

ANALISIS KEKUATAN *FATIGUE* SENSOR FIBER OPTIK DIPENGARUHI OLEH GETARAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

*Nurgalih Prasetiya¹, Ojo Kurdi², Ismoyo Haryanto²

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: nurgalihprasetiya@gmail.com

Abstrak

Fiber Optik memiliki peran yang sangat penting terutama dalam bidang telekomunikasi dikarenakan fiber optik dapat mentransmisikan informasi volume besar dengan kecepatan cahaya serta memiliki ketelitian yang tinggi dibandingkan dengan teknologi lain. Namun dalam pengaplikasiannya, sensor fiber optic juga akan menerima impact dari pembebanan yang dibaca atau diukur dikarenakan fiber optik yang dijadikan sensor akan berkontak secara dekat dengan objek yang diamati atau diukur, sehingga akibatnya sensor *fiber optic* berpotensi mengalami *fatigue*. objek yang terus menerus terkena stress atau mengalami deformasi atau menerima beban *repetitive* (berulang) dalam periode waktu yang cukup panjang pada prosesnya akan memunculkan suatu *crack* retakan. Salah satu penyebab terjadi *fatigue* pada fiber optik adalah adanya getaran. Dalam penelitian kali ini, fiber optik yang diteliti yaitu fiber optik yang digunakan pada rel kereta api untuk memantau getaran yang terjadi. Getaran yang terjadi pada rel kereta sangat berpengaruh pada kenyamanan kereta itu sendiri. Dengan melakukan analisis *fatigue* pada fiber optik di rel kereta, diharapkan dapat diketahui masa hidup dari fiber optik tersebut. Untuk menganalisis hal tersebut, maka digunakan metode elemen hingga. Metode elemen hingga merupakan metode numerik yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan getaran mekanis dan struktural yang kompleks.

Kata kunci: *fatigue*; fiber optik; getaran; metode element hingga

Abstract

*Fiber Optics has a very important role, especially in the field of telecommunications because optical fiber can transmit large volumes of information at the speed of light and has high accuracy compared to other technologies. However, in its application, the fiber optic sensor will also receive an impact from the loading that is read or measured because the optical fiber used as a sensor will be in close contact with the object observed or measured, so that as a result the fiber optic sensor has the potential to experience fatigue. Objects that are continuously stressed or deformed or receive repetitive loads for a fairly long period of time in the process will give rise to a crack crack. One of the causes of fatigue in optical fiber is the presence of vibrations. In this study, the optical fiber studied was optical fiber used on the railroad tracks to monitor vibrations that occurred. The vibrations that occur on the railroad tracks greatly affect the comfort of the train itself. By conducting *fatigue* analysis on optical fiber on the railroad tracks, it is hoped that the life span of the optical fiber can be known. To analyze this, a finite element method is used. The finite element method is a numerical method that can be used to solve complex mechanical and structural vibration problems.*

Keywords: *fatigue; fibre optic; finite element metode; vibration*

1. Pendahuluan

Fiber optik merupakan sebuah media transmisi informasi dimana transfer datanya dalam bentuk berkas cahaya. Fiber optik terbuat dari bahan kaca (glass) atau plastik dengan penampang melingkar terdiri dari inti (core) dan cladding. Prinsip kerjanya menggunakan prinsip pemantulan cahaya internal secara sempurna (total internal reflection) dengan memanfaatkan perbedaan indeks bias antara lapisan core dan cladding-nya [1]. Namun dalam pengaplikasiannya, sensor fiber optic juga akan menerima impact dari pembebanan yang dibaca atau diukur dikarenakan fiber optic yang dijadikan sensor akan berkontak secara dekat dengan object yang diamati atau diukur, sehingga akibatnya sensor fiber optic berpotensi mengalami *fatigue*.

Fatigue merupakan sebuah kondisi kegagalan dimana objek tersebut terkena stress atau mengalami deformasi atau menerima beban *repetitive* (berulang) dalam periode waktu yang cukup panjang sehingga objek tersebut melemah dan pada prosesnya akan memunculkan suatu *crack* retakan [2]. Fenomena kegagalan karena kelelahan *fatigue* ini bahkan

dapat terjadi saat siklus tegangan pada struktur komponen belum mencapai batas elastis, namun dapat menyebabkan kegagalan pada komponen hingga patahnya struktur secara permanen [9]. Dalam merancang sensor fiber optik agar tidak terjadi fatigue, pelaku industri perlu memastikan kekuatan serta kinerja dari produk telah sesuai dengan standar yang berlaku. Hal tersebut dapat dilakukan dengan pengujian eksperimental dan simulasi. Namun, pengujian secara eksperimental biasanya membutuhkan waktu dan biaya yang lebih besar. Maka dari itu, proses pengujian dapat dilakukan dengan simulasi menggunakan Metode Elemen Hingga.

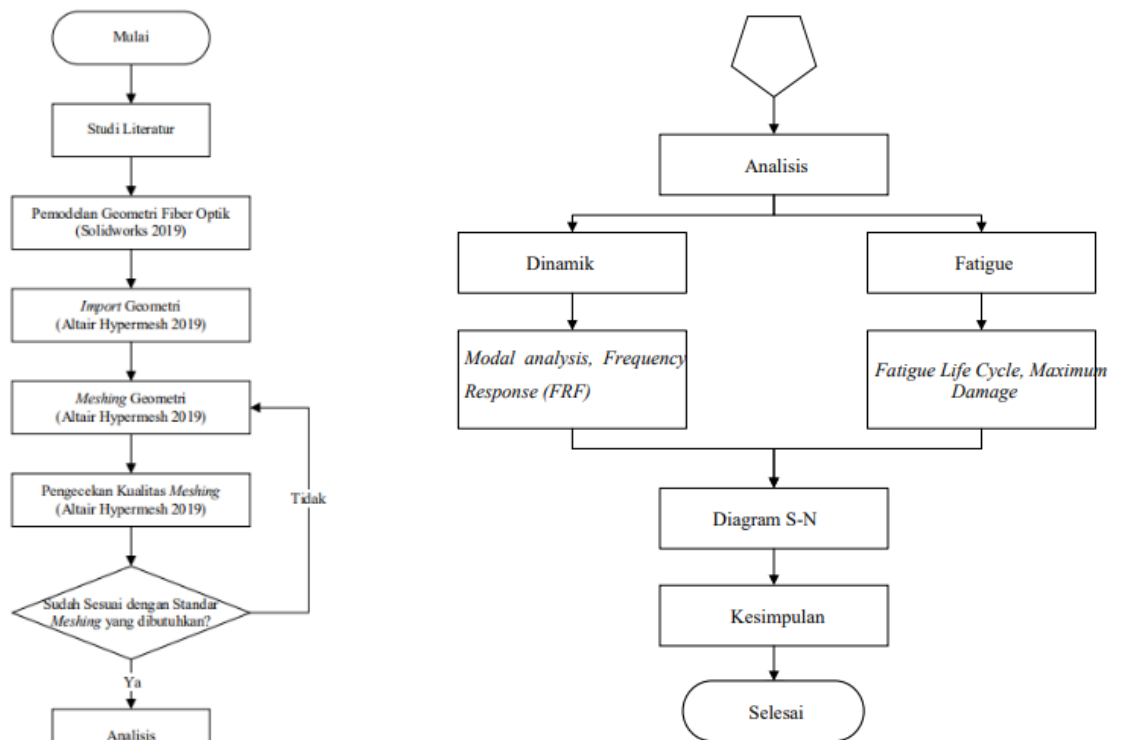
Metode elemen hingga merupakan metode analisis sebuah struktur dengan mendiskritisasi sebuah benda atau objek menjadi elemen dengan jumlah terbatas (finite) [3]. Metode ini sudah banyak digunakan untuk menganalisa kekuatan struktur termasuk struktur fiber optik. Pada penelitian yang sudah ada, telah dilakukan uji coba terhadap polymer optical fibre (POF) jenis MachZehnder Interferometer (MZI). Polymer Optical Fibre (POF) adalah fiber optik yang terbuat dari bahan plastik yang terdiri dari polymethyl methacrylate (PMMA) sebagai bahan inti, dan polymer fluorinated sebagai bahan penutupnya [4]. Fiber Optik Polimer memiliki kelebihan yang lebih dibandingkan dengan bahan serat kaca, yaitu fleksibilitas dan diameter inti lebih besar, yang memungkinkan penyambungan cahaya lebih mudah serta menghasilkan sistem berbiaya yang rendah. Selain itu, Fiber Optik Polimer terbebas dari Electro Magnet Interference (EMI), dan tidak mengalirkan arus sehingga tidak akan terjadi percikan api, dengan demikian serat optik ini lebih terjamin keamanannya [7]. Pada penelitian tersebut, sensor berjenis Mach-Zehnder Interferometer (MZI) yang sudah ada dimodifikasi sedemikian rupa oleh keadaan getaran serta perubahan tekanan lingkungan menggunakan metode elemen hingga. Hasilnya telah didapatkan nilai tegangan dan regangan minimum, maksimum, serta nilai yang paling optimal untuk serat optik polimer tersebut menggunakan metode Taguchi.

Penelitian yang akan dilakukan nantinya adalah menganalisis kekuatan serat optik polimer (POF) sampai keadaan fatigue yang dipengaruhi beban dinamik berupa getaran (vibration). Suatu sistem tidak diperbolehkan untuk digetarkan pada frekuensi yang sama dengan frekuensi pribadinya, karena akibatnya akan terjadi resonansi yang ditandai dengan 26 getaran besar pada struktur dan dapat merusak sistem tersebut [10]. Penulis menggunakan software Altair Hypermesh 2019 untuk menganalisis kekuatan yang diberikan kepada serat optik. Pada kesimpulan nanti, penulis mengharapkan nilai kekuatan maksimal yang dapat diterima serat optik tersebut sebelum mengalami fatigue dan jangka waktu untuk mengganti fiber optik sebelum terjadinya kerusakan sehingga dapat diketahui siklus hidup dari sensor fiber optic agar dapat menentukan waktu maintenance dan penggantian perangkat sebelum terjadinya kegagalan.

2. Bahan dan Metode Penelitian

2.1 Metodologi Penelitian

Diagram alir penelitian atau langkah-langkah penelitian ini akan ditunjukkan pada Gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

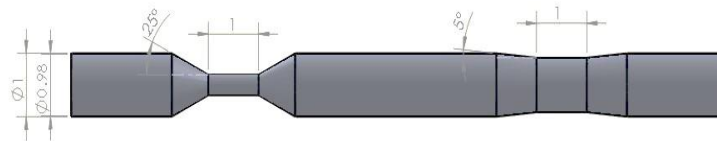
Penelitian kali ini akan dilakukan dengan menggunakan bantuan *software finite element analysis* (FEA) bernama Altair Hyperworks 2019. *Software* ini digunakan untuk melakukan simulasi dinamik dan *fatigue*.

2.2 Pemodelan Fiber Optik

Pada penelitian ini, objek yang digunakan untuk analisis adalah serat fiber optik dengan variasi sudut dan panjang pada bagian *tapered*. Serat fiber optik ini memiliki diameter *cladding* 1 mm dan diameter *core* 0,98 mm. pemodelan 2 kabel fiber optik dalam CAD dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3 sebagai berikut:



Gambar 1. Fiber Optik PMMA dengan panjang tapered 0.75 mm dan sudut 25°



Gambar 3. Fiber Optik PMMA dengan panjang tapered 1 mm dan sudut 25°

2.3 Sifat Material Fiber Optik

Serat fiber optik yang akan dianalisis berjenis Mach-Zehnder Interferometer (MZI) dimana jenis serat fiber optik ini memiliki penyempitan (*tapered*) di area yang akan dijadikan sensor. Sistem komunikasi serat optik dengan cepat mampu bersaing menggantikan sistem-sistem lain dengan kelebihan serat optik yaitu memiliki bandwidth yang besar, redaman transmisi kecil, ukuran kecil, kemudahan penambahan kapasitas, performansi yang lebih baik, tingkat ketersediaan yang tinggi dan jaringan transport yang handal [6]. Serat tersebut biasa kita sebut dengan akrilik, akrilik merupakan bahan yang, ringan, tidak mudah pecah dan mudah untuk dipotong, dibor, dikikir dan dihaluskan. Akrilik dapat dibentuk dengan metode dipanaskan sehingga dapat berubah menjadi berbagai bentuk yang rumit [8]. Lalu material yang digunakan yaitu PMMA (*Polymethylmethacrylate*), material ini merupakan bahan media sensor berbasis Serat Optik Polimer. Rincian sifat material dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut:

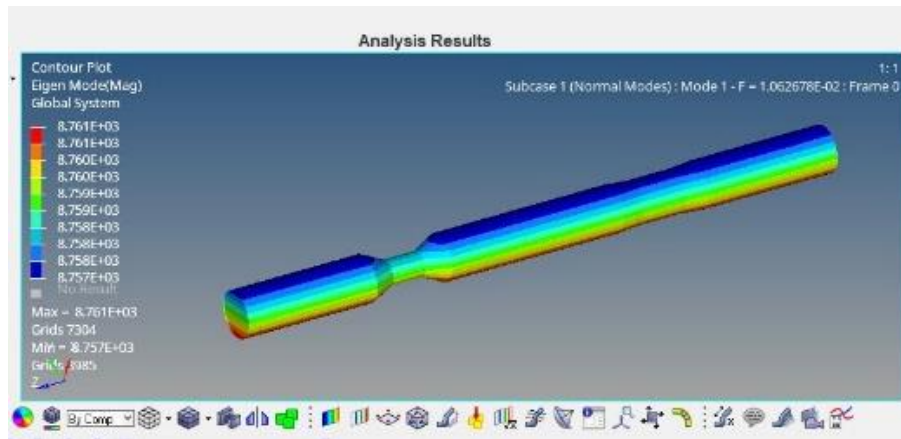
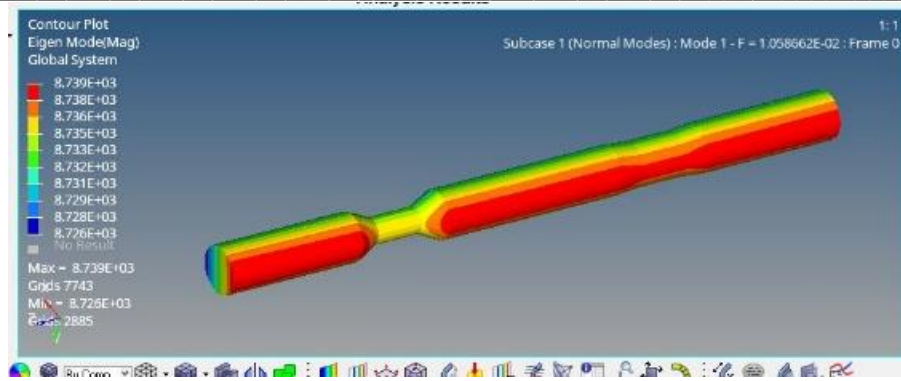
Tabel 1. Sifat Material Polymethyl Methacrylate (PMMA) [5]

Sifat	Nilai
Massa Jenis (kg/m ³)	1180
Modulus Elastisitas (MPA)	2900
Poisson's Ratio	0,37
Ultimate Tensile Strength (MPA)	70
Yield Strength (MPA)	69,1
Koefisien Ekspansi Termal (°C ⁻¹)	70 x 10 ⁻⁶

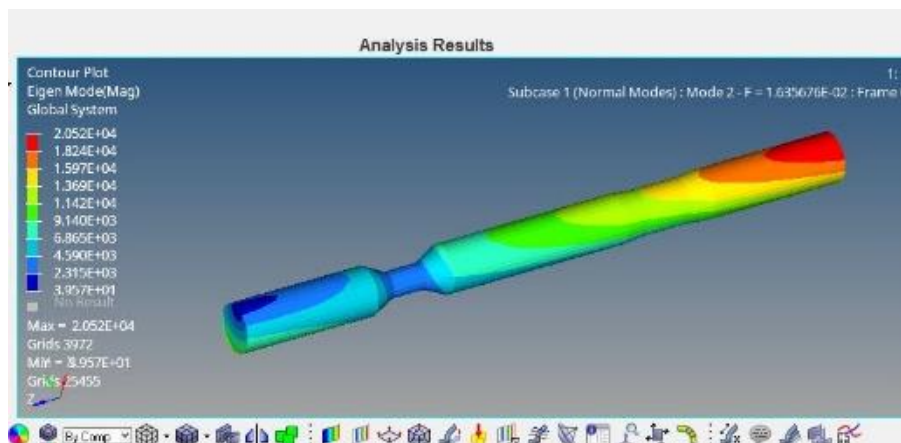
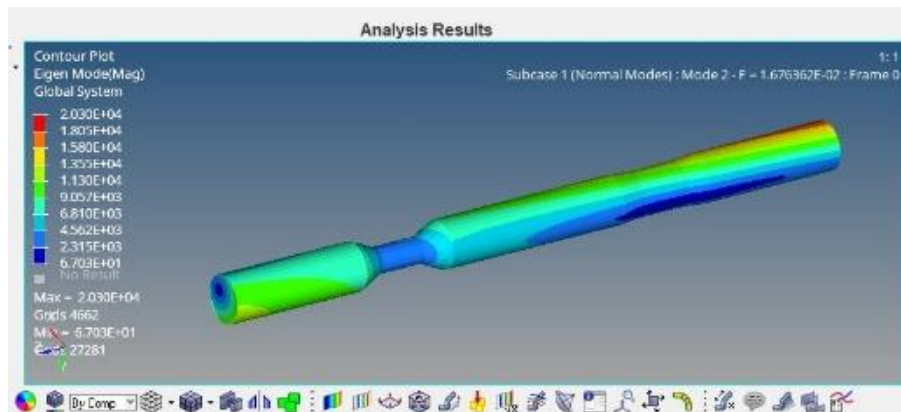
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Perbandingan hasil analisis Modal Geometri 1mm dan 0,75mm Sudut 25°

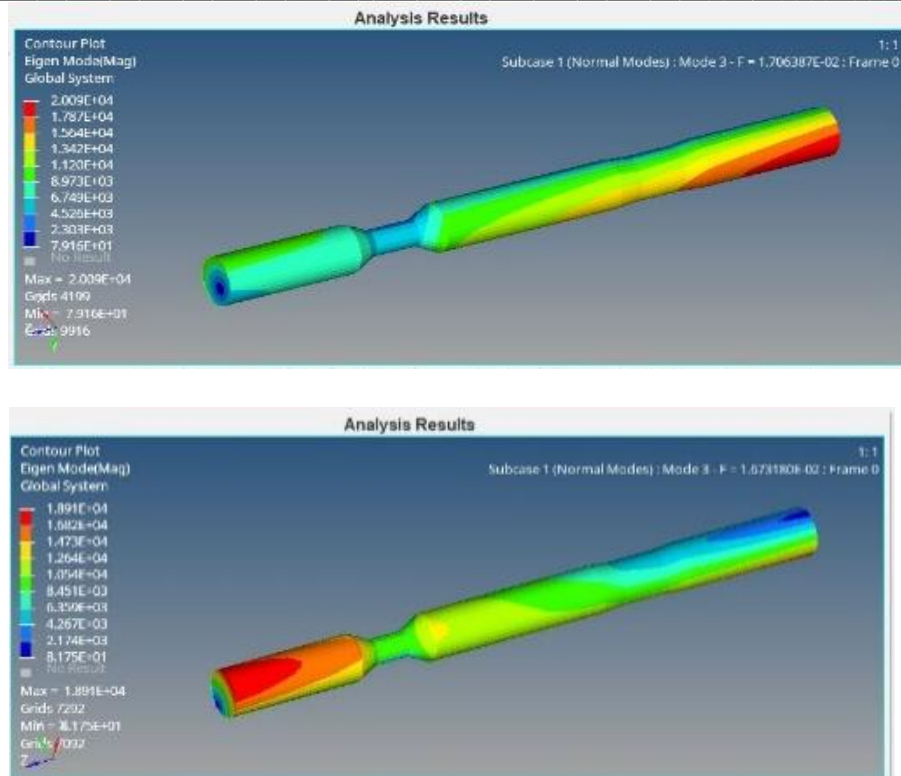
Hasil Analisis Modal untuk geometri 1mm dan 0,75mm dengan sudut tapered 25° akan ditampilkan pada gambar mulai dari modus 1 sampai modus 6. Dari analisis modal akan diketahui frekuensi pribadi dari objek yang diteliti. Modal analisis dapat dilihat pada Gambar 4 sampai Gambar 9 sebagai berikut:



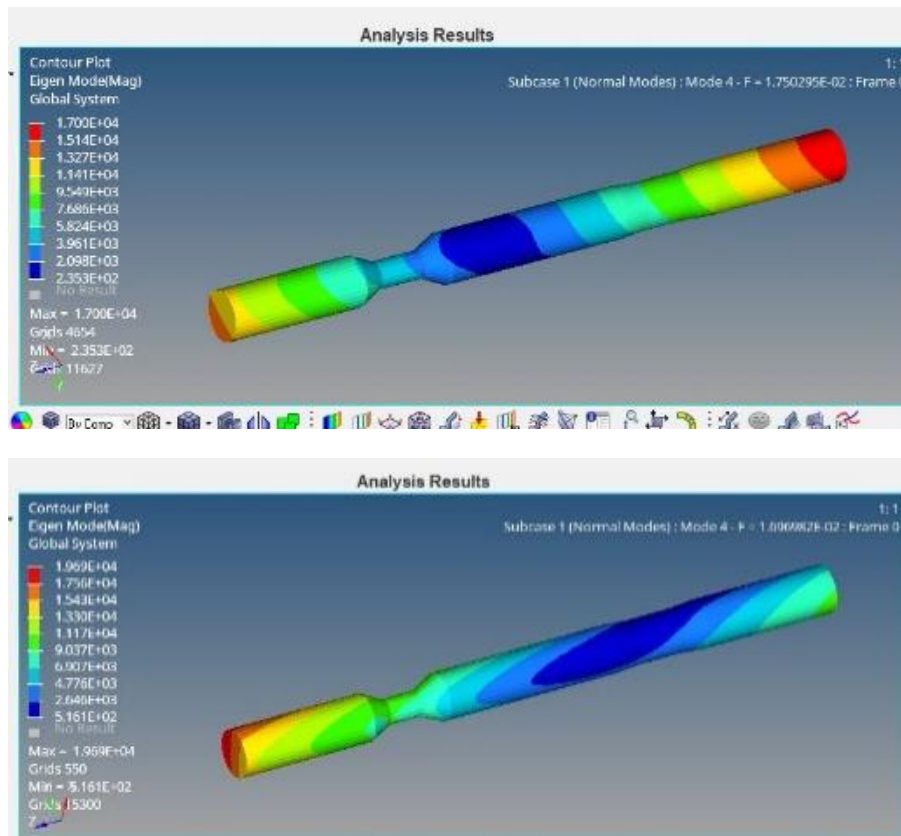
Gambar 4. Perbandingan Modus 1 tapered 1mm dan 0,75mm sudut 25°



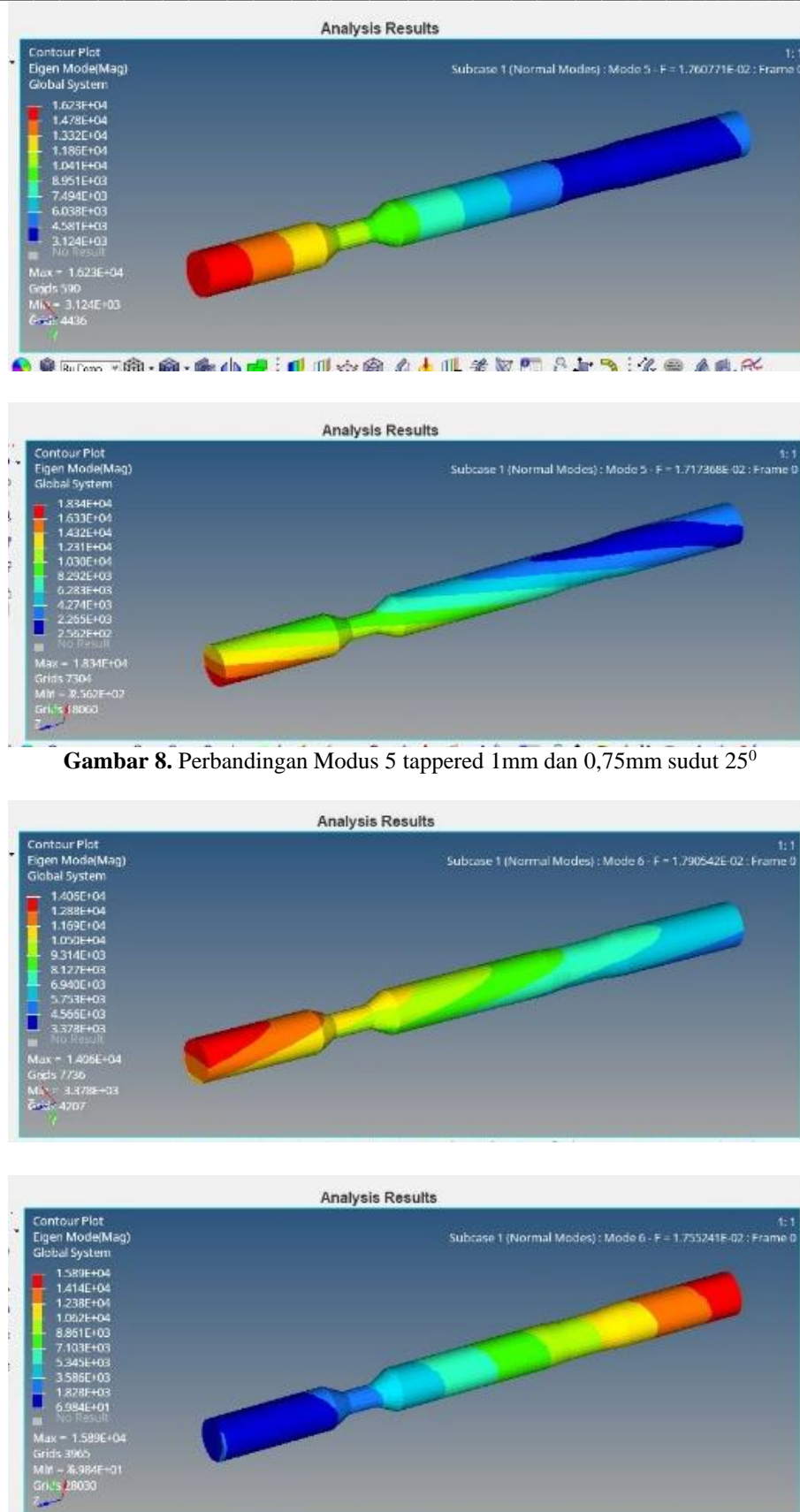
Gambar 5. Perbandingan Modus 2 tapered 1mm dan 0,75mm sudut 25°



Gambar 6. Perbandingan Modus 3 tapered 1mm dan 0,75mm sudut 25⁰



Gambar 7. Perbandingan Modus 4 tapered 1mm dan 0,75mm sudut 25⁰



Gambar 8. Perbandingan Modus 5 tapered 1mm dan 0,75mm sudut 25⁰

Gambar 9 Perbandingan Modus 6 tapered 1mm dan 0,75mm sudut 25⁰

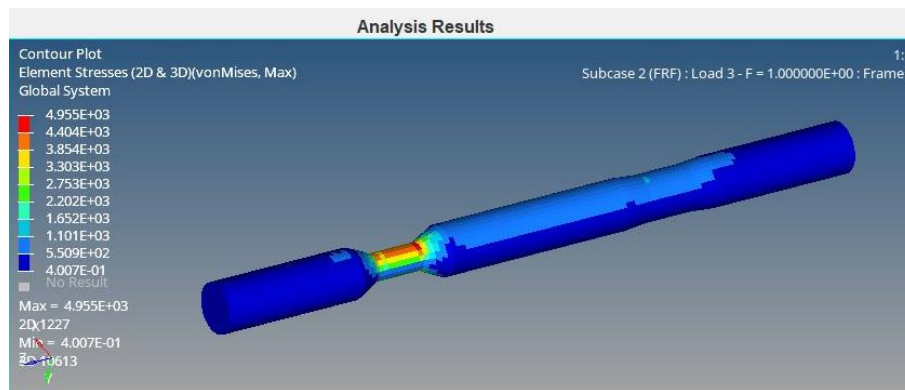
Dari ke-6 Modal analisis diatas didapatkan nilai frekuensi dari setiap model dari modus 1 hingga modus 6. Hasil dari analisis modal diatas, ditampilkan pada Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Frekuensi Pribadi Model 1 mm dengan 0,75mm sudut 25⁰

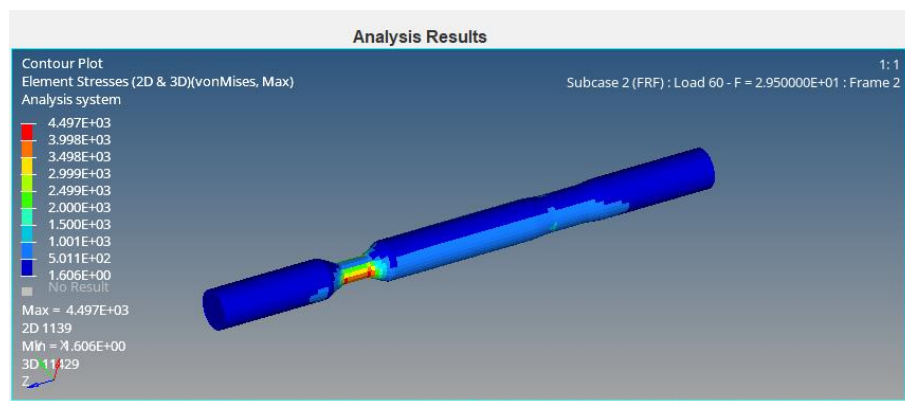
Frekuensi Pribadi	1mm	0,75mm
Modus 1	0,0105 Hz	0,0106 Hz
Modus 2	0.0167 Hz	0.0163 Hz
Modus 3	0.017 Hz	0.0167 Hz
Modus 4	0,0175 Hz	0,0169 Hz
Modus 5	0.0176 Hz	0.0171 Hz
Modus 6	0.0179 Hz	0.0175 Hz

3.2 Perbandingan hasil analisis FRF secara Visual

Perbandingan hasil analisis FRF meunjukkan lokasi kritis pada model tersebut berada pada bagian *tapered*. Hasil dari geometri 1mm sudut 25 derajat (**Gambar 3.7**) memiliki stress maksimum $\sigma_{max} = 4.9 \times 10^3$ MPA, sedangkan stress minimum di 0,41 MPA. Hasil dari geometri 0,75mm sudut 25 derajat (**Gambar 3.8**) memiliki stress maksimum $\sigma_{max} = 4.49 \times 10^3$ MPA, sedangkan stress minimum di 1,6 MPA.



Gambar 10. FRF pada model 1 mm



Gambar 11. FRF pada model 0,75 mm

4. Kesimpulan

Dari hasil Analisis diatas, penulis menyimpulkan bahwa model dengan desain 1mm memiliki resiko kegagalan yang lebih tinggi dibandingkan dengan desain model 0,75mm. bisa kita lihat desain dengan model 1mm memiliki stress maksimum sebesar $4,9 \times 10^3$ MPA, sedangkan desain model 0,75mm stress maksimum hanya $4,49 \times 10^3$ MPA.

5. Daftar Pustaka

- [1] Fang, Z., K.Chin, K., Qu, R., & Cai, H. (2012). *Fundamentals of Optical Fiber Sensors Wiley Series in Microwave and Optical Engineering*.
- [2] McKeen, L. W. (2010). *Fatigue and Tribological Properties of Plastics and Elastomers*, 2nd Edition. In *Fatigue and*

-
- Tribological Properties of Plastics and Elastomers, 2nd Edition.* <https://doi.org/10.1016/C2009-0-20351-5>
- [3] Maulana, A., & Ariatedja, J. B. (2019). Analisa Fatigue pada Rangka Sepeda Trandem dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik ITS*, 8(1), 48–53. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v8i1.42547>
 - [4] Jasim, A. A., Hayashi, N., Harun, S. W., Ahmad, H., Penny, R., Mizuno, Y., & Nakamura, K. (2014). Refractive index and strain sensing using inline Mach-Zehnder interferometer comprising perfluorinated graded-index plastic optical fiber. *Sensors and Actuators, A: Physical*, 219, 94–99. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2014.07.018>
 - [5] R. J Crawford., P.J Martin. 2020. *Plastics Engineering 4th Edition*. United State Of Amerika
 - [6] Crisp, John and Elliott, Barry. 2008. *Serat Optik: Sebuah Pengantar*. Jakarta: Erlangga
 - [7] Montero, D. S., Vázquez, C., Möllers, I., Arrúe, J., & Jäger, D. (2009). A selfreferencing intensity based polymer optical fiber sensor for liquid detection. *Sensors*, 9(8), 6446–6455. <https://doi.org/10.3390/s90806446>
 - [8] Okeke, C. P., Thite, A. N., Durodola, J. F., & Greenrod, M. T. (2019). Fatigue life prediction of Polymethyl methacrylate (PMMA) polymer under random vibration loading. *Procedia Structural Integrity*, 17, 589–595. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.08.079>
 - [9] Jiang, S., & Zhang, W. (2014). A time-based model for random vibration fatigue analysis. *Vibroengineering Procedia*, 4, 229–234
 - [10] Norton, M. P., & Karczub, D. G. (2003). *Fundamentals of Noise and Vibration Analysis for Engineers*. In *Fundamentals of Noise and Vibration Analysis for Engineers*. <https://doi.org/10.1017/cbo9781139163927>