



Received 31st July 2019  
Accepted 10th December 2019  
Published 31st December 2019

Open Access

DOI: 10.35472/jsat.v3i2.213

## Eksperimen Uji Gangguan Getaran pada Aplikasi *Cloaking* Sistem Empat Lensa untuk Solusi Area-Buta Pengemudi Kendaraan Besar

O. F. Tri Maryana<sup>a\*</sup>, L. Y. Ginting<sup>b</sup>, F. Pahlawan<sup>a</sup>, M. Y. Darmawan<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Program Studi Fisika, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Way Hui, Lampung Selatan, 40132, Indonesia

<sup>b</sup> Program Studi Teknik Fisika, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Way Hui, Lampung Selatan, 40132, Indonesia

\*Corresponding E-mail: [okky.trimaryana@itera.ac.id](mailto:okky.trimaryana@itera.ac.id)

**Abstract:** Creating optical illusions or invisible objects by using cloaking devices is still being a concern for many researchers in the world. The cloaking devices are working in visible spectrum regime, large dimension, and replicable. Addition with the full-field of light, no new materials, simple infrastructure, and scale easily may be considered an 'ideal' cloaking device. Based on four lenses cloaking system by Choi's work shows an idea for solution of blindspot large vehicle's problem. The set up for this optical system is regular convex lenses non-astigmatism based on educational laboratory framework. The experimental confirmation that cloaking area with 4f convex lenses is limited to certain areas only, not 100 % of the object to be observed can disappear from the view. Vibration disturbance generated by rotor module (wheels disturbance analogy on vehicles) applied on the system demonstrate that below on 2000 rotation per minutes (rpm) equal 33.34 hertz, optical illusion is still consistent. The results support the information to create optical cloaking prototype for optimizing large vehicle driver's visibility as alternative solution blindspot's problem.

**keywords:** *cloaking, lenses, visible, blindspot, rpm*

**Abstrak:** Penciptaan fenomena ilusi optik atau obyek 'menghilang' menggunakan devais *cloaking* masih menjadi perhatian banyak peneliti di dunia. Devais optik yang dimaksud berkerja pada spektrum cahaya tampak, dimensi yang luas, dan dapat direplika ulang. Tambahan sifat seperti jangkauan penuh medan cahaya, tidak membutuhkan material baru, infrastruktur sederhana, dan dapat dengan mudah diatur penyekalaannya dapat dikatan sebagai definisi devais *cloaking* yang ideal. Berdasarkan *cloaking* sistem empat lensa karya Choi memunculkan gagasan solusi permasalahan area-butakendaraan besar. Susunan sistem optik yang dimaksud tersusun hanya terdiri dari empat lensa cembung biasa tanpa aberasi optik yang pada umumnya digunakan untuk keperluan praktikum pendidikan. Konfirmasi hasil eksperimen menunjukkan bahwa daerah *cloaking* yang terjadi pada sistem empat lensa terbatas pada area tertentu, tidak 100 % obyek penghalang menghilang dari pandangan. Gangguan getaran yang dihasilkan modul rotor diterapkan pada sistem optik tersebut menunjukkan bahwa di bawah 2000 rotasi per menit (rpm) atau sekitar 33.34 hertz ilusi optik yang muncul masih konsisten. Hasil tersebut memberikan informasi yang mendukung pembuatan purwarupa *cloaking* optik yang ideal untuk optimasi jarak pandang pengemudi kendaraan besar sebagai alternatif solusi masalah area-butak.

**Kata Kunci:** *cloaking, lensa, tampak, area-butak, rpm*

### Pendahuluan

Salah satu teknik untuk menciptakan ilusi optik penghilangan benda dari pandangan adalah dengan menciptakan sebuah area pada sistem optik yang dikenal sebagai area *cloaking* [1]. Area *cloaking* adalah

daerah ketika sebuah obyek yang diletakkan di sana mengalami fenomena 'menghilang' dari pandangan pengamat. Pada mulanya gagasan *cloaking* merupakan kajian dalam kerangka teoretis yang bertujuan untuk membuat ruang berbentuk kurva untuk gelombang

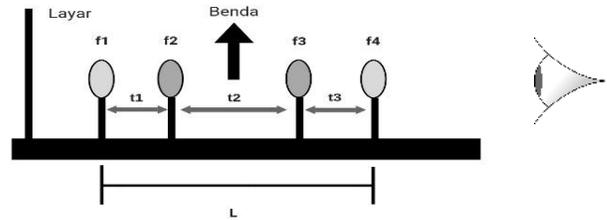
elektromagnetik [1,2]. Devais *cloaking* merupakan sebuah sistem terintegrasi antara perwujudan teori transformasi dan teknologi rekayasa ilusi [1]. Terdapat beberapa tipe dasar devais optik yang di antaranya adalah *cloaking* gelombang elektromagnetik, *cloaking* ruang-waktu, *cloaking* jarak jauh, 'tameng' plasmonik dan banyak lagi seperti yang disebutkan pada Choi dan Howell [2].

Sebelum laporan Choi tahun 2014, bahan yang digunakan untuk memunculkan fenomena area *cloaking* yang dikenal sebagai *metamaterial* (Salah satu sifatnya adalah berindeks bias negatif) sulit dibuat dan membutuhkan biaya yang mahal [1-3]. Choi bersama Howell mampu memunculkan fenomena *cloaking* hanya dengan menggunakan sistem empat lensa yang terbuat dari bahan dasar gelas. Prinsip kerja sistem tersebut adalah meletakkan benda penghalang tepat pada daerah yang tidak dilalui oleh penjalaran sinar-sinar pada sistem empat lensa cembung sehingga bayangan yang dibentuk hanyalah layar yang terletak pada ujung sistem. Benda penghalang seolah-olah menghilang dari pandangan.

Eksperimen yang dilakukan mencoba untuk menerapkan laporan kerja Choi dan Howell menjadi devais optik aplikatif sederhana sebagai usulan awal solusi permasalahan area-butu pada kendaraan khusus kendaraan besar. Area-butu pada kendaraan yang dapat memunculkan 'human error' menjadi salah satu penyebab kecelakaan lalu lintas di Indonesia [4]. Pandangan pengemudi melalui spion terhadap pengendara di belakang kendaraannya terhalang bagian sisi belakang akibat terbatasnya pandangan pegemudi yang dikenal sebagai area-butu. Sebelum dibuat purwarupa dan dipasang pada bagian sisi belakang kendaraan besar, perlu dilakukan uji eksperimen yang bertujuan mendapatkan informasi kestabilan dan konsistensi ilusi optik yang dihasilkan. Digunakan gangguan getaran yang diciptakan oleh modul rotor arus lemah pada sistem lensa sebagai analogi getaran yang muncul dari roda kendaraan yang berputar.

**Metode**

Eksperimen uji gangguan getaran ditempuh melalui beberapa tahap. Tahap pertama adalah kalibrasi konfigurasi sistem empat lensa menggunakan laser merah. Kemudian dilanjutkan dengan eksperimen *cloaking* optik sistem empat lensa dalam keadaan tanpa gangguan. Tahap akhir yaitu pemberian gangguan dengan variasi getaran bersumber dari modul rotor.



**Gambar 1.** Susunan empat lensa untuk menghasilkan fenomena *cloaking* optik.

**Gambar 1** menunjukkan susunan sistem empat lensa positif (cembung). Benda yang akan 'dihilangkan' diletakkan pada posisi diantara f<sub>2</sub> dan f<sub>3</sub> atau daerah t<sub>2</sub> (area potensial *cloaking* optik).

Choi dan Howell mengusulkan formalisme perambatan berkas sinar pada sistem optik empat lensa menggunakan metode matriks 'ABCD' [2, 5]. Metode tersebut dipilih karena pada prinsipnya *cloaking* sistem empat lensa adalah analisis optik geometri. Asumsi yang diberikan adalah berkas-berkas sinar tidak menyimpang jauh dari sumbu axisnya. Dikenal sebagai 'pendekatan *paraxial*'. Daerah-daerah pada asumsi tersebut disebut sebagai 'optik Gaussian' [5,7]. Matriks yang digunakan oleh Choi dan Howell untuk lensa tipis berjumlah 1 buah ditunjukkan pada persamaan 1. Choi menggunakan pendekatan berkas-berkas sinar (*rays*). Ia mendapatkan solusi non-trivial/signifikan paling sederhana dengan memandang sistem lensa sebagai sistem lensa tipis yang simetris secara rotasi dan berada pada daerah dengan indeks bias n bernilai 1 (udara).

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_{\text{lensa tipis}} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

di mana f adalah panjang titik fokus yang digunakan. Dapat dengan mudah dilihat melalui persamaan 1, untuk kasus lensa tipis nilai f haruslah ∞. Jika titik fokus bernilai tak hingga artinya tak ada daya optik (lensa bersifat datar). Pada lensa datar tersebut tidak tercipta daerah *cloaking* dan efek-efek optik. Seperti kita melihat kaca biasa. Kemudian melalui skema tersebut kita menggunakan f sebagai titik fokus, dan variabel t menunjukkan jarak antara komponen optik, dalam hal ini lensa. Matriks ABCD sistem empat lensa dapat dituliskan sebagai,

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_4 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & t_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & t_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & t_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -1/f_1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Perkalian matriks di atas akan dengan mudah dapat diselesaikan dengan mereduksi  $f_1 = f_4$ ,  $f_2 = f_3$  dan  $t_1 = t_3$  sehingga akan didapatkan hubungan,

$$t_1 = f_1 + f_2 \quad (3)$$

Dengan memasukkan persamaan 3, matrik ABCD dapat dituliskan kembali,

$$\begin{bmatrix} 1 & f_1(-2t_1^2 + f_1(2t_1 + t_2))/(f_1 - t_1)^2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Kemudian dengan mensubstitusi  $B=2t_1+t_2$  akan didapatkan

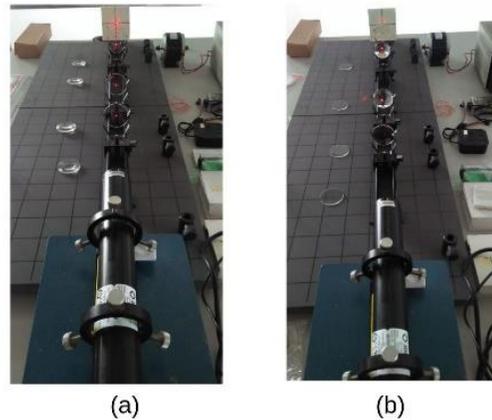
$$t_2 = 2f_2(f_1 + f_2)/(f_1 - f_2) \quad (5)$$

Akhirnya didapatkan panjang total sistem lensa,

$$L = 2t_1 + t_2 = 2f_1(f_1 + f_2)/(f_1 - f_2) \quad (6)$$

**Gambar 1** menunjukkan rentang daerah di antara lensa yang berpotensi menciptakan ilusi cloaking optik yang dilaporkan oleh Choi [5]. Susunan empat lensa cembung dengan harga indeks bias yang sama (1.5) digunakan dalam eksperimen uji memiliki diameter yang sama yaitu sebesar 5 cm dengan panjang titik fokus  $f_1, f_2, f_3, f_4$ , secara berurutan 100, 50, 50, dan 100 mm. Sesuai persamaan (3) dan (5) didapatkan jarak  $t_1=t_3=15$  cm dan  $t_2=30$  cm. Untuk membuktikan kesejajaran dan garis pusat sistem dilakukan kalibrasi dengan menggunakan berkas sinar laser. Hal tersebut berguna untuk membandingkan data hasil fenomena ilusi optik sebelum dan sesudah gangguan getaran yang diberikan.

Bukti kesejajaran dan garis pusat sistem empat lensa cembung yang disusun ditunjukkan pada **Gambar 2**. **Gambar 2** membuktikan bahwa berkas sinar laser yang ditembakkan oleh sumber cahaya merambat lurus melalui titik pusat semua lensa dan berhenti tepat di titik hijau pada layar. Tahap awal yang ditempuh adalah dengan menggunakan kaca akrilik yang kemudian kaca akrilik tersebut dilepas satu persatu dan diganti dengan lensa kaca dengan menjaga penjalaran sinar laser tetap pada titik berwarna hijau.



**Gambar 2.** (a) Kalibrasi sistem pusat empat lensa dengan menggunakan bantuan kaca akrilik dan (b) Kesejajaran sistem pusat empat lensa kaca.

Benda penghalang (penggaris besi) diletakkan antara sistem lensa yang disusun ( $t_2$ ). Penggaris tersebut digeser-geser terhadap lensa ke-2 dan ke-3 (dihitung dari sumber laser) sehingga didapatkan ilusi optik cloaking yang optimum. Ilusi optik yang optimum adalah ketika benda penghalang berhasil dihilangkan sebagian besarnya dari arah pandang mata pada gambar 1.

Setelah didapatkan jarak ilusi optik yang optimum kemudian dilakukan pemberian gangguan berupa getaran yang dibangkitkan oleh mesin rotor dengan tegangan rendah. Mesin rotor tersebut ditempelkan pada alas/meja sistem optik empat lensa. Dilakukan beberapa variasi tegangan input yang berbeda-beda sehingga didapatkan nilai rotasi per menit rotor tersebut sehingga menimbulkan gangguan getaran pada sistem. Hal tersebut dilakukan sebagai asumsi getaran dari rotasi roda kendaraan yang sedang berjalan.

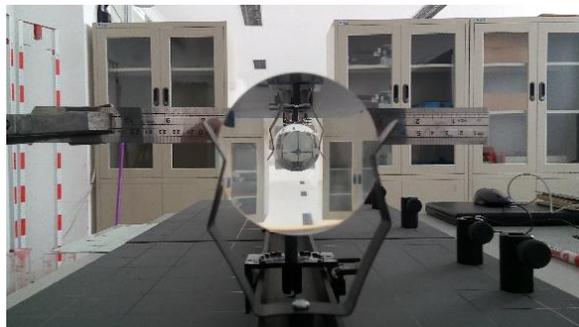
### Hasil dan Pembahasan

Susunan sistem optik yang digunakan merupakan susunan lensa cembung biasa didasarkan standar praktikum pendidikan. Tidak seperti halnya sifat divergensi pada lensa lensa cekung, lensa cembung bersifat menguraikan di alam. Berkas cahaya yang datang secara sejajar pada sumbu axis lensa akan dibiarkan menuju titik fokus. Sinar yang direfraksikan di dalam sistem *cloaking* akan memenuhi sifat-sifat dari lensa cembung.

Lensa cembung yang digunakan seluruhnya berdiameter 5 cm. Cloaking terjadi di wilayah antara lensa kedua dan lensa ketiga. Penentuan daerah/area cloaking optimum adalah dengan menghitung jarak antara sumbu utama



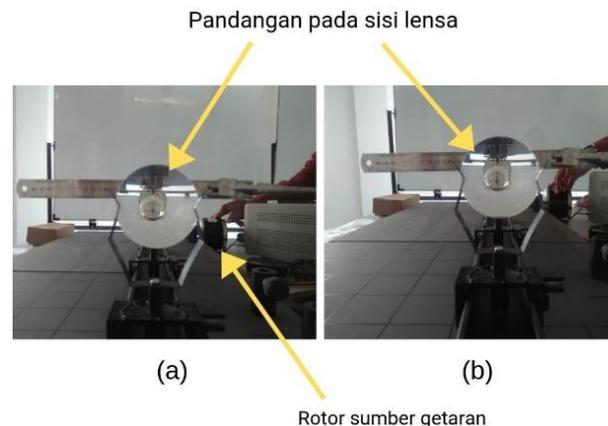
(a)



(b)

**Gambar 3.** Hasil eksperimen *cloaking* optik dengan menggunakan sistem empat lensa cembung (lensa kesatu pada posisi paling dekat dengan pembaca). (a) susunan eksperimen dengan penggaris berukuran 30x1 m, jarak penggaris terhadap lensa kedua adalah 6,5 cm. (b) ilusi optik optimum yang terjadi tanpa gangguan.

lensa (axis) dengan tinggi benda/penggaris yang mampu 'dihilangkan' paling besar. Didapatkan jarak sebesar 3 cm untuk lensa cembung berdiameter 5 cm. Sebelumnya Sugiarto menggunakan lensa yang lebih kecil dengan diameter 3.6 cm dan 2.54 cm dengan tinggi daerah *cloaking* optimum pada jarak 2 cm dan 1 cm secara berurutan [6] Sesuai dengan persamaan (2), jarak antara lensa ( $t_1$ ,  $t_2$ , dan  $t_3$ ) tergantung dari panjang fokus lensa yang digunakan ( $f_1$ ,  $f_2$  dst). Informasi penting yang didapatkan dari eksperimen yang dilakukan adalah semakin panjang diameter lensa yang digunakan, area *cloaking* optimum semakin tinggi seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3**. Semakin banyak bagian penggaris yang dapat dihilangkan dari pandangan. Hasil



**Gambar 4.** Gangguan getaran bersumber dari rotor dengan kecepatan (a) 366 rpm dan (b) 2340 rpm pada ilusi optik sistem *cloaking* empat lensa cembung.

tersebut menunjukkan bahwa kebergantungan dari dimensi obyek pengamatan di layar dengan daerah *cloaking* yang tercipta. Semakin lebar/tinggi area *cloaking* sistem lensa, semakin besar bagian obyek yang dapat dihilangkan.

Konfirmasi eksperimen menunjukkan hasil yang serupa dengan yang dilaporkan oleh Chen dkk yaitu bahwa daerah *cloaking* lensa cembung memiliki keterbatasan, tidak 100% dari benda yang diobservasi menjadi hilang sepenuhnya dari pandangan [3]. Keterbatasan daerah *cloaking* dibentuk di sekitar bagian depan lensa ketiga di daerah antara ( $f_2 - f_3$ ) seperti yang ditunjukkan pada gambar 1 & 3.

Sistem empat lensa cembung seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 3** menghasilkan ilusi optik dengan diameter lensa yang digunakan sebesar 5 cm. Gambar 4b menunjukkan penggaris yang tegak lurus susunan lensa diletakkan di depan dan bagian atasnya lensa ke-3 kurang lebih 3 cm akan menghilang jika kita melihat pada bagian depan lensa pertama. Hasil tersebut membuktikan bahwa susunan empat lensa cembung dengan menggunakan lensa skala praktikum pendidikan berhasil memunculkan *cloaking* optik serupa yang dilaporkan Choi dan Howell.

Hasil eksperimen menunjukkan besarnya diameter yang digunakan pada sistem *cloaking* empat lensa berpengaruh terhadap tingginya area penghalang yang mampu dihilangkan. Jika merujuk pada data eksperimen sebelumnya yang telah dilakukan oleh Sugiarto maka akan didapatkan grafik seperti pada gambar 5. Besarnya

**Tabel 1.** Kualitas ilusi optik pada variasi gangguan sumber getaran.

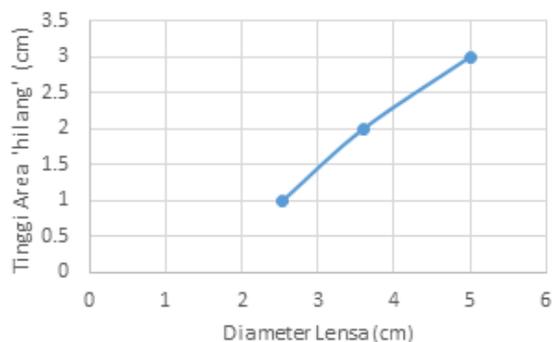
Tegangan (Volt)	Pengambilan data ke-1 (rpm/hertz)	Pengambilan data ke-2 (rpm/hertz)	Kualitas bayangan di ujung batas sisi lensa
3	366/6,1	358/5.9	terlihat jelas
6	741/12.35	745/12.4	terlihat jelas
9	1139/18.9	1146/19.1	terlihat jelas
12	1539/25.6	1530/25.5	terlihat jelas
15	1913/31.8	1936/32.2	Sedikit tidak terlihat jelas
18	2340/39	2330/38.8	Sedikit tidak terlihat jelas

nilai titik fokus lensa (tebal/tipisnya lensa) yang digunakan hanya berpengaruh terhadap lebarnya daerah potensi terjadinya fenomena ilusi cloaking optik (jarak antara lensa ke 2 dan ke-3). Seperti ditunjukkan **Gambar 3(a)** di mana jarak penggaris terhadap lensa kedua ketika tercipta ilusi cloaking optik optimum adalah 6.5 cm. Informasi tersebut akan berguna dalam pembuatan purwarupa dan aplikasinya memperlebar jangkauan pandangan pengemudi kendaraan besar.

**Gambar 4** menunjukkan hasil ilusi optik cloaking sistem empat lensa (hilangnya sebagian badan penggaris) dengan gangguan getaran melalui teknik penempelan mesin rotor pada meja optik sebesar 366 rpm dan 2340 rpm. Pada sumber rotor 366 rpm yang dibangkitkan oleh sumber tegangan 3 volt, ilusi optik secara kasat mata masih menunjukkan konsistensi kejelasan pandangan hilangnya sebagian penggaris dan batas sisi lensa. Semakin besar tegangan input, semakin besar gangguan getaran yang dihasilkan. Batas antara ujung sisi lensa dan bagian luar lensa mulai sulit diidentifikasi/tidak jelas ketika getaran mulai mendekati angka 2000. Secara umum, gangguan getaran yang diberikan dengan sumber di bawah 2400 rpm sama sekali tidak menghilangkan fenomena ilusi optik sistem empat lensa. Gangguan getaran yang dirasakan sistem lensa dikonversi dari rotasi rotor yang dihasilkan dihitung dengan menggunakan persamaan 7,

$$\omega = 2\pi f \tag{7}$$

Dengan  $\omega$  adalah kecepatan putaran (radian/s) dan  $f$  adalah frekuensi getaran (hertz). Mengingat bahwa 1 putaran sebanding dengan  $2\pi$  radian. **Tabel 1** menampilkan hasil pengamatan eksperimen gangguan getaran sebagai akibat penambahan nilai tegangan setiap 3 V.



**Gambar 5.** Grafik hubungan antara diameter lensa yang digunakan terhadap tinggi area 'hilang' obyek penghalang (penggaris).

Fenomena tidak jelas/kaburnya kualitas bayangan di ujung batas sisi lensa diamati oleh mata pengamatan secara langsung. Bila fenomena tersebut difoto dengan kamera standar maka fenomena kaburnya bayangan ilusi optik tersebut seperti tidak nampak (Gambar 4). Hal tersebut menjadi saran bagi penelitian selanjutnya agar teknik dan fasilitas pengambilan foto ditingkatkan dengan kualitas yang lebih tinggi sehingga sensitivitas gangguan pada sistem lebih teramati.

### Kesimpulan

Telah berhasil dibangun kembali dan diuji ilusi optik sistem cloaking empat lensa yang dilaporkan Choi dan Howell dengan menggunakan spesifikasi lensa skala laboratorium pendidikan. Eksperimen uji gangguan getaran yang diberikan pada sistem cloaking empat lensa menguatkan laporan sebelumnya [5] bahwa semakin lebar diameter lensa yang digunakan, semakin besar bagian benda penghalang yang dapat 'dihilangkan'. Kemudian fenomena 'penghilangan' benda penghalang lensa tetap konsisten dibawah nilai sumber getaran sebesar 2000 rpm atau sekitar 33.34 hertz. Perlu dilakukan kajian gangguan getaran lebih lanjut dengan nilai gangguan yang lebih tinggi sehingga didapatkan harga batas frekuensi maksimal yang tepat pada penciptaan ilusi optik sistem empat lensa. Informasi yang didapat tersebut menjadi referensi penting dalam pengembangan purwarupa devais optik sebagai solusi pengurangan kecelakaan kendaraan besar akibat permasalahan area buta.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih atas program *Hibah Penelitian Institut Teknologi Sumatera* Tahun 2018 No: 134aw/IT9.C1/PP/2018 dalam mendukung terlaksananya penelitian ini.

## Referensi

- [1] Fleury, Romain, and Andrea Alù. "Cloaking and invisibility: A review." *Forum for Electromagnetic Research Methods and Application Technologies (FERMAT)*. Vol. 1. No. ARTICLE. 2014.
- [2] Choi, Joseph. *Practical Invisibility Cloaking*. Thesis University of Rochester, New York, 12 – 17, 2016
- [3] H. Chen, B. Zheng, L. Shen, H.Wang, X. Zhang, N. I. Zheludev, and B. Zhang. *Ray-optics cloaking devices for large objects in incoherent natural light*. *Nat. Comm*, Vol. 4, 2652, 2013
- [4] Ketua Sub Komite Investigasi Kecelakaan LLAJ, Data Investigasi Kecelakaan LLAJ Tahun 2010 – 2016 ) Database KNKT 2016, Diakses 2 desember 2018 2 dari <http://knkt.dephub.go.id>
- [5] J. S. Choi and J. C. Howell. *Paraxial ray optics cloaking*. *Opt. Express*, Vol. 22, 29465–29478, 2014.
- [6] Sugiarto, I. T., et. al. *Optical Illusion Design Based On Four Convex Lenses System and Cloaking Area Characterization*. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 14 (1) 40-45, 2018.
- [7] Gutiérrez-González, S., I. Marcos-Muñoz, and A. S. Sanz. "A teaching approach to optical cloaking: Theory and experiment." *arXiv preprint arXiv:1807.02276*, 2018.