

**PENGARUH PEMAKAIAN SPLINT STABILISASI
PADA PASIEN *DISC DISPLACEMENT WITHOUT REDUCTION*
TERHADAP POLA DISTRIBUSI TEKANAN PADA DISKUS
TEMPOROMANDIBULAR MENGGUNAKAN
FINITE ELEMENT ANALYSIS :
SEBUAH PENELITIAN PENDAHULUAN**

TESIS



OLEH:

EKA FIBRIANTI

J015 202 008

**PROGRAM PENDIDIKAN DOKTER GIGI SPESIALIS
PROGRAM STUDI PROSTODONSIA
FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

**PENGARUH PEMAKAIAN SPLINT STABILISASI
PADA PASIEN *DISC DISPLACEMENT WITHOUT REDUCTION*
TERHADAP POLA DISTRIBUSI TEKANAN PADA DISKUS
TEMPOROMANDIBULAR MENGGUNAKAN
FINITE ELEMENT ANALYSIS :
SEBUAH PENELITIAN PENDAHULUAN**

TESIS

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Profesi Spesialis-I dalam Bidang Ilmu Prostodontia
pada Program Pendidikan Dokter Gigi Spesialis Fakultas
Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin

OLEH:

EKA FIBRIANTI

NIM. J015202008

PEMBIMBING:

drg. ACING HABIBIE MUDE, Ph.D., Sp.Pro., Subsp. OGST(K)

drg. VINSENSIA LAUNARDO, Sp.Pro., Subsp. MFP(K)

**PENGARUH PEMAKAIAN SPLINT STABILISASI PADA
PASIE*N* DISC DISPLACEMENT WITHOUT REDUCTION
TERHADAP POLA DISTRIBUSI TEKANAN PADA DISKUS
TEMPOROMANDIBULAR MENGGUNAKAN
FINITE ELEMENT ANALYSIS :
SEBUAH PENELITIAN PENDAHULUAN**

OLEH:

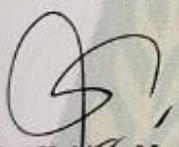
EKA FIBRIANTI

NIM. J015202008

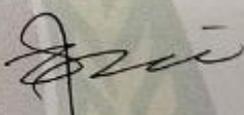
Setelah membaca tesis ini dengan seksama, menurut pertimbangan kami,
Tesis ini telah memenuhi persyaratan ilmiah

Makassar, November 2023

Pembimbing I


drg. Acing Habibie Mude, Ph.D.,
Sp.Prof., Subsp. OGSTK(K)
NIP. 19810207 200812 1 002

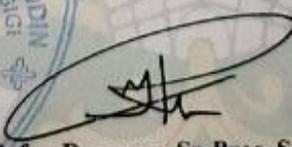
Pembimbing II


drg. Vinsensia Lanardo,
Sp.Prof., Subsp. MFP(K)
NIP. 19770814 200212 2 001

Mengetahui,

Ketua Program Studi (KPS)
PPDGS Prostodonsia FKG UNHAS




drg. Irfan Dammar, Sp.Prof., Subsp. MFP(K)
NIP. 19770630 200904 1 003

PENGESAHAN UJIAN TESIS

PENGARUH PEMAKAIAN SPLINT STABILISASI PADA
PASIEN *DISC DISPLACEMENT WITHOUT REDUCTION*
TERHADAP POLA DISTRIBUSI TEKANAN PADA DISKUS
TEMPOROMANDIBULAR MENGGUNAKAN
FINITE ELEMENT ANALYSIS :
SEBUAH PENELITIAN PENDAHULUAN

Diajukan Oleh:

EKA FIBRIANTI

NIM. J015202008

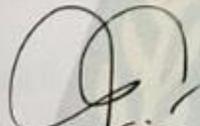
Setelah membaca tesis ini dengan seksama, menurut pertimbangan kami,

Tesis ini telah memenuhi persyaratan ilmiah

Telah disetujui:

Makassar, November 2023

Pembimbing I,

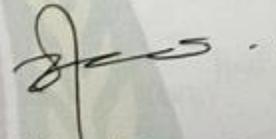


drg. Acing Halhbie Mude, Ph.D.,

Sp.Pro., Subsp. OGSTK(K)

NIP. 19810207 200812 1 002

Pembimbing II,



drg. Vinsensia Launardo

Sp.Pro., Subsp. MFP(K)

NIP. 19770814 200212 2 001

Ketua Program Studi (KPS)
PPDGS Prosthodontia FKG UNHAS


drg. Irfan Dammar, Sp.Pro., Subsp. MFP(K)
NIP. 19770630 200904 1 003

Dekan Fakultas Kedokteran Gigi
Universitas Hasanuddin


drg. Irfan Sugianto, M.Med.Ed., Ph.D
NIP. 19810215 200801 1 009

TESIS

PENGARUH PEMAKAIAN SPLINT STABILISASI PADA PASIEN *DISC DISPLACEMENT WITHOUT REDUCTION* TERHADAP POLA DISTRIBUSI TEKANAN PADA DISKUS TEMPOROMANDIBULAR MENGGUNAKAN *FINITE ELEMENT ANALYSIS* : SEBUAH PENELITIAN PENDAHULUAN

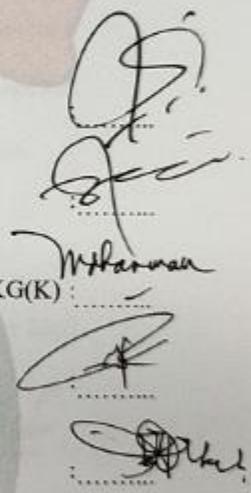
OLEH:

EKA FIBRIANTI

NIM. J015202008

Telah Disetujui:
Makassar, November 2023

1. Penguji I: drg. Acing Habibie Mude, Ph.D., Sp.Pro., Subsp. OGSTK(K)
2. Penguji II: drg. Vinsensia Launardo, Sp.Pro., Subsp. MFP(K)
3. Penguji III: Prof. drg. Moh. Dharma Utama, Ph.D., Sp.Pro., Subsp. PKIKG(K)
4. Penguji IV: drg. Irfan Dammar, Sp. Pros., Subsp. MFP(K)
5. Penguji V: Dr. drg. Ike Damayanti Habar, Sp. Pros., Subsp. PKIKG(K)



Mengetahui,

Ketua Program Studi (KPS)
PPDGS Prostodonsia FKG UNHAS



drg. Irfan Dammar, Sp.Pro., Subsp. MFP(K)

NIP. 19770630 200904 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Eka Fibrianti

NIM : J015202008

Program Studi : Pendidikan Dokter Gigi Spesialis Prostodonsia Fakultas
Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa karya tulis akhir yang saya buat ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, dan bukan merupakan pengambilan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan karya tulis ini merupakan hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, November 2023



Eka Fibrianti

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirahiim.

Alhamdulillah Rabbil ‘Alamiin, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu Wata’ala atas rahmat dan ridho-Nya, sholawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad Sallallahu ‘Alaihi Wasallam, tiada daya dan kekuatan melainkan dengan izin Allah sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“Pengaruh Pemakaian Splint Stabilisasi Pada Pasien *Disc Displacement Wihout Reduction* Terhadap Pola Distribusi Tekanan Pada Diskus Temporomandibular Menggunakan *Finite Element Analysis* : Sebuah Penelitian Pendahuluan”**.

Penulisan tesis ini bertujuan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Spesialis Prostodonsia-1 di Program Studi Dokter Gigi Spesialis Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin. Tesis ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan peneliti lainnya untuk menambah pengetahuan dalam bidang ilmu kedokteran gigi maupun Masyarakat umum lainnya.

Penyelesaian penelitian dan penyusunan tesis ini penulis menghadapi berbagai hambatan namun berkat bantuan, bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak sehingga akhirnya penulisan tesis ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Terima kasih sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada pembimbing tesis :

1. **drg. Acing Habibie Mude, Ph.D.,Sp.Pros.,Subsp.OGST(K)** dan **drg. Vinsensia Launardo, Sp.Pros.,Subsp.MFP(K)** yang telah meluangkan

waktu untuk memberikan bimbingan, saran, serta ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama penelitian dan penyusunan tesis ini.

2. **Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Hasanuddin** selaku pemberi bantuan biaya penelitian.
3. **Kementrian Kesehatan Republik Indonesia** selaku pemberi beasiswa PPDGS.
4. **Instalasi Radiologi RS Wahidin Sudirohusodo dan Instalasi Radiologi RSGMP Unhas** yang telah membantu hingga penelitian ini dapat terlaksana.
5. **drg. Fadlil Ulum A.R, Sp.RKG.,Subsp.R.P(K)** selaku dosen PPDGS Radiologi Kedokteran Gigi FKG Unhas atas bantuan dan dukungannya selama pelaksanaan penelitian.
6. **drg. Thalib Rifki Samdany Abdullah Syeban Attamimi** yang telah membantu dalam pembuatan model 3D dan **Muh. Ma'ruf R. Jahuddin, S.T.,MT** selaku operator Finite Element Analysis software yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian ini.
7. Residen Radiologi Kedokteran Gigi terkhusus **drg. Nur Asmy Nisrina, drg. Rakhmat Putra Guru Arnawan** dan **drg. Andi Fatahuddin** yang telah membantu selama pelaksanaan penelitian.
8. **drg. Abdullah H Lasari** dan **dentAlgoritma** yang telah memberi masukan ide dan bantuan sejak awal penelitian.
9. **drg. Irfan Dammar, Sp.Pros.,Subsp.MFP (K)** selaku Ketua Program Studi (KPS) Program Pendidikan Dokter Gigi Spesialis yang telah meluangkan

waktu, tenaga dan pikiran serta memberikan dukungan kepada penulis dalam menyelesaikan Pendidikan spesialis dibidang Prostodonsia.

10. **drg. Eri Hendra Jubhari, M.Kes, Sp.Pros.,Subsp.PKIKG(K)** selaku Penasehat Akademik yang senantiasa memberikan dukungan dan motivasi demi kelancaran penyelesaian pendidikan pada program Pendidikan Dokter Gigi Spesialis Prostodonsia.

11. **Prof. Moh. Dharmautama, drg.,Ph.D.,Sp.Pros.,Subsp.PKIKG(K)**

Prof.Dr. Edy Machmud, drg.,Sp.Pros.,Subsp.OGST(K)

Prof.Dr. Bahrudin Thalib, drg.,M.Kes.,Sp.Pros.,Subsp.PKIKG(K)

Dr. drg. Ike Damayanti Habar, Sp.Pros.,Subsp.PKIKG(K)

drg. Rahmat,Sp.Pros

drg. Muhammad Iqbal, drg.,Ph.D.,Sp.Pros.Subsp.PKIKG(K)

drg. Rifaat Nurrahma, drg., Sp.Pros.,Subsp.MFP(K)

selaku dosen PPDGS Prostodonsia FKG Unhas yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, arahan dan bimbingan selama studi perkuliahan, pengerjaan kasus klinik dan tahapan penelitian sehingga sehingga karya ilmiah ini dapat terselesaikan dan menjadi lebih baik.

12. **Staf akademik dan Staf Tata Usaha FKG Unhas**, terkhusus **Bu Bia** dan **Pak Madjid** atas segala bantuan selama penulis menyelesaikan penelitian.

13. Suami terkasih **Agussalim Muin, ST** atas dukungan moril dan materil, kasih sayang dan pengertian tanpa syarat sehingga penulis bisa menyelesaikan proses penelitian dan penyusunan tesis ini dengan baik.

14. Orangtua tersayang **Murni Ahmad Pelawa dan Drs. Subirman Baharuddin Ali, M.Si Rahimahullah** atas segala do'a, usaha, kasih sayang serta motivasi yang diberikan dan untuk anak-anak tercinta **Auzaie Faid Wafi, Auliya Hana Faiqa, Amar Syafiq Al-Fatih dan Amira Qonita Azzahra** untuk untuk cinta kasih dan kesabarannya.
15. Saudari-saudariku tersayang **Gita Haryanti S.Si.,Apt, Deska Bayu Mukti S.Pd,** dan **Citra Ayi Safitri S.Psi.,M.Psi.,Psikolog** yang senantiasa memberikan semangat, do'a dan dukungan selama penulis menyelesaikan pendidikan.
16. Teman-teman seperjuangan **Angkatan 14, drg. Astri Al Hutami Aziz, drg. Muthia Mutmainnah Bachtiar, drg. Nurimah Wahyuni, drg. Risnawati, drg. Ainun Bazira, drg. Ludfia Ulfah, drg. Iswanto Sabirin, drg. Probo Damoro Putro, drg. Akzani Takwin** yang selalu kebersamai dan memberi semangat serta bantuan selama penulis menempuh pendidikan.
17. Teman-teman residen prostodonsia Unhas terkhusus **drg. Hastinawaty, drg. drg. Muhammad Rifaldi H, drg. Flaviyani Bria dan drg. St. Rakhmawati A** atas banyak bantuan yang diberikan selama penulis menyelesaikan penelitian dan penyusunan tesis serta **Angkatan 18 dan 19** yang telah membantu dari seminar proposal hingga seminar hasil.
18. Senior-senior Angkatan 11, 12 dan 13 terkhusus **drg. Ian Afifah Sudarman, Sp.Pros, drg. Nashrudin Haleke, Sp.Pros, drg. Riskani Djafri, Sp.Pros, drg. Mariska Djuanita, Sp.Pros dan drg. Nur Inriani Sp.Pros** atas bantuan, arahan dan bimbingannya selama penulis menempuh pendidikan.

19. Kepada seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas bantuan dalam segala hal selama penyusunan tesis ini, semoga Rahmat Allah tercurah pada kita semua.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih memiliki banyak kekurangan, oleh karena itu penulis senantiasa menerima kritik dan saran yang diberikan oleh pembaca. Akhir kata, semoga tesis ini dapat menjadi berkah dan bermanfaat bagi kita semua serta untuk pengembangan ilmu kedokteran gigi kedepannya.

Makassar, November 2023

Eka Fibrianti

DAFTAR ISI

BAB I.....	21
PENDAHULUAN.....	21
1.1 Latar Belakang.....	21
1.2 Rumusan Masalah.....	25
1.3 Tujuan Penelitian.....	25
1.4 Manfaat Penelitian.....	26
BAB II.....	27
TINJAUAN PUSTAKA.....	27
2.1 Sendi Rahang / Temporomandibular Joint (TMJ).....	27
2.2. Gangguan Sendi Rahang / Temporomandibular Disorder (TMD).....	34
BAB III.....	57
KERANGKA TEORI, KERANGKA KONSEP DAN HIPOTESIS.....	57
3.1 Kerangka Teori.....	57
3.2 Kerangka Konsep.....	58
3.3 Hipotesis.....	58
BAB IV.....	59
METODOLOGI PENELITIAN.....	59
4.1 Jenis Penelitian.....	59
4.2 Rancangan Penelitian.....	59
4.3 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	59
4.4 Kriteria Inklusi dan Eksklusi.....	59

4.5 Variabel Penelitian	60
4.6 Definisi Operasional	60
4.7 Alat dan Bahan	60
4.8 Prosedur Penelitian	61
4.9 Alur Penelitian	78
BAB V	79
HASIL PENELITIAN	79
5.1 Pemeriksaan MRI pre-tes, post-tes dan skala nyeri (VAS).....	79
5.2 Finite Element Analysis	80
BAB VI	88
PEMBAHASAN	88
BAB VII	93
PENUTUP	93
7. 1. Simpulan	93
7. 2. Saran	93

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan aktivitas fungsional dan parafungsional	39
Tabel 4.2 Komponen model 3D	70
Tabel 4.3 Karakteristik dan konstanta material komponen	72
Tabel 5.4 Sumbu Cartesian	81
Tabel 3.5 Perbandingan rahang pre dan prediksi	83
Tabel 5.6 Tekanan maksimum dalam satuan Mpa	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Anatomi sendi temporomandibular	28
Gambar 2.2 Diskus artikularis, fossa dan kondil dalam pandangan lateral.....	28
Gambar 2.3 Gerakan fungsional normal kondil dan diskus selama pembukaan mulut maksimal dan penutupan.	33
Gambar 2.4 Klasifikasi bentuk kondil	47
Gambar 2.5 Perpindahan Diskus Tanpa Reduksi.	47
Gambar 2.6 Perpindahan diskus Tanpa reduksi (DDWoR).....	48
Gambar 2.7 Derajat keparahan pergeseran diskus ke anterior menurut Takahara	
Gambar 2.8 Bagan Klasifikasi Splint menurut Dawson.....	52
Gambar 2.9 A. Splint stabilisasi B.....	53
Gambar 4.1 DC-TMD Diagnostic Decision Tree Kesalahan! Bookmark tidak ditentukan.	
Gambar 4.2 Ilustrasi cacat pada model 3D.....	66
Gambar 4.3 (a) Model awal (b) model setelah pengurangan elemen (c) perbandingan perubahan detail komponen sebelum dan sesudah pengurangan elemen.....	67
Gambar 4.4 Ilustrasi komponen (a) surface body (b) solid body	68
Gambar 4.5 Import komponen TMJ ke dalam Abaqus	69
Gambar 4.6 (a) Fungsi penyatuan permukaan pada Abaqus dan (b) hasil penyatuan permukaan pada komponen.	71
Gambar 4.7 Susunan komponen analisis TMJ	73
Gambar 4.8 (a) Titik referensi eminensia dan (b) titik referensi kondil	75
Gambar 4.9 Pasangan interaksi pada komponen TMJ.....	75
Gambar 4.10 Pengaturan jenis mesh dan ukuran mesh pada komponen TMJ	76
Gambar 4.11 Visualisasi hasil simulasi.....	77
Gambar 5.1 Gambaran MRI pre-test dalam arah sagital	79
Gambar 5.2 Gambaran MRI post-test, dalam arah sagital.....	79
Gambar 5.3 Grafik pemeriksaan skala nyeri menggunakan VAS.....	80

Gambar 5.4 Tampilan utuh hasil scan MRI dalam format STEP	80
Gambar 5.5 Posisi kondil, eminensia dan diskus pada (a) sisi kanan (b) sisi kiri ...	81
Gambar 5.6 Pendefinisian biomekanika berdasarkan gerakan buka tutup mulut sampel.....	82
Gambar 5.7 Kontur tegangan pada diskus akibat pergerakan kondil (a) kiri (b) kanan	82
Gambar 5.8 Pendefinisian biomekanika untuk prediksi keberhasilan perawatan.	83
Gambar 5.9 Kontur tegangan pada diskus akibat pergerakan kondil	84
Gambar 5.10 Pendefinisian biomekanika simulasi post-tes (PT).	84
Gambar 5.11 Kontur tegangan pada diskus akibat pergerakan kondil	85
Gambar 5.12 Grafik perbandingan tekanan pre, prediksi dan post-treatment.....	86
Gambar 5.13 Grafik perbandingan penyerapan tekanan pre-tes, prediksi dan post-tes	86
Gambar 5.14 Perbandingan pola distribusi tekanan kondil terhadap diskus	87
Gambar 5.15 Perbandingan pemerataan distribusi tekanan kondil terhadap diskus (a) pre-tes (b) post-tes.....	87

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

Istilah/Singkatan	Kepanjangan/Pengertian
TMJ	Temporomandibular Joint
TMD	Temporomandibular Disorder
AB	Anterior Border diskus
IZ	Intermediate Zone diskus
PB	Posterior Border diskus
CBCT	Cone Beam Computed Tomography
MRI	Magnetic Resonance Imaging
DDWR	Disc Displacement With Reduction
ICL	Intermittent Closed Lock
DDWoR	Disc Displacement Without Reduction
SS	Splint Stabilisasi
FEM	Finite Element Method
FEA	Finite Element Analysis
2D	Dua Dimensi
3D	Tiga Dimensi
RPD	Removable Partial Denture
FOV	Field Of View/Lapangan pandang

NEX	Number Of Exitation/Parameter MRI
Istilah/Singkatan	Kepanjangan/Pengertian
STL	Standard Tesselation Language
STEP	Standard For The Exchange Of Product Data

Abstrak

Pendahuluan : Tanda dan gejala klinis TMD terjadi pada otot dan sendi rahang adalah nyeri dan disfungsi yang mempengaruhi kualitas hidup pasien jika tidak dilakukan perawatan. Distribusi tekanan pada diskus yang tidak seimbang dan berlebih karena gerakan biomekanik yang terus-menerus akan mengakibatkan gangguan sendi intra artikular. Tekanan berlebih pada sendi dalam jangka panjang akan mengakibatkan perubahan posisi dan anatomi diskus menjadi tidak normal. Gangguan sendi yang terjadi dapat berupa *disc displacement without reduction* yang terjadi ketika diskus berada pada posisi anterior kondil dan ligamen telah memanjang sehingga menyebabkan diskus tidak dapat kembali ke posisi normal ketika rahang ditutup. Diagnosa ini dapat ditentukan secara akurat dengan pemeriksaan radiografi *Magnetic Resonance Imaging* (MRI). Terapi yang umumnya diberikan pada pasien dengan gangguan sendi yaitu splint stabilisasi (SS) berupa pelat oklusal datar yang terbuat dari bahan akrilik keras atau polikarbonat. SS dirancang untuk meningkatkan stabilitas oklusal dan menurunkan ketegangan otot sehingga dapat mengurangi nyeri. Penelitian biomekanik konvensional memiliki kekurangan seperti non-repeatability dan sulit untuk membandingkan distribusi tekanan yang berbeda. Namun dengan penggunaan software Finite Element Analysis (FEA), kekurangan ini dapat diatasi.

Tujuan : Menganalisis pengaruh penggunaan SS terhadap tekanan dan pola distribusi tekanan kondil terhadap diskus pada pasien dengan *disc displacement without reduction*.

Metode : Penelitian ini adalah penelitian klinis observasional pre-tes post-tes. Subyek penelitian adalah pasien dengan diagnosa DDWoR dan diterapi menggunakan splin stabilisasi selama tiga bulan, analisis FEA menggunakan model 3D yang dibuat berdasarkan gambaran MRI pasien sebelum pemakaian splint dan tiga bulan setelahnya.

Hasil : Terdapat penurunan tekanan kondil terhadap diskus pada model post-tes dibandingkan dengan pre tes dan pola distribusi tekanan pre-tes berada pada lateral posterior border sementara tekanan pada post-tes cenderung ke arah intermediate diskus.

Kesimpulan : Pemakaian SS selama tiga bulan memberi pengaruh pada penurunan tekanan dan perubahan pola distribusi tekanan pada diskus temporomandibular.

Abstract

Introduction: Clinical signs and symptoms of TMD occurring in the jaw muscles and joints are pain and dysfunction which affect the patient's quality of life if treatment is not carried out. Unbalanced and excessive distribution of pressure on the disc due to continuous biomechanical movements will result in intra-articular joint disorders. Excessive pressure on the joints in the long term will result in changes in the position and anatomy of the disc to become abnormal. The joint disorder that occurs can be in the form of disc displacement without reduction, which occurs when the disc is in an anterior condylar position and the ligaments have lengthened, causing the disc to not be able to return to its normal position when the jaw is closed. This diagnosis can be determined accurately with Magnetic Resonance Imaging (MRI) radiography. The therapy generally given to patients with joint disorders is a stabilization splint (SS) in the form of a flat occlusal plate made of hard acrylic or polycarbonate. SS is designed to increase occlusal stability and reduce muscle tension thereby reducing pain. Conventional biomechanical research has shortcomings such as non-repeatability and it is difficult to compare different pressure distributions. However, by using Finite Element Analysis (FEA) software, this deficiency can be overcome.

Objective: To analyze the effect of SS use on pressure and the distribution pattern of condyle pressure on the disc in patients with disc displacement without reduction.

Method: This research is a pre-test post-test observational clinical research. The research subjects were patients diagnosed with DDWoR and treated using a stabilization splint for three months. FEA analysis used a 3D model created based on the patient's MRI image before using the splint and three months after.

Results: There was a decrease in condylar pressure on the disc in the post-test model compared to the pre-test and the pre-test pressure distribution pattern was on the lateral posterior border while the pressure in the post-test tended towards the intermediate disc.

Conclusion: Using SS for three months has an effect on reducing pressure and changing the pressure distribution pattern on the temporomandibular disc.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gangguan sendi rahang atau gangguan temporomandibular (TMD) adalah istilah kolektif yang mencakup berbagai gangguan sendi temporomandibular (TMJ), pengunyahan, gangguan otot, gangguan sakit kepala dan gangguan yang mempengaruhi struktur terkait.¹

Prevalensi TMD secara global berkisar dari 21,1% hingga 73,3%. Frekuensi tanda/gejala nyeri TMD bervariasi dari 3,4% hingga 65,7%, sedangkan tanda/gejala tidak nyeri berkisar antara 3,1% hingga 40,8%. Persentase pria dan wanita yang mengalami TMD bervariasi dari 10,6% hingga 68,1% pada pria dan 21,2% sampai 72,4% pada Wanita. Prevalensi TMD yang berhubungan dengan nyeri TMD di Indonesia pada anak-anak sebesar 23,4 % dan dewasa 36,9 %.^{2,3} prevalensi tertinggi ditemukan pada siswa sekolah menengah atas yaitu 75,2%.⁴

Tanda dan gejala klinis TMD terjadi pada otot dan sendi rahang adalah nyeri dan disfungsi yang mempengaruhi kualitas hidup pasien jika tidak dilakukan perawatan.⁵ Distribusi tekanan pada diskus yang tidak seimbang dan berlebih karena gerakan biomekanik yang terus-menerus akan mengakibatkan gangguan sendi intra artikular. Tekanan berlebih pada sendi

dalam jangka panjang akan mengakibatkan perubahan posisi dan anatomi diskus menjadi tidak normal. Gangguan sendi yang terjadi dapat berupa (1) *disc displacement with reduction* yaitu ketika perpindahan diskus dalam ruang intra artikular masih dapat dikembalikan ke posisi normal. (2) *disc displacement with intermittent locking* terjadi ketika perpindahan diskus ke posisi normal menyebabkan kondisi terkunci sesaat pada sendi rahang ketika gerakan menutup dan (3) *disc displacement without reduction* yang terjadi ketika diskus berada pada posisi anterior kondil dan ligamen telah memanjang sehingga menyebabkan diskus tidak dapat kembali ke posisi normal ketika rahang ditutup.^{6,7} Ketiga diagnosa ini dapat ditentukan secara akurat dengan pemeriksaan radiografi *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) yang menggambarkan posisi diskus dalam ruang intra artikular dengan jelas. Diagnosa yang akurat merupakan dasar pengelolaan TMD yang efektif dan efisien.⁸

American Association for Dental Research (AADR) telah mengeluarkan pernyataan kebijakan bahwa pengelolaan TMD harus berbasis bukti dan bertujuan untuk memberikan terapi yang berpotensi untuk memberikan hasil terbaik untuk menghilangkan gejala jangka panjang. Pendekatan multidisipliner berhasil untuk manajemen TMD. Tujuan perawatan awal harus fokus pada penyelesaian rasa sakit dan disfungsi.⁹

Terapi yang umumnya diberikan pada pasien dengan gangguan sendi yaitu terapi farmakologi berupa non steroid anti-inflammatory drugs (NSAID) dan non farmakologi seperti patient self regulation (PSR), fisioterapi, akupuntur, konseling dan terapi oklusal.⁹ Terapi pilihan untuk merawat pasien dengan TMD adalah splint stabilisasi (SS) berupa pelat oklusal datar yang terbuat dari bahan akrilik keras atau polikarbonat. SS dirancang untuk meningkatkan stabilitas oklusal dan menurunkan ketegangan otot sehingga dapat mengurangi nyeri.^{10,11}

Penelitian oleh Zhang dkk¹² menyimpulkan penggunaan SS secara klinis terbukti efektif mengurangi frekuensi nyeri, dapat meningkatkan rentang bukaan mulut pasien yang kurang dari 45 mm dan mengembalikan fungsi rahang. Penelitian oleh Al-Moraissi dkk¹³ menemukan bahwa SS dari bahan akrilik keras juga efektif menurunkan nyeri yang berasal dari sendi (*arthralgia*) lebih cepat dibanding *soft* SS.

Penelitian tentang pengaruh SS terhadap distribusi tekanan belum pernah diteliti. Penelitian biomekanik konvensional memiliki kekurangan seperti *non-repeatability* dan sulit untuk membandingkan distribusi tekanan yang berbeda. Namun dengan penggunaan *software Finite Element Analysis* (FEA), kekurangan ini dapat diatasi.¹⁴

Finite Element Analysis (FEA) adalah metode numerik untuk memecahkan masalah mekanis untuk struktur kompleks. Belakangan ini, FEA telah banyak digunakan untuk penelitian biomekanik medis, terutama pada

perangkat ortopedi di bawah berbagai kondisi pemberian tekanan. Penggunaan FEA dalam penelitian di bidang kedokteran gigi berkembang pesat beberapa tahun terakhir. Tegangan, regangan, distribusi tekanan, deformasi, dan reaksi kondilus rahang dapat dianalisis secara sistematis menggunakan metode ini.¹⁵

Analisis FEA yang dapat dilakukan terhadap sendi yaitu analisis statis dan analisis dinamis, analisis statis berhubungan dengan pembebanan yang diberikan otot-otot pngunyahan terhadap diskus dalam kondisi oklusi sentrik, sedangkan analisis dinamis dilakukan dengan mensimulasikan rahang dalam kondisi bergerak.

Penelitian TMJ menggunakan analisis dinamik telah banyak dilakukan. Tanaka dkk¹⁶ telah menganalisis tekanan pada TMJ selama gerakan pembukaan mulut. Pozo dkk¹⁷ meneliti pengaruh koefisien friksi pada permukaan artikular sendi terhadap tekanan pada diskus artikular. Shao dkk¹⁸ menganalisis titik kontak tekanan pada pasien TMD dalam kondisi pengunyahan dan banyak lagi penelitian sejenis yang telah dilakukan selama kurun waktu 2000-2023 namun penelitian tentang pengaruh penggunaan splint stabilisasi pada pola distribusi tekanan kondil pada diskus belum pernah dilakukan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan diatas maka peneliti dapat merumuskan masalah sebagai berikut :

1. Apakah ada pengaruh penggunaan SS terhadap pola distribusi tekanan kondil terhadap diskus pada pasien dengan *anterior disc displacement*?
2. Apakah ada pengaruh penggunaan SS dalam mengurangi tekanan kondil terhadap diskus pada pasien dengan *anterior disc displacement*?
3. Apakah ada hubungan antara berkurangnya keluhan nyeri pada pasien dengan reposisi kondil dan diskus pada gambaran MRI sesudah perawatan?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh penggunaan SS terhadap pola distribusi tekanan kondil terhadap diskus pada pasien dengan *disc displacement without reduction*.
2. Menganalisis pengaruh penggunaan SS terhadap tekanan kondil terhadap diskus pada pasien dengan *disc displacement without reduction*.
3. Mengetahui hubungan antara berkurangnya keluhan nyeri pada pasien dengan reposisi kondil dan diskus pada gambaran MRI sesudah perawatan dengan SS.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Manfaat Umum

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan tentang pengaruh pemakaian SS pada pasien *disc displacement without reduction* terhadap tekanan diskus temporomandibular melalui penggunaan software *finite element analysis*.

2. Manfaat Khusus

- 1) Memberikan kontribusi ilmiah dalam penggunaan teknologi untuk melihat efektifitas penggunaan SS pada pasien *disc displacement without reduction*.
- 2) Memberikan gambaran yang lebih kompleks mengenai kondisi kelainan sendi dan biomekanikanya sebelum dan sesudah perawatan dengan menggunakan SS.
- 3) Sebagai dasar untuk penelitian lebih lanjut tentang terapi TMD.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sendi Rahang / Temporomandibular Joint (TMJ)

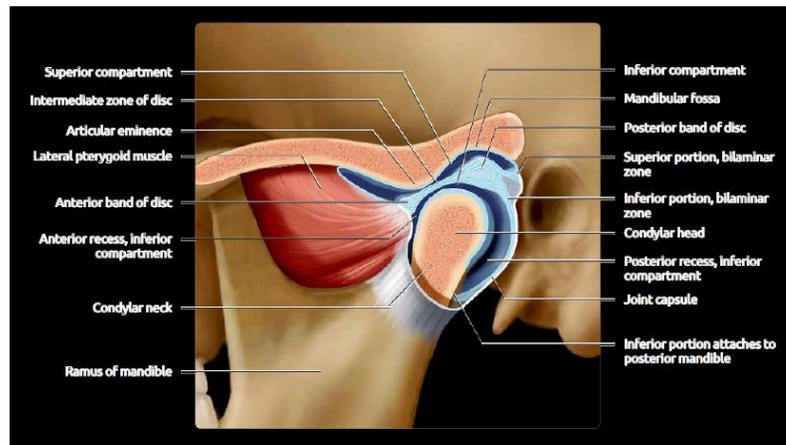
Temporomandibular joint merupakan salah satu bagian sistem mastikasi. TMJ adalah daerah artikulasi bikondilar mandibula dengan tulang temporal kranium dengan perantara diskus.^{19,20}

2.1.1 Anatomi

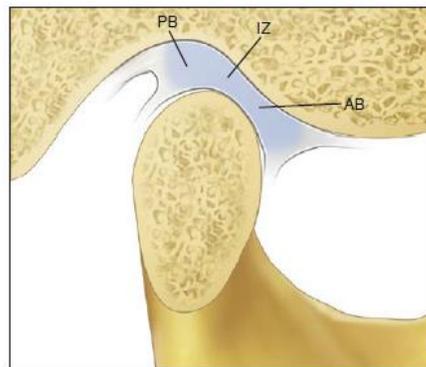
TMJ adalah sendi *ginglymoarthrodial*, sebuah istilah yang berasal dari *ginglymus*, yang berarti sendi engsel, yang memungkinkan gerakan hanya ke belakang dan ke depan dalam satu bidang, dan *arthrodia*, yang berarti sendi yang memungkinkan gerakan meluncur dari permukaan. TMJ dibentuk oleh fossa glenoidalis yang merupakan bagian dari tulang temporalis dan kondil yang merupakan bagian dari mandibula (Gambar 2.1).^{21,22} Karakteristik umum dari sendi sinovial ada pada sendi ini termasuk diskus, tulang, kapsul fibrosa, cairan, sinovial sinovial, membran, dan ligamen. Namun, fitur yang membedakan dan dan membuat sendi ini unik adalah permukaan artikularnya ditutupi oleh tulang rawan fibrosa, bukan tulang rawan hialin.²³

Diskus artikularis tersusun dari jaringan ikat fibrous, sebagian besar tidak memiliki pembuluh darah atau pembuluh syaraf akan tetapi pada bagian ujung diskus ada inervasi. Diskus ini berbentuk bikonkaf membagi ruang sendi menjadi dua bagian yaitu ruang sendi bagian atas (*discotemporal*) dan rang sendi bagian bawah (*discomandibular*). Pada potongan sagital diskus

dapat dibagi menjadi tiga menurut ketebalannya yaitu *anterior border* (AB) *intermediate zone* (IZ) dan *posterior border* (PB) (gambar 2.2). TMJ kanan dan kiri membentuk artikulasi bikondilaris dan variasi ellipsoid dari sendi sinovial yang mirip dengan sendi lutut.²⁰ Membran sinovial berada di sisi dalam kapsul dan diskus kecuali pada permukaan artikularis, membran ini memproduksi cairan sinovial yang mengisi ruang sendi.²⁴



Gambar 2.1 Anatomi sendi temporomandibular ²⁰



Gambar2.2 Diskus artikularis, fossa dan kondil dalam pandangan lateral. Posisi kondil berada pada bagian diskus yang paling tipis yaitu intermediate zone (IZ) pada kondisi normal. Anterior boder (AB) lebih tebal dari IZ, dan posterior border (PB) lebih tebal dari AB.⁵

Sendi rahang dikontrol antara lain oleh otot-otot agar dapat berfungsi dengan baik. Otot-otot tersebut yaitu: (1) Otot masseter yang

berbentuk rectangular yang berasal dari lengkung zigomatikus dan meluas ke bawah pada sisi lateral batas bawah ramus mandibula. Saat otot masseter berkontraksi, mandibula akan bergerak naik dan membawa gigi rahang bawah berkontak dengan gigi rahang atas. (2) Otot temporalis yang lebar dan berbentuk seperti kipas. Otot ini berasal dari fossa temporal dan permukaan lateral dari tengkorak. Serabutnya kemudian menyatu ke arah bawah diantara lengkung zigomatikus dan permukaan lateral yang membentuk tendon yang berinsersi di prosesus koronoid dan tepi anterior dari ramus bagian atas. Otot ini berfungsi untuk mengangkat mandibula. (3) Otot Pterygoid medialis yang berasal dari yang berasal dari fossa pterygoid dan meluas ke arah bawah, belakang dan luar dan berinsersi pada permukaan medial sudut mandibula. Fungsi otot ini adalah mengangkat mandibula dan membawa gigi berkontak. (4) Pterygoid lateralis yang terdiri dari dua bagian yaitu superior dan inferior. Bagian inferior berasal dari permukaan luar plat pterygoid lateral dan meluas ke belakang ke atas dan ke luar dan berinsersi pada leher kondil. Ketika otot ini berkontraksi secara simultan di kiri dan kanan rahang kondil akan terdorong ke bawah dan ke depan dari eminensia artikularis dan mandibula protrusi. Kontraksi unilateral menimbulkan gerakan mediotrusif pada kondil dan menyebabkan pergerakan lateral mandibula ke arah yang berlawanan. Bagian superior lebih kecil dari inferior dan berasal dari permukaan infratemporal sayap sphenoid meluas hampir horizontal ke belakang, dan ke luar untuk berinsersi pada kapsul

artikularis, diskus dan leher kondil. Ketika bagian inferior aktif pada saat membuka rahang bagian superior ini tidak aktif, dan hanya menjadi aktif pada saat menyatu dengan otot-otot elevator. Otot ini aktif selama mandibula menutup misalnya saat mengunyah dan *clenching*. (5) Otot digastrikus yang terbagi menjadi dua bagian yaitu bagian posterior yang berasal dari mastoid, serabutnya ke arah depan, bawah dan di dalam intermediet tendon yang melekat pada tulang hyoid. Bagian anterior berasal dari fossa pada permukaan lingual mandibula dan serabutnya meluas ke bawah dan ke belakang dan berinsersi pada intermediet tendon. Jika otot digastrikus berkontraksi secara bilateral, mandibula akan mengalami depresi dan terdorong ke belakang, bila mandibula stabil, otot ini akan bersama-sama otot suprahioid dan infrahioid akan mengangkat tulang hioid dalam proses menelan. ^{5,25}

TMJ dipersarafi oleh saraf yang sama yang memberikan persarafan motorik dan sensorik ke otot-otot yang mengendalikannya (saraf trigeminal). Cabang-cabang dari saraf mandibula mandibula (V3) memberikan persarafan aferen. Sebagian besar persarafan disediakan oleh saraf aurikulotemporal saat meninggalkan mandibula saraf di belakang sendi dan naik ke lateral dan superior untuk membungkus daerah posterior sendi. Tambahan persarafan disediakan oleh saraf temporal dan saraf masseter. ²⁵

Sendi temporomandibular disuplai dengan baik oleh berbagai pembuluh darah yang mengelilinginya. Pembuluh darah yang dominan

adalah arteri temporal superfisial dari posterior, arteri meningeal tengah dari anterior, dan arteri maksilaris internal dari inferior. Arteri penting lainnya adalah aurikularis dalam, timpani anterior, dan arteri faringeal. Kondilus menerima suplai vaskularnya melalui ruang sumsum oleh arteri alveolar inferior dan juga menerima suplai pembuluh darah melalui "pembuluh pengumpan" yang masuk langsung ke kepala kondilus baik di anterior maupun posterior dari pembuluh darah yang lebih besar.²⁵

2.1.2 Biomekanika

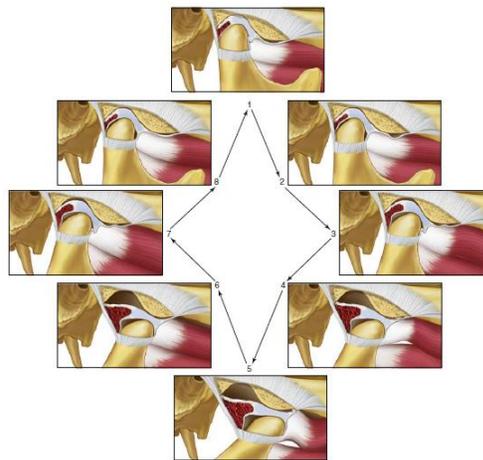
Otot rahang bekerja secara cara tiga dimensi yang kompleks selama gerakan rahang. Ada tiga otot penutup rahang (masseter, temporalis, dan pterigoid medial) dan dua otot pembuka rahang (pterigoid lateral dan digastrik). Unit fungsional dasar dari otot adalah unit motorik. Arsitektur internal dari otot rahang sangat kompleks. Di dalam masing-masing otot rahang, sistem saraf pusat (SSP) tampaknya mampu mengaktifkan kompartemen terpisah dengan spesifik arah serat otot. Ini berarti bahwa setiap otot rahang mampu menghasilkan berbagai vektor gaya (besar dan arah) yang diperlukan untuk gerakan rahang tertentu. Dalam menghasilkan gerakan apa pun yang diinginkan, SSP mengaktifkan unit motorik pada otot yang berbeda. Elemen kontraktil dari otot adalah unit motorik. Setiap unit motorik terdiri dari sebuah alfa-motoneuron dan semua serat otot (sekitar 600 hingga 1000) dipersarafi oleh (yaitu, terhubung ke dan diaktifkan oleh) motoneuron tersebut. Motoneuron otot rahang sebagian besar terletak di inti motorik trigeminal di batang otak.²⁵

Gerakan rahang diklasifikasikan menjadi sukarela, refleks, dan berirama. Banyak bagian dari SSP berpartisipasi dalam pembentukan gerakan rahang. *Face motor cortex* adalah jalur output akhir dari korteks serebral untuk gerakan sukarela, seperti membuka, menutup, protrusif, dan gerakan lateral rahang. Refleks menunjukkan jalur yang membantu dalam penyempurnaan suatu gerakan dan dapat digunakan oleh pusat motorik yang lebih tinggi untuk menghasilkan gerakan yang lebih kompleks. Pengunyahan atau mengunyah adalah gerakan berirama yang dikendalikan oleh generator pola pusat di batang otak. Generator pola pusat dapat dimodifikasi oleh informasi sensorik dari bolus makanan dan dengan perintah sukarela dari pusat yang lebih tinggi.¹⁹

TMJ adalah sendi majemuk. Struktur dan fungsinya dapat dibagi menjadi dua sistem yang berbeda:

1. Satu sistem sendi adalah jaringan yang mengelilingi sinovial inferior rongga sinovial inferior (yaitu kondilus dan cakram artikular). Karena diskus terikat erat ke kondilus oleh lateral dan medial ligamen diskus, satu-satunya gerakan fisiologis yang dapat terjadi antara permukaan ini adalah rotasi diskus pada artikular permukaan kondilus. Diskus dan perlekatannya ke kondilus disebut kompleks kondilus-diskus dan merupakan sistem sendi yang bertanggung jawab atas gerakan rotasi pada TMJ.²⁵
2. Sistem kedua terdiri dari kompleks kondilus-diskus yang berfungsi terhadap permukaan fosa mandibula. Karena cakram tidak melekat

erat pada fossa artikular, geser bebas gerakan dimungkinkan di antara permukaan-permukaan ini di bagian atas rongga. Gerakan ini terjadi ketika rahang bawah digerakkan ke depan (disebut sebagai translasi). Translasi terjadi dalam hal ini rongga sendi superior antara permukaan superior artikular diskus artikularis dan fosa mandibula. Dengan demikian, diskus artikularis bertindak sebagai tulang yang tidak mengeras yang berkontribusi pada kedua sistem sendi, dan oleh karena itu fungsi diskus membenarkan klasifikasi TMJ sebagai sendi majemuk yang sebenarnya.²⁷



Gambar 2.3 Gerakan fungsional normal kondil dan diskus selama pembukaan mulut maksimal dan penutupan. Catatan bahwa diskus berotasi di posterior kondil ketika kondil bertranslasi keluar dari fossa. Gerakan menutup berkebalikan dengan gerakan membuka. Tekanan berada diantara permukaan artikular sendi.⁵

Biomekanika normal fungsi TMJ harus mengikuti prinsip-prinsip ortopedi :

1. Ligamen tidak secara aktif berpartisipasi dalam fungsi normal TMJ.

Ligamen bertindak sebagai kabel pemandu, membatasi gerakan sendi

tertentu sementara mengizinkan yang lain. Ligamen membatasi gerakan sendi baik secara mekanis maupun melalui aktivitas refleks neuromuskuler.

2. Ligamen tidak meregang (peregangan menyiratkan kemampuan untuk kembali ke panjang semula). Jika gaya traksi diterapkan, ligamen bisa bertambah panjang. Setelah ligamen memanjang, fungsi sendi yang normal sering terganggu.
3. Permukaan artikular dari TMJ harus dipertahankan dengan kontak yang konstan. Kontak ini dihasilkan oleh otot-otot yang menarik melintasi sendi (elevator: temporal, masseter, dan pterygoid medial).²⁸

Kondisi pembebanan pada persendian memiliki pengaruh besar dalam mempertahankan struktur dan fungsi normal komponen sendi.²⁹ Pembebanan yang berlebihan dan ketidakseimbangan biomekanik yang diakibatkan oleh kehilangan gigi posterior merupakan salah satu penyebab kerusakan dan perubahan degeneratif komponen sendi.³⁰

2.2. Gangguan Sendi Rahang / Temporomandibular Disorder (TMD)

Gangguan sendi temporomandibular adalah semua gangguan fungsional dari sistem pengunyahan yang mengakibatkan nyeri dan disfungsi.¹

2.2.1 Etiologi

Faktor etiologi yang berhubungan dengan TMD antara lain adalah kondisi oklusal, trauma, stres emosional, masukan rasa sakit yang dalam, dan aktivitas parafungsional.⁵

1. Kondisi Oklusal

Perubahan pada oklusi mungkin memiliki pengaruh pada pergerakan rahang dan TMJ dan fungsi otot rahang. Dengan demikian kesalahan merestorasi gigi mengakibatkan gangguan pada jalur normal dari siklus mengunyah dapat menyebabkan perbedaan tingkat penyaluran aferen orofasial (misalnya, aferen periodontal). Informasi ini akan diumpangkan kembali ke SSP dan dapat menyebabkan perubahan pada pola pusat generator yang mengendalikan pengunyahan. Informasi tersebut juga dapat mengubah aktivitas di tingkat yang lebih tinggi dari SSP: misalnya, korteks motorik wajah. Perubahan-perubahan ini dalam aktivitas saraf akan mengubah aktivitas tertentu unit motorik tertentu, khususnya subkompartemen otot, sehingga terjadi modifikasi pada siklus mengunyah untuk mengakomodasi perubahan dalam oklusi. Siklus mengunyah yang baru dapat menghindari gangguan ini kecuali jika gangguan tersebut terlalu besar dan di luar kapasitas adaptasi SSP dan otot.¹⁹

2. Trauma

Trauma pada struktur wajah dapat menyebabkan gangguan fungsional dalam sistem pengunyahan. Penyebab trauma yang

terbanyak adalah karena kecelakaan lalu lintas.³¹⁻³⁴ Trauma tampaknya memiliki dampak yang lebih besar pada intrakapsular daripada gangguan otot. Trauma dapat dibagi menjadi dua jenis umum: makrotrauma dan mikrotrauma. Makrotrauma dianggap sebagai kekuatan mendadak yang dapat mengakibatkan perubahan struktural, seperti benturan langsung ke wajah maupun yang bersifat iatrogenik seperti prosedur intubasi, prosedur pencabutan molar ketiga dan prosedur dental yang memakan waktu yang panjang yang mengharuskan pasien membuka mulut lebar seperti prosedur edodontik.³⁵ Mikrotrauma mengacu pada kekuatan kecil apa pun yang berulang kali diterapkan pada struktur dalam jangka waktu yang lama. Aktivitas seperti bruxism atau mengepalkan tangan dapat menghasilkan mikrotrauma pada jaringan yang sedang dibebani (yaitu gigi, sendi, atau otot).³⁶

3. Stress emosional

Faktor umum yang dapat mempengaruhi fungsi pengunyahan adalah peningkatan tingkat stres emosional yang dialami oleh pasien.³⁷⁻⁴¹ Pusat emosi otak memiliki pengaruh pada fungsi otot. Hipotalamus, sistem retikuler dan khususnya sistem limbik terutama bertanggung jawab atas keadaan emosional individu. Pusat-pusat ini mempengaruhi aktivitas otot dalam banyak hal, salah satunya melalui jalur eferen gamma. Stres mempengaruhi tubuh dengan mengaktifkan sumbu hipotalamus-hipofisis-adrenal

(sumbu HPA), yang pada gilirannya mempersiapkan tubuh untuk merespons (sistem saraf otonom). Sumbu HPA, melalui jalur saraf yang kompleks, meningkatkan aktivitas eferen gamma, yang menyebabkan serat intrafusul gelendong otot berkontraksi. Hal ini membuat gelendong menjadi peka sehingga peregangan otot sedikit saja akan menyebabkan kontraksi refleks. Efek keseluruhannya adalah peningkatan tonisitas otot.

Mekanisme pelepasan stres ada dua jenis yaitu; Pertama, pelepasan eksternal melalui aktivitas seperti berteriak, mengumpat, memukul atau melempar benda. Meskipun kegiatan ini umum dan hampir merupakan respons alami terhadap stres, namun hal ini tidak diterima dengan baik di masyarakat kita. Cara pelepasan stres eksternal lainnya adalah latihan fisik atau olahraga. Hal ini adalah cara yang sehat untuk mengatasi stres. Kedua adalah pelepasan stres dengan mekanisme internal, di mana orang tersebut melepaskan stres dengan mengembangkan gangguan psikofisiologis seperti sindrom iritasi usus besar, hipertensi, gangguan aritmia jantung tertentu, asma, atau peningkatan tonisitas otot-otot kepala dan leher. Jenis ini merupakan mekanisme pelepasan stres yang paling umum. Penting untuk diingat bahwa persepsi stresor, baik jenis dan intensitasnya, sangat bervariasi dari satu orang ke orang lain. Apa yang mungkin stres bagi satu orang sangat mungkin tidak

menimbulkan stres bagi orang lain. Oleh karena itu, sulit untuk menilai intensitas suatu stresor tertentu pada pasien tertentu.

Meningkatnya tingkat stres emosional yang dialami oleh pasien tidak hanya meningkatkan tonisitas otot kepala dan leher, tetapi juga dapat meningkatkan aktivitas otot yang tidak berfungsi seperti bruxism atau mengatupkan gigi.⁴²⁻⁴⁴

4. Aktivitas parafungsional

Aktivitas otot pengunyahan dapat dibagi menjadi dua dasar: fungsional, yang meliputi mengunyah, berbicara, dan menelan, dan parafungsional (yaitu, tidak berfungsi), yang meliputi mengepalkan atau menggemeretakkan gigi (disebut sebagai bruxism) serta berbagai kebiasaan mulut. Istilah otot hiperaktif juga telah digunakan untuk menggambarkan peningkatan aktivitas otot yang meningkat di atas normal yang diperlukan untuk melakukan fungsi. Otot hiperaktif dengan demikian tidak hanya mencakup aktivitas parafungsional *clenching*, *bruxing*, dan kebiasaan oral lainnya tetapi juga secara umum peningkatan tingkat tonus otot. Beberapa hiperaktivitas otot bahkan mungkin tidak melibatkan kontak gigi atau gerakan rahang tetapi hanya merupakan peningkatan kontraksi tonik statis otot.⁴⁵

Meskipun semua aktivitas parafungsional tidak menimbulkan masalah, pemahaman bagaimana jenis aktivitas otot ini berbeda dengan aktivitas fungsional dapat membantu menjelaskan hubungan

potensial dengan beberapa jenis TMD. Lima faktor umum akan mengilustrasikan mengapa aktivitas otot parafungsional dapat meningkatkan faktor risiko TMD. (tabel 2.1).⁴⁶⁻⁵⁰

Tabel 2.1 Perbandingan aktivitas fungsional dan parafungsional

Tabel 2.1. Perbandingan Aktivitas Fungsional dan Parafungsional		
Faktor	Aktivitas Fungsional	Aktivitas Parafungsional
Kekuatan kontak gigi	17,200 lbs per hari	57,600 lbs per hari kemungkinan lebih
Arah penerapan kekuatan ke gigi	Vertikal (dapat ditoleransi dengan baik)	Horizontal (tidak dapat ditoleransi dengan baik)
Posisi mandibula	oklusi sentrik relatif stabil)	gerakan eksentrik (relatif tidak stabil)
Tipe kontraksi otot	Isotonik (fisiologis)	Isometrik (non fisiologis)
Pengaruh refleks protektif	ada	Diperoleh kembali
Efek patologis	Tidak mungkin	Mungkin

Faktor-etologi yang telah diuraikan diatas akan menyebabkan TMD yaitu gangguan yang melibatkan otot, sendi atau keduanya, hipomobilitas kronis mandibula dan gangguan pertumbuhan rahang.

2.2.2 Gangguan Otot

Gangguan otot ditandai dengan nyeri, ada berbagai macam nyeri pada gangguan otot ini antara lain: (1). Mialgia lokal yang merupakan nyeri primer, non-inflamasi,⁵¹ (2). Miospasme adalah kontraksi otot tonik yang diinduksi oleh sistem saraf pusat. Gangguan ini mudah dikenali karena otot yang mengalami kejang akan berkontraksi sepenuhnya, perubahan posisi rahang utama

terjadi sesuai dengan otot atau otot yang mengalami kejang. Perubahan posisi ini menciptakan maloklusi akut tertentu,⁵² (3). Nyeri miofasial adalah kondisi nyeri miogenik regional yang ditandai oleh jaringan otot yang keras dan hipersensitif yang dikenal sebagai titik pemicu miofasial (*trigger point*),⁵¹ (4). *Persistent orofacial muscle pain* yang dikenal juga dengan *centrally mediated myalgia* adalah gangguan nyeri otot yang kronis dan terus menerus gangguan nyeri yang sebagian besar berasal dari efek SSP yang dirasakan secara perifer di jaringan otot. Kondisi ini juga disebut sebagai nyeri otot orofasial persisten (POMP).⁵² Tonic episode otot mastikasi mempunyai korelasi dengan orofacial pain.⁵³

2.2.3 Gangguan sendi

Gangguan sendi pada penderita TMD terbagi menjadi gangguan kompleks kondil-diskus, inkompatibilitas struktural permukaan artikularis, dan inflamasi sendi. Gangguan inflamasi timbul dari respons lokal dari jaringan yang berhubungan dengan struktur TMJ. Sering kali merupakan akibat dari gangguan gangguan diskus kronis atau progresif. Dua gejala utama dari masalah TMJ fungsional adalah nyeri dan disfungsi.

1. Nyeri

Nyeri pada struktur sendi apa pun (termasuk TMJ) disebut artralgia. Rasa sakit seperti itu harus berasal dari permukaan artikular ketika sendi dibebani oleh otot. Oleh karena

itu, artralgia dapat berasal hanya dari nosiseptor yang terletak di jaringan lunak yang mengelilingi sendi.

Tiga jaringan periartikular mengandung nosiseptor tersebut: diskus ligamen diskal, ligamen kapsuler, dan jaringan retrodiskal. Ketika ligamen-ligamen ini memanjang atau jaringan retrodiskal tertekan, nosiseptor mengirimkan sinyal dan rasa sakit dirasakan. Orang tersebut tidak dapat membedakan di antara ketiga struktur tersebut, jadi apa saja nosiseptor yang terstimulasi di salah satu struktur ini memancarkan sinyal yang dianggap sebagai nyeri sendi. Stimulasi nosiseptor menciptakan aksi penghambatan pada otot yang menggerakkan rahang bawah. Oleh karena itu, ketika rasa sakit tiba-tiba dan tak terduga dirasakan, gerakan mandibula segera berhenti (refleks nosiseptif). Ketika rasa sakit kronis dirasakan, gerakan menjadi terbatas dan disengaja (*protective co-contraction*).⁵⁴

Nyeri pada TMJ yang disebabkan oleh kedekatan anatomis dari asal mula otot dan kutub TMJ lateral serta kemungkinan adanya titik pemicu pada otot-otot dapat menyebabkan diagnosis artralgia yang positif palsu atau negatif palsu. Presentasi klinis yang penting pada artralgia adalah nyeri tekan yang menyakitkan pada palpasi manual atau penurunan ambang nyeri tekanan (PPT), ditentukan dengan algometer (alat penekan yang digunakan untuk tekanan yang meningkat

diterapkan sampai pasien merasa bahwa tekanan menjadi tidak menyenangkan atau 'menyakitkan').⁵⁵

Arthralgia dari struktur normal sendi yang sehat adalah nyeri tajam, tiba-tiba, dan intens yang terkait erat dengan sendi gerakan. Ketika sendi diistirahatkan, rasa nyeri akan sembuh dengan cepat. Jika struktur sendi rusak, peradangan dapat menghasilkan nyeri konstan yang ditekankan oleh gerakan sendi. Kerusakan jaringan sendi mengakibatkan hilangnya permukaan artikular, menciptakan rasa sakit yang sebenarnya bisa berasal dari tulang subartikular.⁵⁶

2. Disfungsi

Disfungsi sering terjadi pada gangguan fungsional TMJ. Biasanya muncul sebagai gangguan pada kondilus-diskus normal, dengan produksi bunyi sendi.

Bunyi sendi dapat berupa satu peristiwa dengan durasi pendek yang dikenal sebagai bunyi klik. Jika ini keras, ini dapat disebut sebagai letupan. Krepitasi adalah suara yang banyak, kasar, seperti kerikil yang digambarkan sebagai kisi-kisi dan rumit. Semua suara disebabkan oleh derajat perubahan intraartikular yang berbeda, dari perpindahan diskus dengan reduksi hingga perpindahan tanpa reduksi dan artrosis pada permukaan artikular. Bunyi klik resiprokal terjadi pada sendi dengan perpindahan diskus dengan dan tanpa reduksi, serta pada

sendi dengan perubahan artrosis. Krepitasi hanya terjadi pada sendi dengan artrosis dan perforasi.⁵⁷

Waktu terjadinya peristiwa suara TMJ berkorelasi dengan waktu ketika kondilus mandibula bergerak keluar dari fossa glenoid, dan kekuatan pada rekaman suara ketika kondilus berada di luar fossa secara signifikan lebih besar dibandingkan dengan ketika kondilus berada di dalam fossa.⁵⁷ Disfungsi TMJ juga dapat muncul sebagai rasa sakit sensasi ketika pasien membuka mulutnya. Terkadang rahang sebenarnya dapat terkunci. Disfungsi TMJ selalu berhubungan langsung dengan gerakan rahang.

2.2.4 Diagnosa Gangguan Sendi

Pemeriksaan klinis dan penunjang yang cermat diperlukan untuk menegakkan diagnosa yang akurat. Temuan pemeriksaan fisik yang mendukung diagnosis TMD dapat mencakup gerakan mandibula yang tidak normal, penurunan rentang gerak, nyeri tekan pada otot pengunyahan, nyeri dengan pembebanan dinamis, tanda-tanda bruxism, dan leher atau bahu nyeri otot.⁵⁸

Pencitraan dapat membantu dalam diagnosis TMD ketika riwayat dan temuan pemeriksaan fisik tidak jelas.⁵⁹ Pemeriksaan awal bisa berupa radiografi polos (transkraniel) atau radiografi panoramik maupun Cone Beam Computed Tomography (CBCT), Magnetic Resonance Imaging (MRI) biasanya diperuntukkan bagi

pasien dengan gejala yang menetap, pasien yang terapi konservatifnya tidak efektif, atau pada mereka yang dicurigai mengalami gangguan sendi internal.⁶⁰ Ultrasonografi adalah teknik non-invasif, dinamis, dan berbiaya rendah untuk mendiagnosis gangguan internal TMJ ketika pencitraan resonansi magnetik tidak tersedia.⁶¹

Dergin dkk⁶² mengungkapkan bahwa pemeriksaan CBCT lebih unggul dibandingkan pemeriksaan radiografi konvensional lainnya untuk penegakan diagnosa berbagai kondisi gangguan TMJ, namun terbatas pada morfologi tulang komponen sendi, integritas tulang kortikal dan kerusakan maupun pembentukan tulang subkortikal (jaringan keras). Sedangkan untuk mengevaluasi abnormalitas jaringan lunak, pemeriksaan MRI merupakan sebuah keharusan, MRI adalah modalitas terbaik untuk evaluasi proses intra-artikular. Dengan resolusi kontras MRI yang tinggi dari jaringan lunak, saat ini MRI merupakan standar emas untuk mendiagnosis gangguan diskus. Protokol pencitraan MR standar terdiri dari urutan sagital miring dan koronal proton density-weighted (PDWI) dalam posisi mulut tertutup dan terbuka. Gambar diperoleh secara tegak lurus atau sejajar dengan sumbu panjang kondilus mandibula untuk mengoptimalkan visualisasi diskus dan struktur tulang.⁶³

1. Gangguan sendi kompleks kondil-diskus (*Derangements of the Condyle-Disc Complex*).

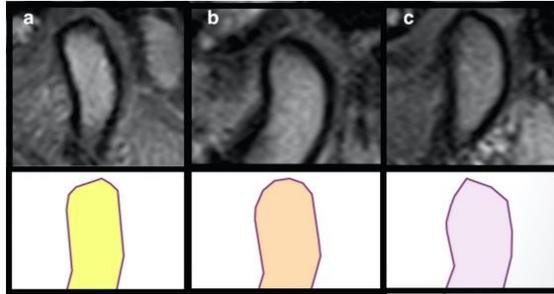
Gangguan sendi kompleks kondil-diskus terbagi menjadi (1) *disc displacement with reduction* yaitu ketika perpindahan diskus dalam ruang intra artikular masih dapat dikembalikan ke posisi normal. (2) *disc displacement with intermittent locking* terjadi ketika perpindahan diskus ke posisi normal menyebabkan kondisi terkunci sesaat pada sendi rahang ketika gerakan menutup dan (3) *disc displacement without reduction* yang terjadi ketika diskus berada pada posisi anterior kondil dan ligamen telah memanjang sehingga menyebabkan diskus tidak dapat kembali ke posisi normal ketika rahang ditutup.⁵⁻⁷

Kondisi ini terjadi karena hubungan antara diskus artikularis dan kondilus berubah. Satu-satunya gerakan fisiologis gerakan yang dapat terjadi antara kondilus dan artikular diskus adalah rotasi. Diskus dapat berputar pada kondilus di sekitar perlekatan ligamen kolateral diskal ke kutub kondilus. Secara klinis, perubahan perubahan morfologi diskus adalah temuan patologi TMJ dan disfungsi dan dihubungkan dengan perkembangan perpindahan diskus. Perpindahan diskus anterior (dengan atau tanpa reduksi) adalah disfungsi intrakapsular yang menunjukkan perubahan degeneratif pada diskus dan area TMJ.⁶⁴

Serabut-serabut dari lateral superior pterigoid yang melekat pada leher kondilus menarik kondilus ke depan dan menguatkannya terhadap kemiringan posterior dari eminensia. Diskus mempertahankan posisinya pada kondilus selama gerakan

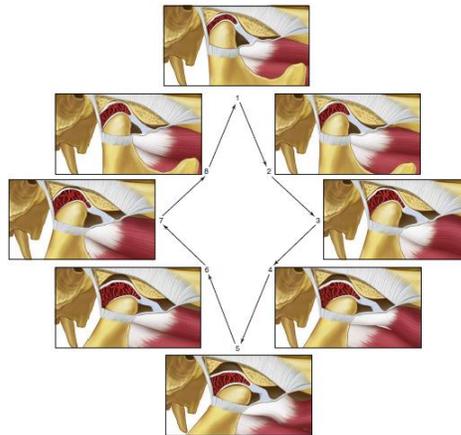
karena morfologi dan tekanan interartikularnya. Morfologinya (yaitu, batas anterior dan posterior yang lebih tebal). Ketika morfologi diskus berubah dan ligamen diskus menjadi memanjang, memungkinkan diskus meluncur (translasi) melintasi permukaan artikular kondilus. Jenis gerakan ini tidak ada pada sendi yang sehat. Derajat pergerakan diskus ditentukan oleh perubahan yang telah terjadi pada morfologi diskus dan tingkat pemanjangan ligamen diskus. Ligamen tidak memiliki elastisitas dan oleh karena itu, sekali memanjang, ligamen tidak dapat kembali ke ukuran semula. Setelah ligamen memanjang, biomekanik sendi sering berubah (sering kali secara permanen).⁶⁵

Morfologi kondilus juga mempunyai andil terjadinya perpindahan diskus ke anterior. Morfologi normal kondilus bisa berbeda pada tiap individu, sebuah penelitian membagi morfologi kondilus berdasarkan bentuknya yaitu datar, bulat dan bersudut (gambar 2.4). Penelitian ini juga menyimpulkan kondil berbentuk bulat sering ditemukan pada sendi normal dan perpindahan diskus dengan reduksi sedangkan bentuk kondil bersudut umumnya ditemukan pada kondisi perpindahan diskus tanpa reduksi.⁶⁶



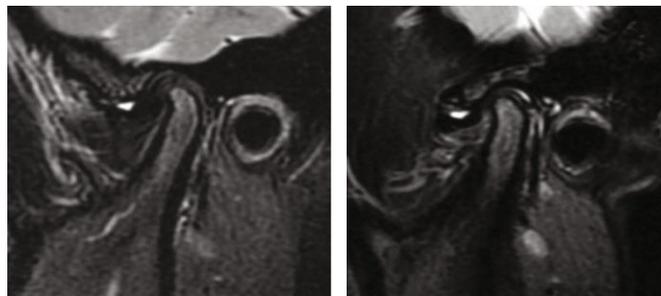
Gambar 2.4 Klasifikasi bentuk kondil (a) datar (b) bulat (c) bersudut.⁶⁶

4. Saat diskus menjadi lebih menipis dan rata, ia semakin kehilangan kemampuannya untuk memposisikan diri pada kondilus memungkinkan lebih banyak gerakan translasi antara kondilus dan diskus. Semakin bebas diskus untuk bergerak, semakin banyak pengaruh posisi dari perlekatan otot pterigoid lateral superior. Namun Dergin dkk menemukan tidak ada hubungan yang signifikan antara perlekatan otot pterogoid lateral superior dan abnormalitas TMJ.⁶²



Gambar 2.5 Perpindahan diskus tanpa reduksi (Kunci Tertutup)" merupakan kondisi di mana kondilus tidak pernah dalam hubungan normal dengan diskus hingga diskus tetap terletak di depan kondilus. Hal ini mengakibatkan pembatasan pergerakan translasi ke depan.⁵

Ketika batas posterior diskus menjadi tipis, perlekatan fungsional dari pterigoid lateral superior dapat mendorong migrasi anterior diskus sepenuhnya melalui ruang diskus. Ketika ini terjadi, tekanan interartikular membuat ruang diskus menjadi kolaps, menjebak diskus di posisi depan. Kemudian translasi lengkap berikutnya dari kondilus dihambat oleh posisi anterior dan medial diskus. Hal ini dirasakan sebagai sendi terkunci dalam posisi tertutup. Karena permukaan artikular sebenarnya telah terpisah, kondisi ini disebut sebagai perpindahan total diskus.⁶⁷



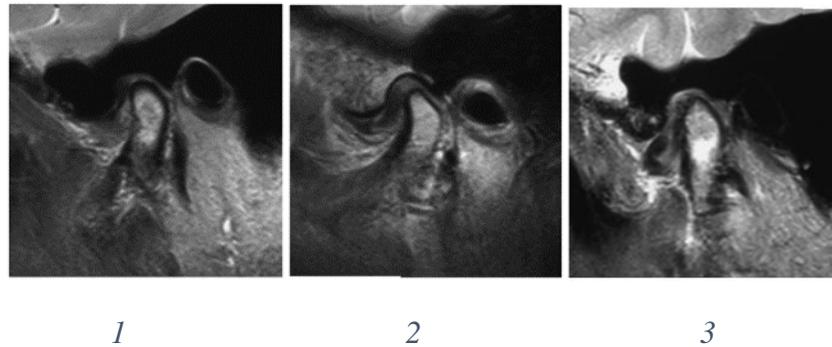
(a)

(b)

Gambar 2.6 Perpindahan diskus tanpa reduksi (DDWoR) a. Mulut tertutup, diskus artikularis berada di anterior kondil; b. Mulut terbuka, diskus artikularis tidak berada pada puncak kondil.⁶⁸

Derajat keparahan pergeseran diskus ke anterior menurut Takahara dkk⁶⁹ dikategorikan ringan, sedang dan berat (gambar 2.6). Pergeseran ringan terjadi ketika posterior band diskus berada di permukaan artikular kondil, pergeseran sedang terjadi ketika posterior *band* diskus berada pada permukaan posterior eminensia namun belum berkontak dengan permukaan artikular kondilus, dan

dikatakan parah jika posisi posterior band diskus berada di dasar eminensia artikularis.



Gambar 2.7 Derajat keparahan pergeseran diskus ke anterior menurut Takahara dkk (1) Ringan (2) Sedang (3) Parah.⁶⁹

Tahap selanjutnya dari gangguan pada diskus dikenal sebagai perpindahan diskus tanpa reduksi / *disc displacement without reduction* (DDwoR). Kondisi ini terjadi ketika penderita tidak dapat mengembalikan diskus ke posisi normal pada kondilus dan menyebabkan sakit serta keterbatasan membuka mulut (*painful locking*).

Mulut tidak dapat dibuka secara maksimal karena posisi diskus tidak memungkinkan translasi kondilus secara penuh. Biasanya, pembukaan awal hanya 25 sampai 30 mm secara interinsisial, yang mewakili rotasi maksimum sendi. Penderita biasanya menyadari sendi mana yang terlibat dan dapat mengingatnya kejadian yang menyebabkan perasaan terkunci. Karena hanya satu sendi biasanya menjadi terkunci, pola yang berbeda dari gerakan rahang bawah yang berbeda diamati secara klinis.

Sendi dengan diskus yang bergeser tanpa reduksi tidak memungkinkan translasi kondilusnya secara sempurna, sedangkan sendi lainnya berfungsi normal. Oleh karena itu, ketika pasien terbuka lebar, garis tengah rahang bawah dibelokkan ke sisi yang terkena. Selain itu, pasien dapat melakukan gerakan normal gerakan lateral ke sisi yang terkena (kondilus pada sisi yang terkena sisi yang terkena hanya berputar), namun ketika gerakan dicoba ke sisi yang tidak terpengaruh, terjadi pembatasan (kondilus pada sisi yang terpengaruh yang terkena tidak dapat bergerak melewati diskus yang bergeser ke depan).

Perpindahan diskus tanpa reduksi juga disebut sebagai kunci tertutup karena pasien merasa terkunci pada posisi mulut yang tertutup. Pasien mungkin melaporkan rasa sakit ketika mandibula digerakkan ke titik keterbatasan, tetapi rasa sakit tidak selalu menyertai kondisi ini.⁵

Pemeriksaan klinis yang cermat diperlukan untuk menegakkan diagnosa yang akurat. Temuan pemeriksaan fisik yang mendukung diagnosis TMD dapat mencakup gerakan mandibula yang tidak normal, penurunan rentang gerak, nyeri tekan pada otot pengunyahan, nyeri dengan pembebanan dinamis, tanda-tanda bruxism, dan leher atau bahu nyeri otot.⁶⁵

2. Terapi gangguan sendi

Pendekatan multidisipliner berhasil untuk manajemen TMD. Tujuan perawatan awal harus fokus pada penyelesaian rasa sakit dan disfungsi. Terapi ini bisa berupa non farmakologi seperti patient self regulation (PSR), fisioterapi, akupuntur dan konseling. Terapi farmakologi NSAID adalah agen lini pertama yang biasanya digunakan selama 10 hingga 14 hari untuk pengobatan awal nyeri akut.⁷⁰ Pasien dengan dugaan perpindahan diskus tahap awal, sinovitis, dan artritis mendapat manfaat dari pengobatan dini dengan NSAID. Meskipun ada banyak pilihan NSAID yang tersedia, hanya naproxen (Naprosyn) yang telah terbukti bermanfaat dalam mengurangi nyeri. Relaksan otot dapat diresepkan dengan NSAID jika ada bukti adanya komponen otot untuk TMD. Antidepresan trisiklik - paling umum amitriptilin, desipramin (Norpramin), doksepin, dan nortriptyline (Pamelor) - digunakan untuk manajemen nyeri TMD kronis. Benzodiazepin adalah juga digunakan, tetapi umumnya terbatas pada dua hingga empat minggu pada fase awal pengobatan.⁷¹

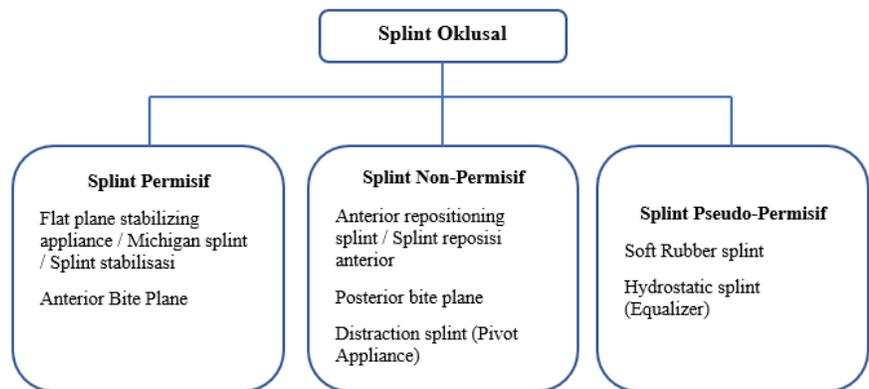
Terapi lainnya adalah terapi oklusal yang bersifat reversibel (penggunaan splint oklusal) maupun ireversibel (selective grinding, prostetik cekat dan perawatan ortodontik).⁷² Splint oklusal mencegah pasien mencapai interkuspsi maksimum. Oleh karena itu, pasien harus memposisikan rahangnya dengan benar dengan penghentian dengan intensitas yang sama pada semua gigi, yang memfasilitasi posisi kondilus dalam hubungan sentris (reposisi

kondil) sehingga menghasilkan keseimbangan otot dan artikular. Ketika interkuspsi maksimum dicegah pasien tidak lagi dapat melakukan clenching, melindungi TMJ dan struktur terkait.⁷³

Indikasi pemakaian splint oklusal adalah :⁷⁴

1. Pasien dengan mialgia otot mastikasi dan atrhralgia TMJ
2. Pasien dengan miospasmе atau miositis.
3. Pasien dengan riwayat trauma atau kondisi inflamasi sendi dan aktivitas parafungsional.
4. Pasien dengan oklusi yang tidak stabil.
5. Pasien dengan sindrom nyeri karena stress seperti *tension headache* dan nyeri leher yang berasal dari otot.

Klasifikasi splint oklusal menurut Dawson terbagi menjadi splint permisif, splint non-permisif, splint pseudopermisif.



Gambar 2.8 Bagan Klasifikasi Splint menurut Dawson⁷⁵

3. Splint Stabilisasi (SS)

Splint stabilisasi (SS) disebut juga Michigan splint atau *full-arch maxillary stabilization splint* termasuk dalam klasifikasi splint permisif. Disebut permisif karena memungkinkan pemisahan kondilus secara sempurna dengan kontak gigi yang seragam. Splint ini terbuat dari akrilik keras yang menutupi seluruh bagian oklusal dan insisal gigi rahang atas (gambar 2.7). SS dapat meningkatkan stabilitas oklusal, merelaksasi otot, reposisi kondil dan modifikasi dimensi vertikal dan terbukti dapat meningkatkan kondisi biomekanikal TMJ. Indikasi SS adalah nyeri yang bersumber dari TMJ maupun otot, bruksisme yang parah, trauma oklusi pada sistem mastikasi.⁷⁵

Ketebalan SS yang optimal bervariasi antara 2-6 mm.⁷⁶ Lin dkk⁷⁷ dalam sebuah penelitian menunjukkan bahwa ketebalan splint 3-5 mm dapat mengurangi gejala TMD. Namun ketebalan 3 mm lebih nyaman dipakai oleh pasien.⁷⁸



Gambar 2.9 A. Splint stabilisasi B. Kontak oklusal yang telah ditandai untuk menunjukkan posisi mukoskeletal yang stabil (relasi sentrik). Terlihat kontak yang merata dan simultan dari semua gigi posterior (ujung cusp yang bersentuhan dengan permukaan datar). Panduan eksentrik disediakan oleh kaninus.⁵

Durasi pemakaian SS adalah 4-6 bulan atau sampai diperoleh hubungan oklusi dan artikulasi yang stabil dan seimbang bilateral.⁷⁹ Literatur lain menyebutkan pada pasien mempunyai ketergantungan negatif pada alat ini karena kebiasaan parafungsionalnya, sebaiknya hanya memakainya selama beberapa bulan. Dianjurkan agar pasien memakai hanya pada malam hari namun pasien yang tidak dapat mengendalikan kebiasaan parafungsinya ketika bangun harus tetap memakai bidai di siang hari.⁷⁷ SS memberikan manfaat lebih pada pemakaian jangka pendek untuk pasien dengan TMD, sedangkan untuk pemakaian jangka panjang, efeknya setara dengan modalitas terapi lainnya.¹²

4. Parameter Keberhasilan Perawatan dengan Splint Stabilisasi

Rehabilitasi yang diharapkan terjadi setelah penggunaan SS adalah reposisi kondilus dan diskus dalam posisi relasi sentris yaitu kondil berada pada bagian diskus yang paling tipis yaitu intermediate zone (IZ) pada kondisi normal. Setelah reposisi, terjadi penurunan distribusi tekanan kondil terhadap diskus kemudian menyebabkan terjadinya penurunan nyeri.¹²

Reposisi kondil dapat dikonfirmasi melalui pemeriksaan MRI, sedangkan penurunan distribusi tekanan diukur

menggunakan metode elemen hingga / *finite element method* (FEM) menggunakan software *finite element analysis* (FEA).¹⁴

Konsep dasar FEM mulai diperkenalkan sejak tahun 1941 oleh pakar dibidang teknik sipil yang kemudian terus disempurnakan menjadi FEM yang dikenal sekarang. Penerapan dibidang teknik adalah untuk menentukan terlebih dahulu bagaimana suatu bangunan, kendaraan atau mesin mampu menahan skenario pembebanan tertentu. Metode ini juga memungkinkan dilakukannya perubahan yang diperlukan dengan cepat dan murah sebelum bangunan, kendaraan atau mesin tersebut diproduksi.⁸⁰

Penerapan FEM dalam bidang kedokteran gigi telah dimulai sejak awal 90an. Tahun 1994 Chen dkk²⁸ meneliti tekanan diskus pada TMJ normal selama penutupan rahang menggunakan FEA 2 dimensi (2D). Tahun 2001 Tanaka dkk²⁷ melakukan penelitian yang menganalisa tekanan pada TMJ ketika membuka mulut menggunakan FEA 3 dimensi (3D) dari gambaran MRI. perkembangan FEA selanjutnya juga digunakan untuk menganalisa biomekanika *removable partial denture* (RPD).⁸¹⁻⁸⁴ Penggunaanya meluas sampai ke analisis skenario pembebanan pada berbagai desain implan dan tulang disekelilingnya.⁸⁵⁻⁸⁸ Penerapan FEA dalam bidang kedokteran

gigi sangat bermanfaat untuk berbagai penelitian tentang biomekanika, efektivitas alat terapi, bahan dan desain sehingga dapat mengembangkan alat, bahan dan desain yang paling sesuai dengan cepat dan murah.⁸⁹