

**OPTIMASI DESAIN *MINISCREW*
POLIETER ETER KETON (PEEK) MENGGUNAKAN
3D *FINITE ELEMENT ANALYSIS***

SKRIPSI



Oleh:

TSABRINA RIZQI PUTRI

NIM: 021911133171

**FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA
2022**

**OPTIMASI DESAIN *MINISCREW*
POLIETER ETER KETON (PEEK) MENGGUNAKAN
3D *FINITE ELEMENT ANALYSIS***

SKRIPSI



Oleh:

TSABRINA RIZQI PUTRI

NIM: 021911133171

**FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

**OPTIMASI DESAIN *MINISCREW*
POLIETER ETER KETON (PEEK) MENGGUNAKAN
3D *FINITE ELEMENT ANALYSIS***

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan
Pendidikan Dokter Gigi Di Fakultas Kedokteran Gigi
Universitas Airlangga Surabaya**

Oleh:

TSABRINA RIZQI PUTRI
NIM: 021911133171

Menyetujui

Pembimbing Utama



(Prof. Dr. I Gusti Aju Wahyu Ardani, drg., M.Kes., Sp.Ort(K))
NIP: 196308061989022001

Pembimbing Serta



(Alida, drg., M.Kes., Sp.Ort(K))
NIP: 198011022009122003

**FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA**

2022

PENETAPAN PANITIA PENGUJI SKRIPSI

Skripsi ini telah diuji pada tanggal 5 Januari 2023

PANITIA PENGUJI SKRIPSI

- 1. Prof. Dr. Ida Bagus Narmada drg., Sp.Ort(K) (Ketua Penguji)**
- 2. Prof. Dr. I Gusti Aju Wahyu Ardani, drg., M.Kes., Sp.Ort(K)
(Pembimbing Utama)**
- 3. Prof. Thalca Hamid, drg., MHPed., Sp.Ort(K), Ph.D (Anggota
Penguji)**
- 4. Alida, drg., M.Kes., Sp.Ort(K) (Anggota Penguji)**
- 5. Dr. Ananda Firman Putranto, drg. M.Kes (Anggota Penguji)**

SURAT PERNYATAAN TENTANG ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : Tsabrina Rizqi Putri

NIM : 021911133171

Program Studi : Pendidikan Dokter Gigi

Fakultas : Kedokteran Gigi

Jenjang : Sarjana (S1)

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan skripsi saya yang berjudul:

**“OPTIMASI DESAIN *MINISCREW* POLIETER ETER KETON (PEEK)
MENGUNAKAN 3D *FINITE ELEMENT ANALYSIS*”**

Apabila pada suatu saat nanti terbukti melakukan tindakan plagiat, maka saya akan menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 31 Desember 2022



TSABRINA RIZQI PUTRI
NIM: 021911133171

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“OPTIMASI DESAIN MINISCREW POLIETER ETER KETON (PEEK) MENGGUNAKAN 3D FINITE ELEMENT ANALYSIS”** dengan baik. Dalam kesempatan ini, izinkan saya dengan setulus hati mengucapkan terima kasih dan apresiasi setinggi-tingginya kepada:

1. Dr. Agung Sosiawan, drg., M.Kes., M.H. selaku Dekan Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Airlangga atas kesempatannya untuk menempuh studi di Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Airlangga.
2. Dr. Ari Triwardhani drg., M.Sc., Sp.Ort(K) selaku Ketua Departemen Ortodonsia Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Airlangga atas izinnya untuk melaksanakan skripsi.
3. Prof. Dr. I Gusti Aju Wahyu Ardani, drg., M.Kes., Sp.Ort(K) selaku pembimbing utama atas dedikasinya untuk membimbing serta memberikan ilmu dan dukungan penuh selama ini.
4. Alida, drg., M.Kes., Sp.Ort(K) selaku pembimbing serta atas waktunya untuk senantiasa membimbing dan memotivasi selama ini.
5. Prof. Dr. Ida Bagus Narmada drg., Sp.Ort(K); Prof. Thalca Hamid, drg., MHPEd., Sp.Ort(K), Ph.D; dan Dr. Ananda Firman Putranto, drg. M.Kes selaku dosen penguji skripsi atas kritik dan saran yang sangat berarti untuk penyempurnaan skripsi ini.
6. Dr. Gilang Rasuna Sabdho Wening, drg., M.Kes selaku dosen wali atas dukungannya selama ini.

7. Achmad Syaifudin, ST., M.Eng., Ph.D atas bantuannya dalam melaksanakan eksperimen serta membagikan ilmunya selama ini.

8. Orang tua yang saya cintai dengan sepenuh hati,

“Thank you, my king and queen, for being my anchorage in the midst of uncertainty and for your unconditional love, sacrifices, and endless do’a. Thank you for overly prioritizing me and it’s my turn to cater to you. No words can truly express how lucky I’m to have you.”

9. Teman-teman yang saya sayangi dengan sepenuh hati,

“Thank you for being my best cheerleaders and giving me the reciprocal joy of love. Nothing is better than having genuine camaraderie, what a lottery jackpot. Ps. I don’t have any blank space to write all your names, but you know exactly who you’re.”

10. Diri saya, Tsabrina Rizqi Putri.

“The achievement doesn’t lie in completing the thesis defense but in those incremental changes, tranquility, and equanimity that I gained during the process, navigating me becoming a better person. That’s the beauty of serendipity. A key takeaway after this long rally, similar to FEA, every problem has a solution and each node in every element represents a point of decision. So, don’t give up if you don’t find any solution, maybe the error lies in material properties.

And with Ms. Word eyestrain, never closed Chrome tabs, sleep mode PC, americano addiction, and for all midnights become my afternoons; finally, my pre-clinical year season comes to an end. Goodbye.”

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sangat penulis harapkan. Semoga penelitian ini dapat berkontribusi lebih lanjut untuk perkembangan ilmu kedokteran gigi.

Surabaya, 31 Desember 2022

Penulis

ABSTRACT

**POLYETHER ETHER KETONE (PEEK) MINISCREW
DESIGN OPTIMIZATION: 3D FINITE ELEMENT ANALYSIS**

Background: Ti miniscrew has been the gold standard for anchorage. The contrast difference between Ti and bone elastic modulus results in stress shielding. PEEK overcomes the limitations of the Ti miniscrew due to its superior specifications of material mechanical. Design optimization in this innovation is crucial to obtain adequate primary stability and reduce the risk of failure. **Purpose:** Investigate the biomechanical performance of the PEEK miniscrew with FEA numerical simulations to determine the potential of the PEEK miniscrew as an alternative and to optimize the PEEK miniscrew design based on dual parameters (diameter and length). **Methods:** FEA was used to evaluate the biomechanical mechanism of PEEK and Ti miniscrews relative to diameter variations (1.6 mm, 1.8 mm, and 2 mm) and length variations (8 mm, 10 mm, and 12 mm) implanted in a maxilla 3D model, inserted perpendicularly, and under horizontal loading force of 1.9 N. **Results:** Bone–miniscrew maximum von Mises stress and maximum deformation decreased significantly with increasing diameter for both PEEK and Ti miniscrews and diverged outcomes for length variations. **Conclusion:** The epitome of the PEEK miniscrew design is a miniscrew with a diameter of 2 mm and a length of 12 mm. Miniscrew diameter is the dominant factor on miniscrew stability compared to the length parameter. The ratio of the size of the head and body design also plays a significant role in the miniscrew stability.

Keywords: Miniscrew, Polyether Ether Ketones (PEEK), Design, Finite element analysis

ABSTRAK

OPTIMASI DESAIN *MINISCREW* POLIETER ETER KETON (PEEK) MENGUNAKAN 3D *FINITE ELEMENT ANALYSIS*

Latar belakang: *Miniscrew* Ti adalah *gold standard* penjangkaran. Perbedaan kontras modulus elastisitas Ti dengan tulang dapat menimbulkan *stress shielding*. Limitasi *miniscrew* Ti dapat diatasi oleh PEEK karena memiliki spesifikasi superior material mekanis. Optimasi desain pada inovasi ini sangat krusial untuk memperoleh stabilitas primer yang cukup dan menurunkan risiko kegagalan. **Tujuan:** Mengevaluasi kinerja biomekanik PEEK dengan simulasi numerik FEA untuk mengetahui potensi *miniscrew* PEEK sebagai alternatif dan optimasi desain *miniscrew* PEEK berdasarkan dual parameter (diameter dan panjang). **Metode:** FEA digunakan untuk mengevaluasi mekanisme biomekanik *miniscrew* PEEK dan Ti terhadap variasi diameter (1.6 mm, 1.8 mm, dan 2 mm) dan variasi panjang (8 mm, 10 mm, dan 12 mm) yang ditanamkan pada model 3D maksila, diinsersikan 90° dengan tulang, dan dibawah *loading force* sebesar 1,9 N yang disimulasikan secara horizontal. **Hasil:** Tegangan maksimum von Mises tulang–*miniscrew* serta deformasi maksimum menurun secara signifikan seiring dengan meningkatnya diameter baik pada *miniscrew* PEEK maupun Ti dan hasil yang divergen pada variasi panjang. **Kesimpulan:** Epitome desain *miniscrew* PEEK adalah *miniscrew* dengan diameter 2 mm dan panjang 12 mm. Diameter *miniscrew* merupakan faktor dominan untuk mencapai stabilitas *miniscrew* dibandingkan dengan parameter panjang. Rasio ukuran desain *head* dan *body* juga berperan signifikan dalam stabilitas *miniscrew*.

Kata kunci: *Miniscrew*, Polieter Eter Keton (PEEK), Desain, *Finite element analysis*

DAFTAR ISI

SAMPUL DEPAN	i
SAMPUL DALAM	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PENETAPAN PANITIA PENGUJI SKRIPSI	iv
SURAT PERNYATAAN TENTANG ORISINALITAS	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
<i>ABSTRACT</i>	viii
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR SINGKATAN	xvi
 BAB 1 PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
1.3.1 Tujuan Umum	4
1.3.2 Tujuan Khusus	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.4.1 Manfaat Teoritis	5
1.4.2 Manfaat Praktis	5
 BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	 6
2.1 <i>Temporary Anchorage Device (TAD)</i>	6
2.1.1 Klasifikasi Penjangkaran	7
2.1.2 Klasifikasi TAD	9
2.1.2.1 Klasifikasi Cope	9
2.1.2.2 Klasifikasi Singh <i>et al.</i>	10
2.1.3 Desain <i>Miniscrew</i>	18
2.1.3.1 Desain <i>Head</i>	19
2.1.3.2 Desain <i>Transgingival Neck (Collar)</i>	20
2.1.3.3 Desain <i>Thread Body (Shaft)</i>	20
2.1.3.4 Desain <i>Tip</i>	23
2.1.4 Indikasi TAD	24
2.1.5 Biomekanik TAD	24
2.1.5.1 Tegangan	24
2.1.5.2 Regangan	25
2.1.5.3 Hubungan Tegangan dan Regangan	26
2.1.6 Tipe Tulang	27
2.2 PEEK	28
2.3 <i>Finite Element Analysis (FEA)</i>	30
2.3.1 Prosedur <i>Finite Element Analysis</i>	32
2.4 Analisis Tegangan Von Mises	34

2.5	<i>Factors of Safety</i>	35
BAB 3 KERANGKA KONSEP		36
3.1	Kerangka Konseptual Penelitian	36
3.2	Keterangan Kerangka Konseptual Penelitian.....	37
BAB 4 METODE PENELITIAN.....		39
4.1	Jenis Penelitian	39
4.2	Populasi	39
4.3	Sampel	39
4.4	Kriteria Sampel	39
4.4.1	Kriteria Inklusi Sampel	39
4.4.2	Kriteria Eksklusi Sampel.....	40
4.5	Variabel Penelitian	40
4.5.1	Variabel Bebas	40
4.5.2	Variabel Terikat.....	40
4.5.3	Variabel Kontrol.....	40
4.6	Definisi Operasional Variabel	40
4.7	Lokasi dan Waktu Penelitian.....	42
4.7.1	Lokasi Penelitian	42
4.7.2	Waktu Penelitian	42
4.8	Alat dan Bahan Penelitian	42
4.8.1	Alat Penelitian	42
4.8.2	Bahan Penelitian.....	43
4.9	Cara Kerja	43
4.10	Alur Penelitian.....	48
BAB 5 HASIL PENELITIAN		49
5.1	Hasil Tegangan von Mises dan Deformasi Maksimum <i>Miniscrew</i>	49
5.2	Hasil Distribusi Tegangan von Mises dan Deformasi <i>Miniscrew</i>	54
5.3	Hasil Analisis <i>Factors of Safety</i>	61
BAB 6 PEMBAHASAN		63
BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN		69
7.1	Kesimpulan.....	69
7.2	Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA		70

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi penjangkaran	7
Tabel 2. 2 Klasifikasi TAD biokompatibel	9
Tabel 2. 3 Klasifikasi TAD biologis	9
Tabel 2. 4 Klasifikasi tulang Lekholm dan Zarb	27
Tabel 2. 5 Klasifikasi tulang Al-Ekrish <i>et al</i>	28
Tabel 2. 6 Sifat mekanis PEEK	29
Tabel 4. 1 Definisi operasional variabel	41
Tabel 4. 2 <i>Material properties</i> yang digunakan pada model 3D <i>finite element</i> ...	46
Tabel 5. 1 Hasil 3D FEA tegangan maksimum von Mises tulang- <i>miniscrew</i> serta deformasi maksimum terhadap variasi diameter prototipe 3D <i>miniscrew</i> PEEK dan Ti	50
Tabel 5. 2 Hasil 3D FEA tegangan maksimum von Mises tulang- <i>miniscrew</i> serta deformasi maksimum terhadap variasi panjang prototipe 3D <i>miniscrew</i> PEEK dan Ti	51
Tabel 5. 3 Kurva respon variabel <i>input</i> terhadap variabel <i>output</i>	52
Tabel 5. 4 Hasil 3D FEA distribusi tegangan von Mises di <i>miniscrew</i> terhadap variasi diameter prototipe 3D <i>miniscrew</i> PEEK dan Ti	55
Tabel 5. 5 Hasil 3D FEA distribusi tegangan von Mises di tulang terhadap variasi diameter prototipe 3D <i>miniscrew</i> PEEK dan Ti	56
Tabel 5. 6 Hasil 3D FEA distribusi deformasi terhadap variasi diameter prototipe 3D <i>miniscrew</i> PEEK dan Ti	57
Tabel 5. 7 Hasil 3D FEA distribusi tegangan von Mises di <i>miniscrew</i> terhadap variasi panjang prototipe 3D <i>miniscrew</i> PEEK dan Ti	58
Tabel 5. 8 Hasil 3D FEA distribusi tegangan von Mises di tulang terhadap variasi panjang prototipe 3D <i>miniscrew</i> PEEK dan Ti	59
Tabel 5. 9 Hasil 3D FEA distribusi deformasi terhadap variasi panjang prototipe 3D <i>miniscrew</i> PEEK dan Ti	60

Tabel 5. 10 Hasil analisis *factors of safety* terhadap variasi diameter prototipe 3D *miniscrew* PEEK dan Ti..... 61

Tabel 5. 11 Hasil analisis *factors of safety* terhadap variasi panjang prototipe 3D *miniscrew* PEEK dan Ti..... 62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi tipe penjangkaran menunjukkan bahwa penjangkaran ortodontik biasanya merupakan kombinasi dari beberapa tipe yang disesuaikan dengan tujuan penjangkaran, seperti (a) <i>diastema closure</i> dengan <i>tipping movement</i> ; (b) <i>diastema closure</i> dengan <i>bodily movement</i> ; (c) gaya ekstraoral yang dibagi ke dalam tiga arah: (1) vertikal untuk <i>open bite</i> , (2) <i>oblique</i> untuk mandibula prognatisme, (3) horizontal; (d) koreksi gigitan silang dengan elastis <i>criss-cross</i> ; dan (e) retraksi gigi insisivus rahang atas dengan lingual <i>tipping movement</i> dan resistensi molar dengan <i>bodily movement</i>	8
Gambar 2. 2 Konfigurasi <i>miniscrew</i> yang secara komersial tersedia di pasaran.....	10
Gambar 2. 3 <i>Endosseous</i> midpalatal implan yang terdiri dari <i>transmucosal fixture</i> , <i>clamp cap</i> , dan <i>occlusal screw</i>	11
Gambar 2. 4 <i>Transpalatal arch</i> berikatan dengan (a) sisi lingual gigi premolar kedua rahang atas dan (b) <i>band</i> pada gigi molar pertama rahang atas	11
Gambar 2. 5 Zona T adalah tempat implantasi implan palatal yang paling ideal	12
Gambar 2. 6 Inseri implan palatal (a) pola median dan (b) pola paramedian.....	12
Gambar 2. 7 Implan protodontik tampak oklusal yang digunakan sebagai (a) penjangkaran selama perawatan dan (b) gigi <i>abutment</i> untuk dental prostesis.....	13
Gambar 2. 8 Konfigurasi <i>miniplat</i>	14
Gambar 2. 9 Tempat implantasi <i>miniplat</i>	14
Gambar 2. 10 (a) Konfigurasi L- <i>plate</i> yang diinsersikan di badan mandibula dan (b) konfigurasi Y- <i>plate</i> yang diinsersikan di <i>zygomatic buttress</i>	15
Gambar 2. 11 Skema ilustrasi desain <i>onplant</i>	16
Gambar 2. 12 <i>Transpalatal arch</i> yang terhubung dengan <i>onplant</i> yang digunakan untuk penjangkaran bidang anteroposterior pada retraksi segmen labial anterior	16
Gambar 2. 13 Fotomikrograf menunjukkan osseointegrasi di sekitar <i>miniscrew</i> yang stabil (a – c) dan jaringan ikat di sekitar <i>mobile miniscrew</i> (d – f).....	17
Gambar 2. 14 Komponen umum <i>miniscrew</i> (DualTop Anchor System-Tipe G2) yang tersusun atas (a) supragingival <i>head</i> , (b) transgingival <i>neck/collar</i> , (c) <i>threaded body/shaft</i> , (d) tip dan bagian <i>head</i> yang terdiri dari (e) <i>external rect slot</i> , (f) <i>internal rect slot</i>	18
Gambar 2. 15 Desain geometri <i>shaft miniscrew</i> yang mencakup (a) panjang, (b) <i>outer diameter</i> , (c) <i>depth</i> , (d) <i>pitch</i> , dan (e) <i>lead angle</i>	18

Gambar 2. 16 Konfigurasi desain <i>head</i> antara lain (a) <i>head with hook</i> pada Quattro Hook, (b) <i>ball head</i> pada Aarhus System, (c) <i>head with eyelets or hole</i> pada Quattro RH micro, (d) <i>head with bracket slot</i> pada Quattro Plus, (e) <i>head with cross-slot</i> pada Quattro Standard, dan (f) <i>long head</i> pada Dentos	19
Gambar 2. 17 Skema ilustrasi desain <i>collar</i> berdasarkan diameter <i>collar</i> relatif terhadap diameter <i>head</i> dan <i>shaft</i> . (a) Diameter <i>collar</i> sama dengan <i>head</i> , (b) diameter <i>collar</i> lebih besar dari <i>head</i> , (c) diameter <i>collar</i> lebih kecil dari <i>head</i> , dan (a, b, c) diameter <i>collar</i> lebih besar dari <i>shaft (stopper)</i>	20
Gambar 2. 18 Skema ilustrasi desain <i>miniscrew shaft</i> . (a) Konis, diameter <i>neck</i> (D1) lebih besar dari <i>tip</i> (D2) dan (b) silindris, diameter seragam.....	21
Gambar 2. 19 Skema ilustrasi desain <i>miniscrew thread</i> . (a) <i>Buttress reverse thread</i> , (b) <i>buttress thread</i> , (c) 75° <i>joint profile thread</i> , (d) <i>rounded thread</i> , dan (e) <i>trapezoidal thread</i>	21
Gambar 2. 20 Skema ilustrasi <i>thread depth</i> dan <i>thread angle</i>	22
Gambar 2. 21 Gambaran mikroskopis elektron <i>miniscrew</i> yang menunjukkan variasi <i>thread edges</i>	23
Gambar 2. 22 Formasi desain tip. (a) <i>Miniscrew</i> untuk metode <i>self-drilling</i> dan (b) <i>miniscrew</i> untuk metode <i>self-tapping</i>	23
Gambar 2. 23 Distalisasi molar dengan <i>miniscrew</i>	24
Gambar 2. 24 Komponen tegangan	25
Gambar 2. 25 Kurva tegangan dan regangan pada material ulet (<i>ductile</i>)	26
Gambar 2. 26 Diagram tulang kortikal dan trabekular berdasarkan klasifikasi Al-Ekrish <i>et al.</i> beserta contoh <i>cross-sectional transversal computed tomography (CT)</i>	28
Gambar 2. 27 Struktur kimia PEEK	30
Gambar 4. 1 Desain <i>miniscrew</i> (Dual-Top tipe JB, Jeil Medical Corp) dengan (a) panjang <i>miniscrew</i> dan (b) diameter <i>miniscrew</i>	42
Gambar 4. 2 Model geometri 3D maksila.	43
Gambar 4. 3 Prototipe 3D <i>miniscrew</i> berdasarkan variasi diameter	44
Gambar 4. 4 Prototipe 3D <i>miniscrew</i> berdasarkan variasi panjang.....	44
Gambar 4. 5 <i>Meshed</i> model prototipe 3D tulang– <i>miniscrew</i>	46

DAFTAR SINGKATAN

PEEK	: Polieteter Eter Keton
Ti	: Titanium
FEA	: <i>Finite Element Analysis</i>
TAD	: <i>Temporary Anchorage Device</i>