



**PERBANDINGAN GAMBARAN HISTOLOGIS LAPISAN PIRAMIDALIS AREA CA1 HIPOKAMPUS MUS MUSCULUS YANG DIPAPAR RADIASI GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK TELEPON SELULER 3G DAN 4G**

**Muhammad Daffa Andry Lala\*, Dewi Rana Sari**

Fakultas Kedokteran, Universitas Airlangga, Jl. Mayjen Prof. Dr. Moestopo No.47, Pacar Kembang, Tambaksari, Surabaya, Jawa Timur 60132, Indonesia

\*[muhammad.daffa.andr-2020@fk.unair.ac.id](mailto:muhammad.daffa.andr-2020@fk.unair.ac.id)

**ABSTRAK**

Penggunaan telepon seluler telah menjadi kebiasaan dan kebutuhan masyarakat modern saat ini. Penggunaan telepon seluler khususnya dalam menelpon sering kali diletakkan pada kepala kanan. Penggunaan ini dapat memberikan dampak kepada hipokampus, salah satunya pada daerah CA1 yang berfungsi untuk membentuk proses ingatan jangka panjang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dampak paparan gelombang elektromagnetik telepon seluler 3G dan 4G pada lapisan piramidalis CA1 hipokampus model hewan coba mencit. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental, menggunakan mencit galur Mus musculus jantan, dengan jumlah total sampel sebanyak 32 mencit. Mencit dibagi menjadi 4 kelompok: kelompok kontrol, kelompok Sham, kelompok perlakuan I (P1), dan kelompok perlakuan II (P2). Perlakuan yang diberikan yaitu berupa paparan 3G dan 4G yang dilakukan 1 jam setiap hari selama 30 hari. Variabel yang diteliti adalah ketebalan lapisan dan jumlah neuron pada lapisan piramidal area CA1 hipokampus mencit. Kemudian otak diambil dan dibuat sediaan histologi menggunakan pewarnaan haematoxylin-eosin dan diamati menggunakan mikroskop cahaya pembesaran 400x serta menggunakan software Cell Sens. Analisis data dilakukan dengan uji Anova satu arah dan uji beda nyata terkecil. Hasil penelitian didapatkan bertambahnya ketebalan lapisan piramidal serta berkurangnya rerata jumlah neuron piramidal area CA1 hipokampus pada kelompok yang diberikan paparan. Setelah dilakukan analisis statistik, tidak terdapat perbedaan bermakna antar kelompok pada ketebalan lapisan piramidalis area CA1 hipokampus serta terdapat perbedaan yang signifikan rerata jumlah neuron piramidal kelompok yang diberikan paparan dan tidak.

Kata kunci: ca1; gelombang elektromagnetik; hipokampus; lapisan piramidal; telepon seluler

***HISTOLOGICAL COMPARISON OF THE HIPOCAMPUS CA1 AREA PYRAMIDAL LAYER OF MUS MUSCULUS EXPOSED TO 3G AND 4G ELECTROMAGNETIC WAVES RADIATION***

***ABSTRACT***

*The use of cell phones has become a habit and a need for modern society today. The use of cell phones, especially in making calls, is often placed on the right head. This use can have an impact on the hippocampus, one of which is the CA1 area which function is to form long-term memory processes. The purpose of this study was to determine the impact of exposure to 3G and 4G electromagnetic waves on the pyramidal layer of CA1 hippocampus in animal models of mice. This research was conducted experimentally, using male mice Mus musculus, with a total sample size of 32 mice. Mice were divided into 4 groups: control group, Sham group, treatment group I (P1), and treatment group II (P2). The treatment given was in the form of 3G and 4G exposure which was carried out 1 hour every day for 30 days. The variables studied were layer thickness and the number of neurons in the area of CA1 pyramidal layer of the mice hippocampus. Then the brain was taken and made histological preparations using hematoxylin-eosin staining and observed using a 400x magnification light microscope. Data analysis was performed with one-way anova and least significant different test. The results showed an increase in the thickness of the pyramidal layer and*

*a decrease in the mean number of pyramidal neurons in the hippocampus CA1 area in the group given exposure. After statistical analysis, there was no significant difference between groups in the thickness of the pyramidal layer of the hippocampal CA1 area and there was a significant difference in the mean number of pyramidal neurons between the group that was given exposure and not.*

*Keywords: cai; electromagnetic wave; hippocampus; mobile phone; pyramidal layer*

## **PENDAHULUAN**

Perkembangan teknologi terjadi sangat cepat dalam kurun waktu 10 tahun kebelakang. Data statistik menunjukkan bahwa pengguna telepon seluler pada 2019 diperkirakan sebanyak 6,8 milyar dan akan terus bertambah hingga mencapai 6,95 milyar pada tahun 2020 (Statista, 2019). Kemajuan teknologi, di satu sisi sangat membantu dalam hal informasi, namun di sisi yang lain selalu ada dampak negatif. Tidak jarang penggunaan telepon seluler dapat mengakibatkan terjadinya ketergantungan. Penelitian yang dilakukan oleh Parasuraman et al., 2017 menunjukkan bahwa banyak dari peserta penelitian mereka yang sangat bergantung pada telepon seluler. Banyak peserta studi (58,2%) merasa tidak nyaman tanpa ponsel dan tidak mampu menahan bila tidak memiliki smartphone, merasa tidak nyaman dengan kehabisan baterai (73,8%), merasa cemas jika tidak menjelajahi aplikasi telepon seluler favorit mereka (41,1%), dan 50,4% dari peserta studi menyatakan bahwa mereka tidak akan pernah berhenti menggunakan telepon seluler meskipun gaya hidup sehari-hari mereka terpengaruh olehnya (Parasuraman et al., 2017).

Jaringan komunikasi nirkabel seluler menurut perkembangannya dibagi menjadi beberapa generasi dari 1G sampai 4G. Jaringan komunikasi nirkabel seluler generasi pertama (1G) adalah analog dan hanya digunakan untuk melakukan panggilan suara. Generasi kedua (2G) adalah teknologi digital dan memfasilitasi pengiriman pesan teks. Generasi berikutnya adalah 3G yang memberikan dukungan multimedia bersama dengan kecepatan transmisi data yang lebih tinggi dan peningkatan kapasitas. Generasi keempat (4G) mengintegrasikan 3G dengan internet tetap untuk mendukung internet seluler nirkabel (Gawas, 2015). Teknologi telpon genggam generasi ketiga adalah teknologi yang berdasarkan dari jaringan nirkabel pita lebar yang memenuhi spesifikasi International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000) oleh International Telecommunication Union. Jaringan 3G berada dalam kisaran frekuensi 2100 Hz dan bandwidth 15-20 MHz (Shukla et al., 2014).

Saat ini teknologi 4G adalah yang paling banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Teknologi 4G adalah standar teknologi jaringan komunikasi pada tahun 2010, dan merupakan perkembangan dari GSM/EDGE dan UMTS/HSDPA (Shabrina & Broto, 2017). Sistem komunikasi 4G pertama kali diperkenalkan di Finlandia pada 2010. Kecepatan internet dalam 4G dapat mencapai 100 Mbps sehingga aplikasi yang membutuhkan kecepatan sangat tinggi seperti game online, streaming video definisi tinggi dan TV interaktif dapat dinikmati (Patel et al., 2018). Telepon seluler telah lama diketahui memancarkan radiasi gelombang elektromagnetik (Omar et al., 2018). Secara definisi radiasi merupakan cara perambatan energi ke lingkungannya tanpa membutuhkan medium atau bahan pengantar tertentu (Ancila & Hidayanto, 2016) dan gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang dihasilkan dari partikel bermuatan listrik yang bergerak dan terbentuk dari rotasi elektron di dalam atom dan intinya (Kaplan et al., 2015).

Menurut penelitian-penelitian yang dilakukan pada hewan coba, paparan radiasi gelombang elektromagnetik 4G menyebabkan beberapa efek yang buruk terhadap spermatogenesis (Oh et al., 2018), dan kerusakan pada penyusunan lapisan sel Purkinje dari cerebellum melalui mekanisme kerusakan DNA (Ali et al., 2017). Karena telepon seluler dipegang dekat dengan

kepala selama berbicara dan sering disimpan di sebelah organ reproduksi, studi sebagian besar difokuskan pada otak (Kaplan, 2015). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Inkoom et al., 2015 otak merupakan bagian dari organ yang radiosensitif (Inkoom et al., 2015). Salah satu bagian otak yang sangat penting adalah hipokampus. Hipokampus adalah pemanjangan, bagian medial dari lobus temporalis yang merupakan bagian dari sistem limbik dan penting khususnya pada pembentukan memori jangka panjang (Sherwood, 2010).

Beberapa literatur membagi daerah hipokampus menjadi Cornu Ammonis, gyrus dentatum, subiculum, dan area entorhinal. Bagian-bagian tersebut dikenal dengan formasi hippocampal. Sedangkan menurut histologisnya, Cornu Ammonis dibagi menjadi CA1, CA2, CA3, dan CA4. CA1 merupakan struktur yang penting karena berperan pada salah satu jalur utama dalam proses pembelajaran dan ingatan melalui jalur langsung intra-hippokampal. Jalur ini bersangkutan dengan memori episodik dan spasial (Dhikav & Anand, 2012). Cornu Ammonis memiliki 3 lapisan, yaitu lapisan molekuler, lapisan piramidal, dan lapisan polimorfik. Lapisan piramidal adalah lapisan sel utama, terdiri dari sel piramidal yang tersusun sebanyak 3-4 baris, sedangkan lapisan molekuler dan polimorfik terdiri dari sedikit astrosit dan sel mikroglia. (Hussein, 2015; Kafoury, 2019). Penelitian terbaru melaporkan bahwa paparan radiasi 1800-2100 MHz menyebabkan kerusakan dan penurunan jumlah neuron di wilayah hippocampal CA3, yang memengaruhi pembelajaran dan memori (Kishore et al., 2019). Namun penelitian mengenai dampak 4G pada area lain di hipokampus, terutama CA1 masih terbatas, hal ini penting karena kerusakan pada neuron di CA1 dapat menyebabkan kerusakan besar pada memori jangka pendek (Barret & Ganong, 2012). Oleh karena itu diperlukan studi mengenai dampak paparan gelombang elektromagnetik 4G LTE dibandingkan dengan 3G terhadap ketebalan dan jumlah neuron lapisan piramidal CA1 hipokampus.

## **METODE**

Penelitian ini adalah penelitian eksperimental murni (true experimental) laboratorik dengan desain penelitian posttest-only control group design. Data dikumpulkan dengan mengukur keluaran setelah perlakuan intervensi (Frey, 2018). Sampel dibagi menjadi 4 kelompok yaitu kontrol (K), sham (S), perlakuan 1 (P1), dan perlakuan 2 (P2). Populasi yang diteliti dalam penelitian ini adalah mencit (*mus musculus*), dan sampel pada penelitian ini adalah mencit (*mus musculus*) jantan. Sampel yang digunakan harus memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi berikut:

### **Kriteria Inklusi**

1. Berkelamin jantan
2. Berumur 2-3 bulan.
3. Berat  $\pm 30$  gram.
4. Sehat (bulu berkilau, tidak rontok atau botak, mata jernih, gerakan lincah, tidak keluar eksudat abnormal dari mulut, anus, dan genital).
5. Tidak ada kelainan anatomi.

### **Kriteria Eksklusi**

1. Terdapat penurunan berat badan lebih dari 10% setelah masa adaptasi di laboratorium.
2. Mati saat percobaan.

Pengambilan sampel dilakukan dengan rumus Federer (Budijanto, 2013):

$$(t-1).(r-1) \geq 15$$

dimana

t = jumlah kelompok

r = jumlah pengulangan per kelompok

Karena jumlah kelompok pada percobaan adalah 4,  $t = 4$

$$(4-1).(r-1) \geq 15$$

$$3.(r-1) \geq 15$$

$$r-1 \geq 15/3$$

$$r-1 \geq 5$$

$$r \geq 6$$

Berdasarkan perhitungan di atas, diperoleh besar sampel minimal tiap kelompok pada penelitian ini sebesar 6 ekor mencit. Untuk mengantisipasi hilangnya unit eksperimen, dilakukan koreksi dengan rumus  $1/(1-f)$ , di mana  $f$  adalah proporsi unit eksperimen yang hilang atau mengundurkan diri atau drop out (Budijanto, 2013). Bila diasumsikan kemungkinan mati 10%, maka besar sampel per kelompok ( $n$ ) setelah koreksi menjadi:

$$n = 6 \times 1/(1-f)$$

$$n = 6 \times 1/(1-10\%)$$

$$n = 6 \times 10/9$$

$$n = 7$$

Pada penelitian ini terdapat 3 kelompok percobaan, sehingga total sampel minimal adalah  $4 \times 7 = 28$  ekor mencit. Namun untuk pencegahan kami menggunakan 40 mencit.

Selanjutnya, dilakukan pengacakan (randomization) sebagai metode penempatan tikus pada masing-masing kelompok percobaan. Teknik pengacakan sebagai berikut:

1. Mencit pertama diambil secara acak dan dimasukkan ke kandang 1.
2. Mencit kedua diambil secara acak dan dimasukkan ke kandang 2.
3. Mencit ketiga diambil secara acak dan dimasukkan ke kandang 3.
4. Mencit keempat diambil secara acak dan dimasukkan ke kandang 4.
5. Tahap nomor 1 diulangi seterusnya hingga mencit ke-40.

Variabel Bebas dalam Penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Paparan gelombang telepon seluler 3G dengan frekuensi 2100 MHz
2. Paparan gelombang telepon seluler 4G dengan frekuensi 1800 MHz

Variabel Terikat dalam Penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Rerata ketebalan lapisan piramidalis area CA1 hipokampus
2. Rerata jumlah neuron pada lapisan piramidalis area CA1 hipokampus

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

Hewan coba

Hewan coba yang digunakan adalah mencit (*Mus musculus*) jantan. Mencit diletakkan dengan kandang berisi 10 mencit. Makanan mencit berupa pelet diberikan secara *ad libitum*, minuman mencit berupa air kemasan diberikan secara *ad libitum*.

1. Telepon seluler dengan teknologi komunikasi 3G Telepon seluler yang digunakan pada penelitian ini adalah Samsung Galaxy A2 Core dengan menggunakan kartu Telkomsel Simpati dengan frekuensi 2100 MHz.

2. Telepon seluler dengan teknologi komunikasi 4G Telepon seluler yang digunakan pada penelitian ini adalah Samsung Galaxy A2 Core dengan menggunakan kartu Telkomsel Simpati dengan frekuensi 1800 MHz.

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Alat pemeliharaan mencit: Bak plastik, kandang, botol air, sekam.
2. Alat pembuatan ransum makanan: timbangan, neraca analitik, pengaduk, penggiling makanan, baskom, nampan
3. Alat untuk pengambilan sediaan histologis
4. Mikroskop cahaya
5. Wadah paparan gelombang elektromagnetik telepon seluler, dengan diameter atas 26 cm, diameter bawah 20 cm, tinggi 6,5 cm, dan ketebalan penutup 0,3 cm.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Farmakologi Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga pada bulan Juli 2019 sampai dengan bulan Mei 2020.

Berikut adalah proses pengumpulan data pada penelitian ini:

1. Sampel penelitian ini, 40 ekor mencit diberikan waktu adaptasi selama 7 hari. Jika ada yang sakit atau mati akan dikeluarkan dari kandang.
2. Kelompok K (kontrol) tidak diberikan perlakuan.
3. Kelompok S (sham) dimasukkan kedalam wadah seperti gambar 4.3 tanpa diberikan radiasi selama 1 jam/hari selama 30 hari. Sham adalah cara untuk menentukan keefektifitasan suatu perlakuan. Kelompok ini disertakan pada penelitian untuk mengetahui apakah perlakuan memasukkan mencit pada wadah paparan memengaruhi hasil penelitian sehingga bias dari penelitian ini dapat diminimalisasi.
4. Kelompok P1 diberikan paparan radiasi elektromagnetik 3G mulai hari ke 1 dengan durasi 1 jam/hari selama 30 hari (Sahin et al., 2015) dengan cara seperti gambar 4.2.
5. Kelompok P2 diberikan paparan radiasi elektromagnetik 4G mulai hari ke 1 dengan durasi 1 jam/hari selama 30 hari (Sahin et al., 2015) dengan cara seperti gambar 4.2.



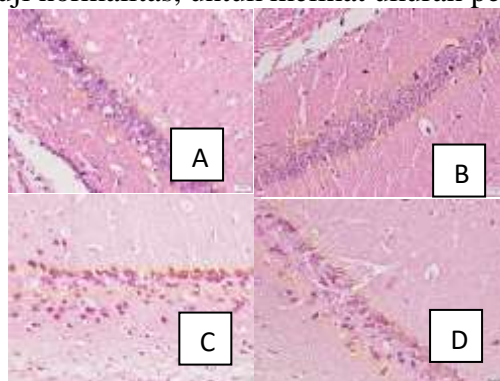
Gambar 5. Model wadah dan cara pemberian radiasi elektromagnetik pada mencit

6. 24 jam setelah perlakuan terakhir seluruh mencit dikorbankan melalui kraniotomi dengan anestesi menggunakan eter. Kemudian diambil otaknya untuk dibuat preparat histologis.
7. Pengambilan otak dilakukan dengan cara memotong otak secara koronal sejauh 4mm dari lobus oksipital.
8. Dilakukan fiksasi dalam buffer formaldehida 10%.
9. Dilakukan dehidrasi dengan larutan ethanol.
10. Dilakukan clearing dengan larutan organik.
11. Dilakukan pemasukan ke dalam parafin.
12. Dilakukan pemotongan setebal 4  $\mu$ m yang diperoleh dengan microtome (Mescher et al., 2016).

13. Dilakukan mounting pada gelas objek.
14. Dilakukan deparafinisasi pada preparat di gelas objek.
15. Dilakukan pewarnaan dengan teknik haematoxylin and eosin.
16. Dilakukan pemeriksaan dengan mikroskop cahaya pembesaran 400 kali.

Berikutnya, data yang diperoleh dicatat dalam tabel data penelitian. Kemudian dilakukan coding, editing, entry, dan cleaning data dan disajikan dalam bentuk tabel untuk dilakukan analisis data. Setelah data didapatkan, maka dilakukan analisis data menggunakan program Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) Statistics 17.0 dengan langkah sebagai berikut: ang meliputi analisis sebagai berikut:

1. Uji deskriptif dan uji normalitas, untuk melihat ukuran pemusatan dan distribusi data.



2. Uji normalitas yang digunakan adalah Shapiro-Wilk karena jumlah data kurang dari 50.
3. Uji homogenitas, untuk mengetahui apakah data memiliki keseragaman varians atau tidak.
4. Uji Anova satu arah, untuk mengetahui apakah ada perbedaan data penelitian antar kelompok.
5. Uji beda nyata terkecil (Least Significant Different/ LSD) dilakukan apabila terdapat perbedaan bermakna pada Anova untuk melihat perbedaan antar kelompok.
6. Apabila tidak memenuhi uji normalitas dan homogenitas data maka digunakan uji Kruskal-Wallis.

Penelitian ini sudah diajukan kelaikan etiknya dan disetujui dengan sertifikat No.57/EC/KEPK/FKUA/2020.

## HASIL

Penelitian ini menggunakan sampel berupa mencit sebanyak 40 ekor, dengan jumlah sampel tiap kelompoknya sebesar 10 mencit. Selama penelitian terdapat sejumlah 3 ekor mencit yang mati dan 5 jaringan otak yang rusak selama proses pembuatan sediaan sehingga diperoleh 32 ekor mencit diakhir penelitian. Data mengenai hasil rerata tebal lapisan dan jumlah neuron normal ditampilkan pada tabel 1 (lihat lampiran 1).Lapisan piramidalis paling tebal didapatkan pada kelompok P1 dan paling tipis pada kelompok S. Jumlah neuron paling banyak ditemukan pada kelompok S dan paling sedikit pada kelompok P1.

Gambar 6. Perbedaan gambaran histologis tiap kelompok.

Pada penelitian ini didapatkan bahwa terdapat perbedaan morfologi diantara kelompok yang tidak dan diberikan paparan. Pada kelompok yang tidak diberikan paparan tampak sel piramidal kecil yang tersusun dalam tiga atau empat baris dengan nukleus vesikular yang besar, nukleolus prominen, dan sedikit sitoplasma berbentuk segitiga. Sedangkan pada kelompok yang diberikan paparan diamati bahwa sel piramida tampak tidak teratur, mengalami degenerasi, dan kehilangan susunan normalnya. Banyak sel tampak menyusut dengan nukleus gelap yang dikelilingi oleh ruang perinuklear besar. Beberapa sel memiliki bentuk ghost-like shaped atau tampak terfragmentasi, dengan hilangnya karakteristik seluler.

### **Analisis Hasil Penelitian**

Hasil uji normalitas menunjukkan bahwa data variabel ketebalan lapisan piramidalis area CA1 hipokampus tidak berdistribusi normal ( $p < 0,05$ ) dan homogen ( $p > 0,05$ ), sedangkan data variabel jumlah neuron pada lapisan piramidalis pada area CA1 hipokampus memiliki distribusi yang normal ( $p > 0,05$ ) dan homogen ( $p > 0,05$ ). Hasil analisis menggunakan uji Kruskal-Wallis untuk variabel ketebalan lapisan piramidalis pada area CA1 hipokampus menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan di antara kelompok ( $p > 0,05$ ). Sedangkan hasil analisis uji statistik Anova satu arah untuk variabel jumlah neuron pada lapisan piramidalis area CA1 hipokampus menunjukkan terdapat perbedaan yang bermakna antar kelompok ( $p < 0,005$ ). Hasil uji post hoc menggunakan LSD menunjukkan perbedaan bermakna didapatkan antara kelompok S dengan P1 dan P2. Data mengenai hasil analisis statistik Kruskal-Wallis dan Anova satu arah pada rerata ketebalan lapisan dan jumlah neuron normal ditampilkan pada tabel 2 (lihat lampiran 1). Hasil analisis LSD menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara kelompok Sham dengan P1, dan Sham dengan P2 ( $p < 0,05$ ). Data mengenai analisis Least Significant Difference (LSD) pada variabel jumlah neuron ditampilkan pada tabel 3. (lihat lampiran 1).

### **PEMBAHASAN**

Radiasi terbagi menjadi dua, radiasi pengion dan radiasi non-pengion. Radiasi pengion adalah bentuk energi yang melepaskan elektron dari atom dan molekul suatu benda, sedangkan radiasi non-pengion adalah bentuk radiasi dengan energi yang lebih rendah daripada radiasi pengion. Tidak seperti radiasi pengion, radiasi non-pengion tidak menghilangkan elektron dari atom atau molekul benda. Paparan radiasi gelombang elektromagnetik dari telepon seluler merupakan bagian dari radiasi non-pengion (CDC, 2015). Dari penelitian ini didapatkan perubahan morfologi pada kelompok yang diberikan paparan gelombang elektromagnetik telepon seluler. Selain morfologi, didapatkan hasil bahwa paparan radiasi gelombang elektromagnetik dari telepon seluler mengakibatkan berkurangnya jumlah neuron pada lapisan piramidalis area CA1 hipokampus secara signifikan bila dibandingkan dengan kelompok yang tidak terpapar (Sig.  $< 0,05$ ). Penemuan ini sejalan dengan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, bahwa paparan radiasi telepon genggam memiliki pengaruh yang signifikan terhadap jumlah neuron piramidalis (Hussein et al., 2015; Bas et al., 2009; dan Bolla, 2015).

Banyak teori yang menjelaskan mekanisme terjadinya kerusakan sel akibat paparan radiasi dari telepon seluler. Penelitian Salford et al., 2003 menunjukkan bahwa paparan radiasi dari telepon seluler dapat mengakibatkan kerusakan neuron karena leakage albumin melalui blood brain barrier (Salford et al., 2003). Hal ini dapat disebabkan karena blood brain barrier menjadi kurang selektif dan meningkat permeabilitasnya setelah dilakukan paparan sehingga albumin yang mencapai dosis toksik atau zat toksik lain yang mengikat albumin masuk dan merusak sel neuron (Eberhardt et al., 2008). Blood brain barrier memiliki peran penting pada otak untuk menjaga lingkungan ekstraseluler tetap stabil dan menjaga jaringan saraf dari kerusakan (Stam, 2010) sehingga perubahannya dapat menimbulkan kerusakan pada neuron piramidalis hipokampus. Pada penelitian lain, Huber et al., 2002, menunjukkan bahwa paparan radiasi telepon seluler mengakibatkan perubahan aktivitas elektrofisiologi pada otak manusia. Ilhan et al., juga menemukan dalam penelitiannya bahwa paparan radiasi telepon seluler mengakibatkan terjadinya stress oksidatif yang ditandai dengan meningkatnya aktivitas malondialdehyde (MDA), nitric oxide (NO), xanthine oxide (XO), dan adenosine deaminase (ADA) pada otak tikus yang dilakukan percobaan (Ilhan et al., 2004).

Mengenai perbedaan hasil paparan 3G yang lebih berat dari 4G pada total jumlah neuron sesuai dengan penemuan Anderson et al., 1996 pada Mugunthan et al., 2016, bahwa pada dosis radiasi yang lebih rendah kromatin pada nukleus nampak bergerombol, membesar dan edema sedangkan pada dosis yang lebih tinggi nukleus nampak piknotis dan karyorrhexis. Hal ini disebabkan karena jaringan 3G memiliki frekuensi bandwidth yang lebih tinggi dibandingkan dengan 4G (Shukla et al., 2014; dan Patel et al., 2019), meskipun hasil analisis yang dilakukan pada data penelitian menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan di antara kedua kelompok perlakuan. Variabel ketebalan lapisan piramidalis area CA1 menunjukkan peningkatan ketebalan lapisan meskipun tidak berbeda bermakna antar kelompok. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang melaporkan bahwa peningkatan ketebalan dapat disebabkan karena terdapatnya edema interstitial setelah paparan telepon seluler, mengakibatkan terjadinya kerusakan endotel, vasodilatasi dan peningkatan permeabilitas vaskuler pada lapisan piramidal area CA1 hipokampus mencit (Mugunthan et al., 2016).

Penemuan yang ditemukan pada penelitian ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, bahwa paparan elektromagnetik dari telepon seluler tunggal tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap ketebalan lapisan piramidalis area CA1 hipokampus hewan coba (Kafoury et al., 2019). Kafoury et al., 2019 juga menunjukkan lebih jauh bahwa perbedaan ketebalan lapisan memiliki hasil signifikan pada kelompok yang diberikan paparan dengan menggunakan banyak telepon seluler (multiple exposure), sedangkan pada kelompok dengan telepon seluler tunggal tidak (single exposure). Kita dapat melakukan beberapa upaya untuk mengurangi paparan gelombang elektromagnetik telepon seluler. Beberapa diantaranya adalah untuk mengurangi durasi penggunaan telepon seluler; menggunakan mode pengeras, headphone, atau earphone untuk meningkatkan jarak antara kepala dan telepon genggam; menghindari melakukan panggilan ketika sinyal lemah karena mengakibatkan telepon seluler untuk meningkatkan kemampuan transmisi frekuensi radio; dan mempertimbangkan untuk menuliskan pesan daripada menelepon (FDA, 2020).

Keterbatasan penelitian ini terdapat pada penggunaan bahan untuk membuat wadah paparan gelombang elektromagnetik telepon seluler yang menggunakan kayu triplek, dimana bahan tersebut dapat dengan mudah diserap sehingga mencit dapat berpindah-pindah tempat sehingga pemilihan bahan wadah yang tepat dapat memberikan hasil yang optimal, serta ekstrapolasi langsung dari hasil penelitian ini pada populasi manusia mungkin terbatas dikarenakan penelitian ini menggunakan model hewan coba mencit. Selain itu nilai Specific Absorption Rate (SAR) yang diterima oleh mencit pada penelitian ini tidak dapat dilakukan perhitungannya oleh karena keterbatasan pengetahuan dan teknologi dalam penelitian.

## **SIMPULAN**

Dari penelitian yang dilakukan terdapat dua kesimpulan yang dapat diambil. Kesimpulan tersebut adalah: Tidak ada perbedaan ketebalan lapisan piramidal area CA1 hipokampus mencit akibat efek radiasi gelombang elektromagnetik telepon seluler 3G dan 4G. Adanya perbedaan jumlah neuron lapisan piramidal area CA1 hipokampus mencit akibat efek radiasi gelombang elektromagnetik telepon seluler 3G dan 4G.

## **DAFTAR PUSTAKA**

Ali, M., Ahmed Butt, S., & Hamid, S (2017). Effect of Electromagnetic Field From 2G, 3G and 4G Mobile Phones on the Organization of Purkinje Cell Layer Of Rat Cerebellum. *Pakistan Armed Forces Medical Journal*, 67(3), 462-466

- Altunkaynak, B., Kivrak, E., Alkan, I., Yurt, K., Kocaman, A., & Onger, M. (2017). Effects of 900-MHz radiation on the hippocampus and cerebellum of adult rats and attenuation of such effects by folic acid and *Boswellia sacra*. *Journal of Microscopy and Ultrastructure*, 5(4), 216-224
- Ancila, C. & Hidayanto, E. (2016). Analisis Dosis Paparan Radiasi Pada Instalasi Radiologi Dental Panoramik. *Youngster Physics Journal*, 5(4), 441-450
- Anderson RE., Berthrong M., Fajardo LF. (1996). *Radiation injury. Anderson's Pathology* (10th ed.). Missouri: Von Hoffman Press
- Barr, J. B., Somerville, R. A., Chung, Y.-L., & Fraser, J. R. (2004). Microdissection: A method developed to investigate mechanisms involved in transmissible spongiform encephalopathy pathogenesis. *BMC Infectious Diseases*, 4(1).
- Barrett, K. & Ganong, W. (2012). *Ganong's review of medical physiology* (24th ed). New York: McGraw Hill
- Bas, O., Odaci, E., Kaplan, S., Acer, N., Ucok, K., & Colakoglu, S. (2009). 900 MHz electromagnetic field exposure affects qualitative and quantitative features of hippocampal pyramidal cells in the adult female rat. *Brain Research*, 1265, 178–185
- Bolla, S., (2015). EFFECT OF MOBILE PHONE RADIOFREQUENCY ON HIPPOCAMPAL CA3 NEURONS. *International Journal of Anatomy and Research*, 3(3), 1216-1224
- Budijanto, D. (2013). *Populasi, Sampling dan Besar Sampel*, Jakarta : Pusat Data dan Informasi Kementerian Kesehatan RI. Tersedia pada: <http://www.risbinkes.litbang.depkes.go.id/2015/wp-content/uploads/2013/02/SAMPLING-DAN-BESAR-SAMPEL.pdf>
- Centers for Disease Control and Prevention (2015). *Non-Ionizing Radiation*. Tersedia pada: [https://www.cdc.gov/nceh/radiation/nonionizing\\_radiation.html#:~:text=Radiation%20in%20the%20ultraviolet%20band,band%20is%20called%20ionizing%20radiation.](https://www.cdc.gov/nceh/radiation/nonionizing_radiation.html#:~:text=Radiation%20in%20the%20ultraviolet%20band,band%20is%20called%20ionizing%20radiation.)
- Deniz, Ö., Kivrak, E., Kaplan, A. and sahin, B. (2017). Effects of folic acid on rat kidney exposed to 900 MHz electromagnetic radiation. *Journal of Microscopy and Ultrastructure*, 5(4), 198
- Dhikav, V. & Anand, K. (2012). Hippocampus in health and disease: An overview. *Annals of Indian Academy of Neurology*, 15(4), 239.
- Eberhardt, J. L., Persson, B. R. R., Brun, A. E., Salford, L. G., & Malmgren, L. O. G. (2008). Blood-Brain Barrier Permeability and Nerve Cell Damage in Rat Brain 14 and 28 Days After Exposure to Microwaves from GSM Mobile Phones. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 27(3), 215–229
- El-Kafoury, B., Hamam, G. and Ezzat, S. (2019). Effect of Exposure to different doses of Cell Phone-Electromagnetic Waves on the hippocampus and testis of Adult Albino Rats: A Histological study. *Egyptian Journal of Histology*, 42(4)
- Esmekaya, M. A., Tuysuz, M. Z., Tomruk, A., Canseven, A. G., Yücel, E., Aktuna, Z., & Seyhan, N. (2016). Effects of cell phone radiation on lipid peroxidation, glutathione and

- nitric oxide levels in mouse brain during epileptic seizure. *Journal of Chemical Neuroanatomy*, 75, 111–115
- Fauzi, F., Harly, G.S. & Hanrais, H.S. (2012). Analisis penerapan teknologi jaringan LTE 4G di Indonesia. *Majalah Ilmiah Unikom*, pp. 281-288
- Friedman, J., Kraus, S., Hauptman, Y., Schiff, Y., & Seger, R. (2007). Mechanism of short-term ERK activation by electromagnetic fields at mobile phone frequencies. *Biochemical Journal*, 405(3), 559–568
- Gawas, A.U. (2015). An overview on evolution of mobile wireless communication networks: 1G-6G. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 3(5), 3130-3133
- Gong, Y., Capstick, M. H., Kuehn, S., Wilson, P. F., Ladbury, J. M., Koepke, G., ... Kuster, N. (2017). Life-Time Dosimetric Assessment for Mice and Rats Exposed in Reverberation Chambers for the Two-Year NTP Cancer Bioassay Study on Cell Phone Radiation. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 59(6), 1798–1808.
- Houston, B. J., Nixon, B., King, B. V., Aitken, R. J., & De Iuliis, G. N. (2018). Probing the Origins of 1,800 MHz Radio Frequency Electromagnetic Radiation Induced Damage in Mouse Immortalized Germ Cells and Spermatozoa in vitro. *Frontiers in Public Health*, 6
- Huber, R., Treyer, V., Borbely, A. A., Schuderer, J., Gottselig, J. M., Landolt, H.-P., ... Achermann, P. (2002). Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG. *Journal of Sleep Research*, 11(4), 289–295.
- Hussein Abd El Raouf, H. H., & Mohammed Ali, M. H. (2015). Histological changes in albino rat hippocampus following postnatal exposure to radiofrequency electromagnetic field emitted from mobile phones. *The Egyptian Journal of Histology*, 38(2), 253–265
- Ilhan, A., Gurel, A., Armutcu, F., Kamisli, S., Iraz, M., Akyol, O., & Ozen, S. (2004). Ginkgo biloba prevents mobile phone-induced oxidative stress in rat brain. *Clinica Chimica Acta*, 340(1-2), 153–162.
- Inkoom, S., Raissaki, M., Perisinakis, K., Maris, T. G., & Damilakis, J. (2015). Location of radiosensitive organs inside pediatric anthropomorphic phantoms: Data required for dosimetry. *Physica Medica*, 31(8), 882–888.
- Mescher, A. and Junqueira, L. (2016). *Junqueira's basic histology* (14th ed)
- Mugunthan, N., Shanmugasamy, K., Anbalagan, J., Rajanarayanan, S. and Meenachi, S. (2016). Effects of Long Term Exposure of 900- 1800 MHz Radiation Emitted from 2G Mobile Phone on Mice Hippocampus- A Histomorphometric Study. *Journal of clinical and diagnostic research*
- Kalanjati, V.P., Pratiwi, M.P., Syakdiyah, N.H., Widiyasi, E.D., Anggraeni, M.R., Pratiwi, I.A. & Argarini, R. (2014). Pengaruh Ekstrak Bayam Merah (*Amaranthus gangeticus*) terhadap Morfologi Stratum Hipokampus Model Anak Mencit Pascasapih Induk yang Terpapar Timbal Selama Masa Kehamilan. *Majalah Kedokteran Bandung*, pp 125-129
- Kannan, K., & Jain, S.K. (2001). Oxidative stress and apoptosis. *Pathophysiology*, 7, 153–163.

- Kaplan, S., Deniz, O., Önger, M., Türkmen, A., Yurt, K., Aydın, I., Altunkaynak, B. & Davis, D. (2015). Electromagnetic field and brain development. *Journal of Chemical Neuroanatomy*, 75, 52-61
- Kaur, S., Chandel, S., Singh, H., Batish, D., & Kohli, R. (2017). Exposure to 2100 MHz electromagnetic field radiations induces reactive oxygen species generation in *Allium cepa* roots. *Journal of Microscopy and Ultrastructure*, 5(4), 225
- Kishore, G.K., Venkateshu, K.V., & Sridevi N.S. (2019). Effect of 1800-2100 MHz Electromagnetic Radiation on Learning-Memory and Hippocampal Morphology in Swiss Albino Mice. *Journal of Clinical & Diagnostic Research*, 13(2)
- Oh, J., Byun, S., Lee, S., Choe, G. & Hong, S. (2018). Effect of Electromagnetic Waves from Mobile Phones on Spermatogenesis in the Era of 4G-LTE. *BioMed Research International*, 1-8.
- Omar, S. M., Nasr, M., & Rafla, D. A. (2018). Transdermal patches loaded with L-cysteine HCL as a strategy for protection from mobile phone emitting electromagnetic radiation hazards. *Saudi Pharmaceutical Journal*
- Parasuraman, S., Sam, A., Yee, S., Chuon, B. & Ren, L. (2017). Smartphone usage and increased risk of mobile phone addiction: A concurrent study. *International Journal of Pharmaceutical Investigation*, 7(3), 125
- Patel, S., Shah, V. & Kansara, M. (2018). Comparative Study of 2G, 3G and 4G. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*, 3(3), 1962-1964
- Purwantari, K. E. (2015). *Pengaruh pemberian kafein peroral terhadap jumlah sel neuron dan tebal lapisan granuler girus dentatus formatio hippocampalis*. Surabaya: Universitas Airlangga
- Şahin, A., Aslan, A., Baş, O., İkinci, A., Özyılmaz, C., Fikret Sönmez, O., ... & Odacı, E. (2015). Deleterious impacts of a 900-MHz electromagnetic field on hippocampal pyramidal neurons of 8-week-old Sprague Dawley male rats. *Brain Research*, 1624, 232-238
- Salford, L. G., Brun, A. E., Eberhardt, J. L., Malmgren, L., & Persson, B. R. R. (2003). Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones. *Environmental Health Perspectives*, 111(7), 881–883
- Shabrina, U. & Broto, W. (2017). Studi Perkembangan Teknologi 4G–LTE dan WiMAX di Indonesia. *In Prosiding Seminar Nasional Fisika*, 6
- Sherwood, L. (2010). *Human physiology* (7th ed). Australia: Brooks/Cole Cengage Learning
- Shukla, S., Khare, V., Garg, S. & Sharma, P. (2013). Comparative Study of 1G, 2G, 3G and 4G. *J. Eng. Comput. Appl. Sci*, 2(4), 55-63
- Solek, P., Majchrowicz, L., & Kozirowski, M. (2018). Aloe arborescens juice prevents EMF-induced oxidative stress and thus protects from pathophysiology in the male reproductive system in vitro. *Environmental Research*, 166, 141–149

- Stam, R. (2010). Electromagnetic fields and the blood–brain barrier. *Brain Research Reviews*, 65(1), 80–97
- Statista (2019). *Forecast number of mobile users worldwide 2019-2023*. Diakses dari <https://www.statista.com/statistics/218984/number-of-global-mobile-users-since-2010/>
- U.S. Food and Drug Administration (2020). *Reducing Radio Frequency Exposure From Cell Phones*. Diakses dari: <https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/cell-phones/reducing-radio-frequency-exposure-cell-phones>