

## STUDI PENDAHULUAN DALAM OPTIMALISASI REKONSTRUKSI DAN ANALISIS MEKANIKA KONTAK LUMBAR SPINE (L1-L2)

\*Muhamad Bilal<sup>1</sup>, Jamari<sup>2</sup>, Tri Indah Winarni<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>3</sup>Dosen Jurusan Anatomi, Fakultas Kedokteran, Universitas Diponegoro

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

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

### Abstrak

Tulang belakang merupakan penyusun terpenting dalam rangka tubuh manusia, terdapat beberapa penyusun tulang belakang salah satunya adalah *lumbar spine*. Tulang belakang lumbar terdiri atas beberapa tingkatan yaitu lumbar 1 sampai dengan lumbar 5. Penelitian yang dilakukan akan terfokus pada lumbar 1 sampai dengan lumbar 2. Penelitian dilakukan untuk menganalisis mekanika kontak yang terjadi pada lumbar. Penelitian sebelumnya telah banyak dilakukan secara *in vitro* dengan menggunakan mayat manusia atau cadaver. Akan tetapi, Terdapat beberapa permasalahan dari pengujian *in vitro* dalam proses analisis biomekanika kontak. hal tersebut dikarenakan oleh kendala etik dan biaya yang cukup mahal. Oleh karena itu, Metode elemen hingga menjadi solusi alternatif yang mempermudah riset analisis biomekanika kontak pada manusia. Metode elemen hingga dilakukan dengan computerized system yang mana menggunakan bantuan software dalam merekonstruksi visualisasi tulang dan menganalisis mekanika kontak dengan aplikasi. Proses rekonstruksi dilakukan menggunakan aplikasi mimics 21.0 dengan pengolahan data dari CT-Scan pasien dengan mengubah 2D menjadi 3D. Hasil rekonstruksi akan diproses menggunakan *finite element analysis* dengan software *ansys 2020 R2*. Hasil yang didapat tentunya bisa memberikan referensi *treatment* pada *lumbar spine* dengan tinjauan variasi mekanika kontak yang terjadi. Optimalisasi rekonstruksi perlu dikembangkan untuk mendapatkan hasil analisis mekanika kontak sesuai dengan referensi yang tertera seperti penambahan cortical, nucleus, dan beberapa ligament.

**Kata kunci:** lumbar; mekanika; rekonstruksi

### Abstract

The spine is a crucial component of the human skeletal system. One of its sections is the lumbar spine. The lumbar spine consists of several levels, specifically lumbar 1 through lumbar 5. The research was conducted to analyze the contact mechanics occurring in the lumbar spine. Previous studies have mostly been conducted *in vitro* using human cadavers. However, there are several issues with *in vitro* testing in the process of analyzing contact biomechanics. These issues are due to ethical constraints and high costs. Therefore, the finite element method has become an alternative solution that facilitates the research of contact biomechanics analysis in humans. The finite element method is conducted using a computerized system that utilizes software to reconstruct bone visualization and analyze contact mechanics through an application. The reconstruction process is carried out using Mimics 21.0 software, processing data from patient CT scans to convert 2D images into 3D models. The reconstructed results will be processed using finite element analysis with ANSYS 2020 R2 software. The obtained results can provide treatment references for the lumbar spine by reviewing the variations in contact mechanics that occur. Optimization of the reconstruction process needs to be developed to obtain contact mechanics analysis results that align with the references, such as the addition of cortical bone, the nucleus, and several ligaments.

**Keywords:** lumbar; mechanics; reconstruction

### 1. Pendahuluan

Tulang belakang merupakan salah satu bagian penyusun dalam rangka tubuh manusia yang tersusun atas beberapa struktur kompleks, salah satunya adalah *lumbar spine* [1]. Gerakan dan pembebanan yang diberikan terhadap *lumbar spine* menyebabkan terjadinya mekanika kontak pada struktur *lumbar spine*. Hal ini dapat dikatakan sebagai terjadinya sebuah dorongan atau tarikan yang berhubungan secara langsung antar suatu struktur dengan struktur kompleks penyusun lainnya [2]. Dalam mengetahui mekanika kontak yang terjadi pada *lumbar spine*, Pengujian *in vitro* atau eksperimen telah dilakukan pada lumbar spine dengan menghasilkan nilai *range of*

*motion* lumbar manusia (Yamamoto et Al, 1989) [3]. Metodologi pengujian *in vitro* terus berkembang tiap waktu namun hal ini tidak didukung dengan tidak adanya protokol pengujian yang standar sehingga membuat eksperimen menjadi sulit dalam menarik kesimpulan [4].

Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan analisis elemen hingga atau *finite element method* (FEM) telah banyak digunakan dalam menganalisis mekanika kontak yang terjadi pada *lumbar spine*. Haiyun Li et Al pada tahun 2006 telah melakukan rekonstruksi dan analisis *intervertebral disc* dengan menggunakan *finite element method* (FEM). Rekonstruksi dan analisis dilakukan untuk melakukan diagnosis klinis dan untuk mengetahui optimalisasi terapi pada penderita *intervertebral disc herniation* pada L1-L2 [5].

Dalam rujukan penelitian yang dilakukan, rekonstruksi yang telah dilakukan perlu adanya pembaharuan geometri pada bagian sekitar *intervertebral disc*. Pada penelitian yang dilakukan Haiyun et Al, belum terdapat struktur penyusun *bony endplate*. Struktur penyusun *bony endplate* adalah lapisan ganda yang terdiri dari tulang dan tulang rawan, yang memisahkan cakram intervertebralis dari tubuh vertebra yang berdekatan. Posisi dan komposisi *bony endplate* berperan penting dalam mengatur transportasi nutrisi ke dan dari cakram, memediasi distribusi stres antara cakram dan vertebra, mencegah hilangnya makromolekul dari inti cakram, serta menjaga struktur cakram secara keseluruhan [6]. Penelitian terbaru menekankan pentingnya kesehatan endplate dalam konteks klinis. Salah satu dari penyakit yang dapat dialami pada *lumbar spine endplate* adalah *osteoporosis endplate*. Metode investigasi dan identifikasi pada *endplate osteoporosis* pernah dilakukan oleh Yi Xiang et Al (2018) dengan objek penelitian radiografi *thoracic spine* dan *lumbar spine* [7].

Pengembangan dari penelitian akan dilakukan dengan rekonstruksi L1-L2 dari data CT-Scan dengan aplikasi *mimics research*, *geomagic*, dan *solidworks*. Setelah tahapan rekonstruksi selesai maka dilakukan analisis menggunakan *Ansys 2020 R2* dengan analisis struktural menggunakan metode elemen hingga. Penelitian dilakukan untuk mengetahui proses rekonstruksi dan mengetahui analisis biomekanika kontak pada *lumbar spine*.

## 2. Bahan dan Metode Penelitian

Dalam pemodelan dan rekonstruksi *lumbar spine*, diperlukan data CT Scan pasien. Data yang digunakan adalah pasien berjenis kelamin pria berumur 55 tahun. Data CT scan pasien didapat dari RSUD dr. Kariadi Semarang. Data diubah dalam bentuk DICOM yang selanjutnya direkonstruksi dari 2D menjadi 3D dengan aplikasi atau software *mimics research*. Proses rekonstruksi dalam pembuatan geometri mengikuti proses Haiyun et Al yang mana tersusun atas *cortical bone*, *intervertebral disc*, *supraspinous (SSL)* dan *intertransverse (ITL) ligament*. Dalam optimalisasi rekonstruksi geometri, dilakukan penambahan *bony endplate*. Penambahan dilakukan dengan membuat geometri *bony endplate* yang diletakkan pada atas dan bawah *intervertebral disc* dengan ketebalan 0.5 mm (Cheng-Fei Du et Al, 2021) [8].

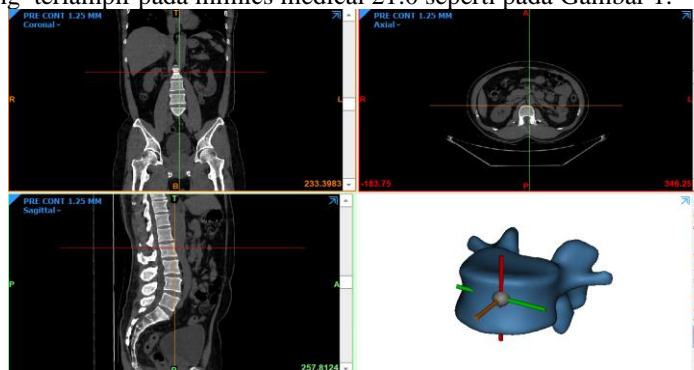
Material Properties yang digunakan adalah menggunakan referensi Haiyun et Al dalam *cortical* dan *intervertebral disc*. Material properties pada ligamen menggunakan referensi dari studi numerik efek ligamen ketika kondisi fleksi (Michael Putzer et Al, 2016) [9]. Untuk material properties pada pasien osteoporosis menggunakan referensi cho et al 2022 dengan asumsi material properties yang digunakan adalah sama untuk keseluruhan penderita *lumbar osteoporosis endplate* [10].

Penelitian dilakukan untuk mengetahui langkah rekonstruksi dan mendapat nilai *von misses stress*. Penelitian dilakukan dari pengolahan data CT pasien yang telah direkonstruksi dengan menggunakan software *ansys 2020 R2*.

## 3. Hasil dan Pembahasan

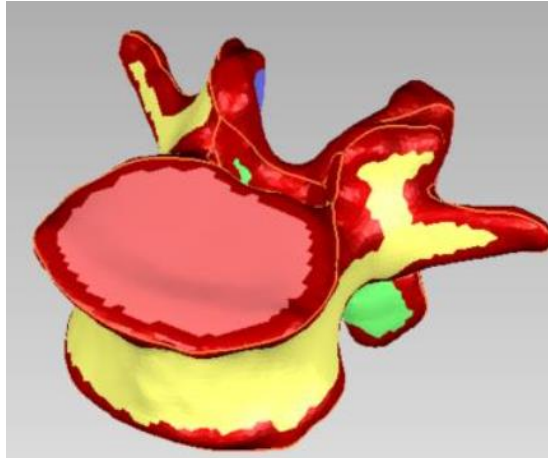
Hasil yang didapatkan dalam penelitian berupa langkah atau proses rekonstruksi lumbar 1 – lumbar 2 dengan didukung oleh langkah analisis biomekanika kontak pada aplikasi *finite element* analisis. Simulasi dilakukan dengan memvalidasi dengan jurnal yang dibuat oleh Haiyun et al 2006.

Proses rekonstruksi *lumbar spine* dilakukan dengan pertama kali menggunakan aplikasi atau software *mimics 21.0* yang mana data CT-scan diinput dalam bentuk file DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*), kemudian data direkonstruksi menggunakan metode segmentasi yang mana data CT-scan serta hasil rekonstruksi pada lumbar spine, lumbar 2 yang terlampir pada *mimics medical 21.0* seperti pada Gambar 1.



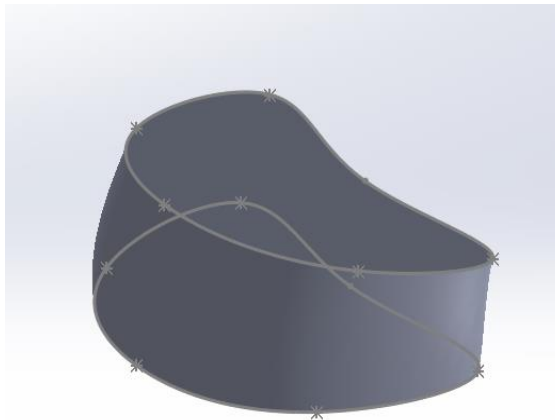
Gambar 1. Tampilan Mimics 21.0 Pada Lumbar 2

Setelah rekonstruksi telah dilakukan menggunakan mimics 21.0, hasil file STL di-*import* ke software geomagic studio untuk dilakukan detect contour dan surface patching dengan bertujuan untuk membuat surface lebih smooth dan teratur seperti pada Gambar 2.



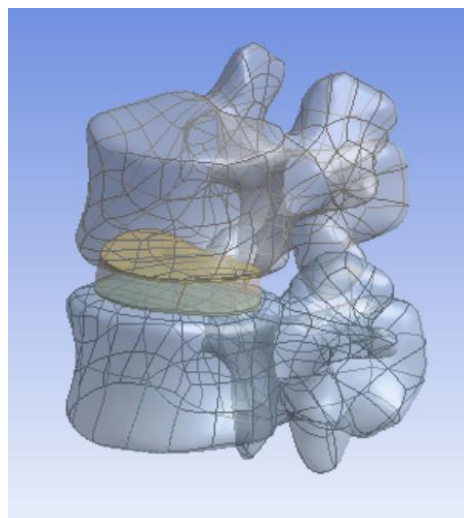
**Gambar 2.** *Detect Contour*

Setelah bagian dari lumbar telah terrekonstruksi maka tahap selanjutnya adalah pembuatan *intervertebral disc* yang mana pembuatan komponen dilakukan pada solidworks 2021. Untuk gambaran *intervertebral disc* yang lebih jelas dapat dilihat seperti pada gambar 3.



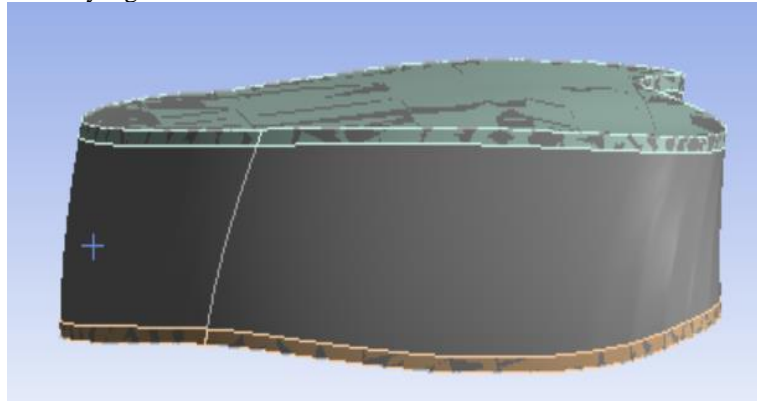
**Gambar 3.** Bentuk geometri L1-L2

Proses selanjutnya adalah penggabungan geometri yang mana proses ini dilakukan melalui software ansys R2 2020 dengan hasil seperti pada gambar 4. Setelah proses dilakukan, proses selanjutnya adalah membuat geometri *bony endplate*.



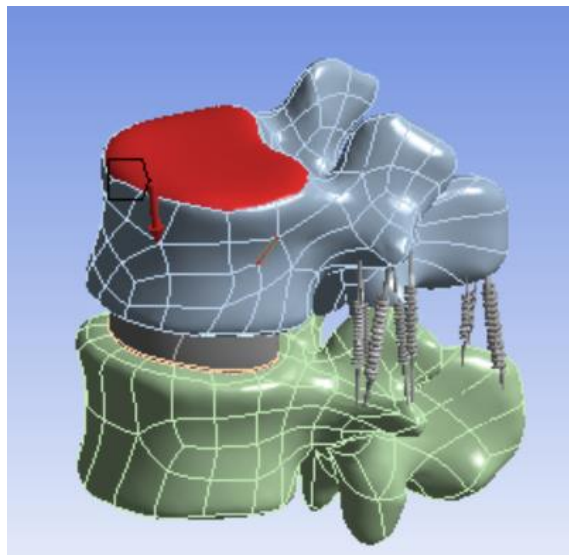
**Gambar 4.** Bentuk geometri L1-L2

Pembuatan bony endplate dilakukan dengan menggunakan fitur design modeller pada ansys R2 2020 dengan bentuk dimensi sesuai referensi yang telah ditentukan



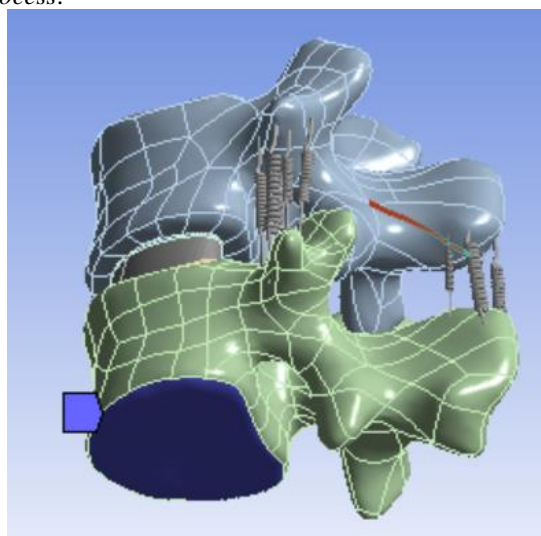
**Gambar 5.** Bentuk geometri L1-L2

Setelah finite element method telah dibuat maka proses selanjutnya adalah proses menentukan material properties, pembebanan dengan variasi 500 N Sampai dengan 1500 N untuk mencari nilai dari *von mises stress* pada geometri *lumbar spine*.

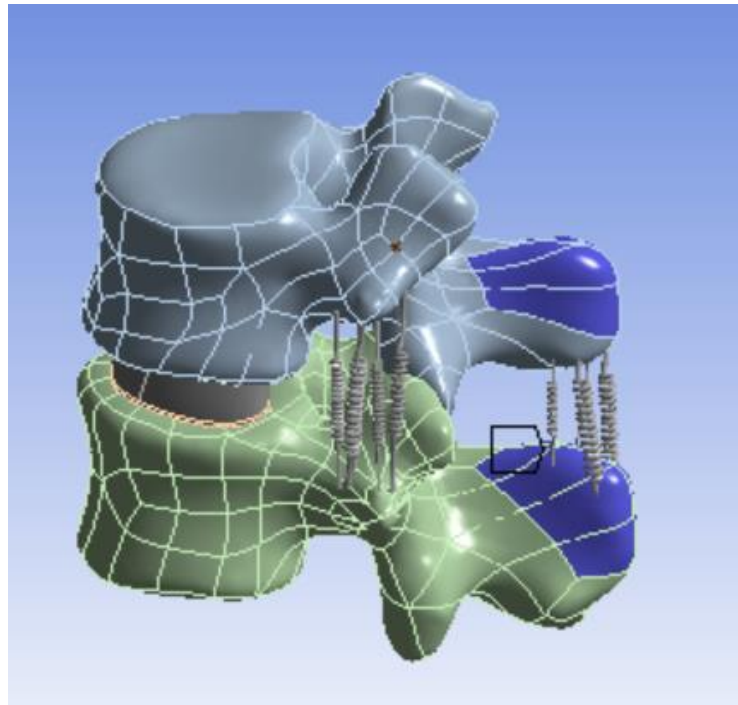


**Gambar 6.** Lokasi Pemberian Force

Penempatan *fixed support* dan *frictionless support* mengikuti jurnal Haiyun et Al pada inferior korpus lumbar vertebra lumbar 2 dan *spinous process*.



**Gambar 7** Lokasi Penempatan *fixed support*



**Gambar 8** Lokasi Penempatan *frictionless support*

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan maka penelitian dapat menggambarkan bagaimana rekonstruksi *lumbar spine* dengan pengolahan data CT-Scan dari 2D menjadi 3D. Hasil simulasi dikedepannya diharapkan dapat disimulasikan dengan variasi pembebanan dengan standar *body mass index*. Variasi diberikan guna untuk memberikan visualisasi dan langkah dalam optimalisasi rekonstruksi lebih lanjut dalam memaksimalkan hasil analisis metode elemen hingga. Perlu dilakukan penambahan beberapa penyusun seperti cortical, nucleus, dan beberapa ligament.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] H. Christian Putra Setiadi, T. Indah Winarni, and J. Sudharto, "REKONSTRUKSI dan SIMULASI ELEMEN HINGGA PADA VERTEBRA LUMBALIS 1 SAMPAI SACRALIS 1 DENGAN KONDISI PEMBEBANAN BERBEDA."
- [2] E. Saputra, R. Ismail, M. Tauviqirrahman, and D. Jamari, "PERHITUNGAN KEAUSAN PADA KONTAK ROLLING-SLIDING," 2011.
- [3] R. G. Talukdar, K. K. Mukhopadhyay, S. Dhara, and S. Gupta, "Numerical analysis of the mechanical behaviour of intact and implanted lumbar functional spinal units: Effects of loading and boundary conditions," *Proc. Inst. Mech. Eng. Part H J. Eng. Med.*, vol. 235, no. 7, pp. 792–804, 2021, doi: 10.1177/09544119211008343.
- [4] J. J. Costi, E. H. Ledet, and G. D. O'Connell, "Spine biomechanical testing methodologies: The controversy of consensus vs scientific evidence," *JOR Spine*, vol. 4, no. 1, pp. 1–25, 2021, doi: 10.1002/jsp2.1138.
- [5] H. Li and Z. Wang, "Intervertebral disc biomechanical analysis using the finite element modeling based on medical images," *Computerized Medical Imaging and Graphics*, vol. 30, no. 6–7, pp. 363–370, Sep. 2006. doi: 10.1016/j.compmedimag.2006.09.004.
- [6] Lawan A, Leung A, Battié MC. Vertebral endplate defects: nomenclature, classification and measurement methods: a scoping review. *Eur Spine J.* 2020 Jun;29(6):1397-1409. doi: 10.1007/s00586-020-06378-8. Epub 2020 Mar 26. PMID: 32219597.
- [7] Y. X. J. Wáng, M. Deng, L. C. He, N. Che-Nordin, and F. R. Santiago, "Osteoporotic vertebral endplate and cortex fractures: A pictorial review," *Journal of Orthopaedic Translation*, vol. 15. Elsevier (Singapore) Pte Ltd, pp. 35–49, Oct. 01, 2018. doi: 10.1016/j.jot.2018.08.004.
- [8] C. F. Du *et al.*, "Does oblique lumbar interbody fusion promote adjacent degeneration in degenerative disc disease: A finite element analysis," *Comput. Biol. Med.*, vol. 128, no. September 2020, p. 104122, 2021, doi: 10.1016/j.compbiomed.2020.104122.
- [9] M. Putzer, S. Auer, W. Malpica, F. Suess, and S. Dendorfer, "A numerical study to determine the effect of ligament stiffness on kinematics of the lumbar spine during flexion," *BMC Musculoskelet. Disord.*, vol. 17, no. 1, pp. 1–7, 2016, doi: 10.1186/s12891-016-0942-x.

- [10] A. R. Cho, S. B. Cho, J. H. Lee, and K. H. Kim, "Effect of augmentation material stiffness on adjacent vertebrae after osteoporotic vertebroplasty using finite element analysis with different loading methods," *Pain Physician*, vol. 18, no. 6, pp. E1101–E1110, 2015, doi: 10.36076/ppj.2015/18/e1101.