

# Teori Pertumbuhan Tulang Kraniofasial

*by* I Gusti Aju Wahyu Ardani Fkg

---

**Submission date:** 05-Nov-2020 01:40PM (UTC+0800)

**Submission ID:** 1436685075

**File name:** dengan\_komentar\_Kraniofaisal\_Series\_2-converted\_Revisi1\_ok.docx (25.64M)

**Word count:** 10218

**Character count:** 68636

# Teori Pertumbuhan TULANG KRANIOFASIAL

I GUSTI AJU WAHJU ARDANI



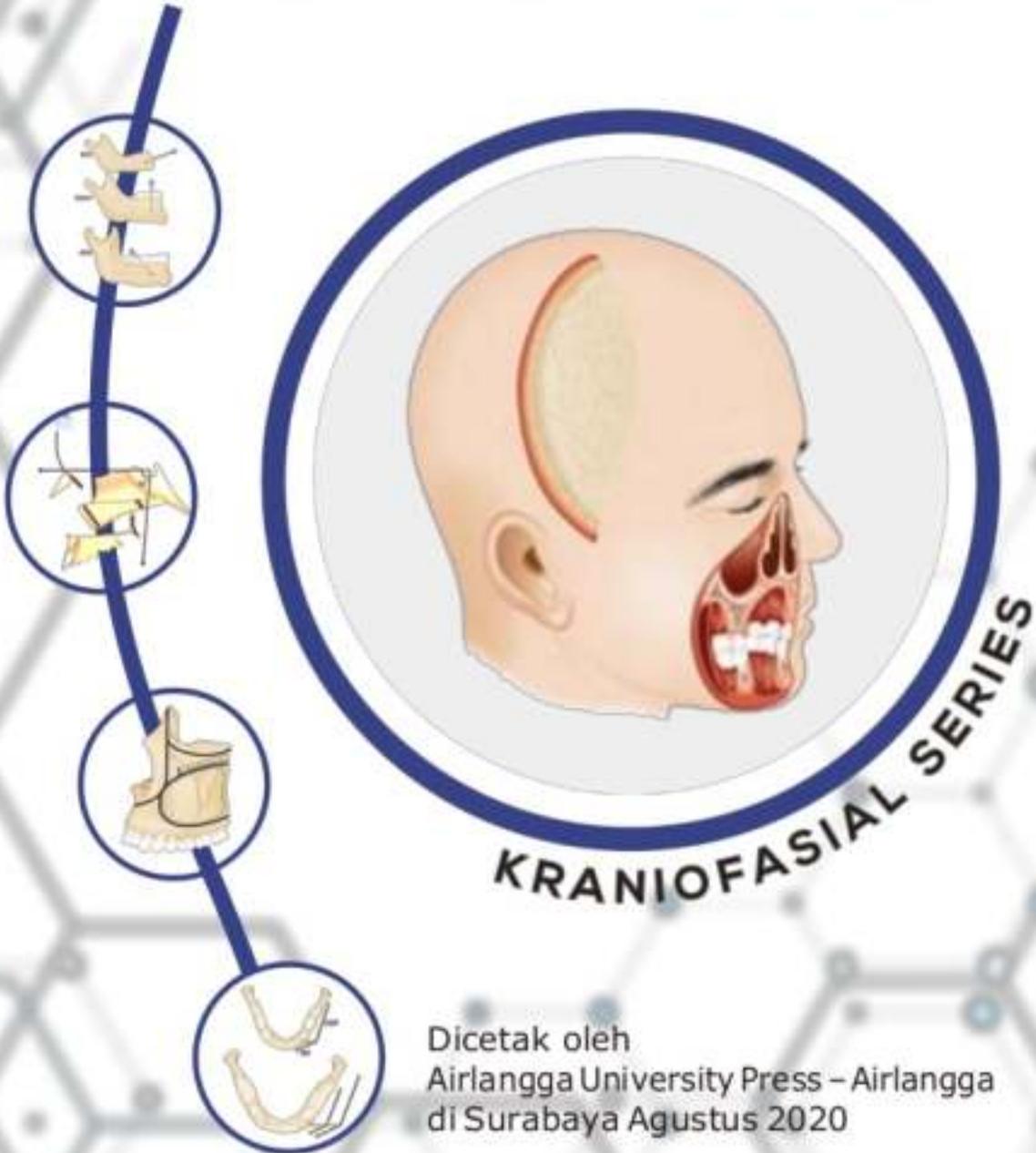
KRANIOFASIAL SERIES #2

Dicetak oleh  
Airlangga University Press - Airlangga  
di Surabaya Agustus 2020

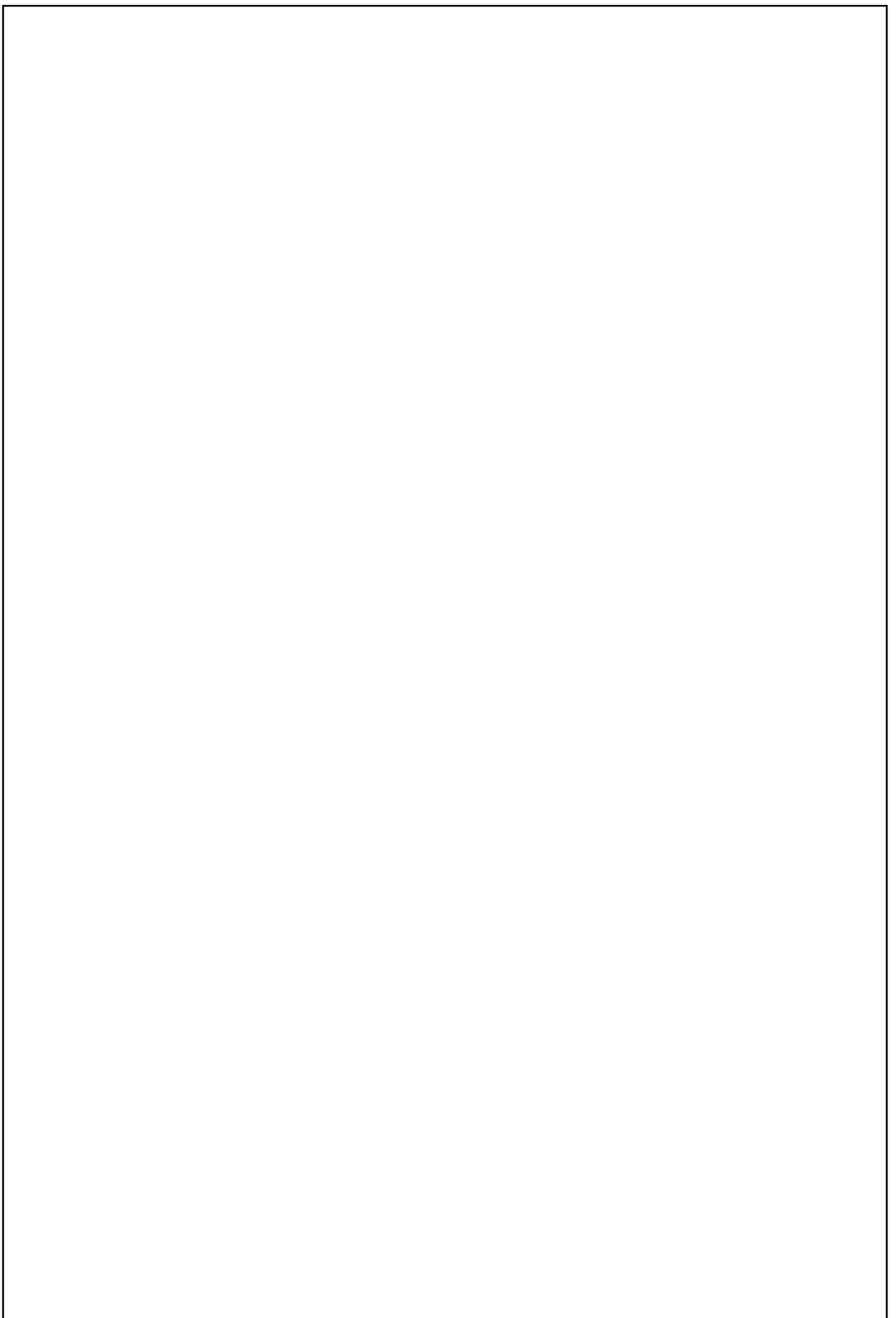
**#2**

**Teori Pertumbuhan  
TULANG**

# **KRANIOFASIAL**



Dicetak oleh  
Airlangga University Press – Airlangga  
di Surabaya Agustus 2020



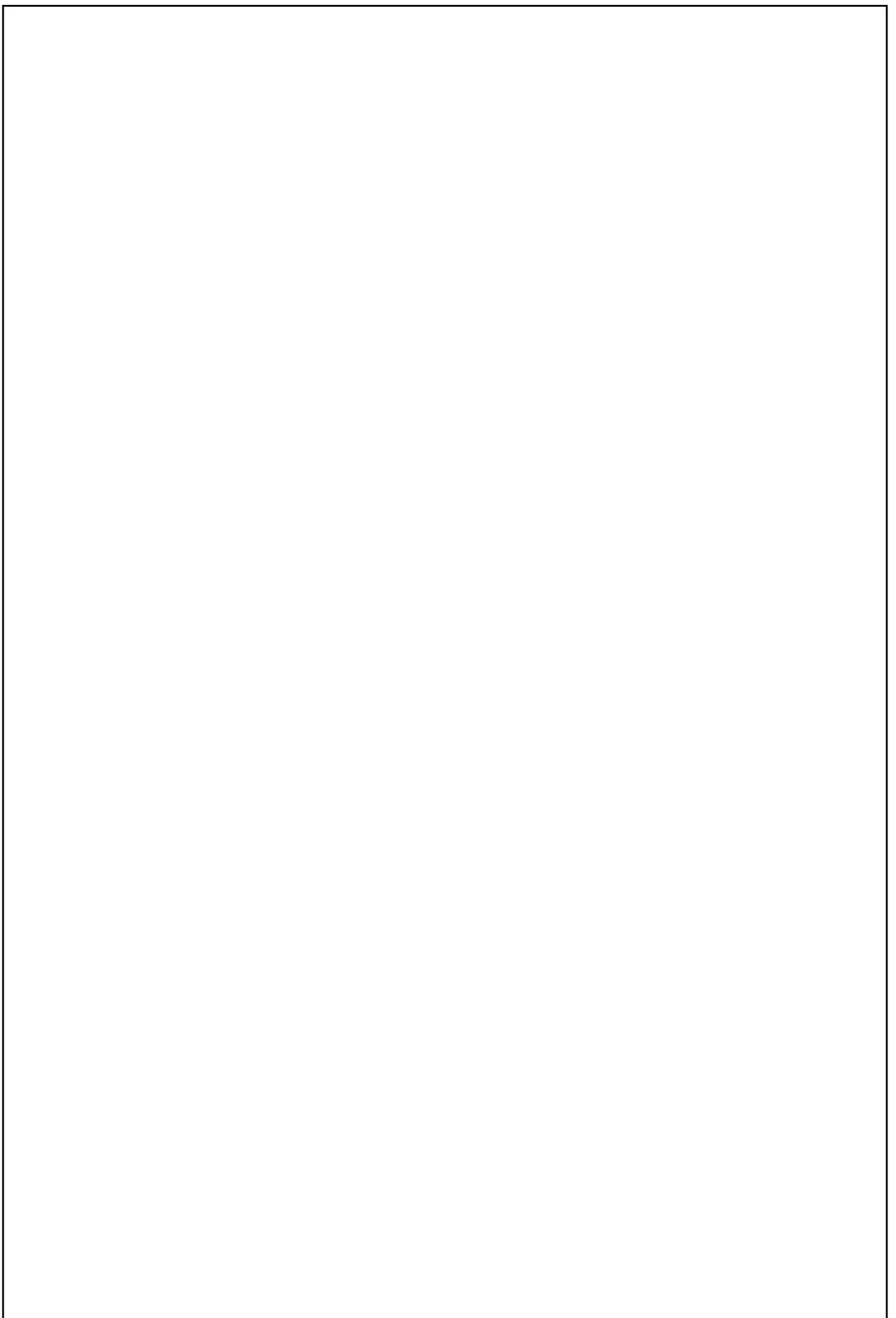
# Kata Pengantar

Ilmu pengetahuan tentang pertumbuhan kraniofasial sangat penting bagi semua dokter gigi umum dan dokter gigi spesialis seperti ortodontis, pedodontis, dan ahli bedah maksilofasial. Buku ini membahas dasar-dasar tentang pertumbuhan tulang khususnya pertumbuhan kraniofasial ini telah dibagi menjadi lima bab, yang membahas tentang perkembangan tulang dan tulang rawan .

Buku ini merupakan terjemahan dari *Textbook of Craniofacial Growth* oleh Sridhar Premkumar, *Essential of Facial Growth* oleh Donald H. Enlow dan Mark G. Hans, *Contemporary Orthodontics* oleh William R. Proffit, et al, *Textbook of Orthodontics* oleh Gurkeerat Singh, dan *An Introduction to Orthodontics* oleh Mitchell, et al. yang dirangkum agar mudah dibaca dan dipahami oleh rata-rata siswa maupun praktisi.

Buku ini juga penting untuk dibaca oleh mahasiswa kedokteran gigi dan spesialis yang berorientasi akademis, agar dapat memahami berbagai konsep dan prinsip pertumbuhan kraniofasial dalam matakuliah ortodonti.

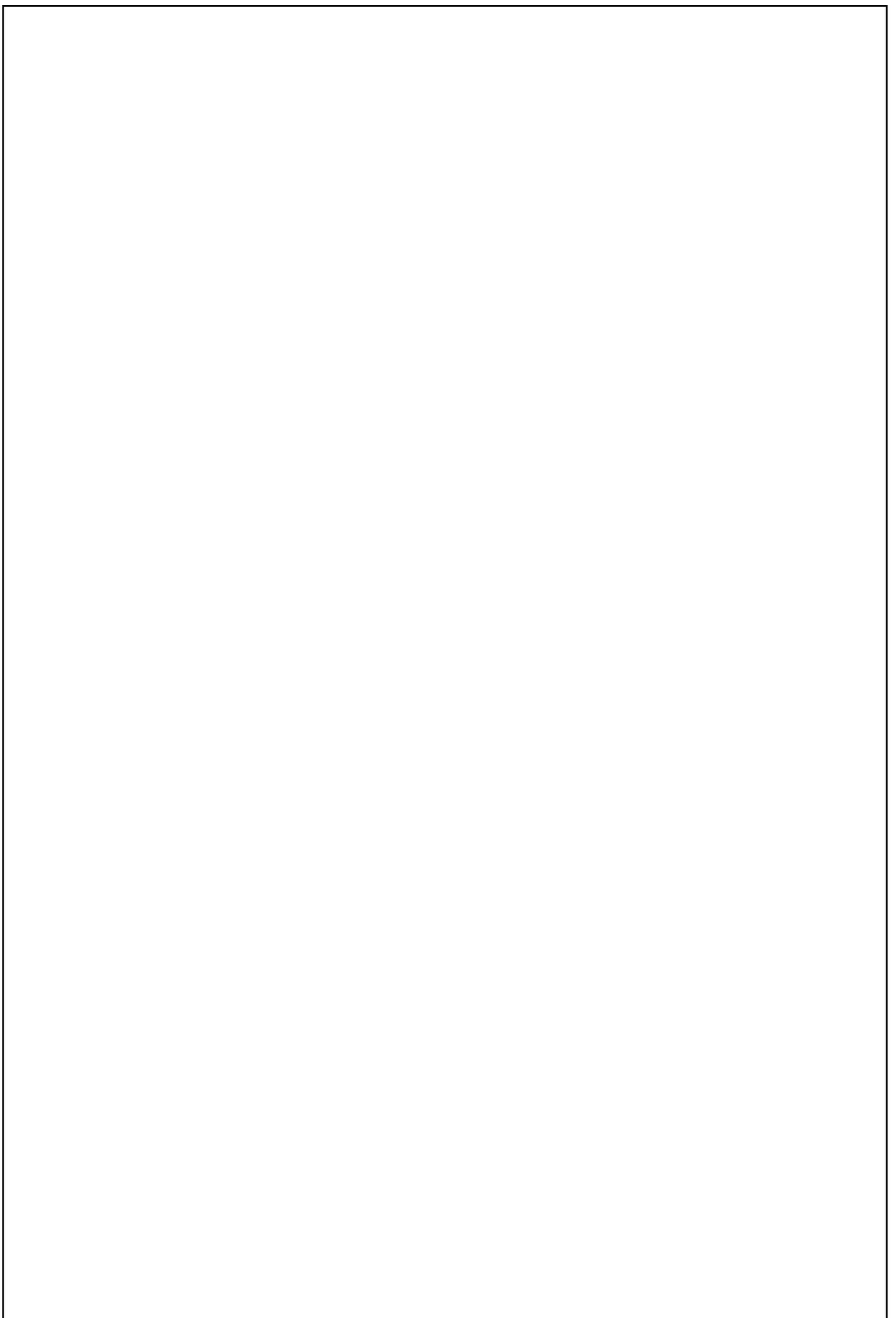
**Penulis**



# Daftar Isi

## ① Teori Pertumbuhan Tulang

Teori Remodeling Tulang	1
Teori Genetik (A. Brodie-1941)	2
Hipotesis Sutura/Teori Dominan Sutura (Sicher dan Weinmann – 1952)	3
Hipotesis Scott / Teori Septum Nasal / Teori Kartilago /Teori Nasocapsular	9
Hipotesis Matriks Fungsional (FMH) - Melvin Moss	15
Teori Kompromi Von Limborgh	47
Teori Komposit Modern	48
Teori <i>Servo System</i> : Alexandre Petrovic	49
Hipotesis <i>Rate Limiting Ratchet</i> (Johnston)	58
Hipotesis Relativitas Pertumbuhan (John C Voudouris 2000)	60



# Daftar Gambar

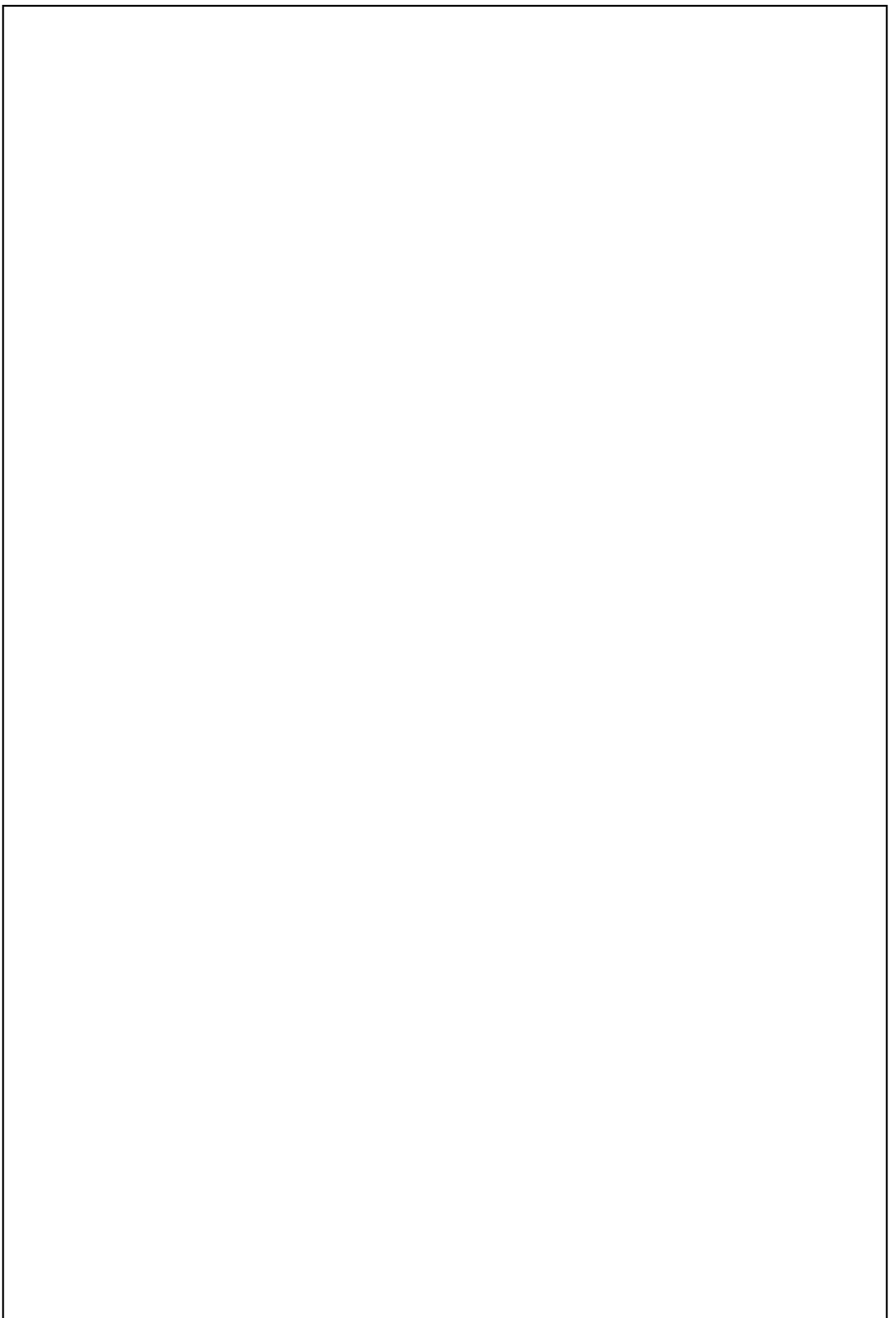
Gambar	Hal.
Diagram teori remodeling pertumbuhan kraniofasial.	2
Faktor pengontrol pertumbuhan Sicher.	4
Diagram teori sutural dari pertumbuhan kraniofasial dengan cranial vault sebagai model.	5
Ilustrasi skema dari duapandangan berbeda tentang struktur sutura.	7
Ilustrasi skema dari duapandangan berbeda tentang fungsi sutura.	7
Ilustrasi skema dari arah superfisial yang hampir sejajar dari sutura utama wajah bagian atas dan kisaran arah pertumbuhan maksila.	9
Faktor pengontrol pertumbuhan menurut Scott.	10
Representasi skematis dari teoriseptum nasal dari pertumbuhan kraniofasial.	10
Ilustrasi skematis septum nasal tulang rawan, hubungannya dengan struktur sebelahnya, dan dugaan arah pertumbuhannya.	11
Mengontrol pengaruh pada pertumbuhan menurut Moss.	16
Representasi diagram dari teori matriks fungsional.	17
Matriks kapsuler neurokranial dan orofasial.	21
Representasi diagram dari transformasi	23
1.14 Organisasi teori matriks fungsional	24

# Daftar Gambar

Gambar	Hal.
Analisis fungsional kranial maksila secara lateral	26
Mandibula: Unit inti dan skeletal mikro.	29
<i>Protected nerve concept.</i>	29
Perbandingan rahang bawah janin dan bayi baru lahir	32
Mandibula bayi yang baru lahir, berusia 5 tahun, dan dewasa	32
Pergeseran periosteum yang ditunjukkan oleh panah menyebabkan pergeseran saluran nutrisi.	33
1.21. Skema dugaan jalur zat neurotropik yang dilambangkan dengan panah biru.	34
Proses mekanotransduksi.	40
Konversi hirarki dari rangsangan fungsional.	45
Pertumbuhan kraniofasial seperti yang dijelaskan oleh teori <i>composite</i> .	49
Pendekatan konsep <i>servo system</i> .	52
Elemen dan organisasi teori <i>servo system</i> .	54
Teori <i>servo system</i> pertumbuhan kraniofasial, dengan penekanan pada pertumbuhan mandibula.	55
Perpindahan umpan balik yang menyebabkan stimulasi pertumbuhan kondilus.	57
Hipotesis pertumbuhan relativitas untuk pertumbuhan fossa kondilus dan glenoid dengan displacement ortopedi kontinyu.	62
Analogi bola lampu pertumbuhan dan retensi kondilus.	63

# Daftar Kotak

Kotak	Hal.
Mekanisme dan proses biologis yang ditentukan oleh Moss.	45
Esensi dari teori Von Limborgh.	47





# TEORI PERTUMBUHAN TULANG

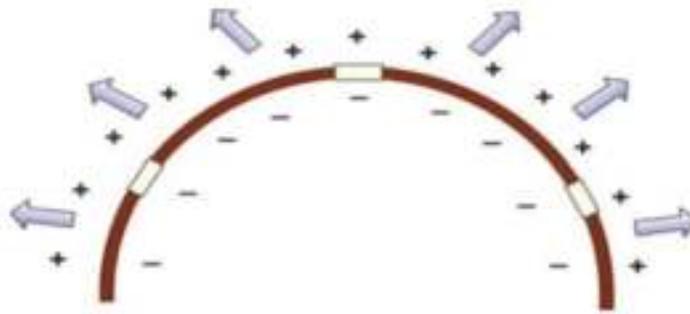
Kerangka dari pertumbuhan kraniofasial dalam bentuk teori, konsep atau hipotesis. Sebagian besar dari usaha yang dilakukan menemukan kritik dan kegagalan karena beragam dan kompleksnya pertumbuhan kraniofasial. Pertumbuhan kraniofasial diteliti pertama kali oleh Sie John Hunter pada abad ke- 18 dalam studinya tentang rahang dan erupsi gigi. Teori yang ada berdasarkan fakta dimana terdapat potensi genetik intrinsik atau pusat pertumbuhan. Ada beberapa jenis teori pertumbuhannya yaitu: remodeling tulang; genetik; hipotesis sutura atau teori dominasi sutura; hipotesis Scott; dan hipotesis matriks fungsional,

## **Teori Remodeling Tulang**

Calvarium tumbuh melalui deposisi tulang pada permukaan ektokranial dari ruang kranial dan resorpsi tulang pada permukaan endokranial (Gambar 1.1)



Teori remodeling tulang menyatakan bahwa pertumbuhan tulang kraniofasial terjadi karena remodeling tulang – deposisi dan resorpsi yang selektif dari tulang pada permukaannya.



**Gambar 1.1.** Diagram yang menerangkan tentang teori remodeling pertumbuhan kraniofasial dengan menggunakan cranial vault sebagai model. Peningkatan ukuran dari cranial vault terjadi karena adanya penambahan tulang dengan deposisi periosteal pada daerah luar, permukaan ektokranial dan resorpsi tulang pada bagian dalam, permukaan endokranial (Sumber: seminar ortodontik Desember 2005)

### **Teori Genetik (A. Brodie-1941)**

Teori genetik secara sederhana menjelaskan bahwa gen menentukan dan mengontrol proses keseluruhan dari pertumbuhan kraniofasial. Namun mekanisme tindakan oleh unit genetik dan mekanismenya belum dipahami sampai sekarang. Gregor Mendel (1822-1884) mencetuskan bidang genetik, terutama mengenai mekanisme pewarisan dan transmisi.

Bidang genetik terdiri dari dua prinsip:

1. “Transmisi genetik” dikarakteristikan oleh pendekatan statistik dan berhubungan hanya dalam menjelaskan kemungkinan metode transmisi. Berdasarkan hukum Mendelian dan tidak menjelaskan tentang gen dan



karakteristiknya. Weisman pada akhir abad ke-19 mengenalkan konsep “germ plasm”. Dalam gagasan ini, penentu yang ditransmisikan dari orang tua ke anaknya terdapat dalam sitoplasma gamet. Mendel mengenalkan istilah “pangene” untuk mendeskripsikan *germ plasm*. Pada tahun 1909, Bateson mengenalkan istilah “genetik” seiring dengan Johnson menggunakan istilah “gen” untuk mengasumsikan unit yang diturunkan. Transmisi genetik tidak dapat menjelaskan semua perubahan pada pertumbuhan kraniofasial. Karena teori genetik gagal menjelaskan banyak kejadian pada pertumbuhan kraniofasial, sehingga fokus berpindah dari transmisi genetik ke genetika molekuler.

2. Perkembangan dan genetika molekuler. Penelitian dalam bidang ini sangat luas dan berkembang.

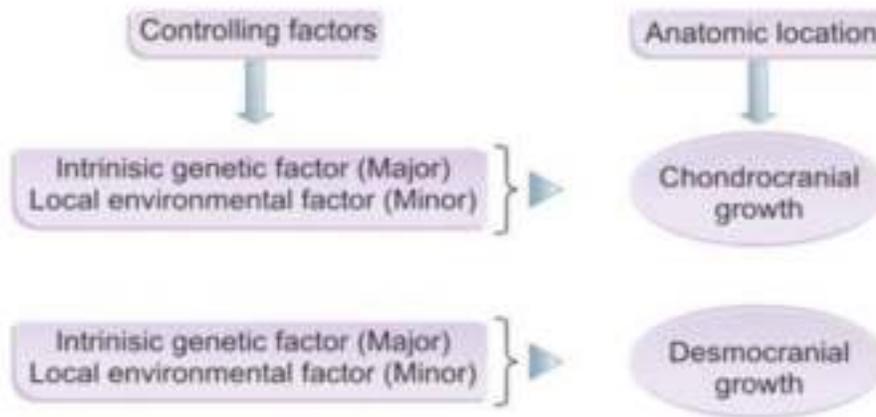
### **Hipotesis Sutura/Teori Dominan Sutura (Sicher dan Weinmann – 1952)**

Sicher dan Weinman, dua anatomis hebat, mengenalkan hipotesis sutura. Menurut teori ini, sutura, kartilago, dan periosteum bertanggung jawab terhadap pertumbuhan wajah dan diasumsikan di bawah kontrol intrinsik genetik. Sicher berkesimpulan bahwa sutura menyebabkan sebagian besar pertumbuhan berdasarkan studi menggunakan pewarnaan vital.



### Esensi Teori (Gambar 1.2)

Menurut Sicher, sutura menjadi penentu utama pertumbuhan kraniofasial. Tulang kraniofasial membesar karena gayaekspansi yang dihasilkan dari sutura ketikaterpisah.



**Gambar 1.2.** Faktor pengontrol pertumbuhan menurut Sicher, 1952.

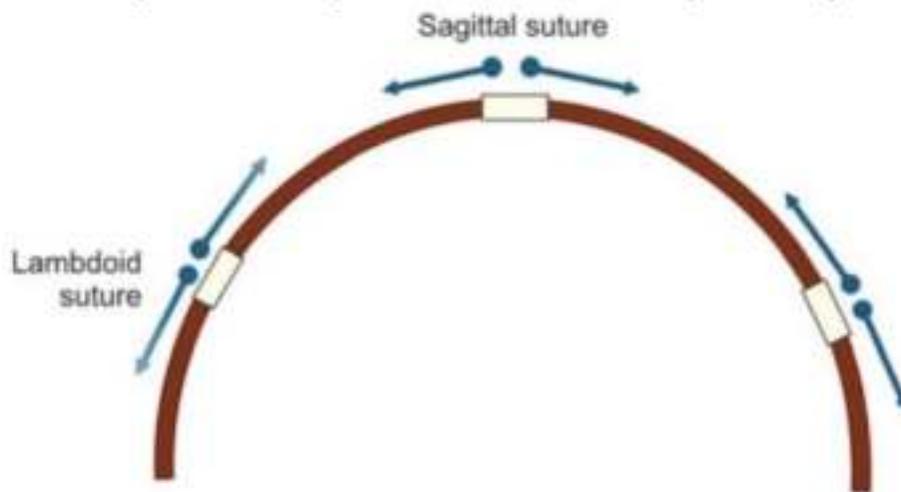
### Teori (Gambar 1.3)

Sicher menyatakan bahwa semua elemen pembentuk tulang seperti sutura, kartilago, dan periosteum merupakan pusat pertumbuhan seperti epiphysis tulang panjang. Meskipun Sicher menganggap kartilago, sutura dan periosteum sebagai yang bertanggung jawab terhadap pertumbuhan fasial, teori ini dinamakan “teori dominan sutura”, karena ia percaya bahwa hal utama pada pertumbuhan sutura adalah proliferasi dari jaringan penghubung dari dua tulang. Proliferasi jaringan penghubung sutura menimbulkan ruang untuk aposisi pertumbuhan tulang di antara sisi kedua tulang. Peningkatan ukuran dari cranial vault terjadi oleh karena pertumbuhan utama tulang pada sutura,



dimana memaksa tulang untuk menjauh satu sama lain. Pertumbuhan wajah tengah terjadi melalui perluasan sutural yang ditentukan secara intrinsik dari sutura sirkummaksila, dimana memaksa wajah tengah ke bawah dan depan. Pertumbuhan mandibula terjadi melalui pertumbuhan kartilago kondilus mandibula yang ditentukan secara intrinsik, yang mendorongnya ke arah bawah dan depan.

**Gambar 1.3.** Diagram yang menggambarkan teori sutural dari pertumbuhan kraniofasial dengan cranial vault sebagai model. Peningkatan ukuran cranial vault terjadi karena pertumbuhan utama



tulang pada sutura, dimana memaksa tulang dari kranium menjauh satu sama lain (Sumber: Seminar ortodontik Desember 2005)

Ada banyak pertumbuhan yang terjadi di sutura (BaerMJ, 1954, Enlow & Hunter, 1964) dan itulah mengapa saat ini pertumbuhan sutural signifikan. Namun dari definisi dasar pusat pertumbuhan oleh Baume, sutura tidak bisa disebut sebagai pusat pertumbuhan.

Sicher menyatakan bahwa pertumbuhan tulang dalam berbagai sutura maksila menghasilkan tekanan tulang yang



menyebabkan gerakan maksila ke depan dan bawah. Diyakini bahwa rangsangan pertumbuhan tulang adalah *tension* atau tegangan, yang dihasilkan oleh *displacement* tulang. Koski (1968) menyatakan bahwa terdapat dua pandangan yang berbeda mengenai struktur sutura. Pemikiran pertama (Sicher dan Weinman, 1952) menganggap sutura (Gambar 1.4 A) sebagai struktur tiga lapisan. Dinyatakan bahwa jaringan ikat antara dua tulang memiliki peran yang sama dengan tulang rawan di dasar tengkorak dan seperti epifisis tulang panjang. Terjadi pelebaran sutura akibat proliferasi lapisan tengah jaringan sutural. Menurut konsep ini, tekanan yang memisahkan jaringan ada di sutura itu sendiri (Gambar 1.5 A).

Pemikiran kedua (Pritchard, Scott dan Girgis, 1956) melihat sutura sebagai struktur lima lapisan (Gambar 1.4 B). Setiap tulang di sutura memiliki dua lapisan periosteum di kedua sisi dan lapisan kelima di antara lapisan periosteal ini. Lapisan ini berperan dalam penyesuaian antar tulang selama pertumbuhan, sedangkan peran aktif proliferasi dimiliki oleh lapisan kambial pada periosteum setiap tulang. Hal ini sangat jelas dari bukti histologis bahwa struktur sutural tidak identik dengan *epiphyseal growth plate* (Gambar 1.5 B).

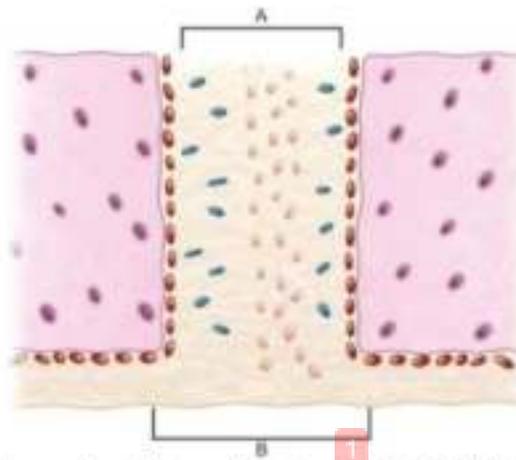
Sicher juga menganggap mandibula sebagai tulang panjang dan tulang rawan *condylar* mandibula sebagai pembanding dengan *epiphyseal plate*.



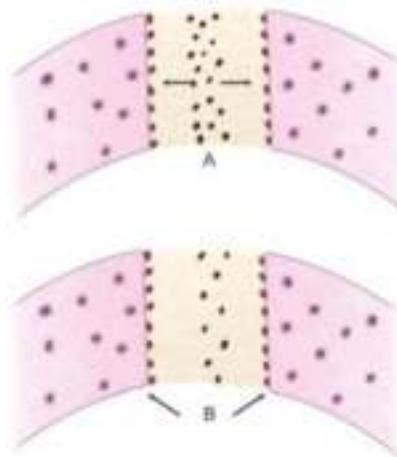
### Bukti yang Menentang Teori Sutural

- a. Pola trabekuler pada tulang di sutura berubah seiring bertambahnya usia, menunjukkan perubahan arah pertumbuhan. Hal ini menunjukkan bahwa sutura tidak memiliki informasi yang diperlukan untuk mengubah pertumbuhan.

**Gambar 1.4.** Ilustrasi skema dari dua pandangan berbeda tentang struktur sutura. 'A' mewakili



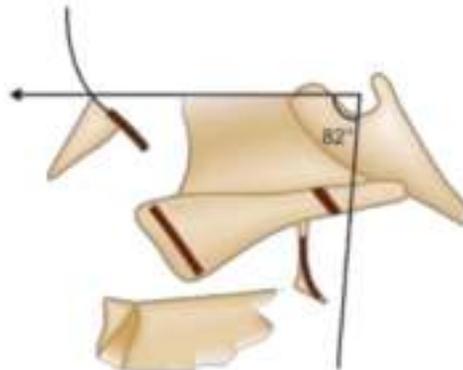
konseptiga lapisan; 'B' konsept lima lapisan (Sumber: AJO- DO 1968 566-583); *Cranial growth centers: Facts or fallacies?*—Koski, 1968;566- 83)



**Gambar 1.5.** Ilustrasi skema dari dua pandangan berbeda tentang fungsi sutura. 'A' mewakili konsep *thrusting force* atau kekuatan dorongan yang berada di jaringan sutural itu sendiri; 'B' mewakili konsep *force* luar yang memisahkan tulang satu sama lain. (Sumber: Koski AJO-DO 1968;566-83 *Cranial growth centers: Facts or fallacies?*)



- b. Tidak ditemukan adanya pertumbuhan pada autotransplantasi subkutan dari sutura *zygomaticomaxillary* pada *guinea pigs* (Watanabe MLaskin).
- c. Ekstirpasi sutura wajah tidak memiliki efek yang berarti pada pertumbuhan dimensi skeletal (Samat, 1963).
- d. Bentuk sutura bergantung pada stimulus fungsional (Moss & Salentejin, 1969).
- e. Penutupan sutura tampaknya ditentukan secara ekstrinsik (Moss ML).
- f. Pertumbuhan sutura dapat dihentikan dengan *force* mekanis seperti klip yang dipasang melintasi sutura (Leitunen, 1956).
- g. Paralelisme sutura sirkumaksila untuk pertumbuhan maksila ke depan dan bawah hanya superfisial. Pertumbuhan pada sutura *zygomaticomaxillary* terjadi terutama ke arah lateral. Arah pertumbuhan maksila berkisar dari 0° sampai 82° dalam kaitannya dengan bidang SN (Gambar 1.6). Secara praktisi sutura tidak mungkin berjalan ke arah yang sama untuk mendorong maksila sejajar dengan bidang referensi (Bjork).



**Gambar 1.6.** Ilustrasi skema dari arah superfisial yang hampir sejajar dari sutura utama wajah bagian atas dan kisaran arah pertumbuhan maksila (After Björk. *Acta Odont Scandinav* 1966;24:109-127)



## Kesimpulan

Bukti yang ada menunjukkan sutura sebagai lokasi pertumbuhan adaptif. Jaringan sutura tidak memiliki kekuatan yang memisahkan jaringan dan tidak sebanding dengan pusat pertumbuhan.



### **Hipotesis Scott / Teori Septum Nasal / Teori Kartilago / Teori *Nasocapsular***

James H Scott, seorang ahli anatomi Irlandia mengusulkan teori septum nasal sebagai teori tunggal dan terpadu dari pertumbuhan kraniofasial.

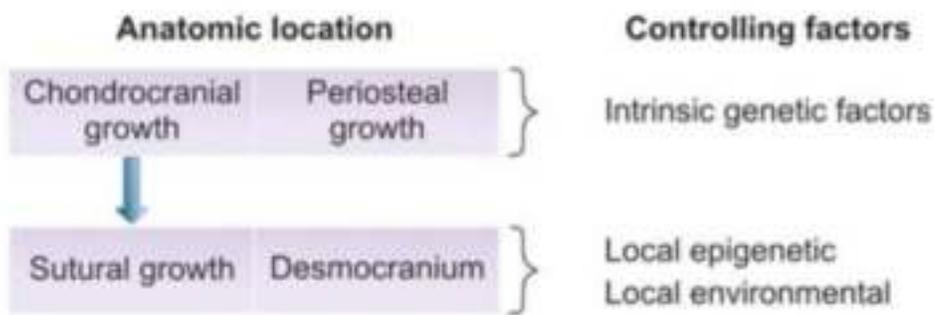
#### Esensi Teori (Gambar 1.7)

Menurut teori septum nasal, sutura memiliki sedikit atau tidak ada peran langsung dalam pertumbuhan skeletal kraniofasial. Sutura dianggap hanya sebagai tempat pasif, sekunder, dan kompensasi dari pembentukan dan pertumbuhan tulang. Setelah menyadari pentingnya bagian tulang rawan kepala, *nasal capsule*, mandibula dan basis kranial dalam pertumbuhan prenatal, Scott merasa bahwa perkembangan tulang rawan ini berada di bawah kendali genetik yang kuat dan mendominasi pertumbuhan wajah pasca kelahiran juga. Scott menyimpulkan bahwa septum nasal

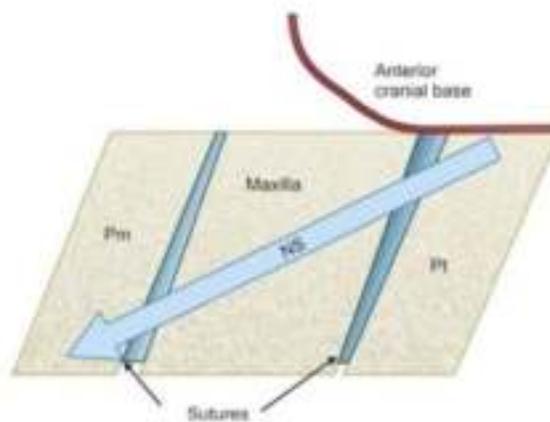


sebagian besar aktif dan vital untuk pertumbuhan kraniofasial baik prenatal maupun postnatal. Pertumbuhan anteroinferior dari tulang rawan septum nasal yang tertekan pada dasar kranial "mendorong" *midface* ke bawah dan ke depan (Gambar 1.8 dan 1.9).

*Synchondroses* dasar kranial menyebabkan pertumbuhan basis kranial dan Scott membandingkan kartilago *condylar* dengan tulang rawan basis kranial.

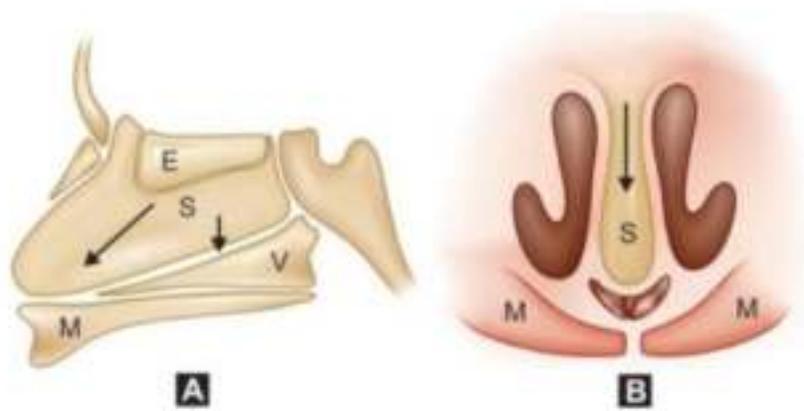


**Gambar 1.7.** Faktor pengontrol pertumbuhan menurut Scott.



**Gambar 1.8.** NS (Nasal Septum), Pm (Pre Maxillary), Pt (pterygoid bone). Representasi skematis dari teori septum nasal dari pertumbuhan kraniofasial. Pertumbuhan tulang rawan septum nasal mendorong *midface* ke bawah dan ke depan relatif terhadap dasar kranial anterior. Hal ini mengakibatkan pemisahan sistem sutura midfasial, yang kemudian terisi melalui pertumbuhan tulang sutural kompensasi sekunder (Sumber: Semin Orthod 2005; 11: 172-83)





**Gambar 1.9.** A dan B: Ilustrasi skematis septum nasal tulang rawan, hubungannya dengan struktur sebelahnya, dan dugaan arah pertumbuhannya.

(A) Tampak sagital; (B) Tampak depan; E, tulang ethmoid; M, maksila; S, septum; V, vomer. (Sumber: *Cranial growth centers: Facts or fallacies?*—Koski AJO 1968; 566-83)

### Diskusi

Sejumlah studi eksperimental dilakukan untuk membahas validitas hipotesis Scott. Latham menguraikan gagasan Scott dan juga menekankan peran *septomaxillary ligament* dalam pertumbuhan *midface* mulai dari periode prenatal hingga 3 atau 4 tahun kehidupan. Latham menyatakan bahwa sutura maksila dimulai sebagai *sliding joints* dan kemudian bermanifestasi dalam peningkatan osteogenesis, berkontribusi pada *displacing force* atau kekuatan perpindahan. Latham menggabungkan gagasan Sicher dan Scott. Teori ini didasarkan pada fakta bahwa tulang rawan adalah jaringan yang disesuaikan dengan tekanan dan ekspansi tulang rawan yang memberikan kekuatan untuk menggerakkan maksila ke bawah dan ke depan. Menurut Scott, pemisahan tulang harus didahului sebelum pertumbuhan tulang sutural adaptif



terjadi. Pemisahan tulang, menurutnya, karena pertumbuhan organ seperti otak, bola mata, atau tulang rawan.

Scott berpendapat bahwa ada dua sistem sutura:

1. Sistem sutura posterior terletak di belakang maksila dan terpisah dari palatina, massa lateral tulang ethmoid, lakrimal, zygomatik, dan vomer.
2. Sistem sutura anterior memisahkan tulang premaxilla, nasal dan vomer. Sistem sutura kedua menghilang di wajah manusia selama bagian akhir periode janin dan atau setelah lahir.

Scott mengatakan bahwa tulang rawan septum nasal adalah perpanjangan dari tulang rawan dasar kranial dan saat tumbuh lebih jauh, tulang ini memisahkan tulang wajah satu sama lain dan juga dari bagian kranial tengkorak. Dengan demikian memungkinkan pertumbuhan tulang terjadi di sutura (frontomaxillary, frontonasal, frontozygomatic, dan frontozygomaticomaxillary) dengan deposisi permukaan.

#### Bukti Pendukung Teori

1. Ekstirpasi tulang rawan septal pada tikus yang sedang tumbuh mengakibatkan pertumbuhan hidung yang kurang (Sarnat, 1966).
2. Latham dan Burstone (1966) menyimpulkan bahwa septum nasal berperan dalam menentukan pertumbuhan anteroposterior wajah bagian atas.



3. Burstone menekankan pentingnya impuls pertumbuhan septum untuk pertumbuhan maksila pada kasus *cleft palate*. Kegagalan segmen maksila yang kurang berkembang untuk menyatu dengan septum nasal pada celah unilateral lengkap membuatnya kehilangan impuls dorongan pertumbuhan atau energi. Bagian kontralateral yang normal pada sisi lain, mencapai pertumbuhan normal.
4. Samat dan Long melakukan studi auto radiografi dengan *thymidine* untuk menentukan tingkat aktivitas proliferasi sel tulang rawan. Mereka menemukan peningkatan aktivitas proliferasi sel di daerah posterior septum nasal yang mencerminkan osifikasi endokondral di area ini.
5. Samat pada tahun 1988, dari percobaan pada hidung kelinci menyimpulkan bahwa kelainan bentuk hidung setelah reseksi septum nasal adalah akibat dari pertumbuhan yang kurang.
6. Steinler, Kvinlaw membandingkan peningkatan ukuran septum nasal autotransplantasi dinding abdominal subkutan pada tikus. Semua septum nasal yang autotransplantasi menunjukkan peningkatan tinggi dan panjang serta mempertahankan bentuknya. Hal ini menunjukkan bahwa septum nasal memiliki potensi pertumbuhan intrinsik.
7. Latham (1974) menjelaskan peran *septopremaxillaris ligament* yang berpindah dari batas anteroinferior septum nasal ke spina anterior nasal dan sutura inter maksila di regio premaxillaris.



Dia menyatakan bahwa traksi melalui ligamen akan mendorong pertumbuhan maksila ke bawah dan ke depan.

Koski setelah studi histologis tulang rawan septum hidung menemukan bahwa ada osifikasi endochondral yang terjadi di *septoethmoidal junction*.

#### Bukti yang Menentang Teori

- a. Moss dan Bromberg (1968), Brigit Thilander (1970) hanya menemukan sedikit deformitas setelah ekstirpasi kartilago septal. Mereka menyimpulkan bahwa tulang rawan septal hanya memberikan dukungan mekanis untuk tulang nasal dan bukan pusat pertumbuhan utama.
- b. Melsen (1977) menyatakan bahwa pergeseran vomer ke bawah dalam kaitannya dengan bagian anterosuperior septum nasal terjadi selama perkembangan kraniofasial sehingga tidak mungkin septum *cartilaginous* dapat mendorong kompleks maksila ke depan seperti yang dikemukakan oleh Scott.
- c. Moss menyatakan bahwa malformasi pada hidung setelah eksisi septum nasal disebabkan oleh trauma setelah pembedahan.
- d. Burstone dan Latham pada tahun 1966, melaporkan sebuah kasus dengan kehilangan septum nasal. Anak tersebut mengalami resorpsi dan deposisi palatal yang, serta tinggi wajah bagian atas yang normal. Hanya perkembangan sagital yang terpengaruh.



## Kesimpulan

Saat ini, teori septum nasal masih diterima sebagai penjelasan yang masuk akal untuk pertumbuhan kraniofasial. Septum nasal mungkin penting untuk pertumbuhan anteroposterior wajah karena proses pertumbuhan endochondral terjadi di batas posteriornya. Hal ini tidak dianggap sebagai kontributor aktif untuk pengembangan vertikal wajah.

## **Hipotesis Matriks Fungsional (FMH) - Melvin Moss**

### Pendahuluan

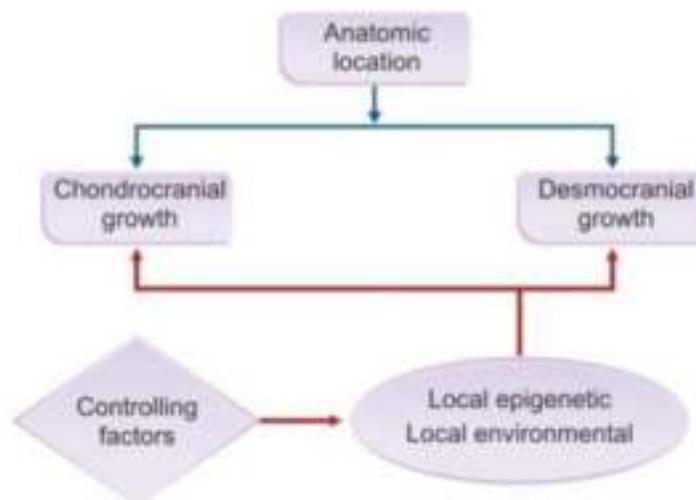
Konsep bahwa "bentuk mengikuti fungsi" pertama kali dikemukakan oleh Vander Klaaw (1948-52). Fungsional teori matriks sebenarnya merupakan perpanjangan dari konsep ini. Melvin Moss dan rekannya pada tahun 1960 mengembangkan konsep bentuk dan fungsi ke dalam "functional matrix hypothesis". Diperkenalkan pada 1960-an, sudut pandang baru Moss menjadi katalisator utama pertumbuhan kraniofasial yang kemudian dikenal sebagai paradigma fungsional.

### Esensi Teori

Prinsip dasar *functional matrix hypothesis* atau hipotesis matriks fungsional itu sederhana. Hipotesis matriks fungsional menyatakan bahwa selain memulai proses perkembangan, hereditas dan gen tidak berperan aktif dalam pertumbuhan struktur skeletal secara umum dan skeletal kraniofasial pada



khususnya. Awalnya skeletal kraniofasial berkembang, dan kemudian tumbuh sebagai respons langsung terhadap lingkungan epigenetik ekstrinsik (Gambar 1.10). Moss menyatakan bahwa *bones do not grow—bones are grown* atau tulang tidak tumbuh — tulang ditumbuhkan. Lebih tepatnya, FMH mengklaim bahwa faktor atau proses epigenetik, nonskeletal adalah penyebab sebelumnya, terdekat, ekstrinsik, dan primer dari semua respons sekunder adaptif dari jaringan dan organ skeletal. Respons unit skeletal tidak dikendalikan oleh konten informasional dari genom sel skeletal intrinsik. Tetapi hal ini dikendalikan oleh operasi matriks fungsional. Para pendukung teori matriks fungsional menyatakan bahwa ekspansi matriks jaringan lunak bersifat primer dan pertumbuhan tulang murni merupakan peristiwa sekunder dan kompensasi. Translasi dari berbagai tulang wajah disebabkan oleh ekspansi volumetrik dari rongga atau jaringan yang dienkapsulasi.



**Gambar 1.10.** Mengontrol pengaruh pada pertumbuhan menurut Moss.

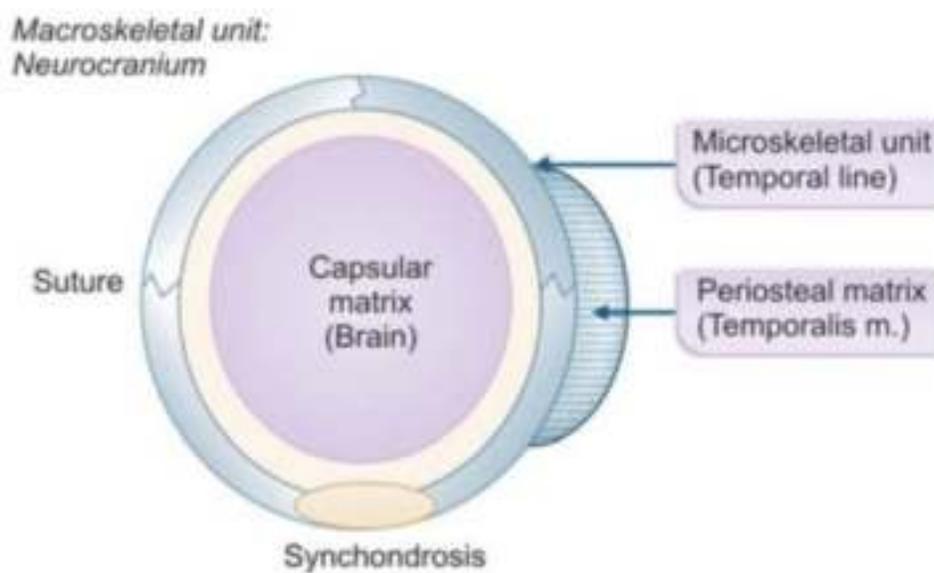


## Definisi

Hipotesis matriks fungsional menyatakan bahwa asal mula, pertumbuhan dan pemeliharaan semua jaringan dan organ skeletal selalu merupakan respon kompensasi dan *obligatory* sekunder terhadap terjadinya atau proses sebelumnya secara temporer dan operasional yang terjadi di jaringan, organ, atau rongga fungsi nonskeletal yang terkait secara khusus (matriks fungsional).

## Penjelasan (Gambar 1.11)

Untuk memahami faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tulang kraniofasial. Lingkungan lokal dan struktur skeletal resultant perlu dipahami dalam kaitannya dengan komponen fungsional kranialnya.



**Gambar 1.11.** Representasi diagram dari teori matriks fungsional. Pertumbuhan primer matriks kapsuler (otak) menghasilkan rangsangan untuk pertumbuhan sekunder dari sutura dan *synchondroses*, yang mengarah ke pembesaran neurokranium secara keseluruhan (unit makroskeletal). Fungsi dari otot temporalis menarik matriks periosteal dan pertumbuhan tulang dari garis temporal (unit mikroskeletal) (Sumber: Seminar Orthod 2005; 11: 172-83)



### Komponen Kranial Fungsional

Hipotesis matriks fungsional menganggap kepala, bukan tengkorak sebagai wilayah tubuh tempat sejumlah operasi dilakukan. Jadi, kepala adalah area gabungan dari area yang di enkapsulasi individu dimana fungsi spesifik seperti pernapasan, pencernaan, penciuman, penglihatan, integrasi saraf dilakukan. Untuk menjalankan setiap fungsi, diperlukan jaringan keras dan lunak tertentu. Keseluruhan struktur skeletal, jaringan lunak, dan rongga fungsi (hidung, mulut, dan lain-lain) yang diperlukan untuk menjalankan fungsi tertentu secara kolektif disebut "functional cranial component" atau komponen kranial fungsional.

Setiap komponen fungsional kranial terdiri dari unit skeletal dan matriks fungsional (jaringan lunak dan rongga). Setiap fungsi sebenarnya dilakukan oleh matriks fungsional, sedangkan unit skeletal memberikan peran biomekanik yang diperlukan untuk memberikan perlindungan dan dukungan pada matriks jaringan lunak. Unit skeletal dapat terdiri dari banyak tulang, satu tulang atau sebagian kecil tulang. Ada dua jenis unit skeletal: unit mikroskeletal dan unit makroskeletal. Matriks fungsional terdiri dari dua jenis yang berbeda: matriks periosteal dan matriks kapsular. Aktivitas kedua matriks sangat penting untuk pertumbuhan kraniofasial.



### Matriks Fungsional

Matriks fungsional mengacu pada semua jaringan lunak dan rongga yang menjalankan fungsi tertentu.

Matriks periosteal sesuai dengan lingkungan lokal terdekat. Mereka secara virtual mendefinisikan dirinya sendiri. Contoh matriks periosteal termasuk otot, pembuluh darah, saraf, gigi, dan lain-lain. Efek matriks periosteal paling baik dicontohkan oleh efek otot pada unit skeletal. Kurangnya kontraksi menyebabkan atrofi tulang. Semua matriks periosteal bekerja secara homogen melalui deposisi tulang dan resorpsi. Otot melekat baik ke dalam jaringan skeletal atau secara tidak langsung melalui fusi dengan lapisan fibrosa luar periosteum. Otot yang berfungsi memengaruhi perubahan perkembangan dalam bentuk jaringan skeletal tempat mereka terikat. Hal ini dicapai melalui antarmuka tulang otot (Moss *et al*, 1971). Sim dan Kelly menyarankan bahwa alirandarah tulang menyesuaikan dengan perubahan sebelumnya dalam metabolisme tulang dan mereka selanjutnya mencatat bahwa aliran darah meningkat di tempat resorpsi dan daerah penyimpanan memiliki vaskularisasi yang buruk. Stimulasi matriks periosteal menyebabkan pertumbuhan unit mikroskeletal. Mereka bertindak untuk mengubah ukuran atau bentuk atau kedua tulang. Proses pertumbuhan yang terjadi karena stimulasi matriks periosteal disebut "transformasi" (Gambar 1.13).

"Matriks kapsular" didefinisikan sebagai organ dan rongga yang menempati kompleks anatomi yang lebih luas. Komponen



fungsional kranial muncul, tumbuh, dan dipertahankan dalam rangkaian kapsul. Setiap kapsul adalah selubung yang berisi serangkaian komponen fungsional kranial, unit skeletal dan matriks fungsional terkait dan diapit di antara dua lapisan penutup. Pada kapsul neurokranial, penutup ini terdiri dari kulit dan duramater, sedangkan pada kapsul orofasial, kulit dan mukosa membentuk lapisan pembatas ini. Semua rongga yang mengintervensi antara komponen fungsional itu sendiri dan di antara mereka dan batas kapsul diisi dengan jaringan ikat longgar yang tidak saling terikat. Setiap kapsul mengelilingi dan melindungi matriks fungsional kapsul. Matriks kapsuler neurokranial terdiri dari otak, *leptomeninges*, dan CSF (Gambar 1.12). Hal ini mudah untuk memvisualisasikan kapsul neurokranial. Di sisi lain, matriks kapsuler orofasial atau rongga yang berfungsi sulit untuk divisualisasikan. Matriks kapsul ada sebagai volume.

**Kapsul neurokranial:** Di dalam neurokranium, volume massa saraf total yang signifikan secara morfogenetik. Ekspansi volume matriks kapsul yang tertutup dan terlindungi adalah peristiwa utama dalam ekspansi kapsul neurokranial. Saat kapsul membesar, seluruh komponen fungsional yang termasuk dan tertutup, yaitu matriks periosteal dan unit mikroskeletal dibawa keluar dengan cara yang benar-benar pasif. Komponen kranial fungsional kalvarial secara keseluruhan ditranslasi secara pasif dan sekunder ke dalam rongga.





**Gambar 1.12.** Matriks kapsuler neurokranial dan orofasial ditampilkan. Matriks kapsuler saraf terdiri dari seluruh massa saraf, termasuk duramater, sedangkan matriks kapsuler orofasial terdiri dari rongga fungsional ini. Dalam kedua kasus, unit skeletal ada sepenuhnya di dalam kapsul masing-masing. (Sumber: Moss and Salentijn. AJO 1969;20-31: *The primary role of functional matrices in facial growth*)

Dalam keadaan terinduksi atau patologis secara eksperimental, matriks periosteal dicegah untuk melakukan aktivitas morfogenetiknya. Di neurokranium, hidrocefali adalah kondisi seperti itu. Ekspansi kapsul neurokranial selalu sebanding dengan peningkatan massa saraf. Tapi pada hidrocefali, peningkatan tekanan intrakranial, penghilangan aliran vaskular di dalam kapsul dan dengan demikian mencegah pertambahan tulang periosteal di daerah sutural, sehingga menghasilkan fontanel besar yang khas, dan dehiscence sutural lainnya. Intinya sederhana. Tengkorak saraf tidak tumbuh lebih dulu dan menyediakan ruang untuk ekspansi sekunder dari massa saraf. Sebaliknya, perluasan massa saraf adalah peristiwa utama yang menyebabkan pertumbuhantengkoraksarafsekunder dankompensasi.



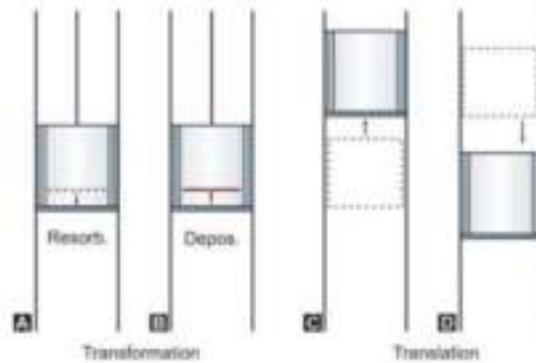
Matriks kapsul orofasial: Matriks kapsul orofasial atau rongga fungsi orofaring dikelilingi oleh kapsul orofasial. Lapisan pembatas pada rongga ini adalah kulit bagian luar dan selaput lendir bagian dalam. Pembentukan keunggulan morfogenetik dari rongga fungsi orofasial akan menyebabkan translasi dari semua unit skeletal yang tertanam di dalam kapsul orofasial. Ukuran rongga oronasopharyngeal manusia bertambah sejak bulan ketiga kehamilan. Peningkatan volumetrik ini menghasilkan peningkatan kompensasi dalam ukuran kapsul orofasial. Pertumbuhan hasil kapsul karena mitosis dari kedua elemen seluler epitel dan mesenkim dan akibat peningkatan bahan antar sel yang menyebabkan ekspansi kapsul. Saat kapsul membesar, baik matriks periosteal bersama dengan unit skeletal masing-masing secara pasif dan sekunder ditranslasi ke posisi baru pada rongga atau celah.

Dengan demikian matriks kapsuler yang tertutup bekerja secara tidak langsung pada unit makroskeletal atau pada seluruh komponen fungsional kranial. Mereka tidak bekerja melalui proses deposisi tulang atau resorpsi atau dengan mempengaruhi tulang rawan secara langsung. Mereka tidak mengubah ukuran atau bentuk unit skeletal; sebaliknya mereka mengubah lokasinya pada rongga atau celah. Jenis proses pertumbuhan ini disebut "translasi" (Gambar 1.13 A ke D).



## Unit Skeletal

Unit skeletal mengacu pada struktur tulang yang mendukung matriks fungsional dan ini diperlukan atau permisif untuk fungsi tersebut. Unit skeletal tidak mengacu pada tulang individu secara langsung, tetapi pada fungsi yang didukungnya. Ada dua jenis unit skeletal: 1. Unit microskeletal, 2. Unit macroskeletal.

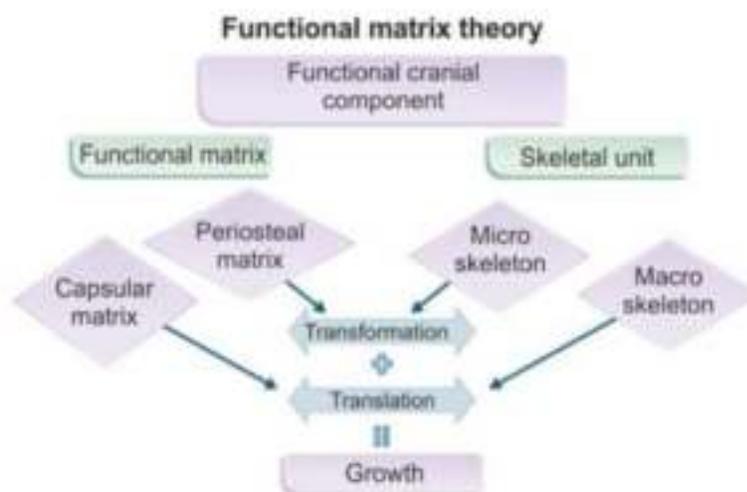


**Gambar 1.13.** Representasi diagram dari transformasi (A, B) dan translasi (C, D). Catatan dalam transformasi terdapat perubahan ukuran atau bentuk sedangkan intranlasi terdapat perubahan posisi.

Unit microskeletal adalah bagian dari tulang yang pertumbuhannya dimodulasi oleh matriks periosteal. Variasi fungsional dalam matriks periosteal dapat diekspresikan dalam unit microskeletal (Gambar 1.14). Interaksi yang mungkin terjadi antara matriks periosteal dan unit microskeletal meliputi — proses temporalis-koronoid, masseter, sudut pterigoid-gonial medial, gigi- tulang alveolar. Perubahan ukuran dan bentuk unit microskeletal terjadi secara independen dari perubahan posisi spasial. Moss menggunakan dua istilah untuk ini: "transformasi" atau "pertumbuhan intraosseous".



Unit makroskeletal terbuat dari inti maksila, mandibula, dan neurokranium. Moss dan Greenberg menunjukkan bahwa unit maksila dasar adalah inti yang menopang dan melindungi triad neurovaskular infraorbital dan di mandibula, bagian tubular basal yang melindungi kanal mandibula. Melalui pengaruh neurotropik, kekonstanan spasial kanal infraorbital sehubungan dengan basis kranial anterior dan kanal mandibula dari foramen ovale melalui foramen mandibula ke foramen mentalis dipertahankan (*unloaded nerve concept*). Ekspansi matriks kapsuler menyebabkan unit makroskeletal secara pasif mengubah posisinya. Proses ini disebut pertumbuhan translasi dari struktur skeletal.



**Gambar 1.14.** Organisasi teori matriks fungsional.

Pertumbuhan skeletal secara keseluruhan adalah kombinasi dari perubahan unit mikroskeletal dan makroskeletal karena stimulasi matriks periosteal dan kapsuler masing-masing. Perubahan pertumbuhan total ini disebut "pertumbuhan interoseus" oleh Moss.

### Analisis Fungsional Kranial Maksila (Gambar 1.15)

Dari sudut pandang fungsional, tidak ada entitas seperti maksila. Sebaliknya, kita memiliki tulang yang terdiri dari beberapa unit skeletal fungsional yang relatif independen yang dikaitkan dengan banyak fungsi yang mencakup penglihatan, pernafasan, pencernaan, ucapan, dan perlindungan struktur neurovaskular.

Tulang basal menunjukkan unit skeletal maksila yang berfungsi untuk melindungi dan mendukung triad neurovaskular infraorbital. Bagian maksila itulah yang tersisa ketika semua unit skeletal maksila lainnya telah dikurangi. Moss dan Greenberg menunjukkan bahwa matriks fungsional dasar untuk unit skeletal dasar adalah triad neurovaskular infraorbital.

Daritigakomponen triad ini, yaitu divisimaksiladarisaraf trigeminal yang berperan utama dalam menjaga spasial saluran infraorbital ke dasar kranial anterior tetap konstan. Dengan demikian, secara tidak langsung menghasilkan konstan yang serupa dari posisi spasial unit skeletal maksila basal relatif terhadap dasar kranial anterior.

Area foramen infraorbital adalah tempat osifikasi pertama tulang maksila manusia. Premaxilla, menjadi entitas yang terpisah. Pembentukan tulang dimulai sekitar akhir minggu keenam dalam bentuk trabekula yang menjalar. Mereka berubah menjadi lempengan berbatas halus seperti tulang. Pada semua usia, posisi horizontal dari lengkung saluran infraorbital seperti yang



terlihat pada Norma verticalis adalah lateral dari gigi-geligi maksila dengan hanya sedikit pengecualian.

Matriks fungsional massa orbital secara virtual menghentikan pertumbuhan volumetriknya pada akhir dekade pertama. Ketinggian definitif rongga nasal dicapai pada saat yang bersamaan. Hampir semua matriks fungsional yang mungkin mempengaruhi posisi unit skeletal basal maksila berhenti pada saat ini dan tidak berpartisipasi dalam pertumbuhan kompleks maksila lebih lanjut.



**Gambar 1.15.** Analisis fungsional kranial maksila secara lateral (Sumber: Angle Orthodontist: *Functional cranial analysis of human maxillary bone*: Melvin Moss dan Greenberg, Juli 1967)

Matriks maksila nonbasal yang berhubungan dengan fungsi rongga mulut dan dental terus berkembang setelah usia 10 tahun. Tulang wajah tertutup didalam kapsul orofasial atau *splanchnocranial*. Jadi dasar maksila secara pasif dibawah ke bawah, ke depan dan ke samping sebagai hasil dari ekspansi kapsulnya (matriks orbital, nasal, oral). Pada maksila, saat beberapa matriks orofasial terkait berkembang, maksila akan cenderung terbawa



dari tulang yang berdekatan. Hal ini menyebabkan "bone fill in response" adaptif. Pertumbuhan yang terlihat di dasar orbital adalah contoh dari terjadinya pertumbuhan sekunder dan kompensasi ini setelah gerakan pasif maksila. Pada arah anteroposterior, gerakan pasif ke depan dari maksila secara konstan dikompensasi oleh deposisi tulang di posterior tuberositas maksila dan proses palatal padat tulang maksila dan palatal.

Moss dan Greenberg lebih lanjut menyatakan bahwa ada tiga jenis perubahan pertumbuhan tulang yang terlihat pada maksila. Pertama, hal ini terkait dengan kompensasi untuk gerakan pasif tulang yang disebabkan oleh ekspansi primer kapsul orofasial. Perubahan ini membantu menjaga kesinambungan anatomis dan fungsional antara tulang maksila dan tulang yang berdekatan. Kedua, ada perubahan morfologi tulang yang terkait dengan perubahan dalam volume absolut, ukuran, bentuk, atau posisi spasial salah satu atau semua dari beberapa matriks fungsional maksila yang relatif independen seperti massa orbital. Terakhir, ada perubahan tulang yang terkait dengan pemeliharaan bentuk tulang itu sendiri. Reposisi posterior *zygomatic arch* yang menyertai gerakan *arch* atau lengkung gigi ke depan adalah contoh untuk ini.

Perlu dicatat bahwa ketiga proses tersebut tidak berlangsung secara bersamaan. Tetapi konsep ekspresi diferensial atau sekuensial dari fase pertumbuhan yang berbeda telah ditekankan oleh beberapa pendapat seperti Walker.



Moss menemukan posisi foramen infraorbital yang relatif konstan baik di bidang anteroposterior maupun vertikal.

### Analisis Fungsional Kranial Mandibula

Struktur mandibula memiliki arti dari segi fungsinya.

Matriks mandibula terdiri dari:

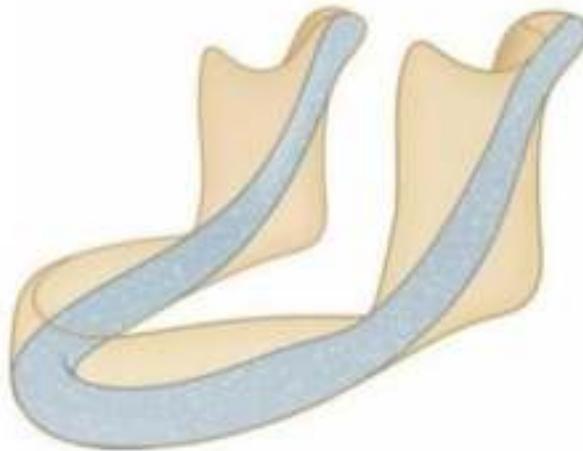
1. Semua otot dengan perlekatan mandibula
2. Triad neurovaskular (arteri, vena, dan saraf)
3. Kelenjar saliva yang berhubungan
4. Gigi
5. Lemak, kulit dan jaringan ikat
6. Lidah
7. Rongga mulut dan faring.

Mandibula terletak dan tumbuh serta berfungsi di dalam matriks. Moss berbicara tentang mandibula sebagai sekelompok unit skeletal mikro dan bagian inti basal (Gambar 1.16).

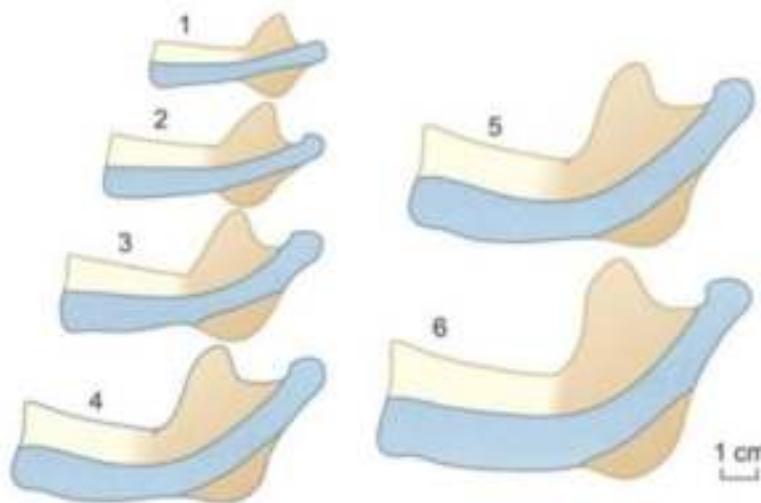
Jadi, proses koronoid adalah satu unit mikroskeletal di bawah pengaruh otot temporalis: sudut gonial adalah unit mikroskeletal lain di bawah pengaruh otot masseter dan pterigoid. Basis alveolar adalah unit mikroskeletal untuk gigi. Bagian tubular basal berfungsi sebagai pelindung kanal mandibula dan mengikuti spiral logaritmik dalam gerakan ke bawah dan ke depan dari bawah kranium. Hal ini disebut "unloaded nerve concept". Bagian yang



paling konstan dari mandibula adalah busur dari foramen ovale ke foramen mandibula dan foramen mental (Gambar 1.17).



**Gambar 1.16.** Mandibula: Unit inti dan skeletal mikro. Bagian yang *stippled* menunjukkan inti mandibula (Premkumar, 2011).



**Gambar 1.17.** *Protected nerve concept*. Inti pusatnya lurus. Kemudian mengikuti kurva logaritmik (Premkumar, 2011).

Pertumbuhan mandibula menunjukkan aktivitas yang terintegrasi dari matriks periosteal dan kapsuler dalam pertumbuhan wajah. Pertumbuhan matriks kapsuler orofasial menyebabkan terjadinya ekspansi kapsul secara keseluruhan. Unit



mikroskeletal yang tertutup dan tertanam secara pasif dan sekunder ditranslasi ke posisi baru yang berurutan. Bukti menunjukkan bahwa pertumbuhan matriks fungsional mandibula mungkin merupakan peristiwa utama yang menyebabkan relokasi mandibula di rongga atau celah dan peningkatan panjang *condylar* dan pertumbuhan unit mikroskeletal adalah peristiwa sekunder dan kompensasi.

Konsep penting dalam pertumbuhan mandibula: Menurut Moss, tiga fenomena penting terjadi selama pertumbuhan mandibula:

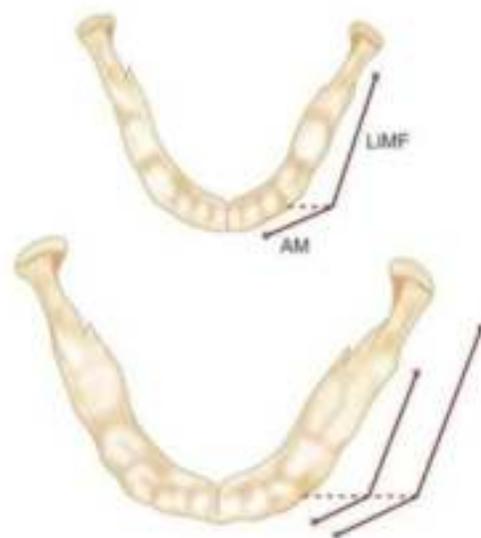
- h. Konstansi posisi relatif foramen mental di korpus mandibula: Jika tubuh horizontal dibagi menjadi segmen premental dan postmental dan segmen ini bila diukur pada usia yang berbeda, ditemukan bahwa panjang kedua segmen ini tetap relatif proporsional sepanjang hidup (Gambar 1.18). Hal ini membuktikan bahwa peningkatan panjang korpus tidak dapat semata-mata disebabkan oleh pertumbuhan *condylar* karena hal ini akan meningkatkan ukuran relatif segmen postmental.
- i. Migrasi absolut dari gigi melalui tulang alveolar: Gerakan yang berbeda dari pergeseran mesial ini terjadi selama dua dekade pertama. Sementara posisi foramen mental tetap konstan, hubungan gigi-geligi mandibula dengan itu tidak ada. Migrasi ini paling menonjol selama erupsi gigi permanen.
- j. Perubahan arah foramen mental: Foramen mental dapat dibandingkan dengan foramen nutrisi tulang panjang. Ketika pin



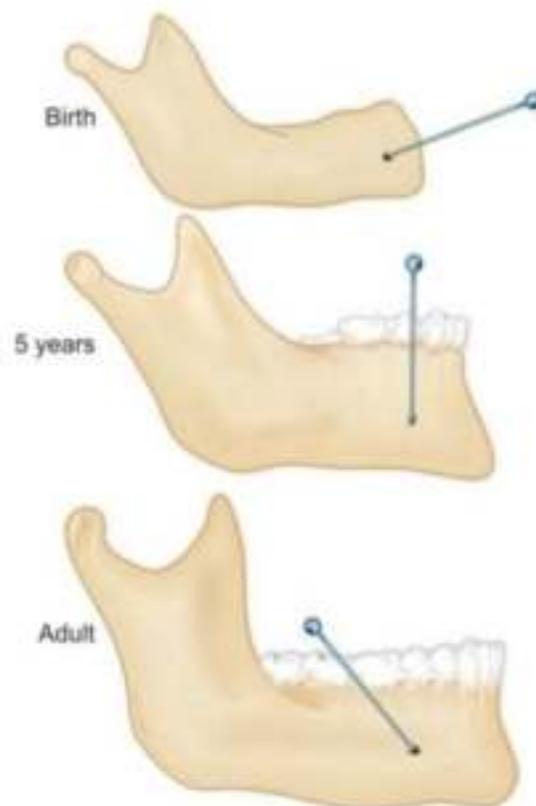
ditempatkan di foramen seperti itu, kepala pin yang menonjol, "menunjuk ke ujung yang tumbuh lebih cepat". Gambar 1.19 menunjukkan bahwa pada bayi baru lahir, pindi foramen mental mengarah ke depan sementara arahnya ke atas pada usia 6 tahun dan relatif terbelakang pada orang dewasa. Alasan untuk ini diberikan oleh LaCroix. Dikatakan bahwa periosteum dari tulang yang sedang tumbuh berada di bawah tekanan dan bahwa gaya tarik pada suatu titik sebanding dengan laju pertumbuhan kedua ujung tulang. Ketika laju pertumbuhan salah satu ujungnya mendominasi, *tension* periosteal ke arah itu akan lebih besar. Efek dari tegangan yang tidak seimbang tersebut adalah "slipping" dari periosteum dan akibatnya migrasi dari titik masuk pembuluh nutrisi (Gambar. 1.20). Hal ini seiring dengan aposisi permukaan tulang baru yang menyertai pertumbuhan lebar menyebabkan foramen menghadap ke arah pertumbuhan yang paling cepat.

Pada bayi baru lahir, pembentukan dagu adalah proses pertumbuhan mandibula yang paling cepat dan karena itu foramen menghadap ke depan. Dengan erupsi gigi permanen, peningkatan tinggi korpus akibat pertumbuhan alveolar menyebabkan foramen menghadap ke atas. Penambahan panjang korpus berikutnya dan pergeseran posterior ramus yang terjadi dengan erupsi gigi molar 2 dan 3 permanen mengarahkan foramen ke belakang.



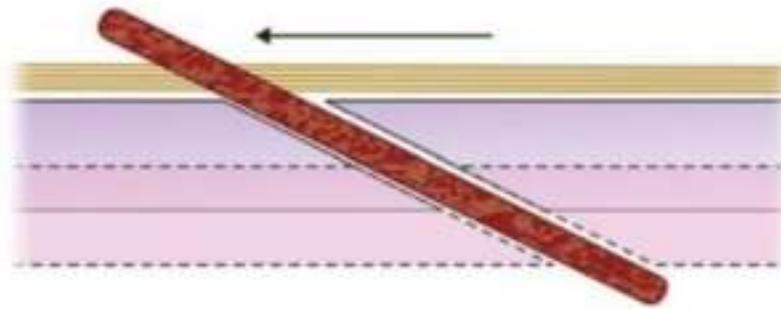


**Gambar 1.18.** Perbandingan rahang bawah janin dan bayi baru lahir. Peningkatan dimensi pada segmen foraminal premental (AM) dan postmental (LiMF) selalu proporsional (Premkumar, 2011).



**Gambar 1.19.** Mandibula bayi yang baru lahir, berusia 5 tahun, dan dewasa. Perhatikan variasi arah kepala pin (Premkumar, 2011).





**Gambar 1.20.** Pergeseran periosteum yang ditunjukkan oleh panah menyebabkan pergeseran saluran nutrisi. Garis bersambung menunjukkan kanal dalam bentuknya yang sekarang. Garis putus-putus menunjukkan kanal pada tahap sebelumnya. Tanda panah menunjukkan situs pertumbuhan aktif (Setelah LaCroix) (Premkumar, 2011).

Fitur tambahan dari pertumbuhan mandibula ini menghadirkan konsep yang lebih dinamis. Mandibula tidak hanya tumbuh. Ia tidak hanya menambah panjang dan tingginya, tetapi juga secara pasif membawa gigi ke bawah dan ke depan. Peristiwa lain seperti pergeseran dalam laju pertumbuhan terbesar, migrasi keseluruhan gigi ke mesial dan pemeliharaan posisi foramen mental yang konstan dengan perubahan arah pembukaan juga terjadi.

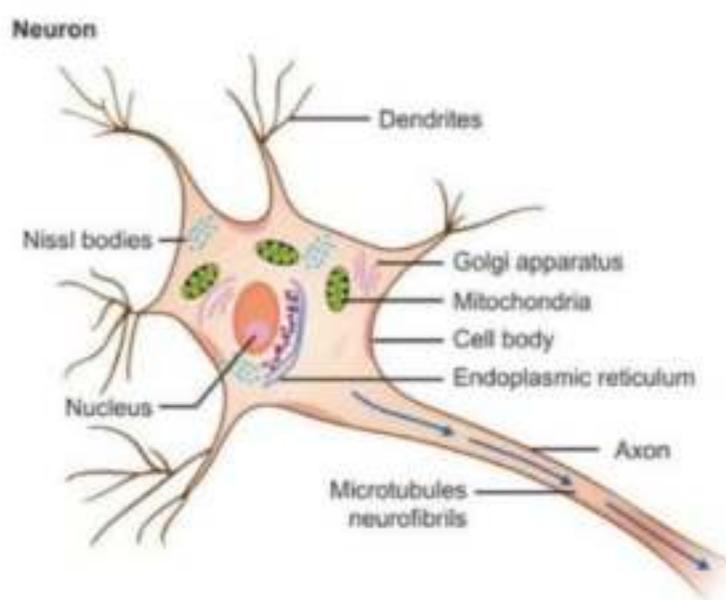
#### Transmisi Stimulus Fungsional ke Tulang (*Neurotrophism*)

Aspek terpenting FMH adalah mekanisme dimana respons atau stimulus fungsional diubah atau diterjemahkan ke *skeletal interface* dan cara mereka diregulasikan atau dikendalikan. Moss mengatakan hal tersebut melalui proses yang disebut neurotrofisme. Neurotrofisme didefinisikan sebagai neurofungsi transmisi non-impulsif yang melibatkan transpor aksoplasma yang



menyediakan interaksi jangka panjang antara neuron dan jaringan yang dipersarafi, yang mengatur integritas morfologi, komposisi dan fungsional dari jaringan tersebut secara homeostatis.

Singer, 1963 menjelaskan fungsi neurotropik sebagai ekspresi fundamental dari aktivitas neuroseluler "yang menunjukkan bahwa "sistem saraf" juga berkaitan dengan keutuhan struktur tubuh". Gutman menyatakan bahwa fungsi ini bertindak secara homeostatis untuk memelihara dan memperbarui struktur dan kapasitas fungsional bagian tubuh.



**Gambar 1.21.** Skema dugaan jalur zat neurotropik yang dilambangkan dengan panah biru (Premkumar, 2011).

Jenis neurotrofisme: Moss mengklasifikasikan neurotrofisme menjadi tiga jenis secara acak, yaitu:

1. Neuromuscular
2. Neuroepithelial
3. Neurovisceral



Neurotrofisme tidak seperti fungsi saraf lainnya yang berhubungan dengan fungsi konduktif neuron non-impulsif. Neurotrofisme membutuhkan proses seluler tambahan yang dijalankan bersamaan dengan fungsi trofik. "Aliran aksoplasma" atau transpor adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan fungsi konduksi neuron nonimpulsif (Gambar 1.21).

*Trofisme neuromuskuler:* Miogenesis embrionik tidak berada di bawah kendali saraf dan neurotrofisme. Persarafan saraf ditetapkan pada tahap diferensiasi myoblast. Moss menyatakan bahwa setelah tahap ini, ontogenesis otot rangka tidak dapat dilanjutkan tanpa persarafan. Diculescu dkk menulis bahwa rantai peristiwa kompleks yang mengarah ke ekspresi tertentu dari potensi embrionik genetik tidak sepenuhnya hadir di dalam sel dan juga mencakup informasi dari saraf. Samaha, Guth dan Abers menemukan bahwa spesies protein baru telah disintesis dan menyatakan bahwa saraf memengaruhi ekspresi genetik sel. Sejalan dengan itu, Moss menyatakan bahwa kontrol genetik tidak dapat hanya beradadalam matriks fungsional saja dan terdapat kontrol homeostatis yang diatur secara neurotropis dari genom. Moss juga percaya bahwa mekanisme neurotropik serupa ada untuk matriks kapsul yang secara pasif mengatur komponen fungsional tengkorak.



*Denervasi – reinnervasi otot:* Denervasi otot dan reinnervasi berikutnya memungkinkan kita untuk membedakan efek pada jaringan otot yang berhubungan dengan hilangnya konduksi impuls dan kontraksi otot dari efek yang disebabkan oleh hilangnya faktor neurotropik. Jika neuron motorik dibelah dan otot terkait kemudian diinervasi kembali, terjadi reformasi jaringan otot dan tumbuh bahkan sebelum pemulihan fungsi konduktif saraf. Ini menunjukkan trofisme neuromuskuler.

*Inervasi silang:* Prosedur percobaan inervasi silang dilakukan, dimana saraf pertama dipotong dan ujung bebas ditempatkan di otot yang disuplai oleh saraf lambat dan sebaliknya dilakukan. Setelah masa pemulihan, terlihat bahwa otot cepat menjadi lambat dan otot lambat menjadi cepat (Previtt dan Safesky). Perubahan ini disebabkan oleh pengaruh saraf yang berpengaruh langsung pada kontraksi.

*Hiperneuralisasi:* Hiperneuralisasi mengacu pada kemampuan serat otot untuk memiliki lebih dari satu pelat ujung motorik. Ketika saraf biasa, yang menginervasi otot dihancurkan, otot merespons ke saraf motorik kedua yang ditanamkan secara eksperimental dengan pembentukan plat ujung baru. Plat ujung asli dibangun kembali setelah saraf asli pulih. Penting untuk dicatat bahwa serat otot yang sudah dipersarafi biasanya tidak akan membentuk plat ujung dengan saraf kedua yang ditanamkan. Poin-poin berikut dapat disimpulkan dari penelitian ini:



1. Efek neurotrofisme tidak bergantung pada keberadaan plat ujung.
2. Efek neurotrofik dapat dihasilkan oleh saraf motorik, sedangkan saraf yang sama juga tidak mampu memunculkan respons kontraktile dari otot yang sama.
3. Bahan neurotrofik dapat berdifusi dan tidak membutuhkan peralatan plat ujung (Lentz).

*Trofisme neurovisceral*: Di daerah orofasial, kelenjar ludah sebagian diatur secara trofik. Peningkatan atau penurunan kelenjar ludah dewasa, di bawah pengaruh neurotropik telah dibuktikan secara eksperimental.

### *Trofisme Neuroepitelial*

Pekerjaan neurologis neurotrofisme pertama kali dimulai di bidang dermatologi. Contohnya meliputi area kehilangan sensorik, kulit tidak memiliki kemampuan untuk menahan trauma: ulser trofik disebabkan oleh : pertama, kemampuan perlindungan normal kulit; dan kedua, oleh kurangnya fungsi sensorik.

Faktor-faktor yang berkontribusi pada trofisme neuroepitelial adalah:

1. Mekanisme lokal yang beroperasi di daerah dengan aktivitas mitosis tinggi.
2. Faktor pertumbuhan epitel.
3. Jenis mekanisme umpan balik antaradermis dan epidermis



4. Regenerasi anggota tubuh amfibi adalah contoh trofisme neuroepitelial. Itu terjadi hanya setelah kontak neuroepitelial yang erat.
5. Adanya *taste buds* tergantung pada persarafan saraf yang utuh (Joseph 69)
6. *Taste buds* mengalami degenerasi seiring dengan penipisan epitel yang berdekatan setelah denervasi. Contoh-contoh ini dapat membuat kita berpikir, apakah fungsi ruang faring oral yang dibatasi oleh epitel diatur secara trofik.

*Kontrol neurotrofik dari aktivitas genetik:* Kontrol neurotrofik dari aktivitas genetik ditunjukkan pada banyak jaringan dalam kondisi eksperimental: Sintesis protein dalam sel epidermis mulut dan sintesis enzimatis spesifik pada *taste buds* tampaknya diatur secara neurotrofik (Guth 63, Robbin 70).

- a. Handlman and Wills menyarankan kontrol kelenjar ludah melalui serabut saraf otonom.
- b. Saraf yang beregenerasi melakukan kontrol langsung pada sintesis DNA, RNA dan protein dalam jaringan yang beregenerasi (Thornton 70).
- c. Leborvitz dan Singer 70 menemukan bahwa homeogenisitas jaringan saraf memiliki kemampuan untuk mengatur sintesis protein.
- d. Saraf mempengaruhi ekspresi gen dalam sel otot. Meskipun FMH banyak dikenali, terdapat kelemahan besar. Moss tidak dapat menjelaskan dengan jelas proses di mana rangsangan



fungsional dapat diubah menjadi sinyal dan memengaruhi perubahan pada tulang. Dalam rangkaian artikelnya yang berjudul "hipotesis matriks fungsional revisited", Moss mencoba menjelaskan FMH secara lebih rinci dan pada level mikroskopis serta memvalidasi FMH.

### Batasan Hipotesis Matriks Fungsional

Awalnya, FMH hanya memberikan deskripsi kualitatif dari dinamika biologis pertumbuhan sefalik pada tingkat anatomi kasar. Dua kendala penjelasan FMH adalah:

#### 1. Batasan metodologikal

FMH hanya menggunakan pengukuran makroskopik dengan menggunakan mekanika titik dan kerangka referensi arbitrer seperti radiograf sefalometri. Ini hanya mengizinkan deskripsi spesifik metode yang tidak dapat dirinci secara struktural. Kendala ini diatasi dengan menggunakan teknik mekanika kontinum dari metode elemen hingga dan metode elemen makro dan batas terkait. Metode ini menambahkan aspek kuantitatif dari kinematika pertumbuhan sefalik lokal ke deskripsi kualitatif dinamika pertumbuhan sebelumnya.

#### 2. Batasan hirarki

Batasan kedua FMH adalah tidak menjelaskan bagaimana rangsangan rachsional ekstrinsik, epigenetik ditransduksi menjadi sinyal pengaturan pada tingkat seluler, multiseluler atau molekuler. Penjelasan sebelumnya ditangguhkan antara dua

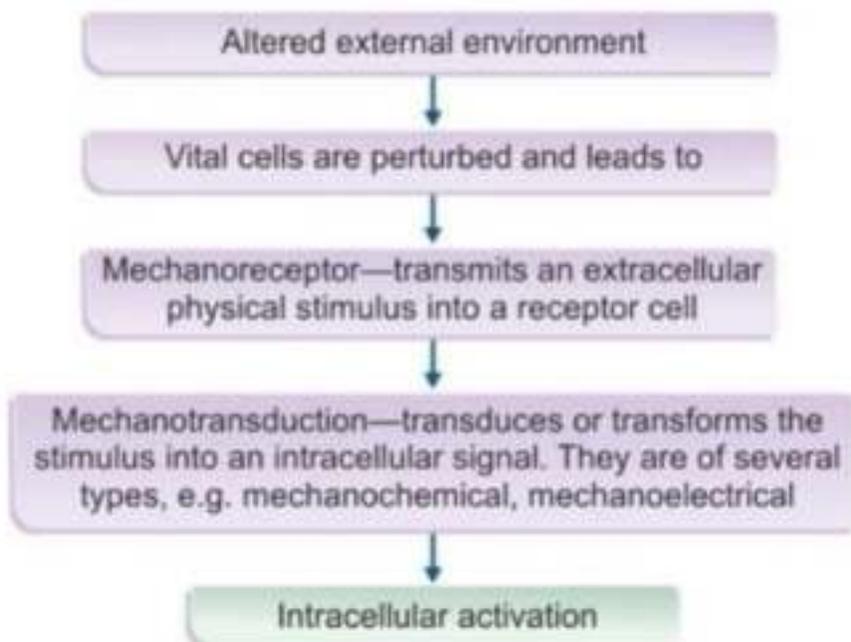


tingkat hierarki ini, yaitu tingkat seluler dan multiseluler atau jaringan. Epigenetik atau jumlah dari semua aspek yang lebih rendah (biofisik, biokimia, genom) tidak dapat menjelaskan atau memprediksi aspek yang lebih tinggi dari jaringan tulang.

Versi baru FMH mencoba menjembatani kesenjangan antara batasan hirarki dan menjelaskan operasi dari genom ke tingkat organ dengan dua konsep:

Mekanotransduksi terjadi dalam sel tunggal.

Sel-sel tulang itu berfungsi secara multiseluler sebagai jaringan seluler yang terhubung.



**Gambar 1.22.** Proses mekanotransduksi

### Mekanotransduksi

Mekanotransduksi adalah proses di mana stimulus mekanis diubah menjadi sinyal biologis untuk memengaruhi respons seluler. Setiap kali ada perubahan di lingkungan luar, sel-sel vital terganggu. *Mechano-sensing* memungkinkan sel untuk merasakan dan merespons rangsangan eksternal dengan menggunakan mekanoresepsi. Setelah sinyal pulih, itu ditransfer ke sinyal intraseluler dengan mekanotransduksi. Proses mekanotransduksi dijelaskan pada Gambar 1.22. Adaptasi tulang memerlukan transmisi sinyal yang ditransduksi intraseluler.

### Mekanotransduksi *Osseous*

Tulang mengalami pembebanan yang konstan, baik statis maupun dinamis. Ini penting untuk homeostasis tulang yang normal. Ketika nilai ambang gaya terlampaui, jaringan yang dimuat merespons rangsangan oleh triad adaptasi sel tulang. Triad tersebut meliputi deposisi dan pemeliharaan tulang serta resorpsi tulang. Baik osteoblas dan osteosit sama-sama kompeten untuk penerimaan dan transduksi stimulus intraseluler.

Mekanotransduksi *osseous* memiliki empat sifat unik:

1. Sel-sel tulang tidak terspesialisasi secara sitologis seperti sel-sel mekanosensorik lainnya.
2. Stimulus pemuatan tulang tunggal membangkitkan tiga respon adaptasi, sedangkan proses non-osseus umumnya membangkitkan satu respon.



3. Transmisi sinyal osseous bersifat aneural; itu tidak melibatkan jalur saraf tidak seperti sinyal mechano-sensorik lainnya.
4. Respon adaptasi dibatasi di dalam tulang individu.

Mekanotransduksi osseus menerjemahkan stimulus fungsional periosteal menjadi sinyal sel unit kerangka dengan dua proses mekanotransduktif seluler kerangka: "ionik" dan "mekanis". Proses ionik atau listrik melibatkan beberapa bentuk transpor ionik melalui membran plasma sel tulang. Proses ionik yang mungkin terjadi termasuk saluran ion yang teraktivasi regangan, kekuatan medan elektro-mekanis, elektrokinetik, dan listrik. Dasar dari proses mekanis adalah konduktivitas fisik integrin molekul transmembran. Molekul ini terhubung secara ekstraseluler dengan kolagen makromolekul dari matriks organik dan secara intraseluler dengan aktin sitoskeletal. Aktin, pada gilirannya, terhubung ke membran inti di mana aksi mekanis menginduksi serangkaian proses intranukleus.

Jadi dengan rantai fisik tingkat molekuler yang saling berhubungan ini, matriks fungsional periosteal dapat mengatur aktivitas genom dari sel-sel tulang unit skeletal.

#### Peran *Osseous Connected Cellular Network (CCN)*

Setelah mekanotransduksi awal, di mana stimulus eksternal diubah menjadi mekanosensasi intraseluler, Moss mencoba menjelaskan transmisi sinyal antarsel melalui hipotesis jaringan seluler yang terhubung.



### Tulang sebagai *Osseous Connected Cellular Network*

Semua tulang secara ekstensif saling berhubungan oleh *gap junction* dan membentuk *osseous connective cellular network*. Osteoklas adalah pengecualian untuk hal ini. *Gap junction* ditemukan di mana membran plasma dari sepasang proses kanalikuli bertemu. Kanalikuli membentuk komunikasi yang luas antara osteon dan daerah interstitial. *Gap junction* juga menghubungkan osteosit superfisial ke osteoblas periosteal dan endosteal. Semua osteoblas juga saling berhubungan secara lateral. Secara vertikal mereka menghubungkan osteoblas periosteal dengan sel-sel preosteoblas dan ini pada gilirannya saling berhubungan. Jadi setiap CCN seperti syncytium sejati dan aktif secara elektrik.

Dikatakan bahwa sel-sel tulang yang diaktifkan secara mekanotransduktif seperti osteosit dapat memulai potensi membran yang ditransmisikan melalui CCN. *Gap junction* yang memungkinkan aliran informasi dua arah adalah dasar sitologis untuk perilaku osilasi CCN. Moss telah menguraikan beberapa komponen CCN berikut:

1. Secara perkembangan, CCN skeletal adalah sistem yang tidak terlatih, terorganisir dengan sendirinya, beradaptasi sendiri dan diatur secara epigenetik.
2. Secara operasional, ini adalah sistem dinamis yang stabil yang menunjukkan perilaku osilasi yang memungkinkan adanya umpan balik.

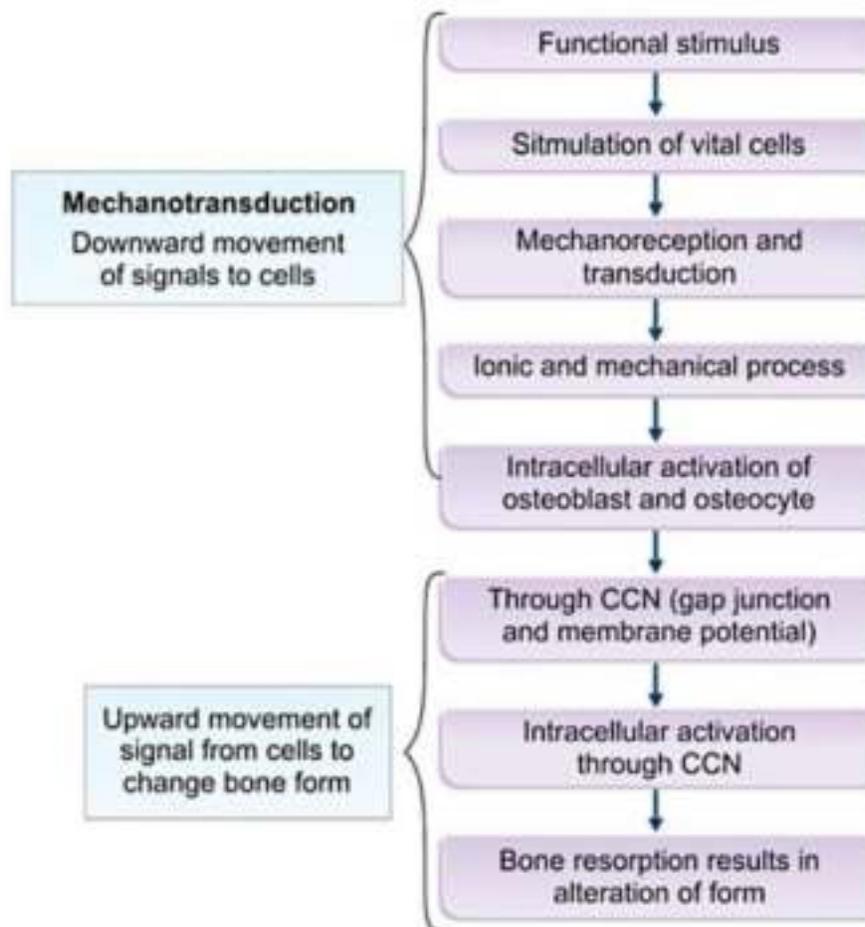


3. Secara struktural, CCN *osseus* adalah non modular, yaitu variasi dalam organisasinya memungkinkan pemrosesan sinyal diferensial secara terpisah. Faktor inilah yang memungkinkan adanya triad respons histologis yang mengikuti peristiwa pemuatan sinyal.
4. Moss juga menyatakan CCN *osseous* berbeda dari aktivasi *messenger*. Jadi, rangsangan fungsional setelah aktivasi interselulernaiklagi secara hirarki melalui tingkat histologis hingga terjadinya perubahan adaptasi bentuk tulang kasar (Gambar 1.23).
5. Moss dalam upaya untuk lebih memvalidasi teori matriks fungsional mempresentasikan dua artikel berjudul: “genomic thesis, epigenetic antitesis dan resolving synthesis”. Definisi berbagai mekanisme yang diberikan oleh Moss dijelaskan di Kotak 3.1.

### Kesimpulan

Moss menyimpulkan dengan mengatakan bahwa faktor genom dan epigenetik diperlukan dan menjadi penyebab yang cukup secara individual. Bersama-sama keduanya memberikan penyebab yang diperlukan dan cukup untuk pengendalian morfogenesis. Tetapi proses dan peristiwa epigenetik adalah penyebab terdekat langsung dari perkembangan dan dengan demikian mereka adalah agen utama.





**Gambar 1.23.** Konversi hirarki dari rangsangan fungsional (Premkumar, 2011)

**Kotak 1.1:** Mekanisme dan proses biologis yang ditentukan oleh Moss.

**Epigenetik:** Hal ini didefinisikan sebagai jumlah dari semua faktor ekstrinsik yang terjadi pada struktur vital termasuk pemuatan mekanis dan keadaan elektroelektrik dan semua peristiwa lingkungan mikro biofisik intrinsik, biomekanik, biokimia dan bioelektrik yang terjadi pada, di, dan di antara sel-sel individu, bahan ekstraseluler, serta sel dan zat ekstraseluler.



**Hirarki:** Struktur biologis diatur secara hirarkis dengan kompleksitas struktural dan fungsional yang meningkat "ke atas" dari, tingkat partikel subatom ke proton, elektron, atom, molekul,

organel subseluler dan keseluruhan jaringan, organ organisme.

**Emergence:** Terdiri dari tampilan, di setiap tingkat yang lebih tinggi dan secara struktural dan / atau operasional lebih kompleks dari atribut atau properti baru yang tidak ada di tingkat yang lebih rendah, yang keberadaan atau fungsinya tidak dapat diprediksi dengan cara apa pun, bahkan dari pengetahuan yang lengkap dari semua atribut dan properti dari salah satu atau semua tingkat organisasi yang lebih rendah sebelumnya.

**Causation:** Berkaitan dengan bagaimana atribut dari tingkat struktural biologis tertentu "menyebabkan" (mengontrol, mengatur, menentukan) atribut dari tingkat yang lebih tinggi berikutnya.

Mereka dapat dikategorikan menjadi intrinsik (material & formal) dan ekstrinsik (efisien). Penyebab material & formal diklasifikasikan sebagai penyebab "sebelumnya" yang berarti sudah ada sebelum penciptaan suatu keadaan atau struktur tertentu. Termasuk dalam kategori intrinsik karena mereka berada dalam struktur vital secara intra dan interseluler. Penyebab yang efisien bersifat langsung, yaitu operasinya segera menyebabkan terciptanya status baru. Penyebab yang efisien bersifat ekstrinsik dan mewakili mekanisme epigenetik.



**Process:** Proses adalah serangkaian kegiatan atau operasi yang mengarah pada hasil tertentu.

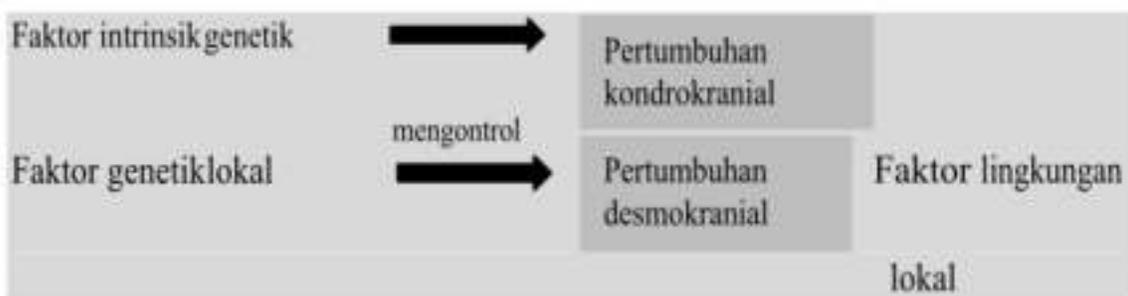
**Mechanism:** Mekanisme adalah proses fisik atau kimia dasar yang terlibat atau bertanggung jawab atas aksi-reaksi atau fenomena alam. Suatu mekanisme merangsang suatu proses.

### 1.5. Teori Kompromi Von Limborgh

Setelah meninjau teori sutura, teori tulang rawan dan teori matriks fungsional, Von Limborgh telah merangkum beberapa poin berikut: (Kotak 1.2.)

- Faktor genetik intrinsik mengontrol pertumbuhan kondrokranial.
- Faktor epigenetik yang berasal dari kartilago tengkorak dan jaringan kepala mengontrol pertumbuhan desmokratianial.
- Faktor lingkungan lokal seperti gaya tegangan dan tekanan mempengaruhi pertumbuhan pertumbuhan desmokratianial.
- Faktor epigenetik umum dan lingkungan umum kurang signifikan pada pertumbuhan kraniofasial.

**Kotak 1.2:** Esensi dari teori Von Limborgh (Premkumar, 2011)



*Teori Pertumbuhan Tulang Kraniofasial setelah Kelahiran*

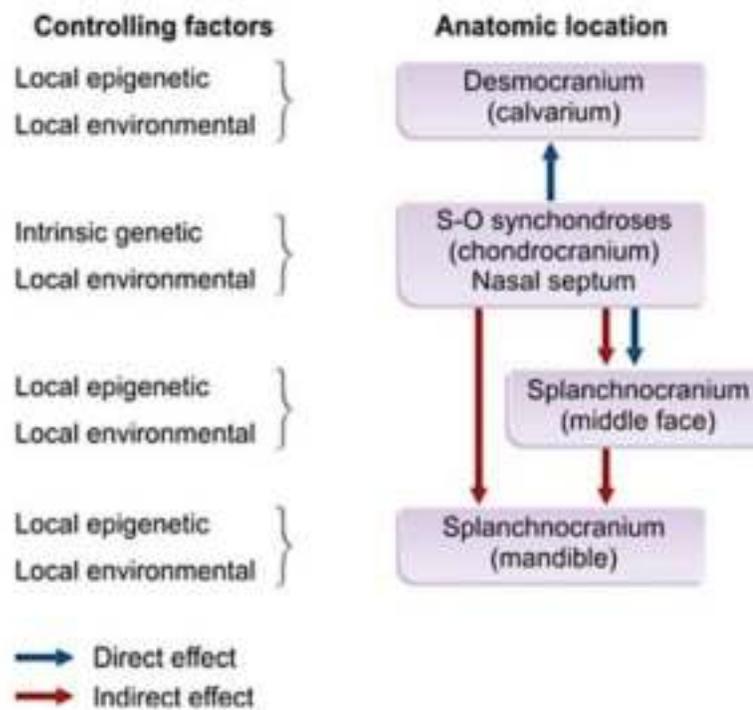
## Teori Komposit Modern

Teori komposit mencoba menjelaskan pertumbuhan maksila dan mandibula. Ini memisahkan kerangka wajah menjadi desmokranium, kondrokranium dan splanknokranium. Kalvarium membentuk desmokranium, dasar tengkorak dan septum hidung sebagai kondrokranium. Bagian wajah tengah dan rahang yang tersisa merupakan splanknokranium (Gambar 1.24).

### Esensi Teori

Kondrokranium dianggap sebagai faktor dominan dalam pertumbuhan kraniofasial. Sisa-sisa postnatal, kartilago basal kranial (terutama *sphenooccipitalsynchondroses*) dan kartilago hidung bertindak sebagai pusat pertumbuhan. Hal ini dipengaruhi oleh faktor genetik intrinsik. Seperti yang ditunjukkan oleh panah biru pada Gambar 1.24 S-O synchondroses memberikan aksi langsung pada desmokranium. Epigenetik lokal (kapsul) dan lingkungan lokal (matriks periosteal) kemudian mengontrol kalvarium. Sutura dianggap hanya sebagai tempat pertumbuhan. Mekanisme tulang rawan lain yang bertanggung jawab untuk pertumbuhan kraniofasial adalah tulang rawan hidung. Pertumbuhan tulang rawan hidung mendorong maksila ke bawah dan ke depan.





**Gambar 1.24.** Pertumbuhan kraniofasial seperti yang dijelaskan oleh teori *Composite* (Premkumar, 2011).

Pertumbuhan mandibula tampaknya dikendalikan oleh faktor epigenetik lokal dan periosteal lokal. Posisi mandibula juga dipengaruhi oleh fleksi dan pertumbuhan dasar tengkorak dengan mengubah postur fossa glenoid (dilambangkan dengan panah merah pada Gambar 1.24). Posisi ventral maksila sehubungan dengan fossa glenoid juga mempengaruhi mandibula dengan memutarinya ke depan atau ke belakang. Oleh karena itu, posisi mandibula dipengaruhi oleh tulang yang berdekatan dengannya.

### **Teori *Servo System*: Alexandre Petrovic**

Petrovic menggunakan bahasa *cybernetic* menjelaskan bahwa pertumbuhan berbagai daerah kraniofasial merupakan hasil interaksi dari serangkaian perubahan kausal dan mekanisme



umpan balik. Berdasarkan serangkaian eksperimen, Petrovic dan rekan kerjanya telah merumuskan model *cybernetic* untuk mengontrol pertumbuhan mandibula.

### Esensi Teori

Menurut teori *servo system*, kontrol kartilago primer (*mid face*) mengambil bentuk *cybernetic* dari "perintah" sedangkan kontrol kartilago sekunder seperti kondilus terdiri dari efek langsung dari peggandaan sel dan juga efek tidak langsung. Secara sederhana, teori *servo system* dicirikan oleh dua faktor utama berikut: (1) Pertumbuhan yang diatur secara hormonal pada bagian tengah permukaan dan dasar kranial anterior, yang memberikan masukan referensi yang terus berubah melalui oklusi, dan (2) Pembatasan laju efek dari pertumbuhan midfasial pada pertumbuhan mandibula. Sementara pertumbuhan kondilus mandibula dan sutura dapat dipengaruhi secara langsung dan tidak langsung oleh hormon sistemik, pertumbuhan struktur ini jelas lebih bersifat kompensasi dan adaptif terhadap aksi faktor ekstrinsik, termasuk fungsi lokal serta pertumbuhan area lain dari kompleks kraniofasial.

### Cybernetics

Teori *servo system* dimulai dengan penjelasan *cybernetics*. Wiener mendefinisikan *cybernetics* sebagai ilmu kontrol dan komunikasi pada hewan dan mesin.



Ashby mendefinisikannya sebagai studi tentang sistem yang terbuka untuk energi tetapi tertutup untuk informasi dan kontrol. Teori *cybernetics* menyatakan bahwa segala sesuatu mempengaruhi segala sesuatu, dan oleh karena itu sistem kehidupan yang terorganisir tidak pernah beroperasi secara *open loop*. *Open loop* adalah jenis mekanisme umpan balik. Jenis umpan balik lainnya adalah mekanisme *closed loop*. Umpan balik menutup regulasi *loop* dari sistem tertentu dengan cara berikut:

Input → Pengukuran efek → Pengembalian informasi yang telah dimodifikasi → Regulasi efek.

Menurut teori *cybernetics*, organisme yang berperilaku tidak dilihat sebagai responden pasif yang dipanggil untuk bertindak oleh rangsangan lingkungan yang berubah tetapi sebagai sistem dinamis yang terus menerus menghasilkan aktivitas intrinsik untuk interaksi yang terorganisir dengan lingkungan.

### Cybernetics pada Pertumbuhan Kraniofasial

*Cybernetics* mendemonstrasikan hubungan antara temuan observasi dan eksperimental. Ini adalah alat untuk lebih memahami masalah klinis dan sifat kompleks morfogenesis kraniofasial. Hubungan hierarki sistem servo ditunjukkan pada Gambar 1.25.

*Black box*: Sistem fisiologis yang diperiksa diwakili oleh kotak hitam. Isi kotak hitam biasanya tidak diketahui.

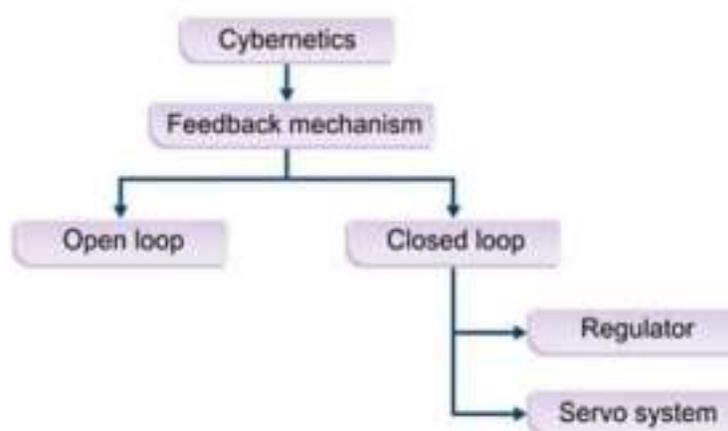


*Sinyal umpan balik:* Adalah fungsi variabel terkontrol yang dibandingkan dengan input referensi. Bersifat negatif dalam sistem regulator dan servo.

*Sistem closed loop:* Jika sistem fisiologis dirancang untuk menjaga korespondensi spesifik antara input dan output, meskipun ada gangguan, hal ini disebut sebagai sistem *closed loop*. Hal ini ditandai dengan adanya *loop* umpan balik dan komparator. *Closed loop* memiliki dua variasi yaitu regulator dan sistem servo. *Sistem open loop* tidak memiliki loop umpan balik atau komparator.

*Regulator:* Input utama adalah aspek konstan dalam sistem ini. Pembanding mendeteksi gangguan dan efeknya. Ini adalah sistem umpan balik negatif: gangguan menyebabkan perubahan yang cenderung mengembalikan keadaan normal sistem yang terganggu ke keadaan awal.

**Gambar 1.25.** Pendekatan konsep *servo system* (Premkumar, 2011).



*Servo system:* Juga disebut sebagai sistem tindak lanjut. Input utama bukan termasuk aspek yang konstan dalam sistem ini, tetapi bervariasi sepanjang waktu.

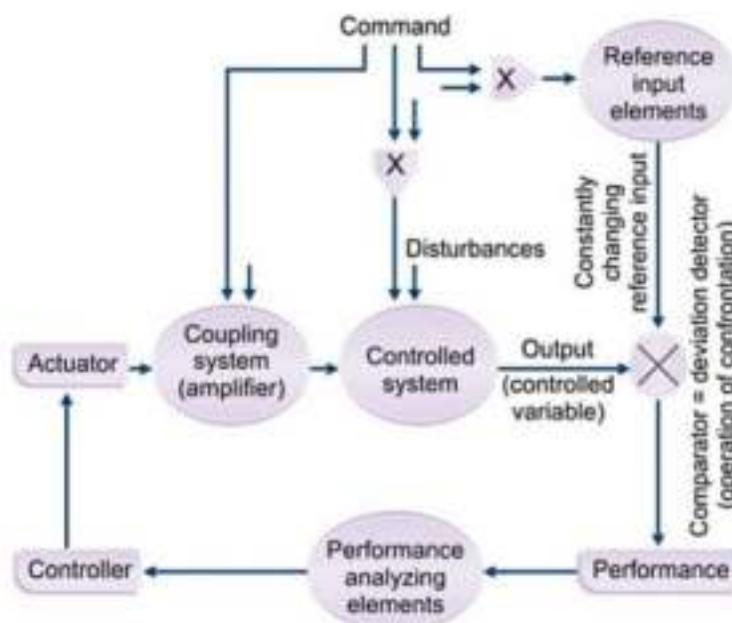


### Elemen Teori Servo System (Gambar 1.26)

- a. *Command* adalah sinyal yang dibuat secara independen dari sistem umpan balik yang diawasi secara sistematis. Hal ini mempengaruhi perilaku sistem yang dikendalikan tanpa dipengaruhi oleh konsekuensi dari perilaku ini. Contoh: Tingkat sekresi hormon pertumbuhan, testosteron, estrogen, dan somatomedin. Mereka tidak dimodulasi oleh variasi pertumbuhan kraniofasial.
- b. *Reference input elements* : Membangun hubungan antara perintah dan masukan referensi. Termasuk tulang rawan septal, ligamen *septo-premaxillary*, otot *labionarinary*, tulang *premaxillary* dan *maxillary*.
- c. *Reference input* adalah sinyal yang ditetapkan sebagai standar perbandingan, mis. posisi sagital maksila. Idealnya, hal ini harus independen dari umpan balik.
- d. *Controller* terletak di antara sinyal deviasi dan sinyal penggerak.
- e. Perbandingan antara posisi rahang atas dan rahang bawah adalah *comparator* dari servo system.
- f. Aktivitas *retrodiscal pad* dan pterigoid lateral merupakan sinyal penggerak. Frenum menisco-temporal dan menisco-mandibular yang elastis dari *condylar disc* membentuk *retrodiscal pad*.
- g. *Controlled system* berada di antara aktuator dan variabel terkontrol, yaitu pertumbuhan tulang rawan condylar melalui stimulasi *retrodiscal pad*.



- e. *Controlled variable* adalah sinyal keluaran dari sistem servo. Contoh terbaik adalah posisi sagital mandibular
- f. Sistem *gain* adalah pengeluaran dibagi dengan pemasukan. Nilai *gain* yang lebih besar dari satu disebut amplifikasi dan jika kurang dari satu disebut atenuasi. Kopling pterygocondylar adalah contoh dari *gain*.
- g. *Disturbance* adalah input selain referensi yang diperlukan disebut gangguan.
- h. *Disturbance* menghasilkan penyimpangan sinyal luaran. Misalnya, peningkatan sekresi hormon menghasilkan pemanjangan mandibula tambahan.
- i. *The attractor* : Keadaan stabil secara struktural terakhir dalam sistem dinamis. Ini termasuk relasi cusp molarklas I.
- j. *The repeller* : Mencakup semua keadaan ekuilibrium yang tidak stabil seperti hubungan oklusal *cusp to cusp*.

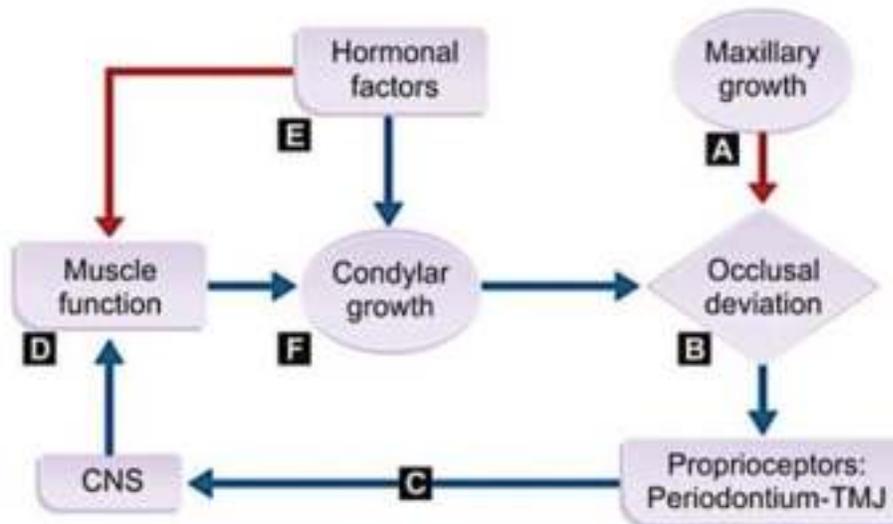


**Gambar 1.26.** Elemen dan organisasi teori *servo system* (Premkumar, 2011).



### Penjelasan teori (Gambar 1.27)

Menurut teori *servo system*, midfasial tumbuh ke bawah dan ke depan di bawah pengaruh utama basis kranial kartilaginosa dan septum hidung, terutama dipengaruhi oleh sifat-sifat intrinsik terkait jaringan sel yang umum untuk semua tulang rawan primer dan dimediasi oleh sistem endokrin. Pengaruh hormon somatotrofik pada pertumbuhan tulang rawan septumhidung, *synchondroses sphenoccipital* dan *synchondroses* lainnya mengikuti bentuk pola perintah *cybernetics*. Terkait dengan kejadian ini, lengkung gigi maksila dibawakeposisi yang sedikit lebih anterior. Hal ini adalah kejadian pertama dan utama.



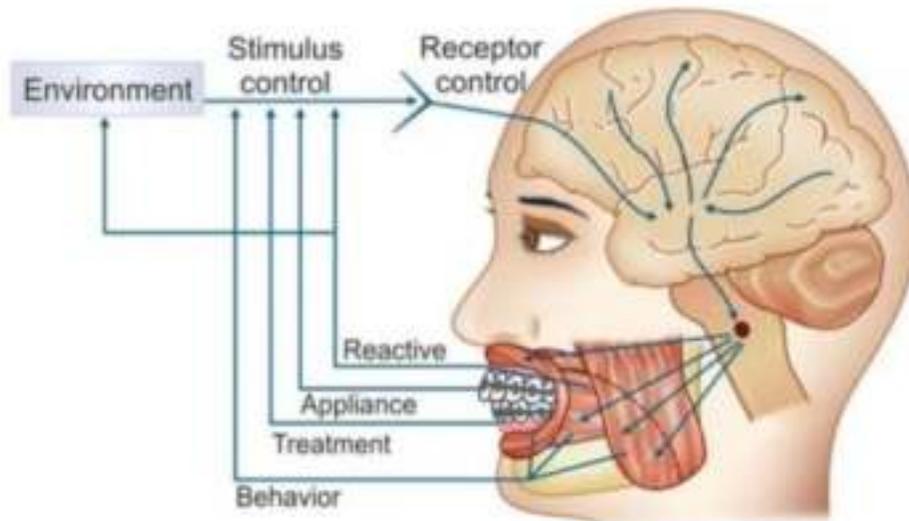
**Gambar 1.27.** Teori *servo system* pertumbuhan kraniofasial, dengan penekanan pada pertumbuhan mandibula. Pertumbuhan anterior midfasial (A) Menghasilkan sedikit deviasi oklusal antara pembentukan gigi maksila dan mandibula (B) Persepsi deviasi oklusal oleh proprioceptor (C) Memicu otot protruder mandibula menjadi lebih aktif secara tonik (D) Dalam rangka untuk memposisikan kembali mandibula ke anterior. Aktivitas otot dan tonjolan dengan adanya faktor hormonal yang sesuai (E) Merangsang pertumbuhan pada kondilus mandibula (F). (Sumber: After David Carlson. *SeminOrthod* 2005;11:172-83)



Hal ini menyebabkan perbedaan kecil antara lengkung gigi atas dan bawah, yang oleh Petrovic disebut sebagai "pemanding", yaitu, titik referensi yang terus berubah antara posisi maksila dan mandibula. Lengkung gigi atas adalah input referensi yang terus berubah. Kedua, proprioceptor dalam regio periodontal dan sendi temporomandibular merasakan bahkan diskrepansi oklusal yang sangat kecil dan secara tonik mengaktifkan otot-otot yang bertanggung jawab atas tonjolan mandibula. Petrovic mengatakan piranti fungsional akan bekerja dengan cara yang sama ketika diberikan untuk merangsang pertumbuhan mandibula pada maloklusi kelas II (Gambar 1.28).

Ketiga, aktivasi otot yang menonjol pada rahang (*retrodiscal pad* dan otot pterigoid lateral) bekerja langsung pada tulang rawan kondilus mandibula dan secara tidak langsung melalui suplai vaskular ke sendi temporomandibula, merangsang kondilus untuk tumbuh. Pertumbuhan tulang rawan sekunder seperti kondilus sesuai dengan faktor lokal dan lingkungan (kontrol Epigenetik). Lengkung rahang bawah merupakan variabel terkontrol.





**Gambar 1.28.** Perpindahan umpan balik yang menyebabkan stimulasi pertumbuhan kondilus (Premkumar, 2011).

17 Akhirnya, efek dari fungsi otot dan daya tanggap tulang rawan condylar dipengaruhi baik secara langsung maupun tidak langsung oleh faktor hormonal yang bekerja terutama pada tulang rawan condylar dan pada otot.

Keseluruhan siklus ini terus menerus diaktifkan sebagai motor servo selama lengkung gigi bagian tengah-atas terus tumbuh dan matang serta faktor ekstrinsik, hormonal, dan fungsional yang sesuai tetap mendukung. Hal ini mempengaruhi sinyal keluaran. Sinyal keluaran adalah posisi sagital akhir dari mandibula. Posisi sagital mandibula bergantung pada modifikasi pertumbuhan kondilus oleh aktivitas *retrodiscal pad* dan stimulasi otot pterigoid lateral.



### Bukti yang berlawanan dengan teori

Goret-Nicaise, Awn (1983), menemukan bahwa reseksi otot pterigoid lateral gagal mengurangi pertumbuhan kondilus.

Whetten dan Johnston (1985) menggunakan model kondilotomi bilateral pada tikus muda untuk menguji sejauh mana traksi otot langsung dapat mengubah laju pertumbuhan kondilus dan menghilangkan otot pterigoid lateral satu sisi. Tidak ditemukan adanya perbedaan dalam pertumbuhan kondilus antara kedua sisi. Das, Myer dan Sicher (1980) menemukan bahwa oklusi tidak terpengaruh dalam studi kondilektomi.

### Kesimpulan

Teori ini mirip dengan hipotesis epifisis kondilus dalam hal pentingnya pertumbuhan tulang rawan kondilus. Hal ini berbeda karena Petrovic mengatakan bahwa pertumbuhan kondilus dapat dimodifikasi secara terapeutik atau sebagai respons terhadap persyaratan fungsional. Kekuatan utama dari teori *servo system* adalah teori ini menyediakan peta jalan untuk penelitian dan eksperimen di masa depan.

### **Hipotesis *Rate Limiting Ratchet* (Johnston)**

Hipotesis *rate limiting ratchet* memandang kondilus sebagai oportunis. Tidak dapat tumbuh saat diberi beban tetapi mampu tumbuh saat tidak diberi beban. Disarankan bahwa kondilus sebenarnya adalah penyearah fungsional, *ratchet* yang



pertumbuhannya merupakan penentu utama dari pergerakan mandibula ke bawah dan ke depan.

Hipotesis ini didasarkan pada temuan bahwa kondilus memiliki kemampuan tetap untuk tumbuh dan tekanan akan menghentikan pertumbuhannya. Yozwiak (1979) mendemonstrasikan bahwa kondilus tidak tumbuh pada saat menghadapi tekanan. Menurut hipotesis *ratchet*, pertumbuhan kondilus dan pertumbuhan mandibula yang dihasilkan bergantung pada pembebasan kondilus dari tekanan. Pembebanan fungsional mengontrol pertumbuhan mandibula sementara pelepasan fungsional merangsang pertumbuhan mandibula. Johnston (1986) mengemukakan bahwa pola pembebanan kondilus adalah satu-satunya sinyal yang diperlukan untuk mengontrol pertumbuhan kondilus. Distraksi mandibula akan membebaskan kondilus dari beban dan dengan demikian memungkinkannya untuk melatih kemampuan intrinsiknya untuk tumbuh. Pertumbuhan ini dengan demikian berfungsi untuk mempertahankan sebagian kecil dari jumlah gangguan mandibula yang melepas kondilus dan menghasilkan pergerakan mandibula ke bawah dan ke depan. Oleh karena itu, kondilus dianggap sebagai *rate limiting ratchet*. Sejumlah pertumbuhan kondilus pada gilirannya akan menjadi permanen, jumlah yang sama dari perpindahan fungsional mandibula dan dengan demikian akan menjadi prasyarat yang diperlukan dan membatasi kecepatan untuk pertumbuhan pergerakan normal.



Oleh karena itu, menurut teori ini, piranti terapeutik apa pun yang meningkatkan intensitas kondilus dibebaskan dari beban, akan diharapkan untuk meningkatkan pertumbuhan kondilus dan akhirnya meningkatkan panjang kondilus. Sebaliknya, setiap piranti yang meningkatkan intensitas pembebanan kondilus diharapkan dapat menurunkan pertumbuhan kondilus dan dengan demikian menghasilkan mandibula yang lebih pendek.

### **Hipotesis Relativitas Pertumbuhan (John C Voudouris 2000)**

Relativitas pertumbuhan mengacu pada pertumbuhan yang relatif terhadap kondilus yang mengalami *displacement* dari fossa yang berpindah secara aktif. John C Voudouris memperkenalkan konsep ini untuk menjelaskan kemungkinan efek peranti fungsional pada kondilus dan pertumbuhan yang dihasilkan.

Landasan utama hipotesis pertumbuhan relativitas adalah:

- *Displacement* kondilus
- Peregangan jaringan viskoelastik nonmuskular
- Transduksi gaya di bawah fibrokartilago fossa glenoid dan kondilus menambah pembentukan tulang baru



### Displacement kondilus

*Displacement* yang terjadi awalnya setelah adanya kemajuan mandibula mempengaruhi lapisan fibrokartilagenosa di fossa glenoid untuk menginduksi pembentukan tulang secara lokal.

### Peregangan viskoelastik

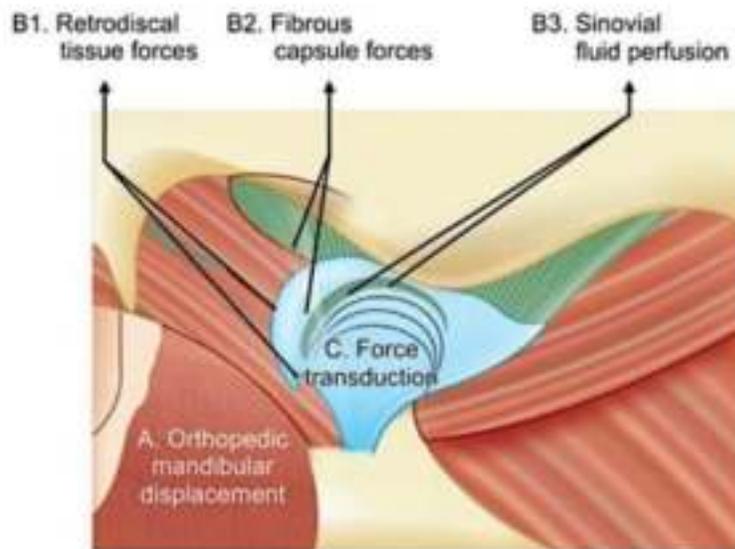
Setelah terjadi *displacement*, diikuti oleh peregangan jaringan viskoelastik nonmuskular. Viskoelastisitas mengacu pada semua jaringan non-kalsifikasi (Gambar 1.29). Viskoelastisitas termasuk viskositas dan aliran cairan sinovial, elastisitas jaringan *retrodiscal*, kapsul fibrous dan jaringan nonmuskular lainnya termasuk LPM, perimysium, tendon dan ligamen TMJ, jaringan lunak dan cairan tubuh lainnya. Karena regangan viskoelastik, nutrisi dan faktor biodinamik lainnya akan masuk ke dalam wilayah tersebut, melalui pembuluh darah yang membesar dari jaringan *retrodiscal* yang membentang dan memberi nutrisi ke fibrokartilago dari kondilus. Perubahan dinamika cairan sinovial juga terjadi.

### Gaya Transduksi dan Pembentukan Tulang Baru

Ini adalah aspek yang paling menarik dimana pembentukan tulang baru terjadi agak jauh dari perlekatan jaringan *retrodiscal* yang sebenarnya di fossa. Fossa glenoid dan kondilus yang mengalami *displacement* dipengaruhi oleh *articular disk*, kapsul fibrous dan sinovium yang berdekatan. Jadi pertumbuhan kondilus



dipengaruhi oleh kekuatan jaringan viskoelastik melalui perlekatan fibrokartilago yang menutupi kepalakondilus.

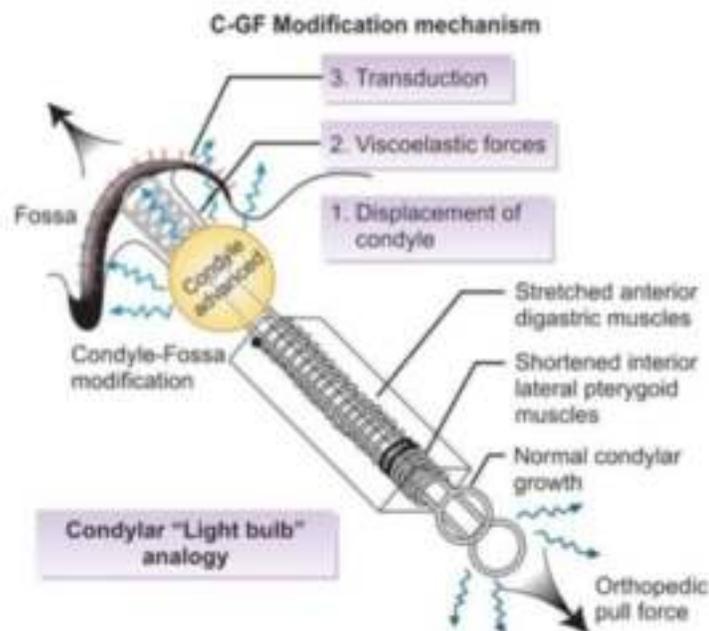


**Gambar 1.29.** Hipotesis pertumbuhan relativitas untuk pertumbuhan fossa kondilus dan glenoid dengan *displacement* ortopedi kontinyu. Tiga faktor yang mempengaruhi modifikasi pertumbuhan: A, *displacement*; B, tarikan jaringan viskoelastik (panah); dan C, transduksi dengan fibrokartilago. Jaringan viskoelastik termasuk B1, pita superior dan inferior dari serat retrodiskal; B2, kapsul fibrous (garis putih halus); dan B3, perfusi cairan sinovial ke arah posterior. Tarikan serabut retrodiskal, kapsul, dan aliran cairan sinovial pada kondilus relatif terhadap fossa glenoid berada pada arah posterosuperior. Kekuatan diterjemahkan ke kondilus dengan perlekatan posterior, anterior, lateral dan medial (kolateral) dari *disk* artikular. (Sumber: *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000; 117: 247-66)

Pengaruh tiga rangsangan pertumbuhan (*Displacement* + viskoelastisitas + gaya transduksi): Modifikasi pertumbuhan terjadi ketiga ada kombinasi ketiga faktor: Modifikasi "pertama" terjadi sebagai akibat dari adanya *displacement* anterior mandibula. "Kedua", kondilus dipengaruhi oleh jaringan viskoelastik posterior yang terletak di antara fosa glenoid dan "ketiga", *displacement* dan viskoelastisitas selanjutnya merangsang



pertumbuhan kondilus normal dengan transduksi gaya di atas tutup fibrokartilago dari kepala kondilus. Voudoris dan Kuftinec membandingkan proses ini dengan analogi bola lampu (Gambar 1.30). Hasilnya, terjadi peningkatan dalam pembentukan tulang baru yang tampak memancar sebagai proses *multidirectional* di bawah kondilus fibrokartilago dan pembentukan tulang *appositional* yang signifikan terlihat di fossa. Hipotesis pertumbuhan relativitas lebih spesifik hanya pada kondilus jika dibandingkan dengan hipotesis matriks fungsional.



**Gambar 1.30.** Analogi bola lampu pertumbuhan dan retensi kondilus. Pada saat kondilus yang tumbuh terus dimajukan, kondilus tersebut menyala seperti bola lampu pada sakelar peredup. Ketika kondilus dilepaskan dari anterior *displacement*, aktivitas otot yang diaktifkan kembali meredupkan bola lampu dan mengembalikannya mendekati aktivitas pertumbuhan normal. Di area kotak, pada area *open coil* bagian atas menunjukkan potensi otot digastrik anterior dan jaringan ikat perimandibular lainnya untuk mengaktifkan kembali dan mengembalikan kondilus kembali ke fossa setelah alat bantu dilepas. *Coil* bagian bawah pada kotak merepresentasikan LPM inferior yang diperpendek. *Open coil* yang terletak di atas bola lampu kondilus kuning mewakili efek dari jaringan retrodiscal yang diregangkan. (Sumber: *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2000;117:247-66)



### Kesimpulan → Rangkuman?

Mengidentifikasi mekanisme pemicu utama pertumbuhan maksila dan mandibula akan membantu ortodontis untuk merangsang atau memperlambat pertumbuhan maksila dan mandibula. Hal ini terbukti akan menjadi kunci keberhasilan perawatan dengan modifikasi pertumbuhan pada maloklusi skeletal.

### Latihan Soal

1. Sebutkan prinsip Teori Genetik.
2. Pada kasus kehilangan septum nasal, hal apakah yang terpengaruh?
3. Sebutkan 2 sistem sutura menurut Scott
4. Jelaskan prinsip dasar *functional matrix hypothesis* atau hipotesis matriks fungsional secara singkat
5. Sebutkan matrix – matrix mandibula.

### DAFTAR PUSTAKA

- 13 Enlow, DH., Hans, MG. 1996. *Essential of Facial Growth*. United states: W.B. Saunders Company.
- K Koski. Cranial growth centers: facts of fallacies?. *Am J Orthod*. 1968 Aug;54(8):566-83. doi: 10.1016/0002-9416(68)90177-2. PMID: 4874446. DOI: 10.1016/0002-9416(68)90177-2
- 2 Klaauw, C.J. van der (1948–52). Size and position of the functional components of the skull; a contribution to the knowledge of the architecture of the skull, based on data in the literature.- *Archives Néerlandaises de Zoologie*.
- 11 Latham RA. Maxillary development and growth: the septo-premaxillary



- ligament. *J Anatomy*. 1970;107(Pt 3):471.
- Latham, RA and W.R. Burston (1966). The postnatal pattern of growth at the sutures of the human skull, *Dent, Practit.*17, 61.
- Melsen B. Histological analysis of the postnatal development of the nasal septum. *Angle Orthod.* 1977 Apr; 47(2): 83-96. doi: 10.1043/00033219(1977)047<0083:HAOTPD>2.0.CO;2. PMID: 266387.
- Mitchell, L., Littlewood, SJ., Nelson-Moon, ZL., Dyer, F. 2013. *An Introduction to Orthodontics*, 4<sup>th</sup> ed. United Kingdom: Oxford University Press.
- Moss ML, Bromberg BE, Song IC, Eisenman G. Passive role of nasal septal cartilage in mid-facial growth. *Plast Reconstr Surg*. 1968;41:536-542.
- Moss ML, Salentijn L. Differences between the functional matrices in anterior open bite and deep over bite. *Am J*
- Moss ML, Young R. A functional approach to craniology. *Am J Phys Anthropol* 1960;18:281-92.
- Moss ML. A functional analysis of human mandibular growth. *Am J Prosthet Dent* 1960;10:1149-60. *Orthod.* 1971;60:264-79.
- Premkumar, S. 2011. *Textbook of Craniofacial Growth*. 1<sup>st</sup> ed. New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers (P) Ltd.
- Premkumar, S. 2011. *Textbook of Craniofacial Growth*. 1<sup>st</sup> ed. New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers (P) Ltd.
- Pritchard J J, Scott J H, Girgi S F G. The Structure And Development Of Cranial And Facial Sutures. *J Anat* 1956 Jan;90(1):73-86. PMID: 13295153, PMCID: PMC1244823
- Proffit, WR., Fields, HW., and Sarver, DM. 2019. *Contemporary Orthodontics*. 6<sup>th</sup> ed. Philadelphia: Elsevier Inc.
- Scott JH. The Doctrine Of Functional Matrices. *AJO* 1969;56:38-44.
- Singh, Gurkeerat. 2015. *Textbook of Orthodontics*. 3<sup>rd</sup> ed. New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publisher (P) Ltd.
- Stenström SJ, Thilander BL. Effects of nasal septal cartilage resections on young guinea pigs. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 1970; 45:160-170. [PubMed: 5411897]





# BIOGRAFI

**I Gusti Aju Wahyu Ardani** lulus **Pendidikan Dokter Gigi** dari Universitas Airlangga tahun 1987. Mempunyai kesempatan pada tahun 1990 sampai 1992 mengikuti suami tugas

belajar di Jerman dan mendapatkan beasiswa DAAD (*Deutscher Akademischer Austauschdienst*) untuk mengambil *clinical training* selama dua tahun di “**Eberhard Karls University of Tübingen**”. Selama di Jerman mempunyai kesempatan untuk melihat dan belajar pertumbuhan perkembangan dentokraniofasial, bahkan diberi kesempatan untuk mengerjakan pasien yang memerlukan perawatan ortodontik dan ortopedik dengan peranti fungsional dan *facemask*.

Tahun 2001 menyelesaikan **Pendidikan Magister Ilmu Kesehatan Gigi** di Pasca Sarjana Universitas Airlangga. Pada tahun yang sama melanjutkan **Pendidikan Doktorat Ilmu Kedokteran** juga di Pasca Sarjana Universitas Airlangga diselesaikan pada tahun 2005. Kemudian tahun 2005 beliau menyelesaikan **Pendidikan Spesialis Ortodonti** di Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Airlangga dan pada tahun 2017 memperoleh gelar konsultan.

Di Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Airlangga beliau mengajar bidang ilmu Ortodonti yaitu pertumbuhan dentokraniofasial dan penyimpangannya; analisis sefalometri sebagai pemeriksaan penunjang dalam menentukan diagnostik dan cara menentukan diagnostik maloklusi dentokraniofasial (melibatkan dental, skeletal, dan wajah); teknik perawatan ortodonti melalui modifikasi pertumbuhan (misalnya: *Facemask* dan fungsional); teknik perawatan dan biomekanik pergerakan gigi; serta indikasi dan cara penggunaan *Temporary Anchorage Device* (TAD).

Selain aktivitas **mengajar**, beliau juga melakukan berbagai **penelitian** dan **pengabdian masyarakat**. Dimana ketiga kegiatan akademik yang telah ditekuni merupakan kegiatan yang berkesinambungan sebagai upaya preventif, interseptif dan kuratif terjadinya maloklusi dentokraniofasial.

**Kegiatan-kegiatan akademik tersebut telah menghasilkan: Buku modul pertumbuhan dentokraniofasial untuk guru, orang tua, dan murid sekolah dasar; dan berbagai artikel ilmiah yang telah dipublikasi baik tingkat nasional maupun internasional berindeks Scopus.**



# Teori Pertumbuhan Tulang Kraniofasial

## ORIGINALITY REPORT

4%

SIMILARITY INDEX

4%

INTERNET SOURCES

3%

PUBLICATIONS

1%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1

[www.scribd.com](http://www.scribd.com)

Internet Source

1%

2

[repositorio.uam.es](http://repositorio.uam.es)

Internet Source

<1%

3

[es.scribd.com](http://es.scribd.com)

Internet Source

<1%

4

Gokcenur Gokce, Ilknur Veli, Yilmaz Kemal Yuce, Yalcin Isler. "Efficiency evaluation of rapid maxillary expansion treatment on nasal septal deviation using tortuosity ratio from cone-beam computer tomography images", Computer Methods and Programs in Biomedicine, 2020

Publication

<1%

5

Submitted to Cardiff University

Student Paper

<1%

6

[repositorio.unesp.br](http://repositorio.unesp.br)

Internet Source

<1%

7

[ir.uiowa.edu](http://ir.uiowa.edu)

Internet Source

<1%

8

[core.ac.uk](http://core.ac.uk)

Internet Source

<1%

9

[osteodoc.com](http://osteodoc.com)

Internet Source

<1%

10

Submitted to University of College Cork

Student Paper

<1%

11

Internet Source

<1%

12

[staff.aub.edu.lb](http://staff.aub.edu.lb)

Internet Source

<1%

13

[www.yumpu.com](http://www.yumpu.com)

Internet Source

<1%

14

[repositorij.unizg.hr](http://repositorij.unizg.hr)

Internet Source

<1%

15

[repositorio.ucp.pt](http://repositorio.ucp.pt)

Internet Source

<1%

16

[repository.unair.ac.id](http://repository.unair.ac.id)

Internet Source

<1%

17

[moam.info](http://moam.info)

Internet Source

<1%

18

[id.scribd.com](http://id.scribd.com)

Internet Source

<1%

Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography Off

# Teori Pertumbuhan Tulang Kraniofasial

## GRADEMARK REPORT

FINAL GRADE

**/0**

GENERAL COMMENTS

**Instructor**

PAGE 1

PAGE 2

PAGE 3

PAGE 4

PAGE 5

PAGE 6

PAGE 7

PAGE 8

PAGE 9

PAGE 10

PAGE 11

PAGE 12

PAGE 13

PAGE 14

PAGE 15

PAGE 16

PAGE 17

PAGE 18

PAGE 19

PAGE 20

PAGE 21

PAGE 22

PAGE 23

PAGE 24

PAGE 25

PAGE 26

PAGE 27

PAGE 28

---

PAGE 29

---

PAGE 30

---

PAGE 31

---

PAGE 32

---

PAGE 33

---

PAGE 34

---

PAGE 35

---

PAGE 36

---

PAGE 37

---

PAGE 38

---

PAGE 39

---

PAGE 40

---

PAGE 41

---

PAGE 42

---

PAGE 43

---

PAGE 44

---

PAGE 45

---

PAGE 46

---

PAGE 47

---

PAGE 48

---

PAGE 49

---

PAGE 50

---

PAGE 51

---

PAGE 52

---

PAGE 53

---

PAGE 54

---

PAGE 55

---

PAGE 56

---

PAGE 57

---

PAGE 58

---

PAGE 59

---

PAGE 60

---

PAGE 61

---

PAGE 62

---

PAGE 63

---

PAGE 64

---

PAGE 65

---

PAGE 66

---

PAGE 67

---

PAGE 68

---

PAGE 69

---

PAGE 70

---

PAGE 71

---

PAGE 72

---

PAGE 73

---

PAGE 74

---

PAGE 75

---

PAGE 76

---

PAGE 77

---

PAGE 78

---

PAGE 79

---

PAGE 80

---