

Tinjauan Komparatif Potensi dan Efikasi Medan Elektromagnetik *Extremely Low Frequency* (ELF) dalam Mendukung Kesehatan dan Regenerasi Tulang

Sabda Dwi Arvinda¹, Rayhan Al-Hayubi², Nazwa Amelia Purnama³, Ardian Sah⁴,
Diyajeng Luluk Karlina⁵

Universitas Sultan Ageng Tirtayasa^{1,2,3,4,5}

Jl. Raya Palka Km 3 Sindangsari, Pabuaran, Kab. Serang Provinsi Banten

Korespondensi penulis: 2283230019@untirta.ac.id

Abstract. Bone health is a vital element in the quality of life aspect, especially with the increasing risk of osteoporosis and fractures with age. *Extremely Low Frequency* (ELF) electromagnetic field therapy offers the potential for bone regeneration through collagen synthesis, osteoblast stimulation, and molecular signal modulation. This study evaluates the potential and efficacy of ELF for bone health based on scientific literature. The results of the analysis show that ELF is effective in accelerating healing, increasing bone density, and is safe at certain intensities. However, optimization of parameters such as duration and intensity of exposure is still needed. This study supports the development of standard protocols for safe and effective ELF applications in bone therapy.

Keywords: Electromagnetic Fields, *Extremely Low Frequency* (ELF), Bone Health, Bone Regeneration, Non-Invasive Therapy.

Abstrak. Kesehatan tulang adalah elemen vital dalam aspek kualitas hidup, terutama dengan meningkatnya risiko osteoporosis dan patah tulang seiring bertambahnya usia. Terapi medan elektromagnetik *Extremely Low Frequency* (ELF) menawarkan potensi regenerasi tulang melalui sintesis kolagen, stimulasi osteoblas, dan modulasi sinyal molekuler. Kajian ini mengevaluasi potensi dan efikasi ELF untuk kesehatan tulang berdasarkan literatur ilmiah. Hasil analisis menunjukkan ELF efektif mempercepat penyembuhan, meningkatkan densitas tulang, dan aman pada intensitas tertentu. Namun, optimalisasi parameter seperti durasi dan intensitas paparan masih diperlukan. Studi ini mendukung pengembangan protokol standar untuk aplikasi ELF yang aman dan efektif dalam terapi tulang.

Kata kunci: Medan Elektromagnetik, *Extremely Low Frequency* (ELF), Kesehatan Tulang, Regenerasi Tulang, Terapi Non-Invasif.

1. LATAR BELAKANG

Kesehatan tulang merupakan salah satu aspek yang penting dalam mendukung kualitas hidup setiap manusia. Seiring bertambahnya usia manusia, risiko gangguan tulang seperti patah tulang, osteoporosis, dan proses penyembuhan yang lambat semakin meningkat. Kebutuhan akan terapi non-invasif yang efektif dan cocok untuk mendukung regenerasi tulang telah menjadi perhatian utama di bidang kedokteran khususnya di bidang regeneratif. Oleh karena itu, pengembangan pendekatan baru yang dapat meningkatkan kesehatan tulang dan mempercepat proses penyembuhan menjadi topik yang sangat relevan.

Aplikasi medan elektromagnetik telah menarik perhatian dalam beberapa dekade terakhir khususnya yang berada pada frekuensi *Extremely Low Frequency* (ELF). Medan elektromagnetik ELF berada dalam rentang frekuensi 3 sampai dengan 300 Hz, frekuensi ini dikenal memiliki dampak biologis yang signifikan tanpa menimbulkan efek samping yang merugikan jika diaplikasikan secara tepat. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa medan

Received: Agustus 19, 2024; Revised: September 20, 2024; Accepted: Oktober 30, 2024;

Online Available: November 23, 2024;

elektromagnetik ELF memiliki potensi untuk memengaruhi aktivitas seluler, termasuk sel-sel yang terkait dengan regenerasi tulang. Intervensi berbasis medan elektromagnetik ELF dipandang sebagai pendekatan inovatif untuk mengatasi berbagai masalah dalam perawatan untuk mengatasi gangguan tulang.

Mekanisme kerja pada medan elektromagnetik ELF dalam mendukung regenerasi tulang diduga berkaitan dengan peningkatan proliferasi sel, stimulasi sintesis kolagen, dan modulasi jalur sinyal molekuler yang berperan dalam pembentukan tulang. Beberapa studi telah melaporkan efek positif medan elektromagnetik ELF dalam mempercepat penyembuhan patah tulang dan meningkatkan densitas tulang. Meskipun potensi ini menjanjikan, efikasi dan mekanisme kerja terapi medan elektromagnetik ELF dalam konteks klinis masih memerlukan penelitian lebih lanjut.

Penelitian tentang medan elektromagnetik ELF juga harus mempertimbangkan parameter aplikasi yang optimal, seperti durasi, intensitas, dan pola eksposur. Variasi dalam parameter ini dapat memengaruhi hasil terapi dan keamanan penggunaan medan elektromagnetik ELF. Dengan demikian, diperlukan kajian menyeluruh yang tidak hanya meninjau potensi biomedis medan elektromagnetik ELF, tetapi juga mengevaluasi standar protokol yang mendukung efektivitasnya.

Studi ini bertujuan untuk meninjau potensi dan efikasi medan elektromagnetik ELF dalam mendukung kesehatan dan regenerasi tulang. Dengan membandingkan beberapa bukti ilmiah terbaru, tinjauan ini diharapkan dapat memberikan dasar pengetahuan yang komprehensif untuk pengembangan terapi berbasis medan elektromagnetik ELF dalam bidang kedokteran regeneratif, khususnya untuk aplikasi pada gangguan tulang.

2. KAJIAN TEORITIS

Penggunaan perangkat elektronik telah menjadi bagian yang tidak terpisahkan dari kehidupan manusia era modern. Setiap perangkat ini menghasilkan gelombang elektromagnetik yang beragam. Gelombang atau medan elektromagnetik merupakan energi yang dihasilkan dari interaksi antara medan magnet dan medan listrik yang berosilasi, kemudian dapat merambat tanpa memerlukan media. Energi ini dikenal sebagai radiasi elektromagnetik dan mencakup berbagai jenis frekuensi, mulai dari yang rendah hingga yang tinggi. Salah satu jenis radiasi elektromagnetik dengan frekuensi yang sangat rendah, atau *Extremely Low Frequency (ELF)*, memiliki rentang frekuensi antara 0 hingga 300 Hz dan tergolong dalam jenis radiasi non-ionisasi. Karena sifatnya yang non-ionisasi, ELF tidak memiliki energi yang cukup untuk mengionisasi materi. Meski demikian, jenis radiasi ini dapat

memberikan efek biologis pada tubuh manusia yang hingga kini terus diteliti, termasuk potensi aplikasinya dalam bidang kesehatan (Wijaya et al., 2019).

Dalam bidang kesehatan, penggunaan ELF telah menarik perhatian khususnya dalam terapi tulang. Frekuensi rendah ini diketahui mampu mempengaruhi pertumbuhan dan kepadatan tulang, memperbaiki metabolisme seluler, dan merangsang aktivitas osteoblas yang bertanggung jawab atas pembentukan tulang baru. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa paparan ELF dapat meningkatkan mineralisasi dan kekuatan mekanik tulang, yang merupakan aspek penting dalam proses penyembuhan tulang pasca-trauma atau setelah operasi. Hal ini membuka peluang besar bagi pengembangan terapi berbasis ELF untuk kesehatan tulang. Di antara berbagai metode pengobatan yang ada, terapi ELF menjadi alternatif yang menjanjikan karena cenderung minim efek samping dibandingkan dengan terapi konvensional (Sinuraya et al., 2023).

Peningkatan penggunaan perangkat elektronik dalam kehidupan modern semakin menambah paparan medan elektromagnetik di sekitar kita. Setiap perangkat ini menghasilkan berbagai jenis gelombang elektromagnetik, termasuk medan dengan frekuensi ELF. Menurut *World Health Organization* (WHO), paparan ELF dalam intensitas tertentu, seperti 100 μT untuk masyarakat umum dan 500 μT untuk pekerja hingga 8 jam per hari, masih tergolong aman. Meskipun demikian, paparan ELF dengan intensitas tinggi atau durasi paparan yang lebih lama masih memerlukan penelitian lebih lanjut untuk memahami dampaknya terhadap kesehatan manusia (Ferdianti et al., 2024).

Selain kesehatan tulang, paparan medan elektromagnetik pada perangkat elektronik juga dapat menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan. Beberapa studi menunjukkan bahwa paparan medan elektromagnetik yang berkepanjangan dapat menyebabkan hipersensitivitas elektrik, yaitu kondisi dengan gejala neurologis seperti sakit kepala, kelelahan, insomnia, dan gangguan konsentrasi. Di lingkungan rumah sakit, peralatan medis seperti *infus pump*, *syringe pump*, *nebulizer*, dan monitor pasien juga menghasilkan radiasi elektromagnetik, yang meskipun pada level aman, tetap perlu dipantau secara berkala guna menghindari dampak kesehatan jangka panjang bagi pasien dan staf (Sinuraya et al., 2023).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan jenis penelitian kualitatif yang menggunakan pendekatan analisis data dan hasilnya disajikan secara deskriptif. Metode yang digunakan adalah kajian literatur dengan merujuk pada berbagai jurnal nasional dan internasional yang relevan. Kajian literatur menjadi dasar penting untuk menentukan tema dan judul penelitian, sekaligus

menyediakan informasi yang terstruktur dan berdasarkan fakta yang relevan. Melalui kajian ini, peneliti dapat memahami masalah penelitian, memperoleh dukungan teoritis, dan menggunakan informasi tersebut untuk diskusi atau pembahasan.

Dalam studi ini, peneliti memfokuskan pada materi terkait potensi pemanfaatan radiasi medan elektromagnetik Extremely Low Frequency (ELF) untuk terapi kesehatan tulang berdasarkan publikasi sebelumnya. Data dari berbagai sumber kemudian dianalisis, dibandingkan, dan disajikan sebagai hasil penelitian. Langkah tambahan meliputi verifikasi keabsahan dan keandalan data dari berbagai sumber. Peneliti juga melakukan interpretasi terhadap data yang diperoleh untuk mendukung temuan penelitian.

Kajian literatur ini memungkinkan peneliti mengidentifikasi perkembangan terbaru dalam penelitian terkait ELF untuk terapi kesehatan tulang. Dengan analisis ini, peneliti dapat memahami lebih dalam bagaimana ELF memengaruhi kesehatan tulang dan menyusun jurnal yang membahas potensi radiasi medan elektromagnetik Extremely Low Frequency (ELF) dalam terapi tulang secara komprehensif.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini, dilakukan kajian mendalam berupa analisis dan perbandingan terhadap tiga artikel ilmiah yang mengulas potensi medan elektromagnetik *Extremely Low Frequency* (ELF) dalam mendukung kesehatan, khususnya dalam proses pemulihan tulang. Analisis ini dirancang untuk menyajikan tinjauan komprehensif yang mencakup temuan utama, metodologi yang digunakan, serta kelebihan dan kekurangan dari masing-masing penelitian. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih mendalam terkait efektivitas dan relevansi ELF dalam berbagai konteks penelitian dan aplikasinya di dunia medis.

Ketiga artikel ini menggunakan metode yang bervariasi, mulai dari kajian literatur berbasis sumber ilmiah nasional dan internasional, pengukuran langsung terhadap paparan medan elektromagnetik yang dihasilkan oleh perangkat medis di lingkungan klinis, hingga penelitian eksperimental berbasis laboratorium dengan model hewan. Pendekatan kajian literatur berfokus pada pengumpulan dan analisis data dari penelitian terdahulu untuk menjelaskan potensi dan mekanisme kerja ELF dalam mempercepat proses penyembuhan tulang. Penelitian berbasis pengukuran di lingkungan klinis bertujuan untuk mengevaluasi tingkat keamanan paparan ELF dari peralatan medis sehari-hari, serta implikasi paparan ini terhadap kesehatan pasien. Sementara itu, studi laboratorium memberikan data eksperimental

langsung tentang pengaruh intensitas ELF terhadap parameter fisiologis tulang, seperti panjang dan diameter, melalui paparan terkontrol pada tikus mencit sebagai model biologis.

Dengan adanya keragaman pendekatan tersebut, analisis ini tidak hanya menyoroti keunggulan dan keterbatasan masing-masing metode, tetapi juga mengintegrasikan hasil dari berbagai perspektif untuk memberikan pandangan holistik. Kombinasi temuan ini berpotensi memperkuat keyakinan akan pentingnya ELF sebagai salah satu alternatif atau pelengkap dalam terapi kesehatan tulang. Selain itu, pembahasan yang mendalam ini juga diharapkan dapat menjadi landasan bagi penelitian lanjutan, baik untuk memastikan keamanan paparan maupun untuk mengoptimalkan penggunaannya dalam konteks klinis dan terapeutik.

Tabel 1. Perbandingan Gelombang Elektromagnetik di Bidang Kesehatan

Kategori	Artikel 1	Artikel 2	Artikel 3
Judul	Potensi Pemanfaatan Radiasi Medan Elektromagnetik <i>Extremely Low Frequency</i> untuk Terapi Kesehatan Tulang.	Deteksi Radiasi Gelombang Elektromagnetik dari Peralatan Medis dan Elektronik di Rumah Sakit.	Pengaruh Paparan Medan Elektromagnetik ELF Intensitas 500 μ T dan 1000 μ T terhadap Panjang dan Diameter Tulang Femur .
Metode Penelitian	Kajian literatur pada artikel nasional dan internasional.	Penelitian eksplanatori dengan metode <i>cross-sectional</i> pada peralatan medis di ruang pasien rumah sakit.	Eksperimen laboratorium menggunakan mencit yang dipaparkan intensitas ELF berbeda selama 30 hari.
Fokus Penelitian	Pemanfaatan ELF dalam terapi tulang melalui stimulasi osteoblas dan peningkatan matriks tulang.	Pengukuran paparan radiasi elektromagnetik yang dihasilkan oleh alat elektronik dan medis serta dampaknya pada kesehatan pasien di rumah sakit.	Pengaruh intensitas ELF terhadap parameter panjang dan diameter tulang femur mencit.
Hasil Utama	1) ELF meningkatkan fungsi osteoblas. 2) Potensial untuk terapi regeneratif tulang 3) Membantu mineralisasi tulang.	1) Alat seperti nebulizer dan oxymeter memancarkan ELF dalam batas aman 2) Tingkat paparan alat berhubungan dengan keluhan neurologis ringan pada pasien.	1) Tidak ada perubahan signifikan pada panjang tulang 2) Diameter tulang meningkat pada kelompok intensitas 1000 μ T dibandingkan kontrol.
Kelebihan	1) Pendekatan teoritis mendalam	1) Mengukur secara langsung paparan	1) Studi eksperimental yang

	2) Relevansi dengan penelitian medis terbaru.	dari berbagai alat. 2) Memberikan data realistis terkait kondisi rumah sakit.	memberikan bukti langsung. 2) Menyediakan data kuantitatif jelas tentang parameter fisik tulang.
Kekurangan	Tidak ada uji eksperimental langsung.	Tidak secara spesifik membahas efek regenerasi tulang akibat ELF.	Tidak mengukur parameter fisiologis lain .
Rekomendasi Penggunaan	Terapi osteogenesis regeneratif untuk osteoporosis.	Monitoring keamanan paparan radiasi di fasilitas medis.	Pengembangan protokol untuk intensitas ELF yang aman dan efektif dalam terapi kesehatan tulang.

Komparasi Judul Artikel

Judul dari ketiga artikel memberikan fokus yang berbeda dalam membahas ELF. Artikel 1 menyoroti langsung pemanfaatan ELF untuk terapi tulang, yang berfokus potensi stimulasi osteoblas dan regenerasi. Artikel 2 lebih menekankan pada evaluasi tingkat radiasi ELF yang dihasilkan oleh perangkat medis di rumah sakit, serta pengaruhnya terhadap kesehatan pasien. Sementara itu, Artikel 3 berfokus pada eksperimen efek intensitas ELF terhadap panjang dan diameter tulang femur mencit. Perbedaan ini menunjukkan bahwa artikel-artikel tersebut menyentuh berbagai aspek aplikasi ELF, mulai dari potensi terapeutik hingga pengaruh paparan radiasi.

Komparasi Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan mencerminkan pendekatan yang berbeda-beda pada setiap artikel. Artikel 1 menggunakan kajian literatur, menganalisis berbagai penelitian sebelumnya untuk mengidentifikasi mekanisme dan manfaat ELF terhadap kesehatan tulang. Pendekatan ini memberikan wawasan teoritis yang luas tetapi tidak mencakup data empiris langsung. Kemudian artikel 2 mengadopsi pendekatan eksplanatori melalui survei cross-sectional, memungkinkan peneliti untuk mengukur paparan ELF dari alat medis dan elektronik serta menghubungkannya dengan gejala neurologis pada pasien. Metode ini relevan untuk memahami paparan ELF di lingkungan klinis. Sedangkan artikel 3 menggunakan eksperimen laboratorium berbasis model hewan, memungkinkan evaluasi langsung efek intensitas ELF terhadap parameter fisik tulang. Metode ini memberikan data kuantitatif yang signifikan namun terbatas pada kondisi laboratorium.

Komparasi Fokus Penelitian

Setiap artikel menunjukkan fokus penelitian yang saling melengkapi seperti berikut ini. Artikel 1 membahas aplikasi ELF dalam terapi osteogenesis regeneratif, menunjukkan potensi stimulasi osteoblas dan peningkatan mineralisasi tulang. Artikel 2 mengkaji hubungan antara paparan alat medis yang memancarkan ELF dengan dampak neurologis pada pasien, lebih menekankan pada keamanan paparan. Artikel 3 meneliti perubahan panjang dan diameter tulang sebagai respons terhadap intensitas ELF yang bervariasi, menjadikannya satu-satunya artikel yang memberikan data fisik langsung terkait tulang.

Komparasi Hasil Utama

Hasil penelitian dari setiap artikel menunjukkan manfaat dan tantangan yang unik seperti berikut ini. Pada artikel 1 mengungkapkan bahwa ELF mampu meningkatkan aktivitas osteoblas, mempercepat penyembuhan tulang, dan membantu pembentukan matriks tulang baru. Artikel 2 menunjukkan bahwa alat medis seperti nebulizer memancarkan radiasi ELF dalam batas aman, tetapi paparan yang terus-menerus dapat menimbulkan keluhan ringan seperti sakit kepala dan insomnia. Artikel 3 menemukan bahwa intensitas ELF tinggi (1000 μ T) dapat meningkatkan diameter tulang mencit secara signifikan dibandingkan kelompok kontrol, meskipun tidak berdampak pada panjang tulang.

Komparasi Kelebihan dan Kekurangan

Berikut ini kelebihan dan kekurangan dalam beberapa artikel yang dilakukan komparasi. Artikel 1 unggul dalam menyediakan gambaran teoritis yang mendalam dan relevan dengan penelitian medis terbaru, tetapi kekurangan data eksperimental langsung. Pada artikel 2 menawarkan pengukuran praktis yang realistis tentang paparan ELF di rumah sakit, meskipun kurang menyoroti aspek regenerasi tulang. Sedangkan artikel 3 memberikan data eksperimental yang konkret, tetapi terbatas pada pengukuran fisik dan belum mengeksplorasi efek fisiologis mendalam seperti aktivitas osteoblas.

Komparasi Rekomendasi Penggunaan

Dalam penelitian ini menghasilkan perbandingan berupa rekomendasi untuk implementasi pada medan elektromagnetik di bidang kesehatan. Pada artikel 1 direkomendasikan untuk pengembangan terapi tulang pada kasus osteoporosis. Kemudian artikel 2 relevan untuk pemantauan dan pengendalian paparan ELF di lingkungan klinis guna meningkatkan keselamatan pasien. Sedangkan artikel 3 dapat menjadi acuan dalam merancang protokol terapi yang mempertimbangkan intensitas ELF yang optimal untuk pengobatan tulang.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil analisis dan perbandingan dari tiga artikel mengenai potensi medan elektromagnetik *Extremely Low Frequency* (ELF) menunjukkan bahwa ELF memiliki manfaat besar dalam mendukung kesehatan dan regenerasi tulang. ELF mampu meningkatkan aktivitas osteoblas, sel penting dalam pembentukan tulang baru, serta mendorong mineralisasi dan pembentukan matriks tulang, menjadikannya pilihan terapi inovatif untuk kondisi seperti osteoporosis dan penyembuhan tulang pasca trauma. Eksperimen menunjukkan bahwa intensitas ELF yang tinggi, seperti 1000 μT , dapat meningkatkan diameter tulang secara signifikan tanpa memengaruhi panjangnya. Selain itu, dalam konteks klinis, paparan ELF dari perangkat medis seperti nebulizer dan oxymeter umumnya aman, meskipun paparan yang berkepanjangan dapat menimbulkan keluhan ringan seperti sakit kepala dan gangguan tidur. Oleh karena itu, pemantauan paparan ELF di fasilitas kesehatan sangat penting untuk menjamin keselamatan pasien.

Agar ELF dapat diimplementasikan secara efektif sebagai terapi medis, diperlukan penelitian lanjutan untuk menentukan intensitas dan durasi paparan yang optimal. Pengembangan protokol standar juga penting agar ELF dapat diterapkan dengan aman dan efisien dalam praktik klinis. Selain itu, peningkatan kesadaran dan pelatihan bagi tenaga medis terkait dampak potensial ELF perlu dilakukan untuk memastikan penggunaannya sesuai dengan standar keamanan. Dengan mengintegrasikan pendekatan teoritis, pengukuran praktis, dan data eksperimen, ELF memiliki potensi besar untuk menjadi alat terapeutik yang efektif dalam mendukung kesehatan tulang dan regenerasinya.

DAFTAR REFERENSI

- Ferdianti, C. I., Sudarti, & Trapsilo Prihandono. (2024). Pengaruh Paparan Medan Elektromagnetik ELF Intensitas 500 μT dan 1000 μT Terhadap Panjang dan Diameter Tulang Femur Mencit Balb/C. *Jurnal Ilmu Fisika dan Pembelajarannya (JIFP)*, 8(1), 1–8. <https://doi.org/10.19109/jr5zy290>
- Sinuraya, W. T. B., Siahaan, A. A., & Sudarti, S. (2023). Potensi Pemanfaatan Radiasi Medan Elektromagnetik Extremely Low Frequency untuk Terapi Kesehatan Tulang. *Jurnal Penelitian Inovatif*, 3(3), 597–604. <https://doi.org/10.54082/jupin.234>
- Wijaya, N. H., Kartika, W., & Utari, A. R. D. (2019). DETEKSI RADIASI GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK DARI PERALATAN MEDIS DAN ELEKTRONIK DI RUMAH SAKIT. *Jurnal Ecotipe (Electronic, Control, Telecommunication, Information, and Power Engineering)*, 6(2), 102–106. <https://doi.org/10.33019/ecotipe.v6i2.1393>