

## ELECTROOPTIC CHARACTERISTICS OF COLLOIDAL SILVER SOLUTIONS USING TRANSVERSE ELECTROMAGNETIC MODE OF INCOMING LIGHT

K. Sofjan Firdausi\*, Aqilatul F. D. Setyoningrum, Tiwiyaningsih, Aidah Rahmawati, Very Richardina, Ali Khumaeni, Heri Sugito, Qidir M. B. Soesanto, dan Much Azam

Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

E-mail: [k.sofjanfirdausi@yahoo.co.id](mailto:k.sofjanfirdausi@yahoo.co.id)

Received: 7 Mei 2020; revised: 13 Juni 2020; accepted: 25 Juni 2020

### ABSTRACT

*In this paper, we demonstrated new electro-optics characteristics of silver nanoparticle solution (NPP) using linear light polarization. The electro-optical properties of NPP solution were obtained by measuring changes in the polarization of light in the transverse electromagnetic (TEM) mode, in which the source light is made linearly polarized at  $0^\circ$  and  $90^\circ$  to the axis of polarizer. NPP samples were obtained by laser ablation method and electro-optical properties were obtained through high voltage DC 0-9 kV with light source from green laser pointer (532 nm). The results showed that colloidal silver solution in water at an angle mode of  $0^\circ$ , strongly suspected to show active Plasmon resonance at a concentration area of 3-5 ppm, with a peak of polarization at a concentration of 4.6 ppm. In the  $90^\circ$  mode, it is assumed that the colloidal silver solution is resonant inactive, the change in polarization is caused only by a combination of natural polarization and electro-optical polarization. The study of changes in the polarization of light through electro-optical effects on silver solutions is very interesting to be developed further using other particles, because it can provide a more comprehensive answer. This method also contributes science to the new perspective of understanding the interaction of light with matter, especially colloidal silver solutions, and the like.*

**Keywords:** Light polarization, electro-optics effect, colloidal silver solution

### ABSTRAK

*Dalam tulisan ini diperoleh sifat elektro-optis yang baru dari larutan nano partikel perak (NPP) menggunakan cahaya yang terpolarisasi linier. Karakteristik elektro-optis dari NPP diperoleh dengan mengukur perubahan polarisasi cahaya pada mode transverse electromagnetic (TEM), yakni cahaya sumber dibuat terpolarisasi linier pada sudut polarisator  $0^\circ$  dan  $90^\circ$ . Sampel NPP diperoleh melalui metode ablasi laser, dan sifat elektro-optis didapat melalui tegangan tinggi DC 0-9 kV dan sumber cahaya berupa laser pointer hijau (532 nm). Hasil penelitian menunjukkan bahwa larutan perak koloid dalam air pada mode sudut  $0^\circ$ , disinyalir menunjukkan resonansi plasmon aktif pada daerah konsentrasi 3-5 ppm, dengan puncak polarisasi pada konsentrasi 4,6 ppm. Pada mode  $90^\circ$ , diperkirakan bahwa larutan perak koloid bersifat resonansi tak aktif, perubahan polarisasi disebabkan hanya kombinasi dari polarisasi alami dan polarisasi elektro-optis. Studi perubahan polarisasi cahaya melalui efek elektro-optis pada larutan perak sangat menarik untuk dikembangkan lebih jauh dengan menggunakan partikel lain, sebab dapat memberikan jawaban yang lebih komprehensif. Metode ini juga memberikan kontribusi ilmu pengetahuan pada cara pandang baru dalam memahami interaksi cahaya dengan materi, terutama larutan perak koloid, dan sejenisnya.*

**Kata kunci:** Polarisasi cahaya, efek elektrooptis, larutan perak koloid

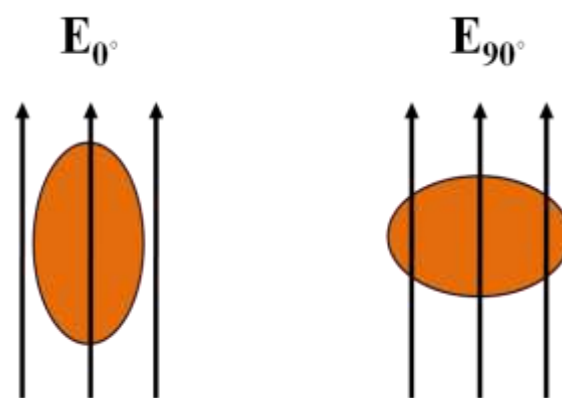
## PENDAHULUAN

Secara umum, efek elektro-optis adalah respon tak linier dari sifat optis bahan ketika dikenai medan listrik yang cukup kuat. Salah satu manfaat yang cukup potensial adalah sebagai uji mutu minyak goreng yang relatif sederhana [1-7], dan membuka cara pandang baru tentang interaksi antara cahaya dengan materi [5-7]. Dalam upaya untuk lebih memahami interaksi tersebut, pada penelitian sebelumnya [8-9] kami telah mencoba menerapkan metode ini pada bahan lain yakni nano partikel perak (NPP), dan diperoleh bahwa perubahan polarisasinya tidak linier baik sebagai fungsi medan maupun konsentrasi. Fenomena tersebut sangat menarik dan belum terungkap secara jelas, karena penerapan efek elektro-optis dengan mengukur polarisasi pada NPP termasuk relatif baru. Sebagai hasil pengembangan teknologi nano material, perkembangan penelitian dan potensi aplikasi NPP di berbagai bidang sudah sangat pesat [8-12], namun metode-metode yang digunakan untuk mempelajari karakteristik NPP relatif kompleks. Dalam tulisan ini, karakteristik NPP dievaluasi dengan metode elektro-optis pada mode *transverse electromagnetics* (TEM) sehingga diperoleh karakteristik elektro-optis yang lebih utuh dan diharapkan diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif tentang interaksi cahaya dengan materi.

## METODE PENELITIAN

Prosedur preparasi sampel NPP dan pengambilan data perubahan polarisasi cahaya mengacu pada penelitian Tiwiyansingih dkk [14]. Sumber cahaya yang digunakan adalah laser pointer hijau (532 nm) menggunakan mode *transverse electromagnetics* (TEM) pada sudut

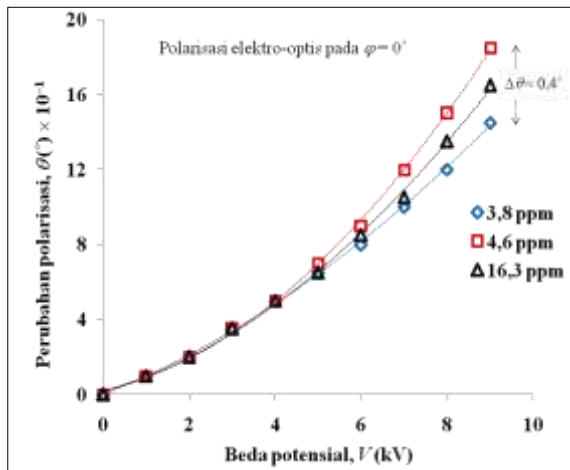
polarisator  $0^\circ$  dan  $90^\circ$ . Mode TEM adalah cahaya datang yang mengenai sampel dibuat terpolarisasi linier tegak lurus arah perambatan cahaya dan diatur pada mode sudut polarisator  $0^\circ$  ( $E_{0^\circ}$ ) dan  $90^\circ$  ( $E_{90^\circ}$ ). Model tersebut ditunjukkan pada Gambar 1. Karakteristik elektro-optis sampel diperoleh dengan mengukur perubahan polarisasi cahaya ketika sampel diletakkan dalam medan listrik eksternal dari sumber tegangan DC 0-9 kV pada plat sejajar.



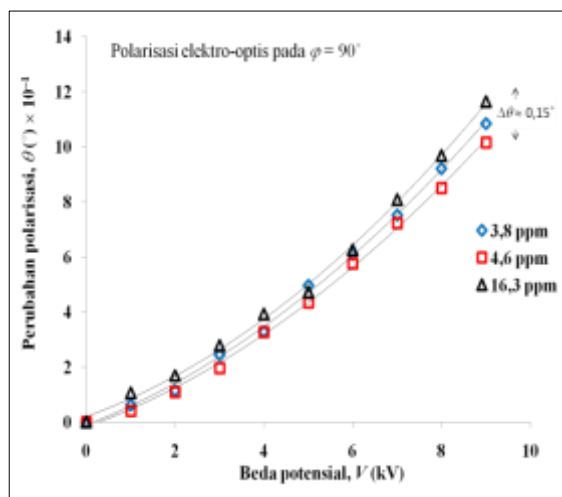
**Gambar 1.** Model interaksi cahaya terpolarisasi linier dengan NPP pada mode  $E_{0^\circ}$  dan  $E_{90^\circ}$  terhadap orientasi molekul.

## HASIL DAN DISKUSI

Secara umum, karakter elektro-optis semua sampel NPP menunjukkan adanya polarisasi tak linier sesuai dengan hasil-hasil sebelumnya [8-9]. Perubahan sudut polarisasi diberikan oleh  $\theta = \theta_0 + \theta_{el}$ , dengan  $\theta_0$  adalah polarisasi alami (tanpa gangguan medan eksternal) dan  $\theta_{el}$  merupakan polarisasi elektro-optis yang merupakan bagian tak linier dan sebagai fungsi kuadratis terhadap beda potensial  $V$ . Gambar 2 dan Gambar 3, masing-masing, menampilkan perubahan polarisasi elektro-optis sebagai fungsi beda potensial pada mode  $\varphi = 0^\circ$  dan  $\varphi = 90^\circ$ , khusus untuk konsentrasi NPP 3,8 ppm, 4,6 ppm, dan 16,3 ppm.



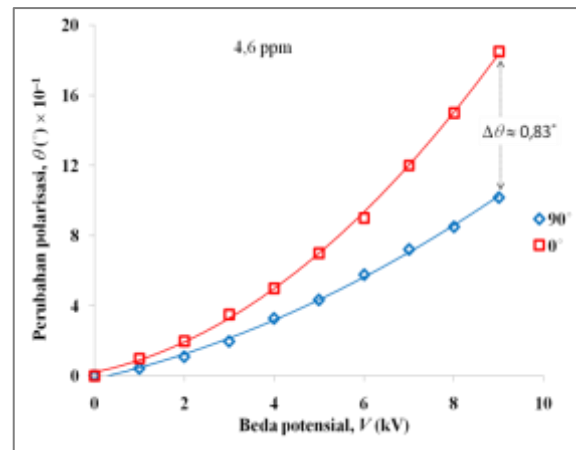
**Gambar 2.** Perubahan polarisasi elektro-optis pada mode  $\varphi = 0^\circ$  untuk sampel NPP konsentrasi 3,8; 4,6; dan 16,3 ppm.



**Gambar 3.** Perubahan polarisasi elektro-optis pada mode  $\varphi = 90^\circ$  sampel NPP 3,8; 4,6; dan 16,3 ppm.

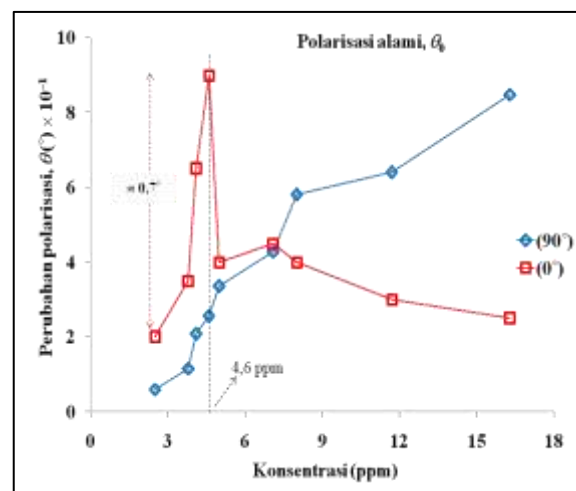
Pada Gambar 2 dengan mode sudut  $\varphi = 0^\circ$  ketiga konsentrasi tersebut menampilkan nilai  $\theta_{el}$  yang hampir sama. Namun pada  $V = 9$  kV deviasi polarisasi pada konsentrasi 4,6 ppm terhadap 3,8 ppm mencapai  $\Delta\theta \approx 0,4^\circ$ . Pada mode sudut  $\varphi = 90^\circ$  (Gambar 3), karakteristik ketiga konsentrasi juga hampir identik dengan deviasi rentang perbedaan pada 9 kV adalah  $\Delta\theta \approx 0,15^\circ$ . Perbedaan tersebut tidak signifikan, mengingat ketelitian pengukuran dalam orde  $0,1^\circ$ . Namun khusus konsentrasi

4,6 ppm, jika dibandingkan antara mode  $\varphi = 0^\circ$  dan  $\varphi = 90^\circ$  (Gambar 4), nampak perbedaan polarisasi yang cukup signifikan pada saat tegangan 9 kV. Perbedaan ini dapat terjadi karena perbedaan orientasi cluster NPP.

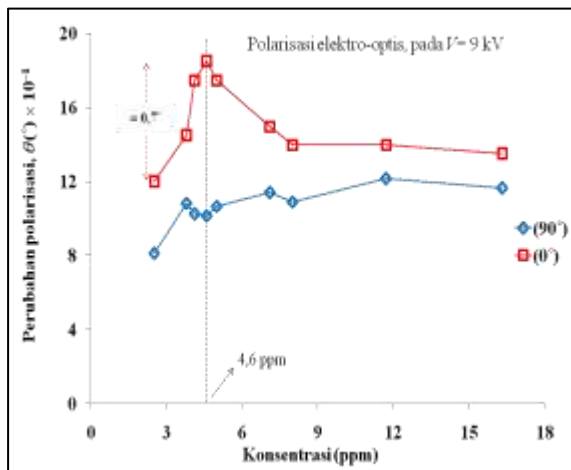


**Gambar 4.** Perubahan polarisasi elektro-optis pada mode  $\varphi = 0^\circ$  dan  $90^\circ$  untuk sampel NPP 4,6 ppm.

Untuk memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif, diperlukan data perubahan polarisasi alami (Gambar 5) dan polarisasi elektro-optis (Gambar 6) pada mode sudut  $\varphi = 0^\circ$  dan  $\varphi = 90^\circ$ , sebagai fungsi konsentrasi.



**Gambar 5.** Perubahan polarisasi alami sebagai fungsi konsentrasi pada mode  $\varphi = 0^\circ$  dan  $90^\circ$ . Kenaikan polarisasi dari konsentrasi 2,5 ppm ke 4,6 ppm sekitar  $0,7^\circ$ .



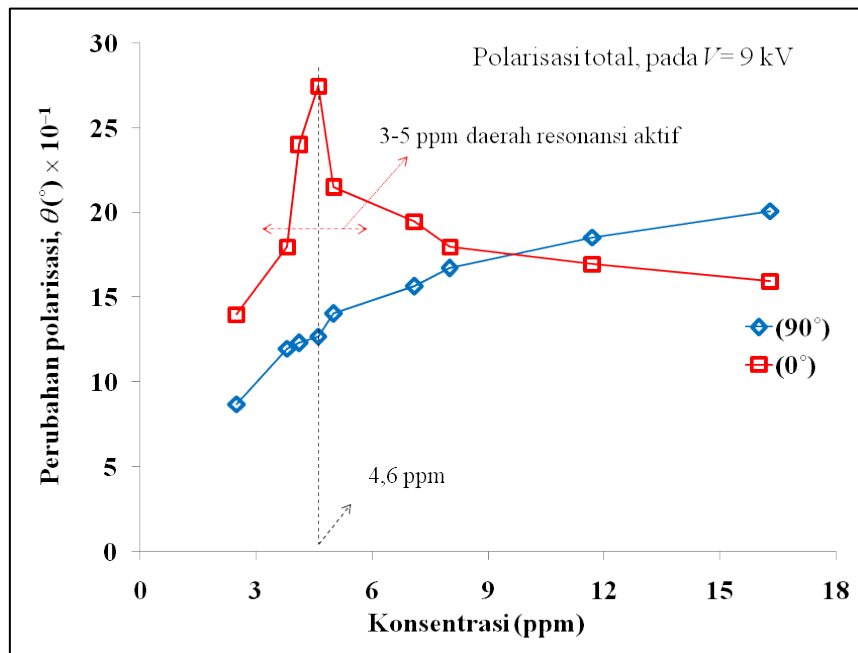
**Gambar 6.** Perubahan polarisasi elektro-optis pada tegangan 9 kV pada mode  $\varphi = 0^\circ$  dan  $90^\circ$ . Kenaikan polarisasi dari konsentrasi 2,5 ppm ke 4,6 ppm sekitar  $0,7^\circ$ .

Untuk polarisasi alami pada mode  $\varphi = 0^\circ$  dan  $\varphi = 90^\circ$  (Gambar 5), ternyata hasil pengukuran memberikan karakteristik optis yang relatif baru. Pada hasil penelitian sebelumnya [8-9], disebutkan bahwa perubahan polarisasi tidak linier terhadap konsentrasi NPP dan homogen untuk semua sudut polarisator  $\varphi$ . Hasil yang kami peroleh dan ditunjukkan oleh Gambar 5, menunjukkan perubahan polarisasi tidak hanya tak linier terhadap konsentrasi, namun juga tergantung orientasi NPP. Pada Gambar 5 ditunjukkan seolah-olah terdapat pasangan yang saling melengkapi antara polarisasi pada mode  $\varphi = 0^\circ$  dan  $\varphi = 90^\circ$ . Hasil pada Gambar 5 menunjukkan bahwa NPP pada konsentrasi tertentu bersifat khas tergantung arah medan listrik cahaya yang datang apakah sejajar atau tegak lurus dengan sumbu *cluster*. Penjelasan sementara yang logis secara fisis, dari hipotesa kami, adalah sifat *cluster* NPP yang sudah mempunyai resonansi plasmon internal dan terorientasi alami dengan sumbu utama *cluster*, sehingga

ketika diberi cahaya terpolarisasi linier, orientasi induksi plasmon yang searah dengan medan listrik cahaya memberikan perubahan polarisasi optimal. Konsentrasi 4,6 ppm adalah nilai ambang dimana pada mode  $\varphi = 0^\circ$  mengalami induksi yang paling kuat atau dikatakan resonansi plasmon aktif. Kenaikan polarisasi secara drastis dari konsentrasi 3 ppm sampai 5 ppm dengan selisih sebesar  $\Delta\theta \approx 0,7^\circ$ . Di luar batas 3-5 ppm, polarisasi turun secara landai, dan dikatakan resonansi tak aktif. Sementara pada  $\varphi = 90^\circ$ , hipotesa kami adalah induksi plasmon bersifat tak aktif. Kenaikan perubahan polarisasi cahaya cenderung sebanding dengan konsentrasi NPP yang tak simetri, dan semakin besar jumlah NPP tak simetri, semakin besar pula perubahan polarisasinya.

Gambar 6 adalah perubahan polarisasi dari kontribusi murni elektro-optis sebagai fungsi konsentrasi pada tegangan 9 kV pada mode  $\varphi = 0^\circ$ . Ternyata didapat pula kenaikan polarisasi yang drastis dari konsentrasi di sekitar 3-5 ppm dengan kenaikan sebesar  $\Delta\theta \approx 0,7^\circ$ . Dengan membandingkan pada penelitian sebelumnya [9] diperoleh bahwa NPP dalam air selain mempunyai sifat optis alami dan efek elektro-optis, juga resonansi plasmon aktif pada mode  $\varphi = 0^\circ$  di daerah 3-5 ppm. Untuk konsentrasi semakin besar ( $>5$  ppm), pada mode  $\varphi = 0^\circ$  dan  $\varphi = 90^\circ$  efek elektro-optis memberikan kontribusi yang seragam pada nilai yang hampir konstan akibat dipol-dipol listrik yang terbentuk. Polarisasi pada mode  $\varphi = 0^\circ$  lebih tinggi dari pada  $\varphi = 90^\circ$  yang menunjukkan bahwa sumbu panjang *cluster* mode  $\varphi = 0^\circ$  lebih panjang dari pada mode  $\varphi = 90^\circ$ .

Gambar 7 adalah polarisasi total (kontribusi polarisasi alami dan elektro-optis) pada 9 kV serta mode  $\varphi = 0^\circ$  dan  $90^\circ$ .



**Gambar 7.** Polarisasi total sebagai fungsi konsentrasi sampel NPP pada tegangan 9 kV dan mode sudut polarisator  $\varphi = 0^{\circ}$  dan  $\varphi = 90^{\circ}$ .

Pada Gambar 7, untuk mode  $\varphi = 0^{\circ}$ , interval 3 – 5 ppm adalah daerah konsentrasi dimana kenaikan polarisasi secara drastis dan menghasilkan puncak polarisasi pada 4,6 ppm, dan disebut sebagai daerah resonansi plasmon aktif, baik untuk sifat asimetri maupun elektro-optisnya. Sedangkan untuk mode  $\varphi = 90^{\circ}$ , resonansi plasmon bersifat non aktif. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan polarisasi cahaya tergantung dari orientasi *cluster* NPP dalam air terhadap orientasi polarisasi cahaya mula-mula. Karena penjelasan dari fenomena tersebut masih belum sempurna dan sebagian masih bersifat spekulatif, maka penelitian yang lebih komprehensif diperlukan dengan variasi mode sudut polarisator yang lebih bervariasi, memperluas daerah kerja konsentrasi NPP dalam air, serta diperlukan kajian teori elektrodinamika dan kuantum secara mendalam dan komprehensif.

## KESIMPULAN

Karakteristik elektro-optis dari larutan perak koloid dalam air semata-mata tidak

tergantung pada sifat tak simetri *cluster* atau terbentuknya dipol listrik, melainkan juga orientasi *cluster* terhadap orientasi cahaya datang yang terpolarisasi linier. Larutan perak koloid dalam air pada mode sudut  $\varphi = 0^{\circ}$ , diduga menunjukkan resonansi plasmon aktif pada daerah konsentrasi 3-5 ppm, baik polarisasi alami maupun elektro-optis, ditunjukkan dengan puncak polarisasi yang drastis pada konsentrasi 4,6 ppm. Pada  $\varphi = 90^{\circ}$ , diduga larutan perak koloid bersifat resonansi tak aktif. Penelitian larutan perak dalam air sangat menarik untuk dikembangkan lebih jauh dengan menggunakan partikel lain, sebab dapat memberikan jawaban yang lebih komprehensif. Metode ini juga memberikan kontribusi ilmu pengetahuan pada cara pandang baru dalam memahami interaksi cahaya dengan materi, terutama larutan perak koloid, dan sejenisnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Firdausi KS, Triyana K, Susan AI. An improvement of new test method for determination of vegetable oil quality

- based on electro-optics parameter. *Berkala Fisika*. 2012; 15(3): 77-86.
- [2] Firdausi KS, Sugito H, Rahmawati H, Putranto AB. The relationship between electro-optics gradient and fatty acids composition in a new investigation on palm oil quality. *Advanced Science Letters*. 2017; 23(7): 6579-6581.
- [3] Sugito H, Firdausi KS, Putri NK. Design of integrated polarizer for detection of lard impurities in cooking oil. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018; 1025 (1): 012008.
- [4] Azam M, Afiefah I, Septianti RW, Putri NK, Sugito H, Firdausi KS. Method of fluorescence polarization for a new alternative tool for investigation of cooking oil and lard. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019; 1217 (1): 012027.
- [5] Afiefah I, Azam M, Sugito H, Firdausi KS. Contribution of electro-optics effect on canola oil as a new alternative method for determination of oil quality using transmission and fluorescence polarization. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019; 1217 (1): 012030.
- [6] Firdausi KS, Afiefah I, Sugito H, Septianti RW, Richardina V, Soesanto QMB, Azam M. Determination of relative dissociation energy from electro-optics as a new single-proposed parameter of vegetable oil quality. *Journal of Physics and Its Applications*. 2019; 2 (1): 61-66.
- [7] Ainurrofik N, Azam M, Sugito H, Richardina V, Firdausi KS. Effect of ozone addition on virgin coconut oil using changes in light transmission polarization. *Journal of Physics: Conference Series*. 2020; 1505 (1): 012057.
- [8] Kolwas K, Derkachova A. Plasmonic abilities of gold and silver spherical nanoantennas in term of dependent multipolar resonance frequencies and plasmon damping rates. *Opto-Electr. Rev.* 2010; 18 (4): 421.
- [9] Aldosari FM, Azzeer AM, Hassib AM, Optical and Photoacoustic Properties of Colloidal Silver Nanoparticles Solutions. *Journal of Materials Science Research*. 2018; 7(4): 1-15.
- [10] Dmitruk IM, Malynych SZ, Grabovskyi ES, Kravets VK, Pinchuk AO. *Proceeding on International Conference Nanomaterials: Applications and Properties*. 2014;3(2).
- [11] Zhang YX, Wang YH. Non linear optical properties of metal nanoparticles: a review. *RSC Adv*. 2017; 7: 45129.
- [12] Laroo H. Colloidal nano silver-its production method, properties, standards and its bio-efficacy as an inorganic antibiotic. *Journal of Physics Chemistry and Biophysics*. 2013; 3: 1000130.
- [13] Sugito H, Khumaeni A, Firdausi KS, Azam M. Development of electro-optics devices by strengthening electromagnetic fields using colloidal silver solutions. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019; 1524 (1): 012057.
- [14] Tiwianingsih, Rahmawati A, Nurhasanah WD, Richardina V, Khumaeni A, Firdausi KS, Sugito H, Soesanto QMB, Azam M. Pengembangan karakteristik optis pada larutan perak koloid menggunakan metode elektro-optis. *Berkala Fisika*. 2020; 23(1): 26-33.