

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

Zainal Abidin⁽¹⁾, Astuti^(1*) dan Muhammad Fadly Ramadhan⁽¹⁾

⁽¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

^(*)E-mail *Corresponding Author* : astuti@ft.unsri.ac.id

Abstrak

Penggantian total diskus intervertebralis menggunakan prosthesis merupakan salah satu langkah penanganan penyakit degenerasi diskus intervertebralis. Prosthesis ini harus dapat mengakomodasi beban yang diterima dari tulang belakang lumbal. Penelitian ini melakukan analisis terhadap distribusi tegangan, regangan, dan perpindahan pada prosthesis model ProDisc-L® yang dikembangkan oleh Centinel Spine® yang dipasang pada model tulang belakang lumbal segmen L4-L5 seorang laki-laki berusia 21 tahun. Simulasi dilakukan terhadap dua posisi yaitu berdiri tegak dan fleksi (membungkuk ke depan) dengan beban masing-masing 750 N dan 7,5 Nm. Tegangan Von Mises maksimum yang dihasilkan pada simulasi dengan posisi berdiri tegak dan fleksi masing-masing bernilai sebesar 187,971 MPa dan 555,113 MPa. Tegangan yang terjadi pada posisi berdiri tegak dapat dinyatakan aman karena berada di bawah tegangan yield material endplate prosthesis ($\sigma_y = 527$ MPa), sementara dan pada posisi fleksi dapat dinyatakan tidak cukup aman karena melebihi batas tegangan yield material endplate prosthesis ($\sigma_y = 527$ MPa). Regangan maksimum yang dihasilkan pada simulasi dengan posisi berdiri tegak dan fleksi masing-masing bernilai sebesar 3,9% dan 1,7%. Perpindahan maksimum yang dihasilkan pada simulasi dengan posisi berdiri tegak dan fleksi masing-masing bernilai sebesar 0,30 mm dan 0,36 mm, yang mana dapat disimpulkan bahwa perpindahan yang terjadi masih berada di bawah batas perpindahan maksimum (1 mm).

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

Abstract

Total intervertebral disc replacement using prosthesis is one of treatments for degenerative intervertebral disc. This prosthesis must accommodate loads from the lumbar spine. This research performed an analysis of stress, strain, and displacement distribution of a ProDisc-L® prosthesis developed by Centinel Spine® installed on an L4-L5 segment of lumbar spine model of a 21 years old man. The simulation performed with two positions; standing upright and flexion, with loads applied are 750 N and 7,5 Nm respectively. Maximum Von Mises stress resulted from the standing upright and flexion simulations are 187,971 MPa and 555,113 MPa respectively. The stress on standing upright position can be considered safe as it is still below the yield stress of the endplate material ($\sigma_y = 527$ MPa), meanwhile the stress on flexion position can be considered unsafe as it is over the yield stress of the endplate material ($\sigma_y = 527$ MPa). Maximum strain resulted from the standing upright and flexion simulations are 3,9% and 1,7% respectively. Maximum displacement resulted from the standing upright and flexion simulations are 0,30 mm and 0,36 mm respectively, which can be concluded that the displacement was still under the maximum displacement allowed (1 mm).

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

1 PENDAHULUAN

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.

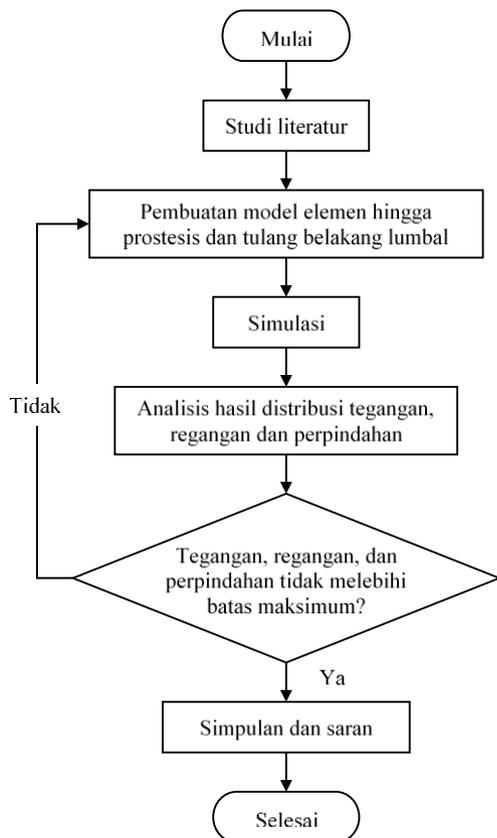
Degenerasi diskus intervertebralis dapat dipicu oleh beberapa faktor di antaranya penuaan, perubahan struktur pada tulang belakang, trauma, genetik, merokok, serta kekurangan nutrisi [1]. Degenerasi diskus intervertebralis dapat menyebabkan nukleus mengalami disrupsi dan mengenai saraf tulang punggung 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 [2].

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 [3]. Penggantian diskus yang mengalami degenerasi secara total adalah salah satu langkah penyembuhan dengan memasang protesis pada ruas tulang punggung pasien. Tujuan dari pemasangan protesis 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 [4].

Protesis 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 protesis. Salah satu langkah yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan analisis terhadap distribusi tegangan, regangan, dan perpindahan protesis tersebut dengan menggunakan aplikasi Autodesk Inventor Professional 2014.

2 METODOLOGI

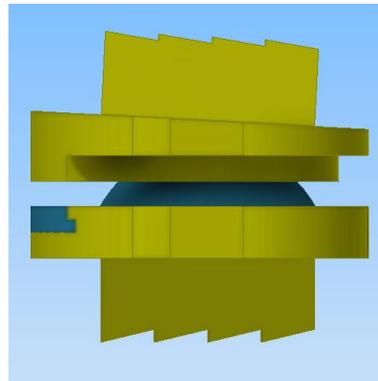
Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan sebagaimana dapat dilihat melalui diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Spesifikasi Protesis

Model protesis yang digunakan pada penelitian ini adalah model Prodisc-L[®] yang dikembangkan oleh Centinel Spine[®], LLC. Protesis ini terdiri dari tiga komponen, yaitu (1) *superior (top) endplate*, (2) *inferior (bottom) endplate*, dan (3) *inlay*. Komponen-komponen protesis kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



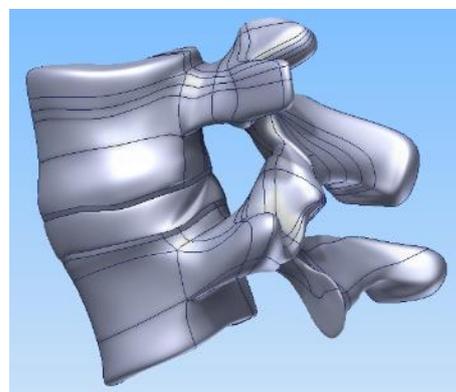
Gambar 2. Model protesis dalam keadaan terpasang

Model Tulang Belakang Lumbal

Model tulang belakang lumbal yang digunakan pada penelitian ini adalah model yang digunakan pada penelitian yang dilakukan oleh [5], [6]. Model tersebut didapat dengan menggunakan metode *computed tomography* (CT) dengan interval 1 mm pada tulang belakang *intact*. Segmen tulang belakang lumbal yang digunakan pada penelitian ini adalah segmen L4-L5 seperti yang terlihat pada Gambar 3. Data subyek yang tulang belakang lumbalnya dijadikan obyek penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data subyek penelitian

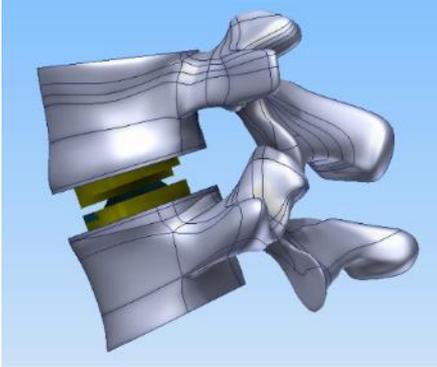
Parameter	Keterangan	Referensi
Jenis kelamin	Laki-laki	[5], [6]
Usia	21 tahun	[5], [6]
Tinggi badan	175 cm	[5], [6]



Gambar 3. Model tulang belakang lumbal segmen L4-L5

Simulasi

Pada penelitian ini model prostesis diskus intervertebralis dipasang pada model tulang belakang lumbal segmen L4-L5 sehingga menjadi satu rangkaian model seperti yang terlihat pada Gambar 4. Sementara itu, komponen anatomi diskus intervertebralis seperti *annulus fibrosus* dan *nucleus pulposus* tidak diikutsertakan pada model untuk mempermudah proses simulasi.



Gambar 4. Model prostesis terpasang pada tulang belakang segmen L4-L5

Proses simulasi pada penelitian ini dilakukan simulasi terhadap prostesis dengan beberapa posisi di antaranya berdiri tegak dan fleksi yang dapat dilihat pada Tabel 2.

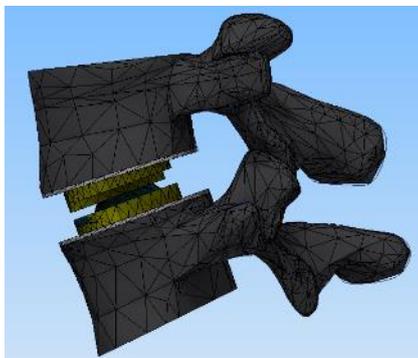
Tabel 2. Data kondisi simulasi

No.	Posisi	Beban
1.	Berdiri tegak	750 N

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Model Elemen Hingga

Model elemen hingga dari model tulang belakang lumbal segmen L4-L5 dan prostesis dibuat menggunakan aplikasi Autodesk Inventor Professional 2014 dengan memanfaatkan fitur *Stress Analysis*. Model elemen hingga yang didapat berupa hasil *meshing* dengan *node* berjumlah 64.271 dan elemen berjumlah 36.979. Hasil *meshing* dapat dilihat pada Gambar 5.

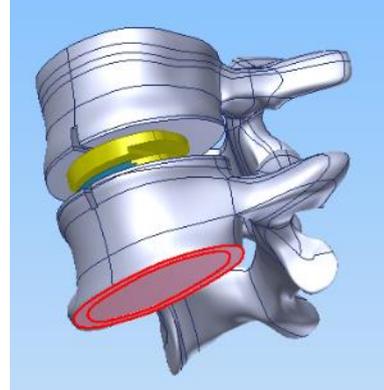


Gambar 5. Hasil *meshing* model tulang belakang lumbal dan prostesis

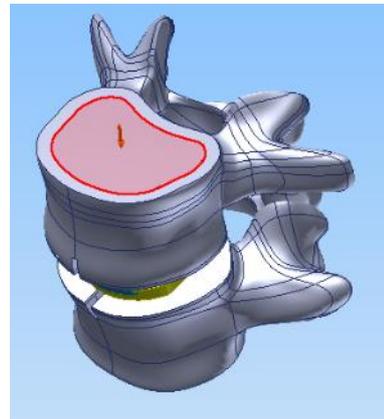
Kondisi Batas dan Beban

1. Kondisi Batas dan Beban Posisi Berdiri Tegak

Pada posisi berdiri tegak, kondisi batas dan beban yang digunakan pada simulasi dapat dilihat masing-masing pada Gambar 6 dan Gambar 7.



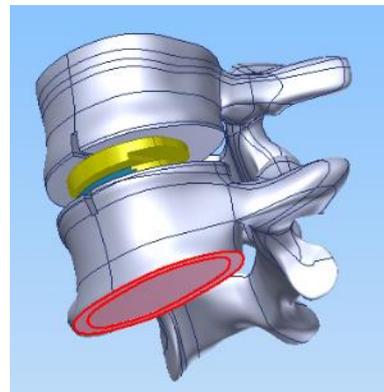
Gambar 6. Kondisi batas pada simulasi posisi berdiri tegak



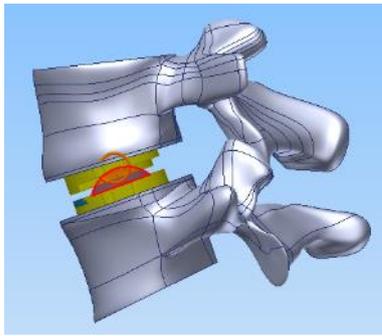
Gambar 7. Beban pada simulasi posisi berdiri tegak

2. Kondisi Batas dan Beban Posisi Fleksi

Pada posisi fleksi, kondisi batas dan beban yang digunakan pada simulasi dapat dilihat masing-masing pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Kondisi batas pada simulasi posisi fleksi



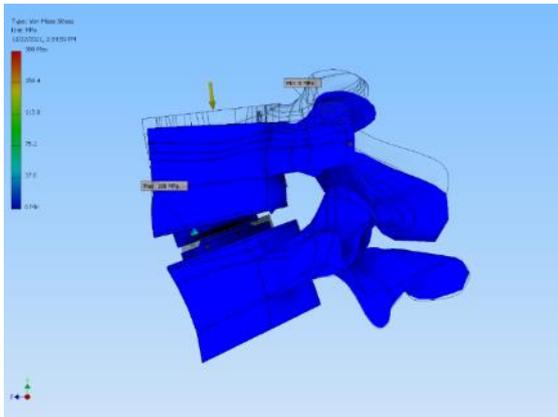
Gambar 9. Beban pada simulasi posisi fleksi

Hasil Simulasi

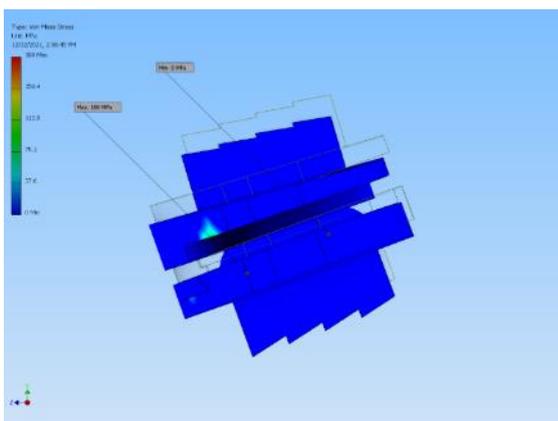
1. Hasil Simulasi Posisi Berdiri Tegak

a. Tegangan Von Mises

Tegangan Von Mises pada hasil simulasi yang dilakukan terhadap model tulang belakang lumbal dan prostesis dengan posisi berdiri tegak dengan gaya sebesar 750 N memiliki nilai minimum sebesar 0 MPa dan nilai maksimum sebesar 187,971 MPa.



Gambar 10. Tegangan Von Mises hasil simulasi pada posisi berdiri tegak

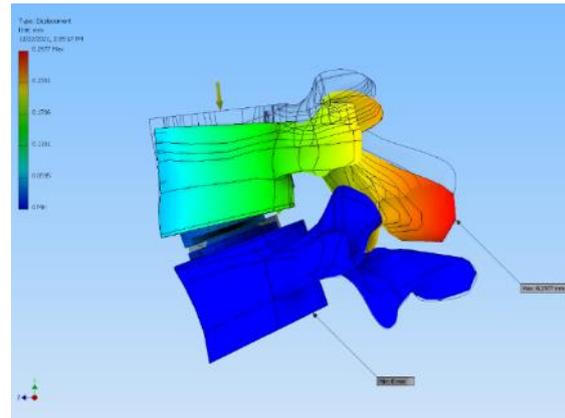


Gambar 11. Tegangan Von Mises posisi berdiri tegak pada model prostesis

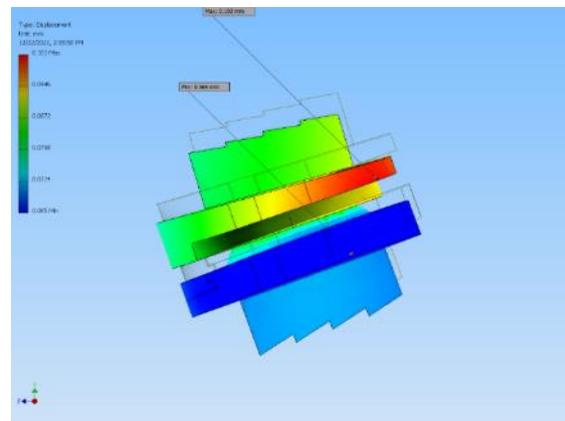
b. Perpindahan

Perpindahan pada hasil simulasi yang dilakukan terhadap model tulang belakang lumbal dan prostesis dengan posisi berdiri tegak dengan gaya sebesar 750 N memiliki nilai minimum sebesar 0 mm dan nilai maksimum sebesar 0,30 mm.

N memiliki nilai minimum sebesar 0 mm dan nilai maksimum sebesar 0,30 mm.



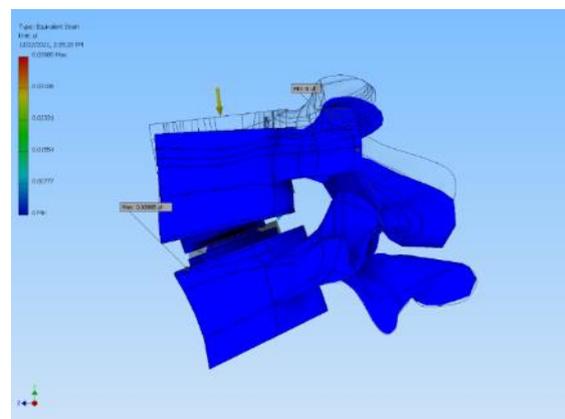
Gambar 12. Perpindahan hasil simulasi posisi berdiri tegak



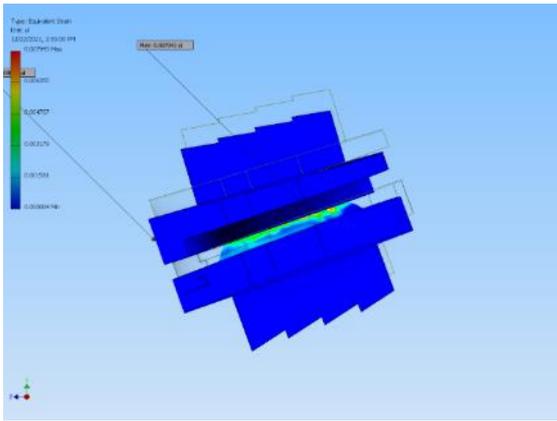
Gambar 13. Perpindahan pada prostesis hasil simulasi posisi berdiri tegak

c. Regangan

Regangan pada hasil simulasi yang dilakukan terhadap model tulang belakang lumbal dan prostesis dengan posisi berdiri tegak dengan gaya sebesar 750 N memiliki nilai minimum sebesar 0% dan nilai maksimum sebesar 3,8%.



Gambar 14. Regangan hasil simulasi pada posisi berdiri tegak

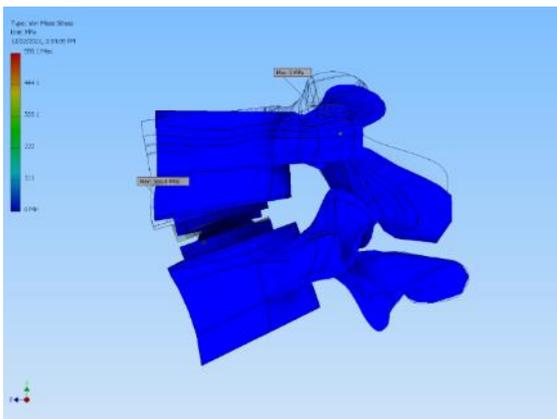


Gambar 15. Regangan pada prostesis hasil simulasi posisi berdiri tegak

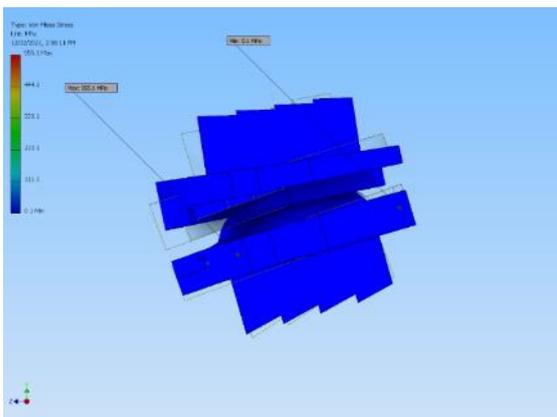
2. Hasil Simulasi Posisi Fleksi

a. Tegangan Von Mises

Tegangan Von Mises pada hasil simulasi yang dilakukan terhadap model tulang belakang lumbal dan prostesis dengan posisi fleksi dengan momen sebesar 7,5 Nm memiliki nilai minimum sebesar 0 MPa dan nilai maksimum sebesar 555,113 MPa.



Gambar 16. Tegangan Von Mises hasil simulasi pada posisi fleksi

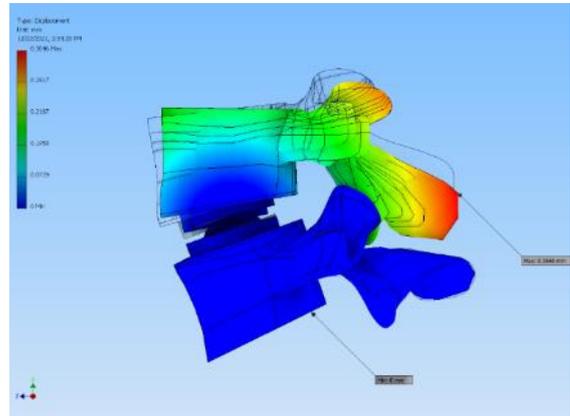


Gambar 17. Tegangan Von Mises posisi fleksi pada model prostesis

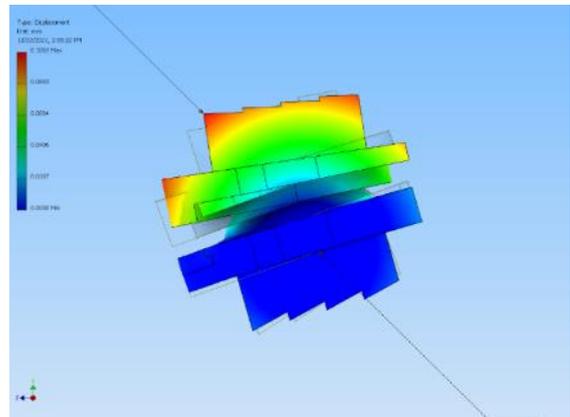
b. Perpindahan

Perpindahan pada hasil simulasi yang dilakukan terhadap model tulang belakang lumbal dan prostesis

dengan posisi fleksi dengan momen sebesar 7,5 Nm memiliki nilai minimum sebesar 0 mm dan nilai maksimum sebesar 0,36 mm. Sementara itu, untuk perpindahan yang terjadi pada prostesis itu sendiri memiliki nilai minimum sebesar 0 mm dan nilai maksimum sebesar 0,10 mm.



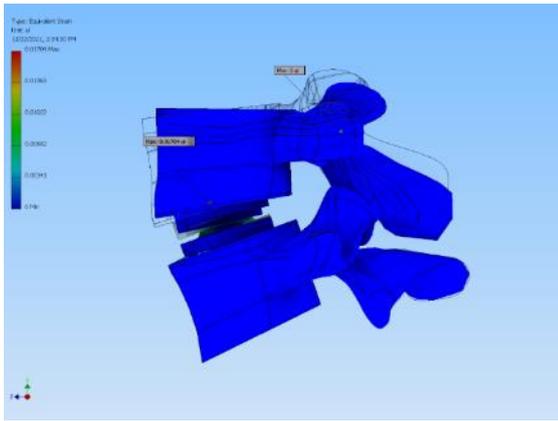
Gambar 18. Perpindahan hasil simulasi pada posisi fleksi



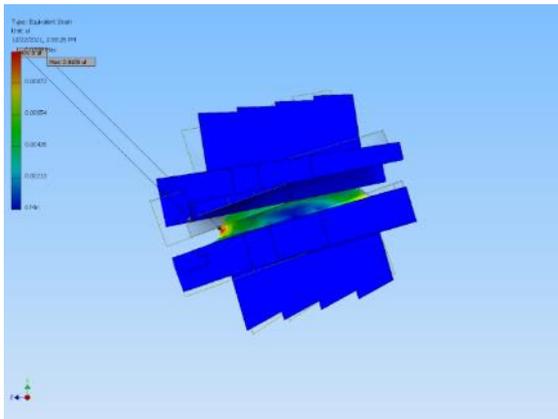
Gambar 19. Perpindahan pada prostesis hasil simulasi posisi fleksi

c. Regangan

Regangan pada hasil simulasi yang dilakukan terhadap model tulang belakang lumbal dan prostesis dengan posisi fleksi dengan momen sebesar 7,5 Nm memiliki nilai minimum sebesar 0% dan nilai maksimum sebesar 1,7%. Sementara itu, untuk regangan pada prostesis itu sendiri memiliki nilai minimum sebesar 0 dan nilai maksimum sebesar 1,09%.



Gambar 20. Regangan hasil simulasi pada posisi fleksi



Gambar 21. Regangan pada prostesis hasil simulasi posisi fleksi

Pembahasan

Pada penelitian ini dilakukan simulasi terhadap model prostesis diskus intervertebralis yang dipasang pada model tulang belakang lumbal segmen L4-L5 dengan dua posisi yaitu berdiri tegak dan fleksi. Hasil yang didapat dari simulasi tersebut di antaranya nilai-nilai tegangan Von Mises, regangan, dan perpindahan. Data hasil simulasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data hasil simulasi

Parameter	Nilai	Posisi	
		Berdiri tegak	Fleksi
Tegangan Von Mises (MPa)	Min.	0	0
	Maks.	187,971	555,113
Regangan (%)	Min.	0	0
	Maks.	3,9	1,7
Perpindahan (mm)	Min.	0	0
	Maks.	0,30	0,36

Hasil simulasi untuk posisi berdiri tegak yang didapat di antaranya tegangan Von Mises dengan nilai maksimum 187,971 MPa, regangan dengan nilai maksimum 3,9%, dan perpindahan dengan nilai maksimum 0,30 mm. Tegangan Von Mises

maksimum untuk posisi berdiri tegak yang didapat masih berada di bawah tegangan *yield* material *endplate* prostesis ($\sigma_y = 527$ MPa). Oleh karena itu, material dapat dinyatakan aman sebab belum mengalami deformasi plastis. Hasil simulasi untuk posisi fleksi yang didapat di antaranya tegangan Von Mises dengan nilai maksimum 555,113 MPa, regangan dengan nilai maksimum 1,7%, dan perpindahan dengan nilai maksimum 0,36 mm. Tegangan Von Mises maksimum untuk posisi fleksi yang didapat melebihi batas tegangan *yield* material *endplate* prostesis ($\sigma_y = 527$ MPa). Dengan kata lain, material dapat dinyatakan tidak cukup aman sebab material pada kondisi ini sudah mengalami deformasi plastis. Sementara itu, perpindahan yang dihasilkan dari simulasi kedua posisi dapat dinyatakan aman sebab masih berada di bawah batas maksimum perpindahan yang diizinkan (1 mm).

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa simpulan di antaranya adalah sebagai berikut.

1. Tegangan Von Mises maksimum yang dihasilkan pada simulasi posisi berdiri tegak dengan beban sebesar 750 N bernilai sebesar 187,971 MPa, yang mana dapat disimpulkan bahwa prostesis dinyatakan aman karena tegangan yang terjadi melebihi batas tegangan *yield* material *endplate* prostesis ($\sigma_y = 527$ MPa).
2. Tegangan Von Mises maksimum yang dihasilkan pada simulasi posisi fleksi dengan momen sebesar 7,5 Nm bernilai sebesar 555,113 MPa, yang mana dapat disimpulkan bahwa prostesis dinyatakan tidak cukup aman karena tegangan yang terjadi melebihi batas tegangan *yield* material *endplate* prostesis ($\sigma_y = 527$ MPa).
3. Regangan maksimum yang dihasilkan pada simulasi dengan posisi berdiri tegak dan fleksi masing-masing bernilai sebesar 3,9% dan 1,7%.
4. Perpindahan maksimum yang dihasilkan pada simulasi dengan posisi berdiri tegak dan fleksi masing-masing bernilai sebesar 0,30 mm dan 0,36 mm, yang mana dapat disimpulkan bahwa perpindahan yang terjadi masih berada di bawah batas perpindahan maksimum (1 mm).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ali Imbron dan Defi Febrianti selaku kedua orang tua penulis, dan segenap dosen dan tenaga pengajar Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. S. Kim, P. H. Wu, and I. T. Jang, "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.*, vol. 21, no. 4, 2020, doi: 10.3390/ijms21041483.
- [2] M. L. Simanjuntak, M. Ilyas, B. Murtala, and A. Zainuddin, "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*, vol. 13, no. 28, pp. 9–17, 2021.
- [3] F. Taher *et al.*, "Lumbar Degenerative Disc Disease: Current and Future Concepts of Diagnosis and Management," *Adv. Orthop.*, vol. 2012, no. February 2014, pp. 1–7, 2012, doi: 10.1155/2012/970752.
- [4] S. Beatty, "We need to talk about lumbar total disc replacement," *Int. J. Spine Surg.*, vol. 12, no. 2, pp. 201–240, 2018, doi: 10.14444/5029.
- [5] S. Zahaf and S. Kebdani, "Study and analysis of mechanical behavior between rigid and dynamic fixation systems analyzed by the finite element method," *J. Biomimetics, Biomater. Biomed. Eng.*, vol. 33, no. September 2021, pp. 12–31, 2017, doi: 10.4028/www.scientific.net/JBBBE.33.12.
- [6] A. Chemmami *et al.*, "Biomechanical comparison of three total artificial discs: Sbc-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*, vol. 21, no. 1, pp. 65–83, 2021.