

SKRIPSI

ANALISIS DISTRIBUSI TEGANGAN, REGANGAN, DAN PERPINDAHAN PROSTESIS DISKUS INTERVERTEBRALIS PADA POSISI FLEKSI

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan Gelar Sarjana
Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



MUHAMMAD FADLY RAMADHAN

03051281823030

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2022

SKRIPSI

ANALISIS DISTRIBUSI TEGANGAN, REGANGAN, DAN PERPINDAHAN PROSTESIS DISKUS INTERVERTEBRALIS PADA POSISI FLEKSI

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan Gelar Sarjana
Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



Oleh:

MUHAMMAD FADLY RAMADHAN

03051281823030

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2022**

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS DISTRIBUSI TEGANGAN, REGANGAN, DAN PERPINDAHAN PROSTESIS DISKUS INTERVERTEBRALIS PADA POSISI FLEKSI

SKRIPSI

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Oleh:

MUHAMMAD FADLY RAMADHAN

03051281823030

Palembang, April 2022



Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197112251997021001

**Menyetujui,
Pembimbing**



Ir. H. Zainal Abidin, M.T.
NIP. 195809101986021001

JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA

Agenda No. :
Diterima Tanggal :
Paraf :

SKRIPSI

NAMA : MUHAMMAD FADLY RAMADHAN
NIM : 03051281823030
JURUSAN : TEKNIK MESIN
JUDUL SKRIPSI : ANALISIS DISTRIBUSI TEGANGAN, REGANGAN,
DAN PERPINDAHAN PROSTESIS DISKUS
INTERVERTEBRALIS PADA POSISI FLEKSI
DIBUAT : JULI 2021
SELESAI : MARET 2022



Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin
Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197112251997021001

Palembang, April 2022

Menyetujui,
Pembimbing

Ir. H. Zainal Abidin, M.T.
NIP. 195809101986021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi ini dengan judul “Analisis Distribusi Tegangan, Regangan, dan Perpindahan Prostesis Diskus Intervertebralis pada Posisi Fleksi” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Sriwijaya pada tanggal 30 Maret 2022.

Palembang, April 2022

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

Ketua:

1. Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.
NIP. 195903211987031001



Sekretaris:

2. Qomarul Hadi, S.T., M.T.
NIP. 196902131995031001



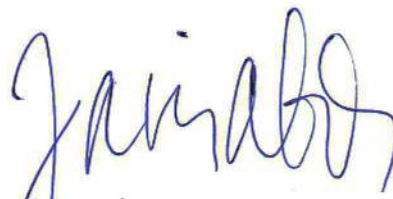
Anggota:

3. Ir. Helmy Alian, M.S.
NIP. 195910151987031006



Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 197112251997021001

Menyetujui,
Pembimbing



Ir. H. Zainal Abidin, M.T.
NIP. 195809101986021001

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik yang berjudul “Analisis Distribusi Tegangan, Regangan, dan Perpindahan Prostesis Diskus Intervertebralis pada Posisi Fleksi”.

Penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tentunya dengan mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak-pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak berikut:

1. Ali Imbron dan Defi Febrianti, kedua orang tua penulis yang telah banyak memberikan doa dan dukungan.
2. Irsyadi Yani, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
3. Amir Arifin, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
4. Ir. H. Zainal Abidin, M.T. selaku Dosen Pembimbing serta Dosen Pembimbing Akademik penulis.
5. Para dosen dan tenaga pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang telah banyak memberikan wawasan dan ilmu pengetahuannya kepada penulis selama proses perkuliahan.
6. Para karyawan dan staf Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang telah banyak membantu penulis dalam hal administrasi dan keperluan lainnya.
7. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya angkatan 2018 yang telah saling membantu penulis selama proses perkuliahan dan penulisan skripsi ini.
8. Muchammad Ilham Faizal dan Muhammad Aldy Berniko selaku sahabat penulis yang telah banyak kebersamai dan mendukung baik di perkuliahan maupun di luar perkuliahan.

9. Destu Aryanto, Septa Oktaviani, dan Ilham Gusti Wijayanto, selaku sahabat seperjuangan penulis yang telah banyak membantu penulis dalam proses penulisan skripsi ini.
10. Pihak-pihak lainnya yang tak dapat penulis tuliskan satu per satu yang telah banyak membantu penulis dalam proses penulisan dan penyusunan skripsi ini mulai dari awal hingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat dalam hal pembelajaran khususnya bagi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih.

Palembang, April 2022



Muhammad Fadly Ramadhan

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Fadly Ramadhan

NIM : 03051281823030

Judul Skripsi : Analisis Distribusi Tegangan, Regangan, dan Perpindahan
Prostesis Diskus Intervertebralis pada Posisi Fleksi

Dengan ini memberikan izin kepada Pembimbing dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun saya tidak mempublikasikan karya penelitian saya. Dalam kasus ini saya menyetujui untuk menempatkan Pembimbing sebagai penulis korepondensi (*corresponding author*).

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan dari siapa pun.

Palembang, April 2022



Muhammad Fadly Ramadhan

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Fadly Ramadhan

NIM : 03051281823030

Judul Skripsi : Analisis Distribusi Tegangan, Regangan, dan Perpindahan
Prostesis Diskus Intervertebralis pada Posisi Fleksi

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya merupakan hasil karya saya sendiri dengan didampingi oleh Pembimbing dan bukan hasil penjiplakan atau plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan atau plagiat dalam skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan dari siapa pun.



Palembang, April 2022



Muhammad Fadly Ramadhan

RINGKASAN

ANALISIS DISTRIBUSI TEGANGAN, REGANGAN, DAN PERPINDAHAN PROSTESIS DISKUS INTERVERTEBRALIS PADA POSISI FLEKSI

Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

Muhammad Fadly Ramadhan, dibimbing oleh Ir. H. Zainal Abidin, M.T.

ANALYSIS OF STRESS, STRAIN, AND DISPLACEMENT DISTRIBUTION OF INTERVERTEBRAL DISC PROSTHESIS ON FLEXION POSITION

xxvii + 48 halaman, 7 tabel, 35 gambar, 2 lampiran

RINGKASAN

Degenerasi diskus intervertebralis merupakan penyakit yang dapat menyebabkan rasa nyeri pada tulang punggung dan dapat mengakibatkan disabilitas. Diskus intervertebralis yang degeneratif dapat menyebabkan nukleus mengalami disrupsi dan mengenai saraf tulang punggung atau bahkan kerusakan total pada diskus. Salah satu langkah penanganan diskus intervertebralis yang mengalami degenerasi adalah dengan melakukan penggantian diskus dengan memasang prostesis pada ruas tulang punggung pasien. Tujuan dari pemasangan prostesis tersebut salah satunya mengembalikan gerakan normal pada pasien pascaoperasi dengan menghemat gerakan fisiologis, menjaga keseimbangan sagital yang ideal, dan menstabilkan tulang belakang lumbal dalam kelengkungan yang baik. Prostesis diskus intervertebralis harus dapat mengakomodasi beban-beban yang diterima baik secara kompresi, geseran, maupun puntiran. Beban-beban tersebut harus dianalisis terlebih dahulu untuk mengetahui daerah kritis prostesis diskus intervertebralis tersebut. Salah satu cara untuk melakukan analisis terhadap beban-beban tersebut adalah dengan menggunakan aplikasi seperti Autodesk Inventor Professional 2014. Pada penelitian ini, analisis tegangan, regangan, dan perpindahan dilakukan terhadap model prostesis yang dikembangkan oleh Centinel

Spine[®] yaitu ProDisc-L[®]. Model prosthesis tersebut dipasang pada model tulang belakang lumbal *intact* seorang laki-laki berusia 21 tahun. Model tulang belakang lumbal tersebut didapat dengan menggunakan metode *computed tomography* (CT) dengan interval 1 mm. Penelitian ini pula dibatasi hanya pada segmen tulang belakang lumbal L4-L5. Kondisi simulasi yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari dua kondisi, yaitu berdiri tegak dan fleksi (membungkuk ke depan). Masing-masing beban yang digunakan pada kondisi tersebut yaitu 750 N untuk kondisi berdiri tegak dan 7,5 Nm untuk kondisi fleksi. Model elemen hingga dari kedua model prosthesis dan tulang belakang lumbal tersebut dihasilkan menggunakan aplikasi Autodesk Inventor Professional 2014. Hasil *meshing* dari model elemen hingga tersebut memiliki *node* berjumlah 64.271 dan elemen berjumlah 36.979. Simulasi terhadap model prosthesis dan tulang belakang lumbal segmen L4-L5 dilakukan dengan menggunakan fitur *Stress Analysis* pada aplikasi Autodesk Inventor Professional 2014. Hasil simulasi posisi berdiri tegak dengan gaya sebesar 750 N menghasilkan tegangan Von Mises dengan nilai minimum sebesar 0 MPa dan nilai maksimum sebesar 187,971 MPa, perpindahan dengan nilai minimum sebesar 0 mm dan nilai maksimum sebesar 0,30 mm, dan regangan dengan nilai minimum sebesar 0% dan nilai maksimum sebesar 3,8%. Hasil simulasi posisi fleksi dengan momen sebesar 7,5 Nm menghasilkan tegangan Von Mises dengan nilai minimum sebesar 0 MPa dan nilai maksimum sebesar 555,113 MPa, perpindahan dengan nilai minimum sebesar 0 mm dan nilai maksimum sebesar 0,36 mm, dan regangan dengan nilai minimum sebesar 0% dan nilai maksimum sebesar 1,7%. Berdasarkan hasil yang dilakukan pada penelitian ini diketahui bahwa tegangan yang terjadi pada posisi berdiri tegak masih berada di bawah tegangan *yield* material *endplate* prosthesis dan pada posisi fleksi melebihi batas tegangan *yield* material *endplate* prosthesis. Sementara itu, perpindahan yang terjadi masih berada di bawah batas perpindahan maksimum (1 mm).

Kata Kunci : diskus intervertebalis, prosthesis diskus intervertebralis, tegangan, regangan, perpindahan

SUMMARY

ANALYSIS OF STRESS, STRAIN, AND DISPLACEMENT DISTRIBUTION OF INTERVERTEBRAL DISC PROSTHESIS ON FLEXION POSITION

Scientific Writing in the form of Thesis

Muhammad Fadly Ramadhan, supervised by Ir. H. Zainal Abidin, M.T.

ANALISIS DISTRIBUSI TEGANGAN, REGANGAN, DAN PERPINDAHAN PROSTESIS DISKUS INTERVERTEBRALIS PADA POSISI FLEKSI

xxvii + 48 pages, 7 tables, 35 figures, 2 attachments

SUMMARY

Degenerative intervertebral disc is a disease that could cause pain at lumbar spine and could cause disability. Degenerated intervertebral disc may cause nucleus disruption and herniation or even total failure on the disc. One of the degenerated intervertebral disc treatment is replacing the disc with a prosthesis on the patient's vertebrae. The goals of prosthesis installation are restoring normal motion in the postoperative patient by sparing the physiological motion, maintaining an ideal sagittal balance, and stabilizing the lumbar spine in good curvature. The intervertebral disc prosthesis should accommodate the received loads such as compression, shear, and bending. The loads must be analyzed first in order to determine the critical region of the intervertebral disc prosthesis. One of the way to analyze the loads is by using application such as Autodesk Inventor Professional 2014. In this research, analysis of stress, strain, and displacement is performed on a ProDisc-L[®] prosthesis model developed by Centinel Spine[®]. The prosthesis model is installed on an intact lumbar spine model of a 21 years old man. Intact lumbar spine model was generated by using computed tomography (CT) method with 1 mm interval. This research is only focused on the L4-L5 segment of the lumbar spine. Simulation conditions used in this research are consists of two

positions, standing upright and flexion (leaning forward). The loads used are 750 N for standing upright and 7,5 Nm for flexion. Finite element model of the prosthesis and lumbar spine models is generated using Autodesk Inventor Professional 2014. The generated mesh of the finite element model consists of 64.271 nodes and 36.979 elements. The simulation on the prosthesis model and L4-L5 segment of the lumbar spine model is performed using Stress Analysis feature of the Autodesk Inventor Professional 2014. The simulation of standing upright position with force of 750 N resulting on Von Mises stress with minimum of 0 MPa and maximum of 187,971 MPa, displacement with minimum of 0 mm and maximum of 0,30 mm, and strain with minimum of 0% and maximum of 3,8%. The simulation of flexion position with moment of 7,5 Nm resulting on Von Mises stress with minimum of 0 MPa and maximum of 555,113 MPa, displacement with minimum of 0 mm and maximum of 0,36 mm, and strain with minimum of 0% and maximum of 1,7%. Based on the results of this research, it can be concluded that the stress on standing upright position is still below the yield stress of the endplate material and the stress on flexion position is over the yield stress of the endplate material. the displacement is still below the maximum displacement allowed (1 mm).

Keywords : intervertebral disc, intervertebral disc prosthesis, stress, strain, displacement

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	v
HALAMAN PERSETUJUAN	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	xiii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	xv
RINGKASAN.....	xvii
SUMMARY	xix
DAFTAR ISI.....	xxi
DAFTAR GAMBAR.....	xxiii
DAFTAR TABEL	xxv
DAFTAR LAMPIRAN	xxvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Anatomi Tulang Belakang Lumbal	5
2.2. Diskus Intervertebralis	6
2.3. Degenerasi Diskus Intervertebralis.....	7
2.4. Prostesis Diskus Intervertebralis	9
2.5. Tegangan, Regangan, dan Perpindahan	11
2.6. Metode Elemen Hingga	14
2.7. Pengenalan Aplikasi Autodesk Inventor Professional.....	16
2.8. Penelitian-Penelitian Sebelumnya	17
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1. Diagram Alir Penelitian	19
3.2. Spesifikasi Prostesis.....	20

3.3. Model Tulang Belakang Lumbal.....	23
3.4. Simulasi.....	26
3.5. Hasil yang Diharapkan.....	27
3.6. Uraian Kegiatan.....	28
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1. Model Elemen Hingga	29
4.2. Kondisi Batas dan Beban	30
4.2.1. Kondisi Batas dan Beban Posisi Berdiri Tegak.....	30
4.2.2. Kondisi Batas dan Beban Posisi Fleksi.....	31
4.3. Hasil Simulasi.....	32
4.3.1. Hasil Simulasi Posisi Berdiri Tegak	32
4.3.2. Hasil Simulasi Posisi Fleksi	36
4.4. Pembahasan.....	40
BAB 5 SIMPULAN DAN SARAN.....	41
5.1. Simpulan	41
5.2. Saran	41
DAFTAR PUSTAKA.....	43
LAMPIRAN	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Anatomi tulang belakang lumbal.....	5
Gambar 2.2. Anatomi diskus intervertebralis	6
Gambar 2.3. Pembebanan pada diskus intervertebralis	7
Gambar 2.4. Diskus normal dan yang mengalami degenerasi	8
Gambar 2.5. Komponen tegangan	12
Gambar 2.6. Kurva tegangan-regangan	13
Gambar 2.7. Elemen tetrahedron pada sistem koordinat global xyz	15
Gambar 2.8. Elemen heksahedron pada sistem koordinat (A) global xyz dan (B) lokal rst.....	15
Gambar 2.9. Tampilan Autodesk Inventor Professional.....	16
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian	19
Gambar 3.2. Dimensi dari inferior endplate.....	20
Gambar 3.3. Dimensi dari superior endplate.....	20
Gambar 3.4. Dimensi dari inlay.....	21
Gambar 3.5. Model prostesis dalam keadaan terpasang	21
Gambar 3.6. Model tulang belakang lumbal segmen L4-L5.....	25
Gambar 3.7. Vertebra L4 dalam tampak (A) isometrik dan (B) lateral.....	26
Gambar 3.8. Vertebra L5 dalam tampak (A) isometrik dan (B) lateral.....	26
Gambar 3.9. Model prostesis terpasang pada tulang belakang segmen L4-L5	27
Gambar 4.1. Hasil <i>meshing</i> model tulang belakang lumbal dan prostesis.....	29
Gambar 4.2. Kondisi batas pada simulasi posisi berdiri tegak.....	30
Gambar 4.3. Beban pada simulasi posisi berdiri tegak	30
Gambar 4.4. Kondisi batas pada simulasi posisi fleksi.....	31
Gambar 4.5. Beban pada simulasi posisi fleksi	31
Gambar 4.6. Tegangan Von Mises hasil simulasi pada posisi berdiri tegak.....	33
Gambar 4.7. Tegangan Von Mises posisi berdiri tegak pada model prostesis.....	33
Gambar 4.8. Perpindahan hasil simulasi posisi berdiri tegak.....	34
Gambar 4.9. Perpindahan pada prostesis hasil simulasi posisi berdiri tegak.....	34
Gambar 4.10. Regangan hasil simulasi pada posisi berdiri tegak	35

Gambar 4.11. Regangan pada prosthesis hasil simulasi posisi berdiri tegak	35
Gambar 4.12. Tegangan Von Mises hasil simulasi pada posisi fleksi	37
Gambar 4.13. Tegangan Von Mises posisi fleksi pada model prosthesis	37
Gambar 4.14. Perpindahan hasil simulasi pada posisi fleksi	38
Gambar 4.15. Perpindahan pada prosthesis hasil simulasi posisi fleksi	38
Gambar 4.16. Regangan hasil simulasi pada posisi fleksi	39
Gambar 4.17. Regangan pada prosthesis hasil simulasi posisi fleksi	39

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Macam-macam prosthesis diskus intervertebralis	10
Tabel 3.1. Data material prosthesis.....	22
Tabel 3.2. Data subyek penelitian.....	23
Tabel 3.3. Data material tulang belakang lumbal	24
Tabel 3.4. Data kondisi simulasi	27
Tabel 3.5. Uraian kegiatan selama penelitian.....	28
Tabel 4.1. Data hasil simulasi.....	40

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data hasil simulasi posisi fleksi berdasarkan <i>Stress Analysis Report Autodesk Inventor Professional 2014</i>	47
Lampiran 2. Data hasil simulasi posisi berdiri tegak berdasarkan <i>Stress Analysis Report Autodesk Inventor Professional 2014</i>	48

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penyakit diskus intervertebralis degeneratif merupakan penyakit yang tergolong umum dialami sebagian besar masyarakat pada usia 25 hingga 70 tahun ke atas. Penyakit ini menyebabkan rasa nyeri pada tulang punggung dan dapat mengakibatkan disabilitas. Diskus intervertebralis (*intervertebral disc*) mengalami degenerasi lebih awal dari jaringan muskuloskeletal lainnya.

Degenerasi diskus intervertebralis dapat dipicu oleh beberapa faktor di antaranya penuaan, perubahan struktur pada tulang belakang, trauma, genetik, merokok, serta kekurangan nutrisi (Kim *et al.* 2020). Degenerasi diskus intervertebralis dapat menyebabkan nukleus mengalami disrupsi dan mengenai saraf tulang punggung atau bahkan kerusakan total pada diskus. Di Indonesia, hernia *nucleus pulposus* yang menjadi salah satu faktor utama degenerasi diskus intervertebralis terjadi pada masyarakat yang berusia 40 tahun ke atas (Simanjuntak *et al.* 2021).

Penanganan degenerasi diskus intervertebralis ini beragam dari penanganan secara mekanis yang mengandalkan konsep menghilangkan sumber nyeri yaitu diskus itu sendiri hingga ke penanganan yang modern seperti terapi genetik, faktor pertumbuhan, dan transplantasi sel (Taher *et al.* 2012). Penggantian diskus yang mengalami degenerasi secara total adalah salah satu langkah penyembuhan dengan memasang prosthesis pada ruas tulang punggung pasien. Tujuan dari pemasangan prosthesis tersebut salah satunya mengembalikan gerakan normal pada pasien pascaoperasi dengan menghemat gerakan fisiologis, menjaga keseimbangan sagital yang ideal, dan menstabilkan tulang belakang lumbal dalam kelengkungan yang baik (Beatty 2018).

Prostesis diskus intervertebralis pada dasarnya akan menerima beban dari tulang punggung baik secara kompresi, geseran, maupun puntiran. Beban-beban yang diterima tersebut harus dapat diakomodasi oleh prostesis. Salah satu langkah yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan analisis terhadap distribusi tegangan, regangan, dan perpindahan prostesis tersebut dengan menggunakan aplikasi Autodesk Inventor Professional 2014.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimanakah analisis distribusi tegangan, regangan, dan perpindahan prostesis diskus intervertebralis pada posisi fleksi dengan menggunakan aplikasi Autodesk Inventor Professional 2014.

1.3. Batasan Masalah

Agar permasalahan pada penelitian ini tidak semakin meluas, maka permasalahan dibatasi hanya pada analisis distribusi tegangan, regangan, dan perpindahan prostesis diskus intervertebralis yang dipasang pada ruas tulang belakang lumbal segmen L4-L5.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian analisis distribusi tegangan, regangan, dan perpindahan prostesis diskus intervertebralis ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Menganalisis distribusi tegangan, regangan, dan perpindahan prostesis diskus intervertebralis pada posisi fleksi.
2. Mengetahui daerah kritis prostesis diskus intervertebralis pada posisi fleksi.

1.5. Manfaat Penelitian

Ada pun manfaat dari penelitian analisis distribusi tegangan, regangan, dan perpindahan prostesis diskus intervertebralis ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui hasil analisis distribusi tegangan, regangan, dan perpindahan prostesis diskus intervertebralis pada posisi fleksi.
2. Mengetahui daerah kritis prostesis diskus intervertebralis pada posisi fleksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Baron S, Desmond D, Ahearne E. 2019. The fundamental mechanisms of wear of cemented carbide in continuous cutting of medical grade cobalt chromium alloy (ASTM F75). *Wear*. 424–425:89–96.doi:10.1016/j.wear.2019.01.096.
- Beatty S. 2018. We need to talk about lumbar total disc replacement. *Int. J. Spine Surg*. 12(2):201–240.doi:10.14444/5029.
- Cai X, Sun M, Huang Y, Liu Z-X, Liu C, Du C, Yang Q. 2020. Biomechanical Effect of L4 -L5 Intervertebral Disc Degeneration on the Lower Lumbar Spine: A Finite Element Study. *Orthop. Surg*. 12(3):917–930.doi:10.1111/os.12703.
- Chemmmami A, Aour B, Zahaf S, Dahmane M, Bekkar I, Mehdi G, Boutchicha D. 2021. Biomechanical comparison of three total artificial discs: Sb-charite iii®, prodisc-l® and maverick® reinforced by a posterior fixation system in the spinal column: A three-dimensional finite element analysis. *Struct. Integr. Life*. 21(1):65–83.
- Choi J, Shin DA, Kim S. 2017. Biomechanical effects of the geometry of ball-and-socket artificial disc on lumbar spine. *Spine (Phila. Pa. 1976)*. 42(6):E332–E339.doi:10.1097/BRS.0000000000001789.
- Choi J, Shin DA, Kim S. 2019. Finite element analysis of a ball-and-socket artificial disc design to suppress excessive loading on facet joints: A comparative study with ProDisc. *Int. j. numer. method. biomed. eng*. 35(9):1–9.doi:10.1002/cnm.3214.
- Costi JJ, Freeman BJC, Elliott DM. 2011. Intervertebral disc properties: Challenges for biodevices. *Expert Rev. Med. Devices*. 8(3):357–376.doi:10.1586/erd.11.1.
- Feng Y, Egan B, Wang J. 2016. Genetic factors in intervertebral disc degeneration. *Genes Dis*. 3(3):178–185.doi:10.1016/j.gendis.2016.04.005.
- Jada A, Härtl R, Baaj A. 2017. Lumbar Disc Herniations. Di dalam: Ho AL, Desai AM, editor. *Intervertebral Disc Degeneration: Prevalence, Risk Factors and Treatments*. New York: Nova Science Publishers, Inc. hlm. 157–210.

- Jordan JL, Casem DT, Bradley JM, Dwivedi AK, Brown EN, Jordan CW. 2016. Mechanical Properties of Low Density Polyethylene. *J. Dyn. Behav. Mater.* 2(4):411–420.doi:10.1007/s40870-016-0076-0.
- Kassir M. 2017. *Applied elasticity and plasticity*.
- Kim HS, Wu PH, Jang IT. 2020. Lumbar degenerative disease part 1: Anatomy and pathophysiology of intervertebral discogenic pain and radiofrequency ablation of basivertebral and sinuvertebral nerve treatment for chronic discogenic back pain: A prospective case series and review of literature. *Int. J. Mol. Sci.* 21(4).doi:10.3390/ijms21041483.
- Li F, Gao L, Gao H, Cui Y. 2017. The Mechanical Properties and Modeling of Creep Behavior of UHMWPE/Nano-HA Composites. *J. Mater. Eng. Perform.* 26(9):4514–4521.doi:10.1007/s11665-017-2913-2.
- Mirzaali MJ, Schwiedrzik JJ, Thaiwichai S, Best JP, Michler J, Zysset PK, Wolfram U. 2016. Mechanical properties of cortical bone and their relationships with age, gender, composition and microindentation properties in the elderly. *Bone.* 93:196–211.doi:10.1016/j.bone.2015.11.018.
- Morgan EF, Unnikrisnan GU, Hussein AI. 2018. Bone Mechanical Properties in Healthy and Diseased States. *Annu. Rev. of Biomedical Eng.* 20:119–143.doi:https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-062117-121139.
- Munir S, Rade M, Määttä JH, Freidin MB, Williams FMK. 2018. Intervertebral Disc Biology: Genetic Basis of Disc Degeneration. *Curr. Mol. Biol. Reports.* 4(4):143–150.doi:10.1007/s40610-018-0101-2.
- Öhman-Mägi C, Holub O, Wu D, Hall RM, Persson C. 2021. Density and mechanical properties of vertebral trabecular bone—A review. *JOR SPINE*.(January):1–15.doi:10.1002/jsp2.1176.
- Pan J, Pendharkar A V, Park J. 2017. Spinal Biomechanics. Di dalam: Ho AL, Desai AM, editor. *Intervertebral Disc Degeneration: Prevalence, Risk Factors and Treatments*. New York. hlm. 37–62.
- Rao SS. 2010. *The Finite Element Method in Engineering: Fifth Edition*.
- Rosa G La, Basile G, Fargione G, Giudice F. 2018. Design of a new intervertebral disc prosthesis: A numerical approach. *Procedia Struct. Integr.* 12:274–280.doi:10.1016/j.prostr.2018.11.088.

- S I RA, C V C, Goplani P. 2019. Fracture strength estimation of L3-L4 intervertebral disc using FEA. *Vibroengineering PROCEDIA*. 27:67–72.doi:10.21595/vp.2019.20976.
- Sandhu FA, Dowlati E, Garica R. 2020. Lumbar Arthroplasty: Past, Present, and Future. *Clin. Neurosurg*. 86(2):155–169.doi:10.1093/neuros/nyz439.
- Simanjuntak ML, Ilyas M, Murtala B, Zainuddin A. 2021. Hubungan Antara Parameter Geometrik Sagital Lumbosakral Dengan Kejadian Hernia Nukleus Pulposus Pada Pasien Yang Dilakukan Pemeriksaan MRI Lumbosakral PPDS Ilmu Radiologi Fakultas Kedokteran Universitas Hasanuddin Makassar, Indonesia. *J. Biomedik*. 13(28):9–17.
- Suyasa IK. 2018. Anatomi Vertebra Lumbal. Di dalam: Suyasa IK, editor. *Penyakit Degenerasi Lumbal: Diagnosis dan Tata Laksana*. Denpasar: Udayana University Press. hlm. 3–17.
- Taher F, Essig D, Lebl DR, Hughes AP, Sama AA, Cammisa FP, Girardi FP. 2012. Lumbar Degenerative Disc Disease: Current and Future Concepts of Diagnosis and Management. *Adv. Orthop*. 2012(February 2014):1–7.doi:10.1155/2012/970752.
- Xu M, Yang J, Lieberman IH, Haddas R. 2017. Lumbar spine finite element model for healthy subjects: development and validation. *Comput. Methods Biomech. Biomed. Engin*. 20(1):1–15.doi:10.1080/10255842.2016.1193596.
- Zahaf S, Kebdani S. 2017. Study and analysis of mechanical behavior between rigid and dynamic fixation systems analyzed by the finite element method. *J. Biomimetics, Biomater. Biomed. Eng*. 33(September 2021):12–31.doi:10.4028/www.scientific.net/JBBBE.33.12.
- Zhao FD, Pollintine P, Hole BD, Adams MA, Dolan P. 2009. Vertebral fractures usually affect the cranial endplate because it is thinner and supported by less-dense trabecular bone. *Bone*. 44(2):372–379.doi:10.1016/j.bone.2008.10.048.