



## PEMODELAN DAN ANALISIS DESAIN PROSTETIK JARI MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA (FEM)

Salsabilla Thallah Chaerunisa<sup>1</sup>, Dhananjaya YH Kumarajati<sup>1a</sup>, Wahyu Sugianto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Biomedis, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas PGRI Yogyakarta

Korespondensi:

<sup>a</sup>Program Studi Teknik Biomedis, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas PGRI Yogyakarta  
salsathallah26@gmail.com

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menganalisis desain prostetik jari tangan dengan mekanisme crosscable menggunakan material Polylactic Acid (PLA) melalui pendekatan Metode Elemen Hingga (FEM). Proses pemodelan dan simulasi dilakukan menggunakan software Autodesk Fusion 360 untuk mengevaluasi kinerja dan ketahanan desain sebelum pembuatan prototipe. Hasil simulasi menunjukkan bahwa deformasi maksimal yang terjadi pada prostetik jari dengan beban 50 N adalah sebesar 0.22 mm, tegangan maksimal mencapai 3,36 MPa, dan faktor keamanan sebesar 5,952, yang melebihi batas minimum faktor keamanan sebesar 1.00. Berdasarkan hasil analisis ini, dapat disimpulkan bahwa desain prostetik jari berbahan PLA ini aman, fungsional, dan siap untuk fabrikasi, sehingga diharapkan dapat memberikan solusi yang lebih terjangkau dan ramah lingkungan untuk pengguna prostetik jari.

**Kata kunci:** Prostetik Jari, Cross Cable, Polylactic Acid (PLA), Metode Elemen Hingga (FEM), Autodesk Fusion 360.

### ABSTRACT

*This study aims to develop and analyze the design of a finger prosthetic with a crosscable mechanism using Polylactic Acid (PLA) material through the Finite Element Method (FEM) approach. The modeling and simulation process was conducted and durability of the design before prototyping. The simulation results show that the maximum deformation occurring in the finger prosthetic under a 50 N load is 0.22 mm, with a maximum stress of 3,36 MPa and safety factor is 5,952, which exceeds the minimum safety factor requirement of 1.00. based on this analysis, it can be concluded that the PLA-based finger prosthetic design is safe, functional, and ready for fabrication, providing a more affordable and environmentally friendly solution for prosthetic finger users.*

**Keywords:** Finger Prosthetic, Cross Cable, Polylactic Acid (PLA), Finite Element Method (FEM), Autodesk Fusion 360.

## 1. PENDAHULUAN

Pengembangan teknologi kesehatan merupakan salah satu aspek yang sangat penting dalam meningkatkan kualitas hidup masyarakat, terutama bagi individu yang mengalami keterbatasan fisik. Salah satu tantangan utama yang dihadapi oleh para penyandang disabilitas adalah keterbatasan mobilitas yang kehilangan anggota tubuh seperti tangan/jari, sering mengalami kesulitan dalam menjalani aktivitas sehari-hari[1]. Jari prostetik[2] harus mampu meniru

gerakan alami jari manusia, memberikan kenyamanan bagi pengguna dan memiliki daya tahan yang cukup untuk penggunaan sehari-hari. Untuk mengatasi masalah ini jari prostetik telah menjadi solusi yang umum digunakan.

Prostetik jari di Indonesia sebagian besar berfokus pada fungsi estetika atau sebagai aksesoris. Prostetik ini biasanya terbuat dari silikon untuk memberikan tampilan yang lebih realistis. Konstruksi yang kompleks dalam pembuatan prostetik jari yang fungsional menyebabkan tingginya harga jual prostetik tersebut. Hadirnya teknologi *additive manufacturing*[3] seperti 3D printing mempunyai banyak manfaat dalam berbagai bidang termasuk juga dalam aplikasi medis. Beberapa contoh aplikasi 3D printing[4] dalam dunia kesehatan yaitu dalam pembuatan peralatan implan gigi, pembuatan dan rekayasa model jaringan dan organ, perangkat medis prostetik, model anatomi dan formulasi obat. Dengan keunggulan yang mudah dalam modelling, cepat dalam fabrikasi dan hemat biaya menjadikan 3D printer sangat tepat digunakan sebagai alternatif pembuatan alat prostetik[5].

Dalam pengembangan prosthetic jari tangan, pemodelan dan simulasi berbasis metode elemen hingga (FEM) dapat menjadi pendekatan yang efektif untuk mengevaluasi kinerja dan ketahanan desain prosthetic sebelum pembuatan prototipe. Metode elemen hingga memungkinkan analisis tegangan, regangan dan deformasi pada struktur prosthetic[6], sehingga desain dapat dioptimalkan sebelum produksi. Desain finger prosthetic yang efektif membutuhkan pemilihan material yang tepat dan struktur yang optimal. *Polylactic Acid* (PLA) adalah salah satu material yang semakin populer digunakan dalam pembuatan prosthetic karena sifatnya yang biokompatible mudah diproses. PLA juga memiliki keunggulan dalam hal ketersediaan dan biaya yang relatif rendah.

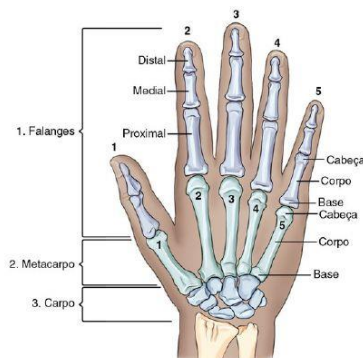
Oleh karena itu, penelitian bertujuan untuk melakukan pemodelan dan simulasi prosthetic jari tangan dengan pendekatan metode elemen hingga berbahan PLA. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan desain prosthetic jari tangan yang optimal dan efektif.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis perilaku model jari prostetik yang dibuat menggunakan *Autodesk Fusion 360* menggunakan Metode Elemen Hingga (FEM), menggunakan material *Polylactic Acid* (PLA) dan dicetak menggunakan 3D print. Hasil analisis tersebut kemudian digunakan agar dapat mengoptimalkan desain prostetik jari untuk meningkatkan kualitas hidup pengguna dan juga memberikan solusi yang lebih terjangkau dan ramah lingkungan.

### 2.1 Desain Model Prostetik Jari

Pada penelitian ini, prostetik jari didesain dengan menggunakan software *Autodesk Fusion 360*[7]. Desain yang dibuat berupa prostetik jari model *cross-cable*[8] yakni prostetik yang menggunakan tali sebagai penggerak. Pendekatan ini memungkinkan control yang lebih presisi dan distribusi beban yang lebih merata dibandingkan dengan desain konvensional. Sesuai dengan fungsinya sebagai alat bantu pengganti bagian tubuh yang hilang, maka prostetik dirancang menyerupai bentuk dan sistem kerja yang ada pada tangan manusia. Gambar 1 dibawah ini merupakan anatomi jari tangan manusia.



Gambar 1. Desain Anatomi Tangan Manusia

Desain dibagi menjadi 2 *component* utama, *component* pertama yakni sebagai *proximal phalanges* [9] atau bagian ruas jari yang paling dekat dengan tubuh, *component* kedua sebagai *medial phalanges* atau ruas tengah jari yang menyambung dengan *distal phalanges* atau bagian ujung ruas jari yang memiliki kuku.

Dimensi yang dipilih untuk desain prostetik jari ini sesuai dengan panjang jari telunjuk orang dewasa, yaitu sekitar 7 cm. Prostetik dengan system *crosscable* menggunakan mekanisme penggerak berupa tali elastis yang terhubung ke

komponen *distal phalanges* (ujung jari). Setiap komponen prostetik memiliki lubang kecil di bagian atas dan tengahnya. Lubang-lubang tersebut berfungsi sebagai jalur untuk tali penghubung dan sebagai penggerak mekanisme prostetik. Mekanisme tali seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain Lubang untuk Tali

Bagian engsel pada prostetik dihubungkan menggunakan komponen tambahan berupa besi kecil dengan diameter 1,5 mm. Oleh karena itu, dibuat lubang di setiap komponen prostetik untuk menampung batang penghubung seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain Lubang Penghubung

Tali elastis yang telah terpasang akan dihubungkan ke gelang yang digunakan pada pergelangan tangan. Sumber tenaga mekanis prostetik berasal dari gerakan tubuh (*body power*)[10] pengguna. Ketika pengguna menggerakkan pergelangan tangan digerakan ke bawah lalu dikembalikan keatas, tali penghubung pada gelang pergelangan akan menarik ujung tali yang terhubung ke komponen *distal phalanges* (ujung jari). Hal ini menyebabkan prostetik jari dapat melakukan gerakan membuka dan menutup, sesuai dengan gerakan pergelangan tangan pengguna. Seperti pada Gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4. Desain Prostetik Pada Saat Digerakkan

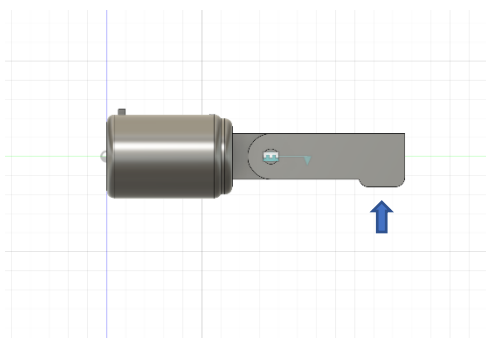
## 2.2 Analisis Model

Model prostetik jari tangan ini dianalisis menggunakan metode elemen hingga untuk menganalisis perilaku struktur pada model dan mengetahui deformasi keseluruhan (*total deformation*), tegangan ekuivalen (*ekuivalen stress*), dan energi regangan (*strain energy*) dengan menggunakan *software Autodesk Fusion 360*. Pada penelitian ini akan menggunakan *Polylactic Acid (PLA)*[11] sebagai material dari desain jari prostetik. *Polylactic Acid (PLA)* material yang sangat menarik untuk berbagai aplikasi, termasuk prostetik jari, karena

kombinasi sifat mekanis yang baik, biokompatibilitas dan biodegradabilitasnya[12]. Karakteristik material dapat dilihat pada table berikut:

Tabel 1. Sifat Mekanis *Polylactic Acid*

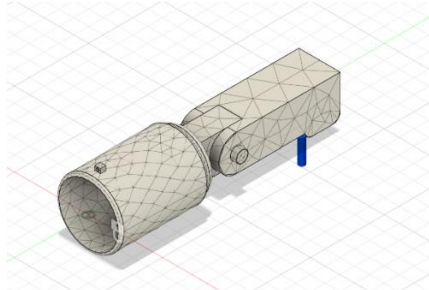
<i>Density</i>	1.060E-06 kg / mm <sup>3</sup>
<i>Young's Modulus</i>	2240.00 MPa
<i>Poisson's Ratio</i>	0.38
<i>Yield strength</i>	20.00 MPa
<i>Ultimate Tensile Strength</i>	29.60 MPa
<i>Thermal Conductivity</i>	1.600E-04 W / (mm C)
<i>Thermal Expansion Coefficient</i>	8.570E-05 / C
<i>Specific Heat</i>	1500.00 J / (kg C)



Gambar 5. Penempatan Beban

Beban maksimum untuk penelitian ini adalah 5 kg, peletakan beban dilihat dalam gambar 5. beban ini dikonversi ke dalam satuan newton dengan mengalikannya dengan percepatan gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>) sehingga diperoleh nilai 49,05 N yang dibulatkan menjadi 50 N. Menurut Helen, untuk aktivitas sehari-hari seperti menulis, memegang tas, dan memegang botol, beban yang diterima mampu menahan beban maksimum sekitar 5-10 kg, sedangkan untuk aktivitas yang lebih ringan seperti memegang pena, hanya memerlukan beban sekitar 1-2 kg[13].

Selanjutnya melakukan proses *meshing*, seperti pada Gambar 6 dibawah. Proses ini bertujuan untuk meminimalisir terjadinya error saat simulasi. Seperti yang ditunjukkan pada gambar, bidang pada komponen dibagi menjadi elemen-elemen kecil. Elemen-elemen ini akan berfungsi sebagai parameter selama analisis permukaan. Langkah ini penting untuk memastikan akurasi dan keandalan hasil simulasi[14].



Gambar 6. Proses *Meshing*

Hasil pada proses *meshing* dapat dilihat pada table 2 berikut:

Tabel 2. Hasil *Meshing*

<i>Average Element Size (% of model size)</i>	
<i>Solids</i>	10
<i>Scale Mesh Size Per Part</i>	No
<i>Average Element Size (absolute value)</i>	-
<i>Element order</i>	<i>Parabolic</i>

Create curved mesh elements	No
Max. Turn Angle on Curves (Deg.)	60
Max. Adjacent Mesh Size Ratio	1.5
Max. Aspect Ratio	10
Minimum Element Size (% of average size)	20

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1 Deformasi**

Parameter deformasi digunakan untuk mengukur perubahan bentuk model saat beban diterapkan. Beban yang bisa diterima oleh jari untuk menggenggam bervariasi tergantung pada factor-faktor seperti kekuatan individu, durasi gegangaman, dan jenis aktivitas. Dalam penelitian ini digunakan beban sebesar 50 N atau 5 kg. Deformasi adalah indikator penting untuk mengevaluasi kekuatan material terhadap beban yang diterapkan[15]. Hasil deformasi material (perpindahan) dengan beban 50 N ditampilkan pada Gambar 7. Nilai deformasi maksimum untuk prostetik jari sepanjang 7 cm adalah 0,22 mm.

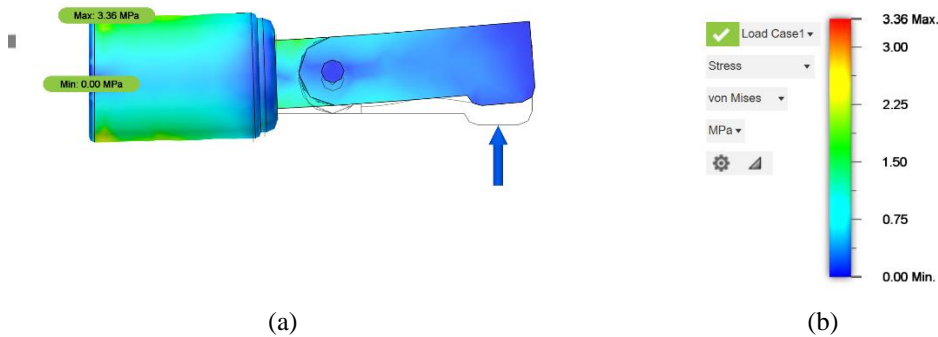


Gambar 7. (a) (b) Hasil Analisis Deformasi

Deformasi terbesar terjadi pada bagian ujung kanan atas komponen yang berwarna merah. Pada praktiknya, ujung komponen mengalami pergerakan lebih besar, menghasilkan deformasi terbesar. Berdasarkan analisis di atas, dapat disimpulkan bahwa desain memiliki variasi signifikan dalam nilai deformasi, dan bagian dengan deformasi maksimum memerlukan perhatian khusus untuk memastikan integritas structural keseluruhan komponen.

**3.2 Stress**

Analisis tegangan bertujuan untuk menentukan tegangan maksimum yang terjadi pada prostetik jari saat diberikan beban dan momen. Nilai ini merupakan factor penentu apakah desain material aman atau berisiko mengalami kegagalan. Hasil analisis menunjukkan nilai tegangan maksimum sebesar 3,36 MPa dan tegangan minimum sebesar 0,00 MPA.

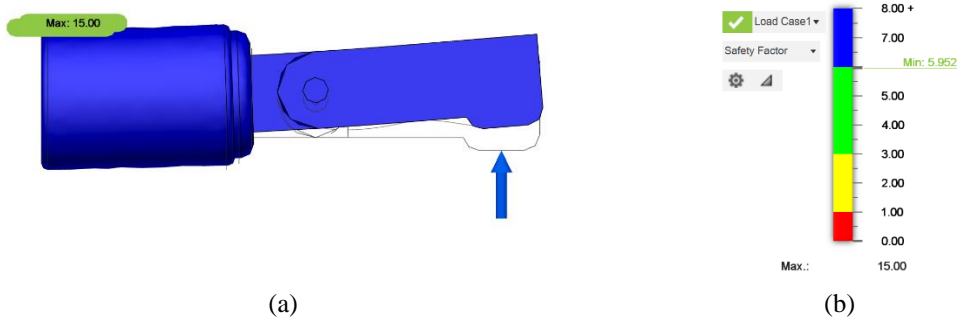


Gambar 8. (a) (b) Hasil Analisis Stress

Berdasarkan parameter warna, desain menunjukkan hasil analisis tegangan pada Gambar 8 yang aman karena berada di bawah nilai maksimum 3,36 MPa. Sebagian besar komponen menunjukkan nilai tegangan yang relatif rendah dengan parameter warna biru. Area di sekitar lubang menunjukkan nilai tegangan yang sedikit lebih tinggi, namun tetap dalam batas aman. Bagian ini ditandai dengan warna hijau.

**3.3 Safety Factor**

Faktor keamanan adalah metrik yang umum digunakan untuk menilai keamanan suatu elemen. Suatu nilai faktor keamanan dianggap aman jika nilainya diatas 1[16]. Faktor ini membantu mencegah kegagalan dan memastikan kelayakan prostetik untuk diproduksi[17].



Gambar 9. (a) (b) Hasil Analisis Safety factor

Dilihat dari hasil analisis Gambar 9 setiap komponen menunjukkan warna biru, menandakan bahwa setiap area memiliki nilai factor keamanan yang tinggi. Tingginya nilai faktor keamanan menunjukkan rendahnya kemungkinan kegagalan komponen. Pada desain ini, nilai faktor keamanan minimum yang dihasilkan adalah 5,952 atau 6 jika dibulatkan. Nilai ini dianggap sangat aman karena lebih dari 1.

**4. KESIMPULAN**

Model prostetik jari ini dirancang dan dianalisis menggunakan metode elemen hingga (FEM) dan material Polylactic Acid (PLA) sebelum pembuatan untuk menentukan kekuatan dan kelayakannya. Hasil simulasi menunjukkan bahwa deformasi maksimal yang terjadi pada prostetik jari dengan beban 50 N adalah sebesar 0,22 mm, tegangan maksimal mencapai 3,36 Mpa, dan faktor keamanan yang diperoleh sebesar 5,952 yang melebihi batas minimum faktor keamanan sebesar 1. Berdasarkan analisis ini, dapat disimpulkan bahwa desain prostetik jari berbahan PLA ini aman, fungsional, dan siap untuk fabrikasi. Desain ini diharapkan dapat memberikan solusi yang lebih terjangkau. Dengan menggunakan metode elemen hingga, menunjukkan bahwa analisis deformasi, tegangan dan faktor keamanan pada struktur prostetik dapat dilakukan secara efektif sebelum pembuatan prototipe, sehingga memungkinkan optimasi desain untuk produksi yang lebih efisien dan aman.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Lukita *et al.*, “Pendampingan dan Pembuatan Kaki Palsu (Prosthesis) Bersama SRC Holland,” *Yumary J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 4, no. 2, pp. 239–251, 2023, doi: 10.35912/yumary.v4i2.2619.
- [2] F. H. S. Al Haris, “Perancangan Tangan Prosthesis Bawah Siku Berbasis Flexy Hand 2 Dan Flex Sensor,” *J. Teknoinfo*, vol. 15, no. 2, p. 105, 2021, doi: 10.33365/jti.v15i2.864.
- [3] O. Abdulhameed, A. Al-Ahmari, W. Ameen, and S. H. Mian, “Additive manufacturing: Challenges, trends, and applications,” *Adv. Mech. Eng.*, vol. 11, no. 2, pp. 1–27, 2019, doi: 10.1177/1687814018822880.
- [4] H. D. Anggraini, “Peran Teknologi 3D Printing dalam Manufaktur Komponen Mesin,” pp. 1–8, 2023.
- [5] Z. F. Emzain, U. S. Amrullah, and A. M. Mufarrih, “Analisis elemen hingga untuk siklus berjalan pada model prostetik lentur pergelangan kaki,” *J. Polimesin*, vol. 18, no. 2, pp. 91–98, 2020, [Online]. Available: <http://e-jurnal.pnl.ac.id/index.php/polimesin/article/view/1922>
- [6] S. Mulyadi, “Analisa Tegangan-Renggang Produk Tongkat Lansia dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga,” *J. ROTOR*, vol. 4, p. 1, 2011.
- [7] P. P. Song, Y. M. Qi, and D. C. Cai, “Research and Application of Autodesk Fusion360 in Industrial Design,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 359, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/359/1/012037.
- [8] S. Susmartini, I. Priyadithama, and ..., “Pemilihan Desain Prosthetic Jari Tangan Berdasarkan Mekanisme Sistem Penggerak Cross Bar dan Cross Cable terhadap Besar Gaya Tarik Dinamis Prosthetic Jari ...,” ... *Ilm. Tek. Ind.*, vol. 10, no. 2, pp. 141–148, 2011, [Online]. Available: <https://jurnal.uns.ac.id/performa/article/view/13872%0Ahttps://jurnal.uns.ac.id/performa/article/viewFile/13872/11530>
- [9] Y. Faishal, “Variasi Anatomi Jumlah Tendon Musculus Extensor Antebrachii di Laboratorium Anatomi Fakultas Kedokteran Universitas Hang Tuah Surabaya,” *Hang Tuah Med. J.*, vol. 18, no. 1, pp. 35–46, 2020.
- [10] A. Satriawan *et al.*, “Karla: A Simple and Affordable 3-D Printed Body-Powered Prosthetic Hand with Versatile Gripping Technology,” *Designs*, vol. 7, no. 2, pp. 1–15, 2023, doi: 10.3390/designs7020037.
- [11] A. Porras and A. Maranon, “Development and characterization of a laminate composite material from polylactic acid (PLA) and woven bamboo fabric,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 43, no. 7, pp. 2782–2788, 2012, doi: 10.1016/j.compositesb.2012.04.039.
- [12] A. Erryani, Yulianti, Y. N. Thaha, F. P. Lestari, A. N. Syahid, and R. N. Hakim, “Sintesis Material Implan Biokomposit PLA-ABS-Mg: Sifat Mekanik, Mikrostruktur, dan Perilaku Elektrokimia,” *Metalurgi*, vol. 3, pp. 89–98, 2020.
- [13] H. C. Roberts *et al.*, “A review of the measurement of grip strength in clinical and epidemiological studies: Towards a standardised approach,” *Age Ageing*, vol. 40, no. 4, pp. 423–429, 2011, doi: 10.1093/ageing/afr051.
- [14] A. Aswin and F. Anggara, “Perancangan Dan Analisis Tegangan Pressure Vessel Horizontal Separator Dengan Metode Elemen Hingga,” *Sci. J. Mech. Eng. Kinemat.*, vol. 7, no. 2, pp. 83–97, 2022, doi: 10.20527/sjmekinematika.v7i2.219.
- [15] A. B. Nabilah, C. G. Koh, A. K. Izian, and F. N. A. Farah Nora, “Development of Finite Element Analysis for Intermediate Length Coupling Beams Considering Bond-Slip Interface,” *Int. J. Concr. Struct. Mater.*, vol. 14, no. 1, 2020, doi: 10.1186/s40069-020-00409-w.
- [16] R. Setiawan, D. Sugiyanto, and ari Daryus, “ANALISIS SIMULASI KEKUATAN DAN PEMBUATAN RANGKA KENDARAAN SEPEDA MOTOR LISTRIK Analysis of Strength Simulation and Frame Fabrication of Electric Motorcycle Vehicle,” *J. Konversi Energi dan Manufaktur*, vol. 8, no. 1, pp. 58–66, 2023.
- [17] R. K. N. Suprpto and L. A. N. Wibawa, “Desain dan Analisis Tegangan Rangka Alat Simulasi Pergerakan Kendali Terbang Menggunakan Metode Elemen Hingga,” *J. Tek. Mesin ITI*, vol. 5, no. 1, p. 19, 2021, doi: 10.31543/jtm.v5i1.559.