

## **LAPORAN KEMAJUAN PENELITIAN**



### **Simulasi Komputer Distribusi Medan Listrik untuk Pengembangan Alat Kesehatan Pencegah dan Terapi Stroke dengan Software Netlogo**

Oleh :

Firman Alamsyah, PhD.

Dr. Syarif Hidayat

Syafitri Jumianto, M.Si.

Dyah Ayu Suliandrari

**Program Studi Biologi  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Al Azhar Indonesia  
Juni 2020**

## Daftar Isi

Ringkasan Penelitian .....	3
Bab 1 Pendahuluan .....	5
A. Latar Belakang .....	5
B. Tujuan .....	6
Bab 2 Tinjauan Pustaka .....	7
A. Penyakit stroke .....	7
B. Medan listrik dan pengaruhnya pada jaringan tubuh .....	7
C. Netlogo .....	8
D. State of the art .....	9
Bab 3 Metode .....	10
Bab 4 Hasil Sementara .....	12
Ringkasan Kemajuan Penelitian .....	13
Daftar Pustaka .....	14

## Daftar Gambar

Gambar 1. Tahapan penelitian simulasi medan listrik dengan menggunakan software Netlogo versi 6.1.1. ....	11
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

## Daftar Tabel

Tabel 1. Ringkasan Laporan Kemajuan .....	13
-------------------------------------------	----

## Ringkasan Penelitian

Stroke adalah penyakit serebrovaskuler (pembuluh darah otak) yang ditandai dengan kematian jaringan otak (infark serebral) yang terjadi karena berkurangnya aliran darah dan oksigen ke otak yang disebabkan oleh adanya sumbatan, penyempitan atau pecahnya pembuluh darah. Di Indonesia, menurut hasil Riset Kesehatan Dasar (Riskesmas) tahun 2018, prevalensi stroke naik dari 7% (Riskesmas 2013) menjadi 10,9%, dan stroke saat ini menjadi penyebab kematian tertinggi di Indonesia. Biaya pengobatan stroke di Indonesia mencapai 76 juta rupiah. Tetapi, biaya ini jauh lebih kecil dari biaya hilangnya produktifitas penderita stroke yang sudah tidak bisa bekerja lagi. Sumbatan dan penyempitan pembuluh darah dalam otak sebagai penyebab stroke, dapat dicegah dengan pemberian paparan medan listrik frekuensi menengah dan intensitas rendah, yang telah dibuktikan dengan penelitian pada pembuluh darah ginjal tikus, dimana terdapat penurunan signifikan hemoragi, inflamasi dan penyumbatan di dalam pembuluh darah ginjal tikus dan tidak adanya kerusakan yang signifikan pada struktur jaringan ginjal tikus. Untuk mengetahui apakah medan listrik ini dapat digunakan untuk pencegahan dan terapi stroke, harus dilakukan studi awal terlebih dahulu yaitu membuat simulasi medan listrik alat kesehatan kesehatan untuk mencegah dan terapi stroke. Simulasi dilakukan dengan menggunakan program open source Netlogo versi 6.1.1. Sebelum dilakukan simulasi, ditentukan terlebih dahulu agen atau factor yang akan menentukan proses berjalannya simulasi, yaitu pembuatan desain elektroda, penentuan jenis gelombang listrik, dan penentuan besar frekuensi menengah, intensitas input, dan waktu paparan medan listrik. Setelah semua agen atau factor telah ditentukan, selanjutnya disusun rumus dalam program Netlogo, sehingga nantinya proses simulasi dapat berjalan sesuai dengan kondisi yang diinginkan. Selama proses simulasi, distribusi medan listrik dapat dilihat secara real time dan intensitas medan listrik dalam pembuluh darah dapat diukur dalam bentuk grafik. Setelah simulasi berhasil dilakukan, maka akan dibuat laporan penelitian yang dapat digunakan sebagai bahan untuk publikasi ilmiah dan dasar untuk penelitian selanjutnya di level *in vitro*. Saat ini, tim peneliti baru satu kali melakukan pertemuan secara online untuk membahas penelitian dan sudah dilakukan pembagian tugas dalam pelaksanaan penelitian. Rencananya setiap pekan insya Allah akan dilakukan pertemuan rutin untuk membahas penelitian. Selain menggunakan program Netlogo untuk simulasi, direncanakan untuk menggunakan software opensource lainnya. Hal ini dilakukan karena mahasiswa yang tadinya berperan sebagai programmer Netlogo, sudah lulus dari kampus

dan tidak ada dosen anggota tim peneliti yang menguasai program Netlogo ini. Hal inilah yang dikhawatirkan saat penyusunan proposal penelitian ini.

Kata Kunci: stroke, medan listrik, simulasi, Netlogo

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### **Latar Belakang**

Stroke adalah penyakit serebrovaskuler (pembuluh darah otak) yang ditandai dengan kematian jaringan otak (infark serebral) yang terjadi karena berkurangnya aliran darah dan oksigen ke otak. Berkurangnya aliran darah dan oksigen ini bisa dikarenakan adanya sumbatan, penyempitan atau pecahnya pembuluh darah [1]. Sesuai penyebabnya, stroke dibagi menjadi dua yaitu, stroke iskemik dan stroke pendarahan atau hemoragi (88% dan 12%) [2]. Saat ini, stroke menduduki urutan ketiga penyakit mematikan di dunia setelah penyakit jantung dan kanker serta menempati urutan pertama penyebab kematian di rumah sakit [3]. Sedangkan di Indonesia, menurut hasil Riset Kesehatan Dasar (Riskesmas) tahun 2018[4], prevalensi stroke naik dari 7% (Riskesmas 2013[5]) menjadi 10,9%. Stroke saat ini menjadi penyebab kematian tertinggi di Indonesia [4]. Usia yang paling banyak terserang stroke hemoragi adalah usia lebih dari 55 tahun yaitu sebanyak 56,4% [6].

Fokus terapi dari stroke adalah manajemen peningkatan tekanan arterial dan intrakranial sebagai akibat pendarahan yang menyebabkan darah berkumpul di otak dan pencegahan dari kekambuhan pendarahan yang terjadi [7] juga tentunya kontrol tekanan darah [8]. Pasien stroke diberikan anti hipertensi, yaitu amlodipine, untuk menurunkan tekanan darah pasien, sehingga membatasi edema vasogenic [6]. Biaya pengobatan stroke di USA sebesar \$183.13 miliar pada tahun 2010, meningkat dari biaya sebelumnya sebesar \$71.55 miliar, dan biaya akibat hilangnya produktivitas meningkat \$33.65 miliar menjadi \$56.54 miliar setiap tahunnya. Sedangkan biaya pengobatan stroke di Indonesia mencapai 76 juta rupiah. Tetapi, biaya ini jauh lebih kecil dari biaya hilangnya produktivitas penderita stroke yang sudah tidak bisa bekerja lagi [6].

Pada penelitian paparan medan listrik frekuensi menengah (100 kHz) dan intensitas rendah (18 Vpp) pada ginjal tikus (*Rattus norvegicus*), terdapat penurunan signifikan hemoragi, inflamasi dan penyumbatan di dalam pembuluh darah ginjal tikus dan tidak menyebabkan kerusakan yang signifikan pada struktur jaringan ginjal tikus. Artinya penggunaan medan listrik frekuensi menengah dan intensitas rendah ini aman bagi organ vital, seperti ginjal [9]. Penggunaan medan listrik frekuensi menengah dan intensitas rendah untuk pencegahan maupun terapi stroke, belum pernah dilakukan. Untuk mengetahui apakah medan listrik ini dapat digunakan untuk pencegahan

dan terapi stroke, harus dilakukan studi awal terlebih dahulu yaitu membuat simulasi medan listrik alat kesehatan kesehatan untuk mencegah dan terapi stroke. Oleh karena itu, masalah yang akan dipecahkan dalam penelitian adalah:

1. Apakah medan listrik frekuensi menengah dan intensitas rendah dapat menembus tulang tengkorak dan mencapai pembuluh darah di dalam otak?
2. Berapakah intensitas medan listrik yang dapat mencapai pembuluh darah di dalam otak?

### **Tujuan**

Dari permasalahan diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah ingin mengetahui distribusi medan listrik eksternal pada otak dan pembuluh darah di dalamnya, serta besarnya intensitas medan listrik yang mencapai pembuluh darah. Jika medan listrik eksternal dapat mencapai pembuluh darah di dalam otak dengan besar intensitas yang sama dengan intensitas medan listrik yang mencapai pembuluh di dalam ginjal, maka dimungkinkan medan listrik ini dapat menurunkan hemoragi, inflamasi dan penyumbatan dalam pembuluh darah dalam otak, sehingga dapat digunakan untuk mencegah dan terapi stroke.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **Penyakit stroke**

Stroke adalah penyakit serebrovaskuler (pembuluh darah otak) yang ditandai dengan kematian jaringan otak (infark serebral) yang terjadi karena berkurangnya aliran darah dan oksigen ke otak. Berkurangnya aliran darah dan oksigen ini bisa dikarenakan adanya sumbatan, penyempitan atau pecahnya pembuluh darah [1]. Sesuai penyebabnya, stroke dibagi menjadi dua yaitu, stroke iskemik dan stroke pendarahan atau hemoragi (88% dan 12%) [2]. Saat ini, stroke menduduki urutan ketiga penyakit mematikan di dunia setelah penyakit jantung dan kanker serta menempati urutan pertama penyebab kematian di rumah sakit [3]. Sedangkan di Indonesia, menurut hasil Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) tahun 2018[4], prevalensi stroke naik dari 7% (Riskesdas 2013[5]) menjadi 10,9%. Stroke saat ini menjadi penyebab kematian tertinggi di Indonesia [4]. Usia yang paling banyak terserang stroke hemoragi adalah usia lebih dari 55 tahun yaitu sebanyak 56,4% [6].

Fokus terapi dari stroke adalah manajemen peningkatan tekanan arterial dan intrakranial sebagai akibat pendarahan yang menyebabkan darah berkumpul di otak dan pencegahan dari kekambuhan pendarahan yang terjadi [7] juga tentunya kontrol tekanan darah [8]. Pasien stroke diberikan anti hipertensi, yaitu amlodipine, untuk menurunkan tekanan darah pasien, sehingga membatasi edema vasogenic [6]. Biaya pengobatan stroke di USA sebesar \$183.13 miliar pada tahun 2010, meningkat dari biaya sebelumnya sebesar \$71.55 miliar, dan biaya akibat hilangnya produktivitas meningkat \$33.65 miliar menjadi \$56.54 miliar setiap tahunnya. Sedangkan biaya pengobatan stroke di Indonesia mencapai 76 juta rupiah. Tetapi, biaya ini jauh lebih kecil dari biaya hilangnya produktivitas penderita stroke yang sudah lagi bisa bekerja [6].

#### **Medan listrik dan pengaruhnya pada jaringan tubuh**

Medan listrik arus bolak-balik mempunyai pengaruh yang luas pada jaringan tubuh. Pada frekuensi rendah (<1 kHz), medan listrik ini menstimulasi jaringan yang mudah tereksitasi, seperti jaringan saraf, otot, dan jantung. Tetapi, semakin meningkatnya frekuensi medan listrik di atas 1 kHz, efek stimulasi semakin berkurang. Medan listrik berfrekuensi menengah (10 kHz-1 MHz) bergerak terlalu cepat untuk dapat menstimulasi saraf dan otot, sehingga relatif tidak mempunyai

pengaruh biologis [10], selain penjajaran partikel mikroskopis [11] dan rotasi sel [12, 13]. Medan listrik homogen yang dikenakan pada sel, dapat menginduksi arus ion dan mengorientasikan molekul polar pada arah garis gaya medan listrik [14]. Sementara, pada medan listrik nonhomogen, medan listrik mendorong molekul polar bergerak ke arah intensitas medan listrik terbesar, suatu proses yang disebut dielektroforesis [15, 16].

Pada penelitian paparan medan listrik frekuensi menengah (100 kHz) dan intensitas rendah (18 Vpp) pada ginjal tikus (*Rattus norvegicus*), terdapat penurunan signifikan hemoragi, inflamasi dan penyumbatan di dalam pembuluh darah ginjal tikus dan tidak menyebabkan kerusakan yang signifikan pada struktur jaringan ginjal tikus. Artinya penggunaan medan listrik frekuensi menengah dan intensitas rendah ini aman bagi organ vital, seperti ginjal [9]. Wenger [17] telah melakukan penelitian simulasi medan listrik frekuensi menengah dan intensitas rendah pada otak manusia. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa distribusi medan listrik di dalam otak bersifat tidak seragam. Intensitas medan listrik yang terukur lebih besar dari 1 V/cm pada lebih 60% jaringan otak [17]. Anisotropi jaringan putih (*white matter*) dari otak telah mempengaruhi distribusi medan listrik di dalam otak dengan menggunakan teknik terapi elektrokonvulsif [18] dan *transcranial direct current stimulation* (tDCS) [19, 20, 21], oleh karenanya dapat juga mempengaruhi distribusi medan listrik eksternal dengan frekuensi menengah dan intensitas rendah yang dipaparkan pada otak [17].

## **Netlogo**

Netlogo adalah software yang dapat diprogram untuk mensimulasikan fenomena alam dan sosial. Software ini dibuat oleh Wilensky [22] dan terus dikembangkan hingga saat ini di *Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling*. Netlogo sangat baik untuk membuat model sebuah system yang kompleks yang terus berkembang dengan fungsi waktu. Para pengguna Netlogo dapat memberi instruksi sebanyak mungkin hingga ribuan agen atau faktor yang dapat beroperasi secara independent. Kemampuan ini membuat Netlogo dapat digunakan untuk mengeksplorasi hubungan antara perilaku agen atau factor di level mikro dan makro. Netlogo bersifat open source, sehingga software ini bebas digunakan oleh siapapun [22], dan memudahkan untuk melakukan simulasi distribusi medan listrik yang biasanya menggunakan software berbayar, seperti Comsol Multiphysics.



### ***State of the art***

Medan listrik frekuensi menengah (100 kHz) dan intensitas rendah (18 Vpp), telah digunakan untuk menghambat proliferasi sel kanker, secara *in vitro* [23, 24] dan *in vivo* [23, 25]. Paparan medan listrik ini juga aman terhadap terhadap organ vital, seperti ginjal [9] yang memiliki sifat dielektrik, sehingga memiliki permitivitas dan konduktivitas [26]. Pada penelitian paparan medan listrik frekuensi menengah dan intensitas rendah pada ginjal tikus (*Rattus norvegicus*), terdapat penurunan signifikan hemoragi, inflamasi dan penyumbatan di dalam pembuluh darah ginjal tikus dan tidak menyebabkan kerusakan yang signifikan pada struktur jaringan ginjal tikus [9]. Otak, seperti halnya ginjal, memiliki sifat dielektrik dan dapat dipengaruhi oleh medan listrik eksternal [18]. Hemoragi dan penyumbatan pada pembuluh darah otak dapat menyebabkan penyakit stroke, dan dengan paparan medan listrik eksternal, hemoragi dan penyumbatan pada pembuluh darah ini dapat dicegah atau dihilangkan untuk terapi stroke. Penggunaan medan listrik frekuensi menengah dan intensitas rendah untuk pencegahan maupun terapi stroke, belum pernah dilakukan. Untuk mengetahui apakah medan listrik ini dapat digunakan untuk pencegahan dan terapi stroke, harus dilakukan studi awal terlebih dahulu yaitu membuat simulasi medan listrik alat kesehatan kesehatan untuk mencegah dan terapi stroke. Penelitian simulasi medan listrik frekuensi menengah dan intensitas rendah pada otak adalah yang pertama kali dilakukan.

## **BAB 3**

### **METODE**

Simulasi komputer ini dilakukan untuk menganalisis distribusi medan listrik dan mengukur intensitas medan listrik yang dihasilkan dari posisi pasangan elektroda yang diletakkan menutupi kepala. Simulasi komputer distribusi medan listrik akan menggunakan program Netlogo versi 6.1.1 [22]. Metode yang akan dilakukan dengan program Netlogo belum bisa dijelaskan secara detail, karena kami masih mempelajari program ini.

Tahapan-tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian ini dijelaskan di bawah ini dan dirangkum dalam Gambar 1:

#### 1. Pembuatan desain elektroda

Pembuatan desain elektroda ini sangat penting, karena akan menentukan distribusi medan listrik dan arah garis gaya medan listrik

#### 2. Penentuan jenis gelombang listrik

Terdapat beberapa jenis gelombang listrik, diantaranya gelombang kotak, gelombang sinusoidal, dan gelombang triangular. Ke-tiga jenis gelombang listrik ini akan dicobakan dalam simulasi dan dipilih gelombang listrik yang memberikan distribusi dan intensitas medan listrik yang paling baik.

#### 3. Penentuan besar frekuensi menengah, intensitas input, dan waktu paparan medan listrik

Besarnya frekuensi menengah juga sangat penting untuk bisa menembus membrane sel tulang tengkorak, membrane sel otak dan membrane sel pembuluh darah. Besarnya intensitas input juga menentukan kekuatan medan listrik yang akan sampai ke pembuluh darah di dalam otak. Medan listrik eksternal yang dipaparkan dari luar kepala akan diserap oleh jaringan rambut/kulit, tengkorak, dan otak, yang kesemua jaringan tersebut mempunyai nilai permitivitas [27]. Waktu paparan medan listrik juga dapat mempengaruhi nilai intensitas di dalam pembuluh darah seiring berjalannya waktu.

#### 4. Pembuatan rumus dalam program Netlogo

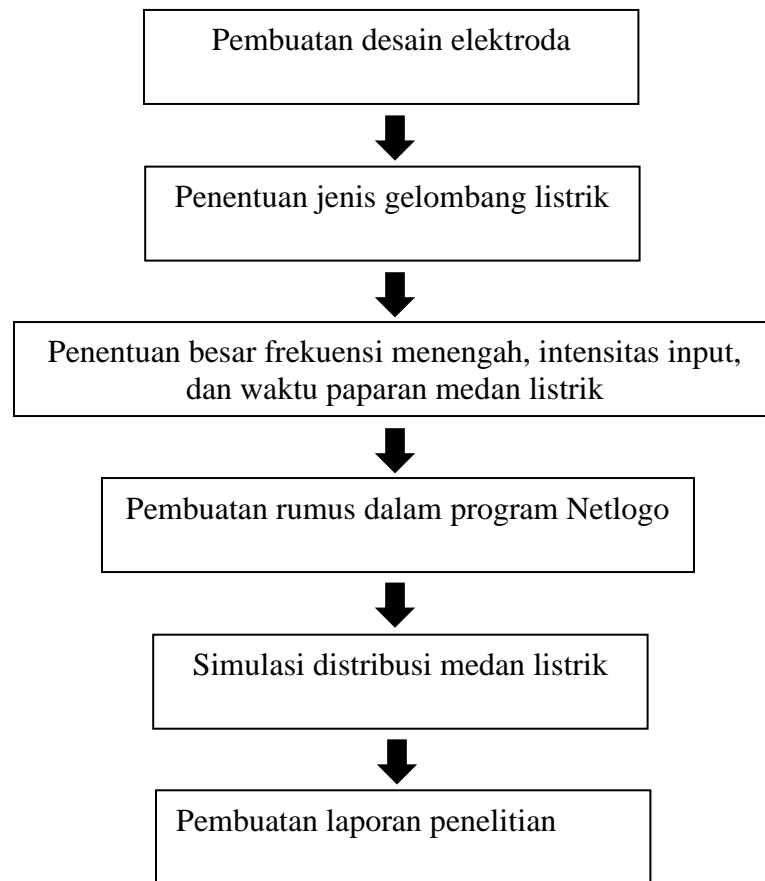
Pembuatan rumus ini dilakukan dengan menentukan berbagai agen atau factor yang terlibat dalam simulasi, seperti susunan desain elektroda, jenis gelombang listrik, besar frekuensi, intensitas input, waktu paparan medan listrik, permitivitas jaringan rambut/kulit, tengkorak, otak, dan pembuluh darah.

5. Simulasi distribusi medan listrik

Setelah rumus dalam program netlog dapat dibuat, maka simulasi distribusi medan listrik dapat langsung dilakukan dengan mengatur panel-panel dari berbagai agen atau factor tersebut. Distribusi medan listrik dapat dilihat secara real time dan intensitas medan listrik dalam pembuluh darah dapat diukur dalam bentuk grafik.

6. Pembuatan laporan penelitian

Setelah simulasi berhasil dilakukan, maka akan dibuat laporan penelitian yang dapat digunakan sebagai bahan untuk publikasi ilmiah dan dasar untuk penelitian selanjutnya di level *in vitro*.



Gambar 1. Tahapan penelitian simulasi medan listrik dengan menggunakan software Netlogo versi 6.1.1.

## **BAB 4**

### **HASIL SEMENTARA**

Saat ini, tim peneliti baru satu kali melakukan pertemuan secara online untuk membahas penelitian dan sudah dilakukan pembagian tugas dalam pelaksanaan penelitian. Rencananya setiap pekan insya Allah akan dilakukan pertemuan rutin untuk membahas penelitian. Selain menggunakan program Netlogo untuk simulasi, direncanakan untuk menggunakan software opensource lainnya. Hal ini dilakukan karena mahasiswa yang tadinya berperan sebagai programmer Netlogo, sudah lulus dari kampus dan tidak ada dosen anggota tim peneliti yang menguasai program Netlogo ini. Hal inilah yang dikhawatirkan saat penyusunan proposal penelitian ini.

Pertemuan baru dilaksanakan satu kali, karena dua orang anggota tim peneliti sakit dan membutuhkan waktu untuk istirahat. Untuk selanjutnya, satu anggota peneliti akan mempelajari program Netlogo, sedangkan dua orang anggota peneliti lainnya akan mempelajari program opensource yang bisa dilakukan untuk simulasi, seperti OpenFoam.

## Ringkasan Laporan Kemajuan

**Nama Peneliti:** Firman Alamsyah, Syarif Hidayat dan Syafitri Jumianto

**Judul** : Simulasi komputer distribusi medan listrik untuk pengembangan alat kesehatan pencegah dan terapi stroke dengan software Netlogo

Tabel 1. Ringkasan Laporan Kemajuan

No	Kegiatan	Waktu		Hasil	Kendala, Rencana Perubahan (Jika Ada)	Keterangan
		Rencana	Pelaksanaan			
1	Pembuatan desain elektroda	April	Juni-Juli	0%	Peneliti sakit, mahasiswa programmer lulus kuliah, mempelajari sendiri software	Desain elektroda akan menggunakan program Coreldraw
2	Penentuan jenis gelombang listrik	Mei	Juli	5%	Peneliti sakit, mahasiswa programmer lulus kuliah, mempelajari sendiri software	Gelombang listrik yang akan digunakan adalah sinusoidal, kotak dan segitiga
3	Penentuan besar frekuensi menengah, intensitas input, dan waktu paparan medan listrik	Juni	Juli	0%	Sudah dilakukan pertemuan perdana tim peneliti dan akan dilakukan pertemuan rutin setiap 1x seminggu	Pertemuan rutin dilakukan secara daring
4	Pembuatan rumus dalam program Netlogo dan OpenFoam	Juli-Agustus	Agustus			
5	Simulasi distribusi medan listrik	September-Oktober	September-Oktober			
6	Pembuatan laporan penelitian	November	November			

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pajri, R.N., Safri, Dewi, Y.I., 2019, Gambaran Faktor-Faktor Penyebab Terjadinya Stroke, Universitas Riau, 436-444.
- [2] Dipiro, J.T., Talbert, R.L., Yee, G.C., Matzke, G.R., Well, B.G., Posey, L.M., 2008, Pharmacotherapy: A Pathophysiologic Approach, Seventh Edition, The Mc Graw Hill Companies, Inc, New York.
- [3] Reslina, I., Almasdy, D., dan Armenia, Hubungan Pengobatan Stroke dengan Jenis Stroke dan Jumlah Jenis Obat, Universitas Andalas, 69-77.
- [4] Riset Kesehatan Dasar, 2018, Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, Jakarta.
- [5] Riset Kesehatan Dasar, 2013, Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, Jakarta.
- [6] Feladita, N. and Satibi, M, 2014, Analisis Biaya Terapi Stroke Hemoragi pada Pasien Rawat Inap, Jurnal Manajemen dan Pelayanan Farmasi, 69-76.
- [7] Porth, C.M., 2011, Essential of Pathophysiology, Wolter Kluwer Health, Philadelphia, United States Of America.
- [8] Liebeskind, D.S., 2013, Hemorrhagic Stroke Treatment dan Management, [online], <http://www.emedicine.medscape.com/article/1916662-treatment>.
- [9] Alamsyah, *et al.*, 2020, The safety of non-contact electric fields exposure on renal structure and function in tumor-induced rats *in vivo*, *J. Eng. Technol. Sci.* (under review).
- [10] Kirson, E. D., Gurvich, Z. Schneiderman, R. D., Itzhaki, A., Wasserman, Y., Schatzberger, R., and Palti, Y., 2004, Disruption of cancer cell replication by alternating electric fields, *Cancer Res.*, 64, 3288-3295.
- [11] Takashima, S., and Schwan, H. P., 1985, Alignment of microscopic particles in electric fields and its biological implications, *Biophys. J.*, 47, 513-521
- [12] Dalton, C. Goater, A. D. Burt, J. P. H., and Smith, H. V., 2004, Analysis of parasites by electrorotation, *J. Appl Microbiol.*, 96, 24-32.

- [13] Mahaworasilpa, T. L., Coster, H. G. L., George, E. P., 1996, Forces on biological cells due to applied alternating (AC) electric fields. II. Electro-rotation, *Biochim. Biophys. Acta*, 1281, 5-14.
- [14] Kirson, E.D., Dbaly, V., Tovarys, F., Vymazal, J., Soustiel, J.F., Itzhaki, A., Mordechovich, D., Shapira, S.S., Gurvich, Z., Schneiderman, R., Wasserman, Y., Salzberg, M., Ryffel, B., Goldsher, D., Dekel, E. & Palti, Y., *Alternating Electric Fields Arrest Cell Proliferation in Animal Tumor Models and Human Brain Tumors*, *PNAS*, 104(24), pp. 10152-10157, 2007.
- [15] Ma, W., Shi, T., Tang, Z., Liu, S., Malik, R., and Zhang, L., 2011, Highthroughput dielectrophoretic manipulation of bioparticles within fluids through biocompatible threedimensional microelectrode array, *Electrophoresis*, 32, 494-505.
- [16] Tsutsui, H., and Ho, C. M., 2009, Cell separation by non-inertial force fields in microfluidic systems, *Mech. Res. Commun.*, 36(1), 92-103.
- [17] Wenger, C., Salvador, R., Basser, P.J. and Miranda, P.C., 2015, The electric field distribution in the brain during TTFIELDS therapy and its dependence on tissue dielectric properties and anatomy: a computational study, *Phys. Med. Biol.* 60 (2015) 7339–7357.
- [18] Lee W. H., Deng Z. D., Laine A. F., Lisanby S. H., and Peterchev A. V., 2011, Influence of white matter conductivity anisotropy on electric field strength induced by electroconvulsive therapy, *Annual Int. Conf. of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC*, pp 5473–6.
- [19] Suh H. S., Lee W. H., and Kim T., 2012, Influence of anisotropic conductivity in the skull and white matter on transcranial direct current stimulation via an anatomically realistic finite element head model, *Phys. Med. Biol.*, 57, 6961.
- [20] Shahid S., Wen P., and Ahfock T., 2013, Numerical investigation of white matter anisotropic conductivity in defining current distribution under tDCS. *Comput. Methods Programs Biomed.*, 109, 48–64.
- [21] Shahid S., Wen P., and Ahfock T., 2014, Assessment of electric field distribution in anisotropic cortical and subcortical regions under the influence of tDCS, *Bioelectromagnetics*, 57, 41–57.

- [22] Wilensky U., 1999, NetLogo, <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>, Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.
- [23] Alamsyah F., Ajrina I. N., Dewi F. N. A., Iskandriati D., Prabandari S. A., and Taruna W. P., 2015, Anti-proliferative effect of electric fields on breast tumor cells *in vitro* and *in vivo*. Indonesian J. Cancer Chemoprevention, 6(3), 71-77.
- [24] Mujib, Alamsyah F., and Taruna W. P., 2017, Cell death and induced p53 expression in oral cancer, HeLa and bone marrow mesenchyme cells under the exposure of non-contact electric fields, J Integrative Medicine International, 4, 161-170.
- [25] Caeseria, *et al.*, 2020, Effect of non-contact static electric field treatment on the growth of mice with induced liver tumors, Cancer Biology and Therapy (under review).
- [26] Abo-Neima S. E., Motaweh H. A., Tourk H. M., and Ragab M. F., Effects of extremely low frequency electromagnetic fields on kidney functions of albino rats *in vivo* study, Am. J. Biomed. Sci., 8(4), pp. 247-258, 2016.
- [27] Pethig R., 1984, Dielectric properties of biological materials: Biophysical and medical applications, IEEE Transactions on Electrical Insulation, EI-19(5), pp. 453-474.