

REKONSTRUKSI DAN ANALISIS TEGANGAN VON MISES PADA VERTEBRA LUMBALIS 4 HINGGA SACRALIS 1 TERHADAP VARIASI INDEKS MASSA TUBUH

*Leonardo Jalusius Rama¹, Jamari², Tri Indah Winarni³

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

³Dosen Jurusan Anatomi, Fakultas Kedokteran, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

E-mail: jalusiusrama@students.undip.ac.id

Abstrak

Dalam kehidupan sehari-hari tulang *lumbar* berperan dalam menopang berat badan tubuh dan mendukung gerakan tubuh dalam beraktivitas. Tulang *lumbar* merupakan rangkaian tulang yang sering mengalami keluhan penyakit, salah satu contoh keluhan penyakit yang biasa terjadi adalah *low back pain* (LBP) atau yang lebih dikenal dengan nyeri punggung bagian bawah tubuh. Kondisi ini bisa terjadi oleh beberapa faktor, antara lain akibat dari melakukan kegiatan fisik secara berlebihan seperti mengangkat beban yang terlalu berat dan dapat diakibatkan oleh kondisi berat badan yang berlebih (obesitas). Simulasi dengan menggunakan metode elemen hingga dilakukan untuk mengetahui pengaruh yang terjadi akibat dari kondisi berat badan yang berlebih terhadap tulang *lumbar*. Kondisi berat badan dikategorikan dalam 5 kategori indeks massa tubuh (BMI), yaitu *underweight*, normal, *at-risk of obesity*, obesitas I, dan obesitas II. Hasil simulasi menunjukkan peningkatan tegangan von Mises seiring dengan kenaikan beban, dengan tegangan tertinggi terjadi pada kategori obesitas II. Temuan ini memberikan wawasan penting terkait risiko penyakit *hernia nucleus pulposus* (HNP) pada populasi dengan BMI tinggi yang dapat diakibatkan oleh tegangan mekanik pada struktur diskus intervertebralis.

Kata kunci: indeks massa tubuh; *low back pain*; tulang *lumbar*

Abstract

In everyday life, the lumbar spine plays a role in supporting the body's weight and facilitating body movement during activities. The lumbar spine is a series of bones that often experience complaints of diseases, one common complaint being low back pain (LBP). This condition can occur due to several factors, including excessive physical activities such as lifting heavy weights and being overweight (obesity). A simulation using the finite element method was conducted to determine the impact of excess body weight on the lumbar spine. Body weight conditions were categorized into 5 body mass index (BMI) categories: underweight, normal, at-risk of obesity, obesity I, and obesity II. The simulation results showed an increase in von Mises stress with the increase in load, with the highest stress occurring in the obesity II category. These findings provide important insights into the risk of herniated nucleus pulposus (HNP) in populations with high BMI, which can be caused by mechanical stress on the intervertebral disc structure.

Keywords: *body mass index; low back pain; lumbar spine*

1. Pendahuluan

Tulang belakang terbagi menjadi beberapa rangkaian tulang yang terdiri dari 33 tulang individu dan dibagi menjadi 5 wilayah, yaitu 7 tulang leher (*cervical*), 12 tulang punggung (*thoracic*), 5 tulang pinggang (*lumbar*), 5 tulang kelangkang (*sacrum*), dan 4 tulang ekor (*coccyx*) [1]. Dalam kehidupan sehari-hari tulang *lumbar* berperan dalam menopang berat badan tubuh dan mendukung gerakan tubuh dalam beraktivitas [2]. Tulang *lumbar* merupakan rangkaian tulang yang sering mengalami keluhan penyakit [3].

Low back pain (LBP) atau nyeri punggung bawah adalah salah satu masalah kesehatan yang sering dialami pada area *lumbar* di antara tulang rusuk bagian bawah dan pinggang. Kondisi ini sering mengakibatkan penurunan kinerja dalam aktivitas sehari-hari bagi penderitanya. Nyeri ini bisa menjalar ke bagian bawah paha, terutama pada sisi *posterior-lateral* hingga ke lutut [4]. Kondisi ini bisa terjadi oleh beberapa faktor, antara lain akibat dari melakukan kegiatan fisik secara berlebihan seperti mengangkat beban yang terlalu berat dan dapat diakibatkan oleh kondisi berat badan yang berlebih (obesitas) [5]. Salah satu penyebab LBP adalah *hernia nucleus pulposus* (HNP). *Hernia Nucleus Pulposus* (HNP) adalah kondisi di mana bantalan tulang belakang mengalami kelemahan sehingga rentan

bergeser, terdorong keluar, menonjol, dan menyebabkan penekanan pada saraf tulang belakang. HNP dapat terjadi karena beberapa faktor, antara lain faktor usia, berat badan yang berlebih, posisi badan yang salah/sering membungkuk, mengangkat beban berat dengan posisi dan tumpuan yang salah, dan masih banyak faktor lainnya [6], [7].

Salah satu faktor penting dalam terjadinya LBP adalah berat badan berlebih yang dimiliki seseorang. Berat badan seseorang sendiri dikategorikan dalam indeks massa tubuh (BMI) terdiri dari 5 kategori, yaitu *underweight*, normal, *at-risk of obesity*, obesitas I, dan obesitas II [8]. Di Indonesia, analisis metode elemen hingga dengan melihat BMI masih belum banyak dilakukan terutama pada tulang *lumbalis*. Berdasarkan data yang diperoleh nantinya dapat dilihat bagaimana BMI mempengaruhi dari struktur tulang *lumbalis* itu sendiri.

2. Bahan dan Metode Penelitian

Dalam rekonstruksi dan pemodelan tulang *lumbalis* 4 hingga *sacralis* 1 dibutuhkan data CT-scan pasien. Data tersebut diperoleh dari data CT-scan pasien di RSUD Dr. Kariadi Semarang. Data diubah dalam bentuk DICOM yang selanjutnya direkonstruksi dari 2D menjadi 3D dengan aplikasi Mimics 21.0.

Model yang ada dilakukan validasi dengan model lain yang terdapat pada jurnal sebelumnya untuk mendapatkan validasi geometri model. Validasi hasil dilakukan agar hasil yang didapatkan melalui penelitian dapat tepat melalui perbandingan dengan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya. Hasil dari penelitian ini akan divalidasi dengan penelitian yang dilakukan oleh Zewen Shi et al. [9]. Validasi mengacu pada nilai *range of motions* (ROM) jurnal dibandingkan dengan hasil pengujian yang dilakukan yang mengalami *error* kurang dari 10%.

Model sebelumnya sendiri terdiri dari tulang *lumbalis* 4 hingga *sacralis* 1 yang terdiri dari *cortical bone*, *cancellous bone*, *intervetebralis disc*, dan *endplate*. Properti material yang digunakan berdasarkan penelitian yang dilakukan Zewen Shi et al. [9]. Pembebanan yang dilakukan berdasarkan dari indeks massa tubuh seseorang. Indeks massa tubuh yang digunakan berdasarkan klasifikasi WHO untuk wilayah Asia-Pasifik terdiri dari 5 kategori. Data indeks massa tubuh dapat dilihat pada Tabel 1.

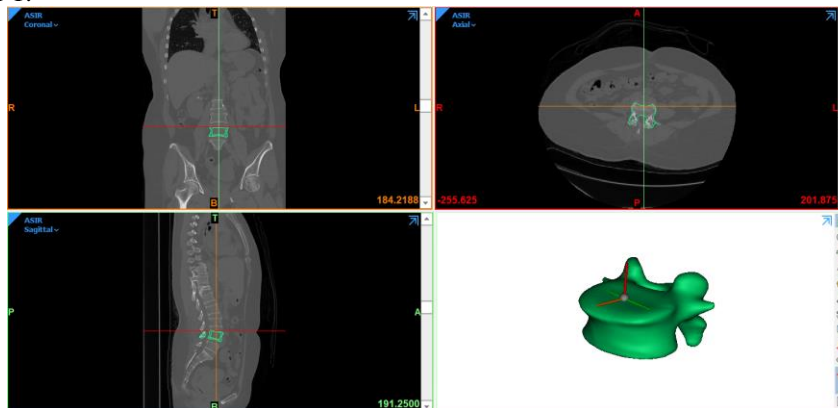
Proses meshing akan dilakukan dengan kondisi batas sebagai berikut. Meshing dimulai dari element size yang lebih besar menuju lebih kecil. Meshing dalam simulasi tulang adalah proses pembuatan jaringan elemen kecil yang membentuk model geometri tulang [10]. Meshing dilakukan untuk memecah model tulang menjadi elemen-elemen kecil yang dapat dianalisis secara numerik menggunakan metode elemen hingga (Finite Element Method). Meshing yang baik harus mempertimbangkan beberapa faktor seperti ukuran elemen, bentuk elemen, dan kepadatan elemen untuk memastikan hasil simulasi yang akurat. Selain itu, meshing juga dapat membantu mengurangi jumlah mesh yang tidak diperlukan dan menghilangkan noise di sekitar tulang untuk simulasi [11]. Studi mesh menjadi penting dikarenakan adanya perbedaan nilai ukuran mesh dapat mempengaruhi hasil pengujian [12].

Tabel 1. Data indeks massa tubuh

Kategori Indeks Massa Tubuh	Nilai Indeks Massa Tubuh
<i>Underweight</i>	<18,5
Normal	18,5 - 22,9
<i>At-risk of obesity</i>	23,0 - 24,9
Obesitas I	25,0 - 29,9
Obesitas II	≥30,0

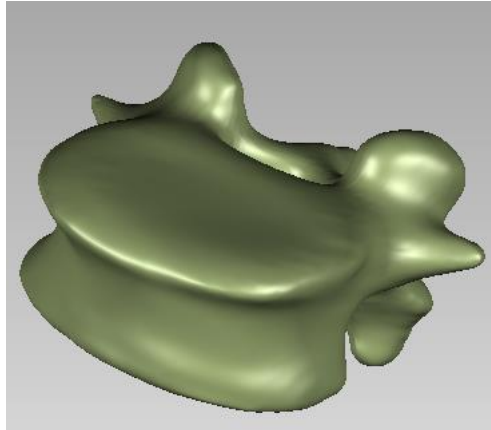
3. Hasil dan Pembahasan

Proses rekonstruksi tulang *lumbalis* 4 hingga *sacralis* 1 diawali dengan merekonstruksi *cortical bone* menggunakan aplikasi Mimics 21.0 dengan cara *import* file hasil CT-scan dalam bentuk file DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*). Kemudian data tersebut direkonstruksi menggunakan metode segmentasi yang mana data hasil CT-scan dan hasil rekonstruksi pada tulang *lumbalis* 4 hingga *sacralis* 1 dengan aplikasi Mimics 21.0 dapat dilihat pada Gambar 1.



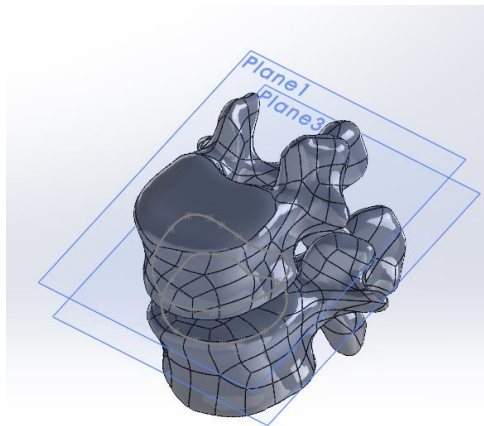
Gambar 1. Tampilan Mimics 21.0

Setelah rekonstruksi tulang *lumbalis* 4 hingga *sacralis* 1 selesai, kemudian simpan *file* dalam bentuk STL. Kemudian *import* ke Geomagic Studio 2021 untuk melakukan *detect contour* dan *surface patching* dengan tujuan untuk membuat permukaan lebih *smooth* dan teratur. Model yang telah di *smooth* dapat dilihat pada Gambar 2.



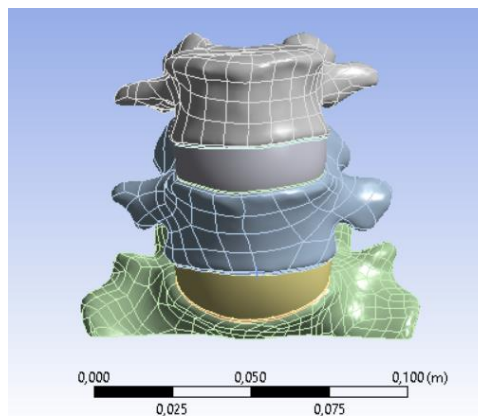
Gambar 2. Tampilan model pada Geomagic Studio 2021

Setelah bagian dari tulang *lumbalis* 4 hingga *sacralis* 1 selesai telah terekonstruksi dilanjutkan dengan pembuatan diskus intervertebralis yang mana pembuatan komponen dilakukan pada solidworks 2021. Proses pembuatan diskus intervertebralis yang lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses pembuatan diskus intervertebralis pada solidworks 2021

Setelah melalui langkah-langkah diatas maka terbentuklah model hasil rekonstruksi tulang *lumbalis* 4 hingga *sacralis* 1 dimana model ini dapat digunakan untuk simulasi analisis dengan menggunakan pembebanan menggunakan indeks massa tubuh (BMI). Analisis penelitian ini menggunakan Ansys Workbench 2020. Model tulang *lumbalis* 4 hingga *sacralis* 1 dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diskus dengan *superior endplate* dan *inferior endplate*

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan disimpulkan bahwa rekonstruksi tulang *lumbalis* 4 hingga *sacralis* 1 dapat dilakukan dengan data hasil CT-scan dalam bentuk DICOM yang selanjutnya direkonstruksi secara bertahap menggunakan Mimics 21.0, Geomagic Studio 2021, dan Solidworks 2021. Analisa metode elemen hingga dilakukan menggunakan Ansys Workbenck 2020 dengan pembebanan berdasarkan indeks massa tubuh.

Berdasarkan hasil simulasi analisis elemen hingga yang telah dilakukan, nilai von Mises *stress* yang dihasilkan naik secara konstan dengan bertambahnya beban yang diberikan. Nilai von Mises *stress* terendah terjadi pada kondisi seseorang mengalami kasus *underweight* dan nilai von Mises *stress* tertinggi terjadi pada kondisi seseorang mengalami kasus obesitas II. Hal ini juga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai indeks massa tubuh seseorang maka kecenderungan orang tersebut untuk mengalami keluhan penyakit tulang *lumbar* semakin tinggi.

5. Daftar Pustaka

- [1] B. A. Frost, S. Camarero-Espinosa, and E. Johan Foster, "Materials for the spine: Anatomy, problems, and solutions," *Materials (Basel)*, vol. 12, no. 2, pp. 1–41, 2019, doi: 10.3390/ma12020253.
- [2] F. Galbusera and T. Bassani, "The spine: A strong, stable, and flexible structure with biomimetics potential," *Biomimetics*, vol. 4, no. 3, 2019, doi: 10.3390/biomimetics4030060.
- [3] C. S. Chen, C. K. Cheng, C. L. Liu, and W. H. Lo, "Stress analysis of the disc adjacent to interbody fusion in lumbar spine," *Med. Eng. Phys.*, vol. 23, no. 7, pp. 485–493, 2001, doi: 10.1016/s1350-4533(01)00076-5.
- [4] H. E. Jaramillo, L. Gómez, and J. J. García, "A finite element model of the L4-L5-S1 human spine segment including the heterogeneity and anisotropy of the discs," *Acta Bioeng. Biomech.*, vol. 17, no. 2, pp. 15–24, 2015, doi: 10.5277/ABB-00046-2014-02.
- [5] R. Sahara and T. Y. Pristya, "Faktor Risiko yang Berhubungan dengan Kejadian Low Back Pain (LBP) pada Pekerja: Literature Review," *J. Ilm. Kesehatan*, vol. 19, no. 3, pp. 92–99, 2020, [Online]. Available: <https://journals.stikim.ac.id/index.php/jikes/article/download/585/499/>
- [6] Azharuddin, "Surgical of Lumbar Disc Herniation At Zainoel Abidin General Hospital Banda Aceh : Experience With 28 Patients," *J. Kedokt. Syiah Kuala*, vol. 14, pp. 146–151, 2014.
- [7] R. W. Ningsih, "Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kejadian Low Back Pain Dan Upaya Penanganan Pada Pasien Ashuma Therapi Sidoarjo," *Fakt. Yang Mempengaruhi Kejadian Low Back Pain Dan Upaya Penanganan Pada Pasien Ashuma Ther. Sidoarjo*, vol. 10, pp. 75–84, 2022.
- [8] R. C. Weisell, "Body mass index as an indicator of obesity," *Asia Pac. J. Clin. Nutr.*, vol. 11, no. s8, 2002, doi: 10.1046/j.1440-6047.11.s8.5.x.
- [9] Z. Shi *et al.*, "The biomechanical effect on the adjacent L4/L5 segment of S1 superior facet arthroplasty: a finite element analysis for the male spine," *J. Orthop. Surg. Res.*, vol. 16, no. 1, pp. 1–9, 2021, doi: 10.1186/s13018-021-02540-0.
- [10] A. WIBISONO, "Perancangan Dan Analisis Metode Elemen Hingga Pada Desain Total Knee Replacement Berdasarkan Mri/Ct-Scan Tulang Lutut Untuk Penderita Osteoarthritis," 2023, [Online]. Available: <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/44460%0Ahttps://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/44460/18525120.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [11] Abdul Aziz Salimi, "Simulasi Finite Element Analysis (Fea) Dan Fabrikasi Implan Untuk Perbandingan Kinerja Implan Kovensional Dan Custom Cruciate Retaining (Cr) Untuk Penderita Osteoarthritis Berdasarkan Rekonstruksi Data Mri/Ct Scan Tulang Lutut," *Simulasi Finite Elem. Anal. Dan Fabrikasi Implan Untuk Perbandingan Kinerja Implan Kovensional Dan Cust. Cruciate Retaining Untuk Penderita Osteoarthr. Berdasarkan Rekonstruksi Data Mri/Ct Scan Tulang Lutut*, pp. 1–115, 2023.
- [12] Y. Sanjaya, A. R. Prabowo, F. Imaduddin, and N. A. B. Nordin, "Design and analysis of mesh size subjected to wheel rim convergence using finite element method," *Procedia Struct. Integr.*, vol. 33, no. C, pp. 51–58, 2021, doi: 10.1016/j.prostr.2021.10.008.