memacu pertumbuhan secara lambat (Ana, Matsuya and Ishikawa, 2010; Fleet, Liu and Lu, 2011).

$\text{CaCO}_3$  dengan fitur skala nano telah mendapat perhatian dalam regenerasi tulang karena fleksibilitasnya dalam preparasi, biodegradasi dan osteokonduktivitas (Dizaj *et al.*, 2015). Sebuah penelitian mengkonfirmasi bahwa keramik nano  $\text{CaCO}_3$  memiliki tingkat degradasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan keramik substitusi tulang sintesis lainnya, termasuk nano- $\beta$ -tri kalsium fosfat dan nano-hidroksiapatit, dan dapat meningkatkan ekspresi gen pada pendana osteogenik tertentu (He *et al.*, 2015). Yu *et al.* (2010), membuktikan bahwa perancah  $\text{CaCO}_3$  dengan nano struktur dapat mempercepat adsorpsi protein dan mempercepat degradasi, sehingga memberikan lebih banyak kalsium mempercepat pertumbuhan tulang.

Pada penelitian untuk identifikasi senyawa  $\text{CaCO}_3$  pada *acropora* sp sebagai bahan pengganti rekonstruksi tulang maksilofasial akan dilakukan menggunakan alat *X-Ray Fluorescence* dan *X-Ray Diffraction*

### 1.2.51 X-Ray Fluorescence (XRF)

*X-Ray Fluorescence* (XRF) adalah alat yang digunakan untuk mengetahui kandungan unsur dan persentasenya dalam suatu material. Penggunaan metode XRF dalam penelitian ini berdasarkan pertimbangan bahwa teknik ini mempunyai batas deteksi hingga satuan ppm (part per million) (Fitri, Yusibani and Yufita, 2016). Metode XRF mempunyai beberapa keuntungan diantaranya biaya relatif murah, multielemental (dapat mendeteksi berbagai macam material), analisisnya cepat dan hasil analisisnya bersifat kualitatif dan kuantitatif (Purnama *et al.*, 2020).

Metode XRF secara luas digunakan untuk menentukan komposisi unsur suatu material. Karena metode ini cepat dan tidak merusak sampel, metode ini dipilih untuk aplikasi di lapangan dan industri untuk kontrol material. Tergantung pada penggunaannya, XRF dapat dihasilkan tidak hanya oleh sinar-X, tetapi juga sumber eksitasi primer yang lain seperti partikel alfa, proton atau sumber elektron dengan energi yang tinggi (Jamaluddin, 2016).

Apabila terjadi eksitasi sinar-X primer yang berasal dari tabung X-ray atau sumber radioaktif mengenai sampel, sinar-X dapat diabsorpsi atau dihamburkan oleh material. Proses dimana sinar-X diabsorpsi oleh atom dengan mentransfer energinya pada elektron yang terdapat pada kulit yang lebih dalam disebut efek fotolistrik. Bila sinar-X primer memiliki cukup energi, elektron pindah dari kulit yang di dalam sehingga menimbulkan kekosongan. Kekosongan menghasilkan keadaan atom tidak stabil (Purnama *et al.*, 2020).

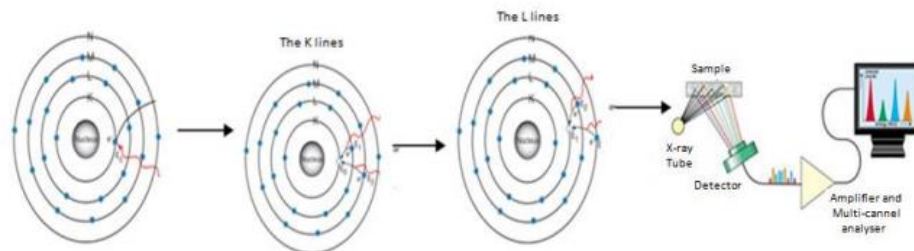
Apabila atom kembali pada keadaan stabil, elektron dari kulit luar pindah ke kulit yang lebih dalam dan proses ini menghasilkan energi sinar-X yang tertentu dan berbeda antara dua energi ikatan pada kulit tersebut. Emisi sinar-X dihasilkan dari proses yang disebut XRF. Proses deteksi dan analisa emisi sinar-X disebut analisa XRF. Pada umumnya kulit K dan L terlibat pada deteksi XRF. Sehingga sering terdapat istilah  $K\alpha$  dan  $K\beta$  serta  $L\alpha$  dan  $L\beta$  pada XRF. Jenis spektrum X-ray dari sampel yang diradiasi akan menggambarkan puncak-puncak pada intensitas berbeda (Viklund, 2017).

Energi pada XRF adalah karakteristik level energi dari lintasan elektron tiap elemen. Level energi berbeda untuk setiap elemen. Dengan analisis 40 energi pada spektrum XRF yang diemisikan oleh sebuah zat, dapat ditentukan elemen yang ada pada unsur dan konsentrasi tiap zat. Informasi ini dibutuhkan untuk mengidentifikasi suatu unsur (Luthfi O M, 2016).

Berdasarkan karakteristik sinar yang dipancarkan, elemen kimia dapat diidentifikasi dengan menggunakan *wavelength dispersive XRF* (WDXRF) dan *Energy Dispersive XRF* (EDXRF). WDXRF dispersi sinar-X didapat dari difraksi dengan menggunakan *analyzer* yang berupa kristal yang berperan sebagai grid. Kisi kristal yang spesifik memilih panjang gelombang yang sesuai dengan hukum bragg. Sedangkan EDXRF bekerja tanpa menggunakan kristal, namun menggunakan software yang mengatur seluruh radiasi dari sampel ke detektor (Luthfi O M, 2016).

Radiasi emisi dari sampel yang dikenai sinar-X akan langsung ditangkap oleh detektor. Detektor menangkap foton – foton tersebut dan dikonversikan menjadi impuls elektrik. Amplitudo dari impuls elektrik tersebut bersesuaian dengan energi dari foton – foton yang diterima detektor. Impuls kemudian menuju sebuah perangkat yang dinamakan *Multi Channel Analyzer* (MCA) yang akan memproses impuls tersebut. Sehingga akan terbaca dalam memori komputer sebagai *channel*. *Channel* tersebut yang akan memberikan nilai spesifik terhadap sampel yang dianalisa. Pada XRF jenis ini, membutuhkan biaya yang relatif rendah, namun keakuratan berkurang (Gosseau, 2009).

Analisis menggunakan XRF dilakukan berdasarkan identifikasi dan pencacahan X-Ray yang terjadi akibat efek fotolistrik. Efek fotolistrik terjadi karena elektron dalam atom pada sampel terkena sinar berenergi tinggi (XRay). Berikut adalah penjelasan prinsip kerja XRF berdasarkan efek fotolistrik (Gambar 3).



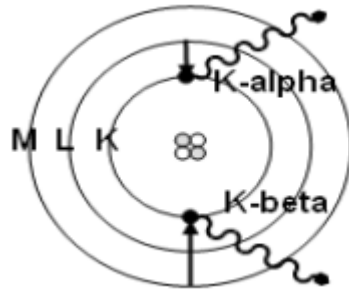
**Gambar 3. (1) Elektron Tereksitasi Keluar (2) Pengisian Kekosongan Elektron (3) Pelepasan Energi (4) Proses analisis data**

Sumber: Hermawan (2017)

- X-Ray ditembakkan pada sampel, jika selama proses penembakan X-Ray mempunyai energi yang cukup maka elektron akan terlempar (terekstasi) dari kulitnya yang lebih dalam yaitu kulit K dan menciptakan vacancy atau kekosongan pada kulitnya (tahap 1).
- Kekosongan tersebut mengakibatkan kondisi yang tidak stabil pada atom. Untuk menstabilkan kondisi maka elektron dari tingkat energi yang lebih tinggi misalnya dari kulit L dan M akan berpindah menempati kekosongan tersebut, seperti yang ditunjukkan pada tahap 2. Pada proses perpindahan tersebut, energi dibebaskan karena adanya 42 perpindahan dari kulit yang memiliki energi lebih tinggi (L/M) kedalam kulit yang memiliki energi paling rendah (K). Emisi yang dikeluarkan oleh setiap material memiliki karakteristik khusus.
- Proses tersebut memberikan karakteristik dari X-Ray, yang energinya berasal dari perbedaan energi ikatan antar kulit yang berhubungan. X-Ray yang dihasilkan dari proses ini disebut X-Ray Fluorescence atau XRF (tahap 3).

Proses untuk mendeteksi dan menganalisa X-Ray yang dihasilkan disebut X-Ray Fluorescence Analysis. Penggunaan spektrum X-Ray pada saat penyinaran suatu material akan didapatkan multiple peak (puncak dan karena adanya K dan K ) pada intensitas yang berbeda. Model yang lain yaitu alfa, beta, atau gamma dibuat untuk mendanai X-Ray yang berasal dari elektron transisi dari kulit yang lebih tinggi. K dihasilkan dari transisi elektron dari kulit L ke kulit K dan X-Ray K dihasilkan dari transisi elektron dari kulit M menuju kulit K, seperti gambar berikut (Gambar 4).





**Gambar 4. Terbentuknya K-alpha dan K-Beta**  
Sumber: Hermawan (2017)

Teknik analisis XRF menggunakan peralatan spektrometer yang dipancarkan oleh sampel dari penyinaran sinar-X. Sinar-X yang dianalisis berupa sinar-X karakteristik yang dihasilkan dari tabung sinar-X, sedangkan sampel yang dianalisis dapat berupa sampel padat pejal dan serbuk. Dasar analisis alat XRF adalah pencacahan sinar-X yang dipancarkan oleh suatu unsur akibat pengisian kembali kekosongan elektron pada orbital yang lebih dekat dengan inti atom (kulit K) oleh elektron yang terletak pada orbital yang lebih luar. Kekosongan elektron ini terjadi karena eksitasi elektron. Pengisian elektron pada orbital K akan menghasilkan spektrum sinar-X deret K, pengisian elektron pada orbital berikutnya menghasilkan spektrum sinar-X deret L, deret M, deret N dan seterusnya (Sumantry, 2013).

Spektrum sinar-X yang dihasilkan selama proses di atas menunjukkan puncak (peak) karakteristik yang merupakan landasan dari uji kualitatif untuk unsur-unsur yang ada pada sampel. Sinar-X karakteristik diberi tanda sebagai K, L, M, N dan seterusnya untuk menunjukkan dari kulit mana unsur itu berasal. Penunjukkan alpha ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) dan gamma ( $\gamma$ ) dibuat untuk memberi tanda sinar-X itu berasal dari transisi elektron dari kulit yang lebih tinggi. Oleh karena itu, K $\alpha$  adalah sinar-X yang dihasilkan dari transisi elektron kulit L ke kulit K (Sumantry, 2013).

#### 1.2.5.2 X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) adalah suatu teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi adanya fasa kristalin di dalam material-material benda dan serbuk, dan untuk menganalisis sifat-sifat struktur (seperti stress, ukuran butir, fasa komposisi orientasi kristal, dan cacat kristal) dari tiap fasa. Metode ini menggunakan sebuah sinar-X yang terdifraksi seperti sinar yang direfleksikan dari setiap bidang, berturut-turut dibentuk oleh atom-atom kristal dari material tersebut. Dengan berbagai sudut timbul, pola difraksi yang terbentuk menyatakan karakteristik dari sampel. Susunan ini diidentifikasi dengan membandingkannya dengan sebuah data base internasional (Zakaria, 2003).

Salah satu teknik yang digunakan untuk menentukan struktur suatu padatan kristalin adalah metode difraksi sinar-X serbuk (*X-ray powder diffraction*). Sampel berupa serbuk padatan kristalin yang memiliki ukuran kecil dengan diameter butiran kristalnya sekitar  $10^{-7}$  –  $10^{-4}$  m ditempatkan pada suatu plat kaca. Sinar-X diperoleh dari elektron yang keluar dari filamen panas dalam keadaan vakum pada tegangan tinggi, dengan kecepatan tinggi menumbuk permukaan logam, biasanya tembaga (Cu). (Omer, 2021)

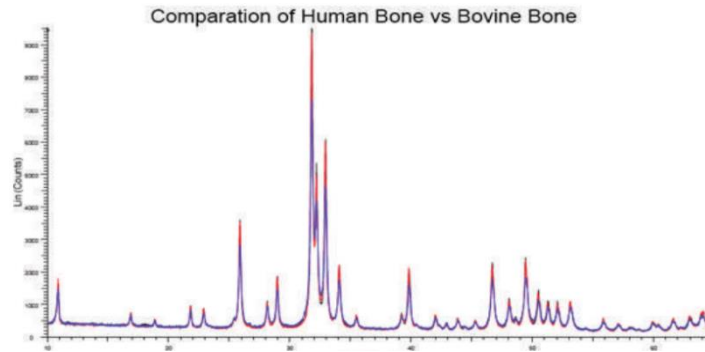
Sinar-X tersebut menembak sampel padatan kristalin, kemudian mendifraksikan sinar ke segala arah dengan memenuhi Hukum Bragg. Detektor bergerak dengan kecepatan sudut yang konstan untuk mendeteksi berkas sinar-X yang didifraksikan oleh sampel. Sampel serbuk atau padatan kristalin memiliki bidang-bidang kisi yang tersusun secara acak dengan berbagai kemungkinan orientasi, begitu pula partikel-partikel kristal yang terdapat di dalamnya. Setiap kumpulan bidang kisi tersebut memiliki beberapa sudut orientasi sudut tertentu, sehingga difraksi sinar-X memenuhi hukum Bragg (Jamaluddin, 2016).

Bentuk keluaran dari difraktometer dapat berupa data analog atau digital. Rekaman data analog berupa grafik garis-garis yang terekam per menit sinkron, dengan detektor dalam sudut  $2\theta$  per menit, sehingga sumbu-x setara dengan sudut  $2\theta$ . Sedangkan rekaman digital menginformasikan intensitas sinar-X terhadap jumlah intensitas cahaya per detik (Warren, 1969).

Pola difraktogram yang dihasilkan berupa deretan puncak-puncak difraksi dengan intensitas relatif bervariasi sepanjang nilai  $2\theta$  tertentu. Besarnya intensitas relatif dari deretan puncak-puncak tersebut bergantung pada jumlah atom atau ion yang ada, dan distribusinya di dalam sel satuan material tersebut. Pola difraksi setiap padatan kristalin sangat khas, yang bergantung pada kisi kristal,

unit parameter dan panjang gelombang sinar-X yang digunakan (Warren, 1990).

Sebuah penelitian terkait regenerasi pada *massive bone defect* dengan *bovine hydroxyapatite* sebagai *scaffold mesenchymal stem cell* menguji material dengan XRF dan menunjukkan hasil pada gambar berikut ini (Gambar 5)



**Gambar 5. Hasil perbandingan komposisi mineral hidroksiapatit manusia dengan *bovine***

Sumber: Mahyudin (2011)

Hasil perbandingan komposisi mineral hidroksiapatit manusia dengan bovine. Keterangan: Analisis menggunakan XRD dengan merk Bruker AXS Diffractometer D8, tampak grafik antara tulang manusia (hitam) dan BHA (merah dan biru) berhimpitan (Mahyudin, Rushadi and Rantam, 2011).

### 1.3 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Apakah kalsium karbonat dapat diekstraksi dari *Acropora* sp?
2. Berapakah kandungan kalsium karbonat pada *Acropora* sp berdasarkan XRD?
3. Apakah kandungan mineral dan senyawa lain pada *Acropora* sp yang bisa dideteksi dari XRF dan XRD?

### 1.4 Tujuan dan Manfaat

#### 1.4.1 Tujuan

1. Untuk mengetahui kalsium karbonat yang dapat diekstraksi dari *Acropora* sp
2. Untuk mengetahui kandungan kalsium karbonat pada *Acropora* sp berdasarkan pemeriksaan XRD
3. Untuk mengetahui kandungan mineral dan senyawa lain pada *Acropora* sp yang bisa dideteksi dari XRF dan XRD

#### 1.4.2 Manfaat

##### 1.4.2.1 Dalam Pengembangan Ilmu

1. Memberikan dan menambah pengetahuan ilmiah tentang pemanfaatan *coral* di bidang medis khususnya untuk penggunaan sebagai bahan pengganti tulang.
2. Menjadi salah satu acuan yang bisa digunakan untuk memperkaya ilmu pengetahuan pada umumnya dan di bidang kedokteran gigi bedah mulut dan maksilofasial pada khususnya.

##### 1.4.2.1 Dalam Pengembangan Penelitian

1. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan data atau informasi tambahan terhadap kemajuan penelitian *coral* di Indonesia.
2. Menghasilkan hak paten (HKI) bahan pengganti tulang dalam bidang kedokteran gigi yang berbahan dasar lokal yakni *coral* jenis *Acropora* sp dari Perairan Selat Makassar.