

RANCANG BANGUN RANGKA *FOOTPRINT* SCANNER PENGEMBANGAN DARI *DOCUMENT SCANNER* SEBAGAI ALAT UNTUK MENDETEKSI TIPE TELAPAK KAKI

*Natasia Nikita Rezekina Cibro¹, Dwi Basuki Wibowo², Yusuf Umardani², Mohammad Rizqi Abdul Basyith¹

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*E-mail: natasianrcibro@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan merancang dan menganalisis pengembangan desain scanner melalui modifikasi rangka dan kaca agar mampu menahan beban hingga 100 kg tanpa mengubah sistem pemindaian yang ada. Pengembangan dilakukan dengan membandingkan desain lama dan desain baru, di mana pada desain baru pembebanan difokuskan pada satu kaki pengguna sementara kaki lainnya ditempatkan pada tatakan tambahan untuk menjaga keseimbangan. Perancangan dilakukan menggunakan SolidWorks dan analisis kekuatan struktur menggunakan simulasi statik struktural ANSYS dengan parameter deformasi, tegangan, dan faktor keamanan pada rangka besi dan kaca window glass tebal 10 cm. Hasil simulasi menunjukkan bahwa rangka dan kaca pada kedua desain berada dalam kondisi aman berdasarkan seluruh parameter analisis. Desain baru memberikan distribusi beban yang lebih efisien dengan tegangan kaca lebih rendah dan faktor keamanan lebih tinggi dibanding desain lama, meskipun deformasi kaca sedikit lebih besar akibat sistem penopangan yang hanya menggunakan klem di sisi kanan dan kiri. Secara keseluruhan, desain scanner baru dinilai lebih efisien, aman, dan lebih sesuai dengan kondisi penggunaan aktual dibandingkan desain lama

Kata kunci : deformasi; faktor keamanan; kaca; rangka; tegangan

Abstract

This study aims to design and analyze the development of a scanner design through modifications to the frame and glass so that it can withstand loads up to 100 kg without changing the existing scanning system. The development was carried out by comparing the old design and the new design, in which the new design focuses the load on one foot of the user while the other foot is placed on an additional platform to maintain balance. The design process was conducted using SolidWorks, and structural strength analysis was performed using ANSYS static structural simulation with parameters including deformation, stress, and safety factor on the iron frame and 10-cm-thick window glass. The simulation results indicate that both the frame and glass in the two designs are in safe conditions based on all analysis parameters. The new design provides a more efficient load distribution with lower glass stress and a higher safety factor compared to the old design, although the glass deformation is slightly greater due to the support system using clamps only on the right and left sides. Overall, the new scanner design is considered more efficient, safe, and better suited to actual usage conditions than the old design..

Keywords : deformation; frame; glass; safety factor; stress

1. Pendahuluan

Telapak kaki memiliki peran penting dalam menopang sebagian besar berat tubuh sekaligus menjadi penghubung mekanik antara pergerakan tubuh dan lingkungan. Struktur telapak kaki dan ankle merupakan sistem biomekanik yang kompleks, terdiri dari 26 tulang, 33 sendi, serta lebih dari seratus otot, tendon, dan ligamen yang bekerja secara terkoordinasi untuk menunjang pergerakan dan meredam gaya saat beraktivitas[1]. Susunan tulang dan jaringan lunak tersebut membentuk lengkungan (*arch*) pada telapak kaki yang menjadi dasar klasifikasi tipe kaki manusia, yaitu *normal foot*, *flat foot*, dan *high arch foot*. Perbedaan tipe telapak kaki dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti cedera, gangguan keseimbangan, deformitas postur, obesitas, aktivitas berdiri atau berjalan dalam durasi lama, serta kelelahan otot. Pada kasus *flat foot*, gejala yang sering muncul adalah rasa lelah dan nyeri pada telapak kaki meskipun kondisi ini kerap tidak disadari sebagai suatu gangguan[2].

Secara umum, telapak kaki manusia dapat dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu bagian belakang (*rear foot*), bagian tengah (*mid foot*), dan bagian depan (*fore foot*), yang secara lebih rinci meliputi area tumit (*heel*), lengkungan kaki (*arch*), serta metatarsal beserta jari-jari kaki[3]. Lengkungan telapak kaki yang bersifat elastis berperan dalam menyerap beban kejutan saat berjalan maupun berolahraga sehingga membantu menurunkan risiko cedera pada kaki. Hal ini menunjukkan adanya hubungan antara tipe lengkungan kaki dan potensi cedera akibat aktivitas olahraga. Oleh karena itu, pengukuran perubahan deformasi lengkungan telapak kaki selama aktivitas fisik dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai mekanisme terjadinya cedera pada telapak kaki [4].

Jejak telapak kaki relatif mudah diperoleh, diukur, dan dianalisis sehingga banyak dimanfaatkan dalam bidang biomekanik maupun forensik, misalnya untuk memperkirakan tinggi badan, berat badan, jenis kelamin, serta

mengklasifikasikan tipe telapak kaki. Berbagai parameter kuantitatif dan indeks bentuk telapak kaki telah dikembangkan untuk mendukung klasifikasi tersebut[5]. Penelitian sebelumnya di Pusat Studi Biomekanik memanfaatkan *footprint* untuk menentukan ukuran sepatu berdasarkan *foot length* (FL) dan *foot width* (FW), serta menghitung *foot area contact* (FAC). Untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi pengukuran, telah dirancang alat pemindai digital telapak kaki berbasis scanner ukuran A4 yang mampu memindai dua telapak kaki secara bersamaan, sebagai pengganti metode konvensional menggunakan tinta yang cenderung memakan waktu dan kurang presisi[6].

Berdasarkan kebutuhan tersebut, penelitian ini mengembangkan rancang bangun rangka *foot print* scanner hasil pengembangan dari document scanner sebagai alat untuk mendeteksi tipe telapak kaki. Rangka dirancang ulang menggunakan material besi dengan konsep lebih minimalis namun tetap mampu menopang scanner serta dilengkapi pijakan tambahan untuk menjaga keseimbangan pengguna. Proses perancangan dilakukan menggunakan perangkat lunak SolidWorks. Sebagai media pijakan saat

proses pemindaian, digunakan kaca setebal 10 mm dirancang mampu menahan beban pengguna hingga sekitar 100 kg. Pengembangan ini diharapkan dapat menghasilkan alat pemindai telapak kaki yang lebih stabil, aman, dan sesuai untuk kebutuhan analisis tipe telapak kaki secara praktis dan akurat.

2. Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan berupa material rangka dan kaca pada alat scanner telapak kaki. Rangka scanner menggunakan baja struktural yang dipilih karena memiliki kekuatan mekanik yang baik dan mampu menahan beban pengguna[7]. Kaca yang digunakan adalah *window glass* dengan ketebalan 10 cm yang berfungsi sebagai media pemindaian sekaligus penopang beban. Objek penelitian terdiri dari dua model scanner, yaitu desain lama dan desain baru. Desain lama menggunakan kaca bertumpuk dengan penopangan penuh pada rangka[8], sedangkan desain baru menggunakan satu kaca tebal yang diklem pada sisi kanan dan kiri.

Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan rancang bangun dan simulasi numerik berbasis Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method/FEM*)[9]. Penelitian diawali dengan studi literatur untuk memperoleh referensi mengenai desain struktur, sifat material, dan metode analisis elemen hingga. Selanjutnya, model tiga dimensi dari desain lama dan desain baru dibuat menggunakan perangkat lunak SolidWorks dengan mencakup komponen rangka dan kaca scanner. Properti material baja dan kaca kemudian dimasukkan ke dalam perangkat lunak ANSYS berdasarkan data material standar[10].

Kondisi batas ditetapkan pada bagian rangka yang bersentuhan dengan lantai sebagai tumpuan, sedangkan beban statik sebesar 100 kg diaplikasikan pada permukaan kaca. Pada desain baru, pembebanan hanya diberikan pada satu sisi untuk merepresentasikan penggunaan satu kaki. Model kemudian melalui proses *meshing* untuk membagi struktur menjadi elemen-elemen kecil sehingga perhitungan numerik dapat dilakukan dengan lebih akurat. Simulasi dilakukan menggunakan ANSYS untuk memperoleh nilai deformasi total, tegangan, dan faktor keamanan. Hasil simulasi dari kedua desain kemudian dibandingkan untuk mengevaluasi peningkatan kinerja struktur pada desain baru.

Tabel 1. Material Properties

Material	Young's Modulus (GPa)	Density (ρ)	Yield Strength (Mpa)
Window glass	70	2500	310
Baja	200	7850	250

3. Hasil dan Pembahasan

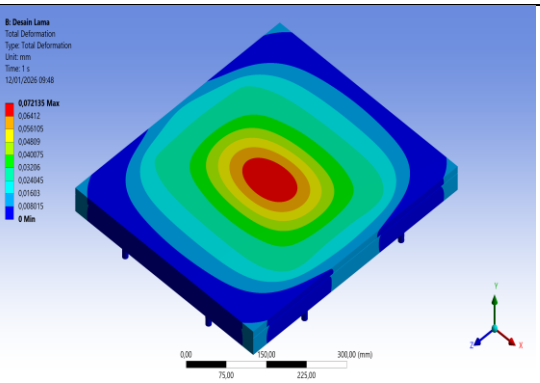
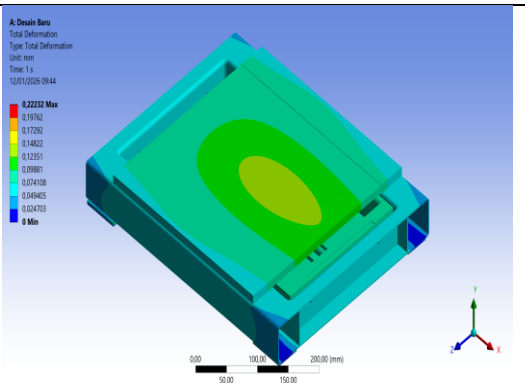
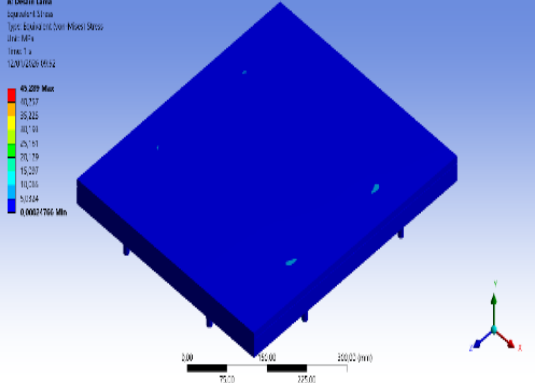
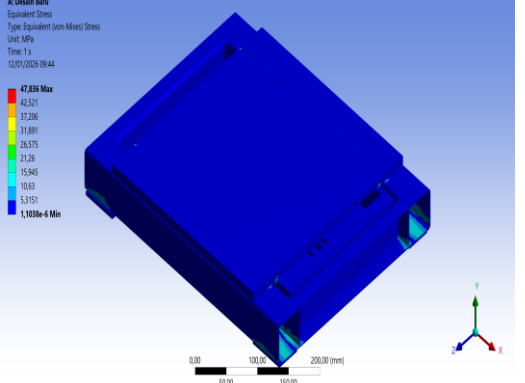
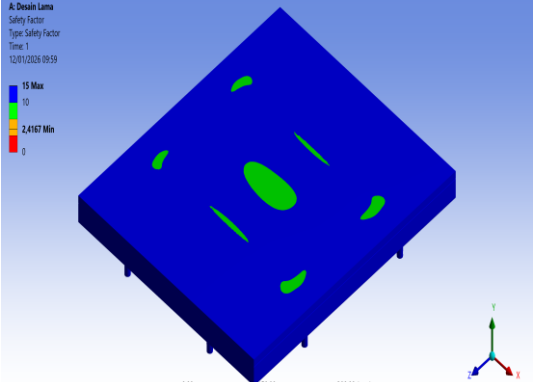
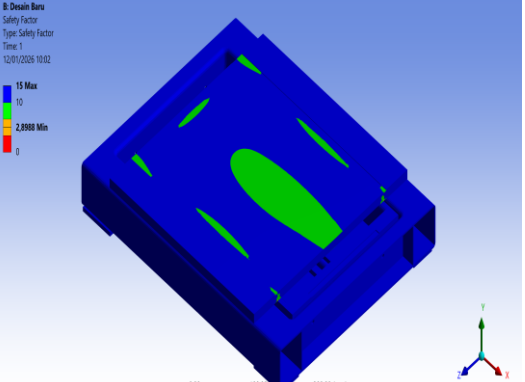
3.1 Hasil Simulasi Rangka

Simulasi struktur rangka dilakukan untuk mengetahui respons rangka terhadap pembebanan pengguna saat proses pemindaian. Parameter yang dianalisis meliputi deformasi total, tegangan, dan faktor keamanan. Perbandingan dilakukan antara desain lama dan desain baru untuk melihat pengaruh modifikasi struktur. Hasil simulasi deformasi menunjukkan bahwa rangka desain lama mengalami deformasi maksimum sebesar 0,072 mm. Deformasi terbesar terjadi pada bagian tengah rangka yang menopang kaca scanner. Nilai ini tergolong sangat kecil sehingga tidak memengaruhi kinerja alat.

Pada desain baru, deformasi maksimum rangka sebesar 0,222 mm. Deformasi yang lebih besar ini disebabkan oleh pembebanan yang terfokus pada satu sisi rangka karena hanya satu kaki pengguna yang diletakkan di atas scanner. Meskipun demikian, nilai deformasi masih dalam batas aman. Hasil analisis tegangan menunjukkan bahwa tegangan maksimum rangka desain lama sebesar 45,289 MPa, sedangkan desain baru sebesar 47,836 MPa. Nilai ini masih jauh di bawah batas luluh baja struktural, sehingga tidak berisiko menyebabkan kegagalan material.

Faktor keamanan minimum pada desain lama sebesar 2,41, sedangkan desain baru sebesar 2,89. Kedua nilai menunjukkan kondisi aman karena lebih besar dari satu. Nilai yang lebih tinggi pada desain baru menandakan margin keamanan yang lebih baik. Secara keseluruhan, rangka desain baru mampu menahan beban dengan baik dan menunjukkan distribusi beban yang lebih terarah. Meskipun deformasi dan tegangan sedikit meningkat, nilai faktor keamanan membuktikan bahwa struktur tetap aman digunakan.

Tabel 2. Gambar Hasil Simulasi Rangka

Parameter	Desain lama	Desain baru
Deformasi		
Tegangan		
Faktor Keamanan		

Tabel 3. Hasil Simulasi Rangka

Parameter	Desain Lama	Desain Baru
Deformasi Maks (mm)	0,072	0,222
Tegangan Maks (MPa)	45,289	47,836
Safety Factor	2,41	2,89

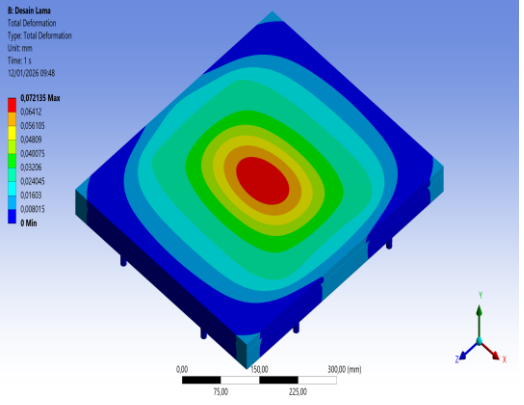
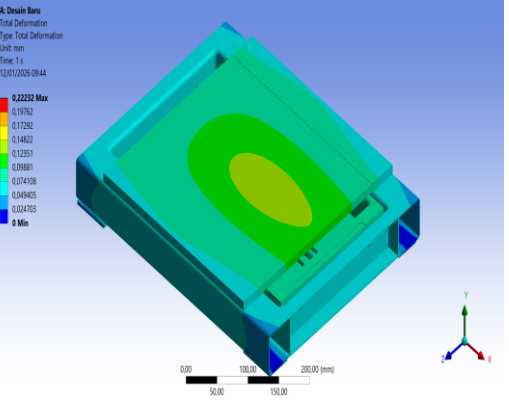
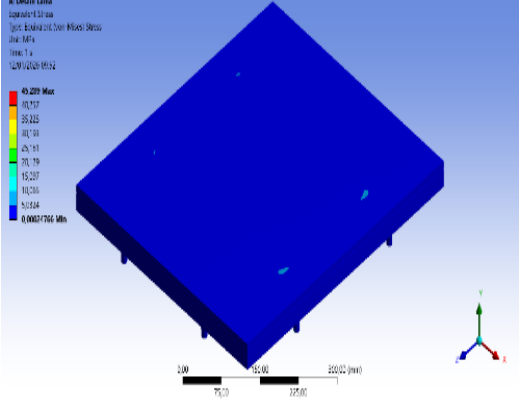
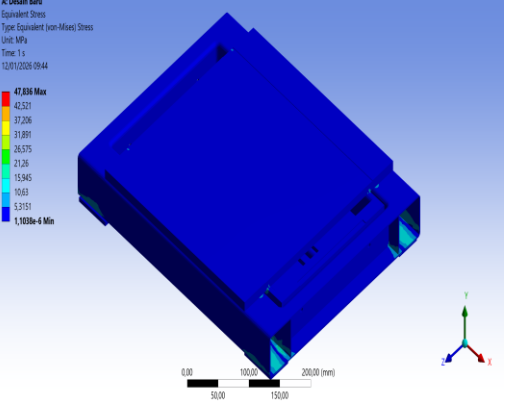
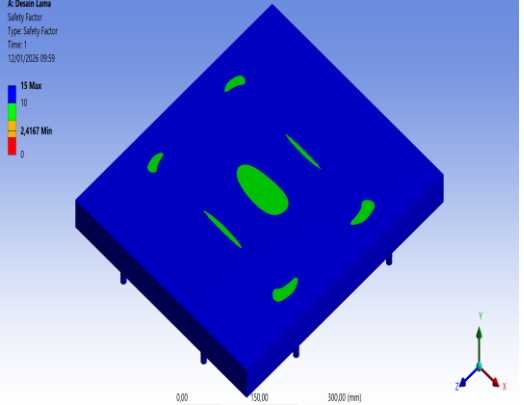
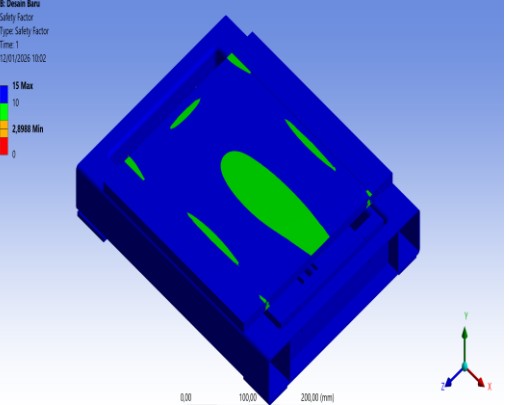
3.2 Hasil Simulasi Kaca

Simulasi kaca dilakukan untuk mengetahui kemampuan kaca dalam menahan beban pengguna. Analisis difokuskan pada deformasi, tegangan, dan faktor keamanan karena kaca merupakan komponen utama dalam proses pemindaian. Hasil deformasi menunjukkan bahwa kaca desain lama mengalami deformasi maksimum sebesar 0,072 mm. Nilai ini kecil karena kaca ditopang penuh oleh rangka di seluruh sisi sehingga distribusi beban merata.

Pada desain baru, deformasi kaca sebesar 0,138 mm. Nilai ini lebih besar karena sistem penopangan hanya menggunakan klem di sisi kanan dan kiri. Bagian tengah kaca memiliki kebebasan deformasi lebih besar dibanding desain lama. Hasil analisis tegangan menunjukkan bahwa kaca desain lama mengalami tegangan maksimum sebesar 13,437 MPa. Tegangan ini dipengaruhi oleh pembebanan dua kaki pengguna dan penggunaan kaca bertumpuk. Sebaliknya, kaca desain baru mengalami tegangan maksimum lebih rendah yaitu 11,232 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan

satu kaca tebal dan pembebanan satu kaki lebih efektif dalam menurunkan tegangan. Faktor keamanan minimum kaca desain lama sebesar 2,41, sedangkan desain baru sebesar 2,89. Kedua nilai menunjukkan kondisi aman, namun desain baru memberikan tingkat keamanan lebih tinggi.

Tabel 4. Gambar Hasil Simulasi Kaca

Parameter	Desain lama	Desain baru
Deformasi	B: Desain Lama Total Deformation Type: Total Deformation Unit: mm Time: 1 s 12/01/2026 09:48 	A: Desain Baru Total Deformation Type: Total Deformation Unit: mm Time: 1 s 12/01/2026 09:44 
Tegangan	A: Desain Lama Equivalent Stress Type: Equivalent (von-Mises) Stress Unit: MPa Time: 1 s 12/01/2026 09:52 	A: Desain Baru Equivalent Stress Type: Equivalent (von-Mises) Stress Unit: MPa Time: 1 s 12/01/2026 09:44 
Faktor Keamanan	A: Desain Lama Safety Factor Type: Safety Factor Time: 1 s 12/01/2026 09:59 	B: Desain Baru Safety Factor Type: Safety Factor Time: 1 s 12/01/2026 10:02 

Tabel 5. Hasil Simulasi Kaca

Parameter	Desain Lama	Desain Baru
Deformasi Maks (mm)	0,072	0,138
Tegangan Maks (MPa)	13,437	11,232
Safety Factor	2,41	2,89

3.3 Pembahasan

Hasil simulasi menunjukkan bahwa modifikasi desain pada *scanner* memberikan pengaruh terhadap respons struktur rangka dan kaca dalam menerima beban. Perubahan konsep pembebanan dari dua kaki menjadi satu kaki pada desain baru menyebabkan perbedaan pola distribusi beban. Pada desain lama, beban cenderung tersebar lebih merata pada seluruh rangka dan kaca, sedangkan pada desain baru beban lebih terfokus pada area tertentu sesuai posisi kaki pengguna. Hal ini mencerminkan kondisi penggunaan yang lebih realistis.

Deformasi yang terjadi pada rangka dan kaca desain baru memang lebih besar dibandingkan desain lama, namun nilai tersebut masih sangat kecil dalam skala struktur mekanik. Deformasi dalam orde kurang dari satu milimeter menunjukkan bahwa struktur tetap kaku dan stabil saat menerima beban. Dengan demikian, peningkatan deformasi pada desain baru tidak memberikan dampak signifikan terhadap fungsi pemindaian.

Dari sisi tegangan, hasil simulasi memperlihatkan bahwa tegangan maksimum pada rangka desain baru sedikit lebih tinggi dibandingkan desain lama. Namun, seluruh nilai tegangan masih berada jauh di bawah batas luluh material baja struktural. Hal ini menunjukkan bahwa rangka masih bekerja dalam daerah elastis sehingga tidak mengalami deformasi permanen.

Pada kaca *scanner*, hasil simulasi menunjukkan bahwa desain baru justru menghasilkan tegangan yang lebih rendah meskipun penopangannya tidak penuh di seluruh sisi. Hal ini dipengaruhi oleh penggunaan kaca tunggal dengan ketebalan lebih besar serta pembebanan satu kaki. Kondisi ini menunjukkan bahwa ketebalan kaca memiliki peran penting dalam mengurangi tegangan kerja.

Faktor keamanan pada seluruh simulasi berada di atas nilai minimum yang disyaratkan. Nilai *safety factor* di atas dua menunjukkan bahwa struktur memiliki margin keamanan yang cukup terhadap kemungkinan variasi beban. Desain baru bahkan menunjukkan nilai faktor keamanan yang lebih tinggi, yang menandakan peningkatan keandalan struktur.

Secara keseluruhan, hasil simulasi menunjukkan bahwa desain baru lebih efisien dalam menyalurkan beban dan lebih sesuai dengan kondisi penggunaan aktual. Modifikasi rangka dan penggunaan kaca tebal tunggal mampu meningkatkan performa struktur tanpa menambah kompleksitas sistem. Oleh karena itu, desain baru dapat dianggap sebagai pengembangan yang lebih optimal dibandingkan desain sebelumnya.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan simulasi struktur yang telah dilakukan terhadap rangka dan kaca *scanner* menggunakan metode elemen hingga, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil simulasi deformasi, tegangan, dan faktor keamanan menunjukkan bahwa rangka dan kaca pada desain lama maupun desain baru berada dalam kondisi aman untuk menahan beban hingga 100 kg. Nilai deformasi yang terjadi relatif kecil dan tidak memengaruhi fungsi pemindaian, sedangkan tegangan yang muncul masih berada di bawah batas kekuatan material.
2. Desain baru memiliki konsep pembebanan yang lebih sesuai dengan kondisi penggunaan aktual, yaitu pemindaian dilakukan dengan satu kaki. Konsep ini membuat distribusi beban menjadi lebih terarah dan terkontrol, sehingga struktur menerima beban sesuai kebutuhan tanpa mengalami pembebanan berlebih. Tegangan pada kaca desain baru lebih rendah dan faktor keamanan lebih tinggi dibandingkan desain lama.
3. Tegangan yang terjadi pada kaca desain baru lebih rendah dibandingkan desain lama. Hal ini dipengaruhi oleh penggunaan kaca tunggal dengan ketebalan lebih besar serta perubahan sistem pembebanan. Penurunan tegangan ini menunjukkan bahwa desain baru mampu mengurangi risiko kerusakan pada kaca.
4. Nilai faktor keamanan pada desain baru lebih tinggi dibandingkan desain lama, baik pada rangka maupun kaca. Faktor keamanan yang lebih tinggi menunjukkan bahwa struktur memiliki margin keamanan yang lebih baik terhadap kemungkinan variasi beban saat penggunaan.
5. Modifikasi desain yang dilakukan juga menghasilkan struktur yang lebih sederhana dan lebih ringan dibandingkan desain lama yang menggunakan kaca bertumpuk dan tambahan alas. Penyederhanaan struktur ini membuat desain baru lebih efisien dari sisi konstruksi.
6. Secara keseluruhan, desain baru dapat dinyatakan lebih optimal karena mampu memberikan keseimbangan antara kekuatan struktur, efisiensi desain, dan keamanan penggunaan. Desain ini dinilai layak untuk diterapkan sebagai pengembangan alat *scanner* telapak kaki.

5. Daftar Pustaka

- [1] S. Cubukcu, M. K. Alimoglu, N. Balci, and M. Beyazova, "Plantar arch type and strength profile of the major ankle muscle groups: A morphometric-isokinetic study," *Isokinet. Exerc. Sci.*, vol. 13, no. 3, pp. 217–222, 2005.
- [2] P. R. Cavanagh and M. M. Rodgers, "The arch index: a useful measure from footprints," *J. Biomech.*, vol. 20, no. 5, pp. 547–551, 1987.
- [3] R. S. Snell, "Clinical anatomy: an illustrated review with questions and explanations," 2004.
- [4] Y.-W. Chang, W. Hung, H.-W. Wu, Y.-C. Chiu, and H.-C. Hsu, "Measurements of foot arch in standing, level walking, vertical jump and sprint start," *Int. J. Sport Exerc. Sci.*, vol. 2, no. 2, pp. 31–38, 2010.
- [5] R. B. Wicaksana, B. Hidayat, and S. Aulia, "Pengklasifikasian Tinggi Dan Berat Badan Manusia Berdasarkan Citra Telapak Kaki Dengan Metode Gabor Wavelet Dan Knn Berbasis Android," *eProceedings Eng.*, vol. 3, no.

-
- 2, 2016.
- [6] D. B. Wibowo, “Pengembangan pemindai dokumen menjadi pemindai telapak kaki untuk identifikasi flat foot,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 14, no. 3, pp. 104–112, 2019.
 - [7] W. A. Azzam, “The behavior of sand modified with steel slag and the effect of microstructure,” in *Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Volumes 1, 2, 3 and 4)*, 2009, pp. 2435–2438.
 - [8] Y. Umardani, D. B. Wibowo, W. Caesarendra, A. Suprihanto, and K. A. Pranoto, “Calculation of the rearfoot angle representing flatfoot from comparison to the Cavanagh Arch Index,” *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 13, p. 6764, 2022.
 - [9] J. N. Reddy, “An introduction to the finite element method,” *New York*, vol. 27, no. 14, 1993.
 - [10] K. B. Mustapha, *Practical Finite Element Simulations with SOLIDWORKS 2022: An illustrated guide to performing static analysis with SOLIDWORKS Simulation*. Packt Publishing Ltd, 2022.