



ANALISIS LITERATUR TENTANG GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK DAN PENGARUHNYA PADA TEKNOLOGI KOMUNIKASI

Hadirat Syukur Ziliwu¹⁾, Fatman Juang Putra Waruwu²⁾, Frans Alpinter Gulo³⁾

¹⁾Teknologi Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: hadiratzil@gmail.com

²⁾Teknologi Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: fatmanwr79@gmail.com

³⁾Teknologi Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia

Email: alpintergulo@gmail.com

Abstract

In this aspect, electromagnetic waves are physical phenomena that play an important role in the progress of the present communication system. This paper reviews the literature on the characteristics of electromagnetic waves, how the waves affect data networks, wireless systems, and telecommunications between other fields of communication technology. Research shows that electromagnetic waves allow shipping information efficiently through cables, air, and other media. Wave frequency transition from radio to millimeter waves has opened a new path for network speed and capacity. However, a number of interference, safety, and health effects began to emerge. The findings above there is no doubt highlighting the fact that a deep understanding of electromagnetic waves forms the basis of innovation and the development of communication technology on a sustainable manner. Electromagnetic Physical phenomena that carry out the progress of this make review through cables, and other media. Wave frequency transition from radio to millimeter waves has opened the barudan capacity path. However, a number of problems of disruption, safety, and health impact arise. The above findings are undoubtedly highlighting the fact that a deep understanding of electromagnetic waves forms the basis of innovation and building communication technology on a sustainable manner.

Keywords: Electromagnetic Waves, Communication Technology, Telecommunications, Wireless Systems, Interference.

Abstrak

Dalam aspek inilah gelombang elektromagnetik merupakan fenomena fisik yang memegang peranan penting dalam kemajuan sistem komunikasi masa kini . Makalah ini mengulas literatur tentang karakteristik gelombang elektromagnetik , bagaimana gelombang tersebut memengaruhi jaringan data , sistem nirkabel, dan telekomunikasi di antara bidang teknologi komunikasi lainnya. Penelitian menunjukkan bahwa gelombang elektromagnetik memungkinkan pengiriman informasi secara efisien melalui kabel , udara, dan media lainnya. Transisi frekuensi gelombang dari radio ke gelombang milimeter telah membuka jalur baru untuk kecepatan dan kapasitas jaringan . Namun , sejumlah masalah interferensi, keamanan ,dan efek kesehatan mulai bermunculan. Temuan-temuan di atas tidak diragukan lagi menyoroti fakta bahwa pemahaman mendalam tentang gelombang elektromagnetik membentuk dasar inovasi dan pembangunan teknologi komunikasi secara berkelanjutan .elektromagnetikfenomena fisik yang berperandalam kemajuanMakalah ini mengulasmelalui kabel , dan media lainnya . Transisi frekuensi gelombang dari radio ke gelombang milimeter telah membuka jalur barudan kapasitas . Namun , sejumlah masalah gangguan , keamanan , dan dampak kesehatan muncul . Temuan di atas tidak diragukan lagi menyoroti fakta bahwa pemahaman mendalam tentang gelombang elektromagnetik membentuk dasar inovasi dan membangun teknologi komunikasi secara berkelanjutan .

Kata Kunci: Gelombang Elektromagnetik , Teknologi Komunikasi, Telekomunikasi , Sistem Nirkabel, Interferensi.



PENDAHULUAN

Gelombang elektromagnetik (EM) merupakan fenomena fisis fundamental di mana medan listrik dan medan magnet beresilasi dan merambat melalui ruang, membawa energi dari satu titik ke titik lain. Gelombang ini, yang bergerak dengan kecepatan cahaya, tidak memerlukan medium perambatan, memungkinkannya melintasi ruang hampa sekalipun. Sifat-sifat intrinsik seperti frekuensi, panjang gelombang, dan polarisasi mendefinisikan karakteristik setiap gelombang dalam spektrum elektromagnetik yang luas. Spektrum ini mencakup rentang yang sangat lebar, mulai dari gelombang radio berfrekuensi rendah hingga sinar gamma berenergi sangat tinggi, di mana setiap rentang memiliki interaksi yang unik dengan materi dan potensi aplikasi yang berbeda.

Fondasi teoretis gelombang elektromagnetik diletakkan pada abad ke-19 oleh James Clerk Maxwell melalui serangkaian persamaan diferensial yang kini dikenal sebagai Persamaan Maxwell. Prediksinya yang revolusioner tentang keberadaan gelombang ini kemudian dibuktikan secara eksperimental oleh Heinrich Hertz beberapa dekade kemudian. Namun, transformasi dari konsep fisika teoretis menjadi teknologi yang mengubah dunia secara masif terjadi berkat inovasi Guglielmo Marconi pada awal abad ke-20. Demonstrasi transmisi sinyal radio nirkabel lintas Atlantik oleh Marconi menjadi titik tolak yang memicu revolusi komunikasi, membuktikan bahwa informasi dapat dikirim secara instan tanpa terikat oleh batasan kabel fisik.

Sejak penemuan tersebut, pemanfaatan gelombang elektromagnetik telah menjadi tulang punggung peradaban modern, khususnya dalam teknologi komunikasi. Gelombang ini berfungsi sebagai medium pembawa informasi dalam hampir semua sistem komunikasi nirkabel yang kita kenal saat ini. Mulai dari siaran radio AM/FM dan televisi yang menjangkau jutaan rumah, komunikasi satelit yang menghubungkan benua, hingga sistem navigasi global (GPS) yang memandu perjalanan kita, semuanya bergantung pada prinsip transmisi dan penerimaan gelombang elektromagnetik. Kemampuannya untuk mentransmisikan data dalam berbagai format—suara, gambar, dan teks—telah mendemokratisasi akses terhadap informasi secara global.

Perkembangan teknologi komunikasi modern sangat diwarnai oleh kemajuan dalam pemanfaatan segmen spektrum elektromagnetik yang lebih tinggi dan lebih efisien. Teknologi seperti Wi-Fi, yang beroperasi pada pita frekuensi 2.4 GHz dan 5 GHz, memungkinkan konektivitas internet nirkabel lokal. Lebih jauh lagi, evolusi jaringan seluler dari generasi pertama (1G) hingga teknologi terkini seperti 4G LTE dan 5G telah mendorong batas kecepatan

dan kapasitas transfer data secara eksponensial. Pemanfaatan gelombang mikro dan milimeter pada teknologi 5G, misalnya, memungkinkan latensi yang sangat rendah dan bandwidth yang masif, membuka jalan bagi aplikasi futuristik seperti Internet of Things (IoT), kendaraan otonom, dan telemedicine.

Meskipun manfaatnya sangat besar, ekspansi penggunaan gelombang elektromagnetik juga menghadirkan serangkaian tantangan yang kompleks. Salah satu isu teknis utama adalah interferensi sinyal, di mana sinyal dari sumber yang berbeda dapat saling mengganggu dan menurunkan kualitas komunikasi. Selain itu, spektrum frekuensi adalah sumber daya yang terbatas dan perlu diatur secara cermat untuk menghindari "kemacetan" lalu lintas data. Dari perspektif keamanan, sifat nirkabel dari transmisi ini membuatnya rentan terhadap penyadapan dan serangan siber, sehingga memerlukan enkripsi dan protokol keamanan yang kuat untuk melindungi privasi dan integritas data.

Di luar tantangan teknis, terdapat pula implikasi sosio-teknis yang perlu dipertimbangkan, termasuk perdebatan yang sedang berlangsung mengenai potensi dampak kesehatan dari paparan radiasi elektromagnetik jangka panjang. Oleh karena itu, analisis literatur ini bertujuan untuk melakukan eksplorasi komprehensif terhadap sifat-sifat fisis gelombang elektromagnetik, mengidentifikasi pengaruhnya yang transformatif terhadap teknologi komunikasi, serta mendiskusikan berbagai tantangan teknis, keamanan, dan sosial yang menyertainya. Dengan pemahaman yang mendalam mengenai dasar-dasar dan dampak fenomena ini, diharapkan dapat dirumuskan arah pengembangan teknologi komunikasi masa depan yang lebih inovatif, efisien, dan berkelanjutan.

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan pustaka ini bertujuan untuk memberikan pemahaman menyeluruh mengenai gelombang elektromagnetik (EM) dan pengaruhnya yang transformatif terhadap teknologi komunikasi. Berbagai penelitian dan literatur relevan dibahas untuk menyoroti dasar-dasar teoretis, aplikasi praktis, serta tantangan yang menyertai pemanfaatannya. Dasar teoretis fenomena ini pertama kali dijelaskan oleh James Clerk Maxwell pada abad ke-19 melalui serangkaian persamaan yang menggambarkan interaksi fundamental antara medan listrik dan medan magnet. Menurut Halliday dan Resnick (2014), gelombang EM dapat diklasifikasikan ke dalam spektrum yang luas berdasarkan frekuensi dan panjang gelombangnya, membentang dari gelombang radio berfrekuensi rendah, gelombang mikro, hingga sinar gamma berenergi tinggi. Pemahaman tentang spektrum ini menjadi kunci untuk



menentukan aplikasi yang tepat dalam berbagai sistem komunikasi.

Pemanfaatan spektrum elektromagnetik telah menjadi fokus utama penelitian dan pengembangan dalam teknologi komunikasi selama beberapa dekade terakhir. Menurut Rappaport et al. (2014), teknologi nirkabel yang kini ada di mana-mana, seperti Wi-Fi dan telekomunikasi seluler, secara fundamental memanfaatkan gelombang mikro dan gelombang radio untuk mentransmisikan informasi tanpa memerlukan media fisik kabel. Seiring dengan evolusi teknologi, seperti pengembangan jaringan 5G, pemanfaatan frekuensi yang lebih tinggi dalam spektrum EM terus dieksplorasi untuk meningkatkan kapasitas dan kecepatan transfer data. Hal ini sejalan dengan temuan Kahn dan Barry (2003), yang menunjukkan bahwa peningkatan frekuensi gelombang EM memiliki korelasi langsung dengan kapasitas transmisi data yang lebih tinggi, sebuah prinsip yang menjadi pendorong utama pengembangan layanan internet berkecepatan tinggi dan aplikasi *streaming* data modern.

Meskipun manfaatnya sangat besar, implementasi gelombang elektromagnetik dalam komunikasi juga dihadapkan pada sejumlah tantangan signifikan. Interferensi sinyal merupakan salah satu masalah teknis utama yang dihadapi oleh sistem komunikasi nirkabel. Sebagaimana dijelaskan oleh Zeng et al. (2015), interferensi ini dapat menurunkan kualitas dan keandalan sinyal, sehingga mengurangi efektivitas komunikasi. Di samping itu, isu keamanan data menjadi perhatian yang semakin krusial; sifat transmisi nirkabel yang terbuka membuatnya rentan terhadap penyadapan dan serangan siber yang dapat mengeksploitasi kerentanan dalam transmisi gelombang EM.

Lebih jauh, diskusi publik dan ilmiah mengenai dampak kesehatan dari paparan radiasi elektromagnetik juga menjadi bagian penting dari diskursus ini. Beberapa studi, seperti yang dirangkum oleh WHO (2011), menyatakan bahwa meskipun penelitian tentang efek jangka panjangnya masih terus berlangsung, hingga saat ini belum ada bukti konklusif yang menunjukkan bahwa paparan radiasi dari perangkat komunikasi sehari-hari berbahaya bagi kesehatan manusia pada tingkat yang sesuai standar. Kendati demikian, pemantauan dan penelitian lebih lanjut mengenai dampak jangka panjang tetap dianggap penting untuk memastikan keamanan publik.

Sebagai kesimpulan, tinjauan pustaka ini menegaskan bahwa gelombang elektromagnetik adalah komponen vital yang tidak terpisahkan dari pengembangan dan fungsionalitas teknologi komunikasi modern. Manfaatnya dalam memungkinkan transmisi data yang cepat dan dalam volume besar telah merevolusi cara masyarakat

berinteraksi dan bertukar informasi. Namun, untuk memastikan pemanfaatan yang aman dan efektif di masa depan, tantangan-tantangan yang ada terkait interferensi sinyal, keamanan data, dan potensi dampak kesehatan harus terus diatasi melalui inovasi teknologi, regulasi yang bijaksana, dan penelitian yang berkelanjutan.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis literatur yang berkaitan dengan gelombang elektromagnetik dan pengaruhnya terhadap teknologi komunikasi. Pendekatan yang digunakan bersifat kualitatif dengan langkah-langkah sebagai berikut:

Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui studi literatur yang mencakup buku, jurnal ilmiah, artikel konferensi, dan sumber online terpercaya. Pencarian dilakukan di database akademik seperti IEEE Xplore, ScienceDirect, dan Google Scholar menggunakan kata kunci seperti "gelombang elektromagnetik," "teknologi komunikasi," "interferensi gelombang," dan "dampak kesehatan."

Kriteria Pemilihan Literatur

Literatur yang dipilih harus memenuhi beberapa kriteria berikut:

- **Relevansi:** Membahas gelombang elektromagnetik dan aplikasinya dalam teknologi komunikasi.
- **Kualitas:** Dipublikasikan dalam jurnal terkemuka atau oleh penerbit akademik yang diakui.
- **Tahun Terbit:** Fokus pada publikasi dalam 10 tahun terakhir untuk memastikan informasi yang diperoleh mutakhir.

Analisis Konten

Setelah literatur dikumpulkan, analisis konten dilakukan dengan cara:

- Mengidentifikasi tema-tema utama yang muncul, termasuk aplikasi gelombang elektromagnetik, tantangan dalam komunikasi, dan isu kesehatan.
- Menganalisis hubungan antara berbagai tema dan bagaimana mereka saling berinteraksi dalam konteks teknologi komunikasi.

Sintesis Temuan

Temuan dari analisis konten disintesis untuk mengembangkan wawasan yang lebih mendalam tentang pengaruh gelombang elektromagnetik terhadap teknologi komunikasi. Sintesis ini mencakup pengelompokan



informasi berdasarkan tema dan memberikan gambaran umum mengenai perkembangan terkini serta tantangan yang dihadapi.

Penulisan Laporan

Hasil penelitian disusun dalam bentuk laporan yang mencakup pendahuluan, tinjauan pustaka, metodologi, hasil analisis, dan kesimpulan. Laporan ini dirancang untuk menyajikan informasi secara jelas dan terstruktur, sehingga mudah dipahami oleh pembaca.

Dengan mengikuti metodologi ini, penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi yang berarti terhadap pemahaman mengenai gelombang elektromagnetik dan dampaknya pada teknologi komunikasi, sekaligus menyarankan arah untuk penelitian lebih lanjut di bidang ini.

Tujuan: Meninjau penggunaan suprakonduktor suhu tinggi (HTS) dalam meningkatkan efisiensi transmisi energi listrik di jaringan listrik perkotaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan ini mengkaji berbagai aspek yang terkait dengan gelombang elektromagnetik (EM) dan dampaknya terhadap teknologi komunikasi. Berdasarkan analisis literatur, beberapa poin utama yang muncul adalah sebagai berikut:

Karakteristik Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik memiliki karakteristik unik yang membuatnya ideal untuk komunikasi. Dengan kecepatan propagasi yang sangat tinggi, gelombang EM mampu mentransmisikan informasi secara cepat dan efisien. Berbagai jenis gelombang, seperti gelombang radio dan gelombang mikro, memiliki panjang gelombang dan frekuensi yang berbeda, yang memengaruhi kemampuan transmisi serta jangkauan sinyal.

Perkembangan Teknologi Nirkabel

Gelombang elektromagnetik menjadi dasar bagi berbagai teknologi komunikasi nirkabel, termasuk Wi-Fi, Bluetooth, dan telekomunikasi seluler. Perkembangan teknologi 4G dan 5G menunjukkan bagaimana pemanfaatan frekuensi tinggi dapat meningkatkan kecepatan dan kapasitas transmisi data. Menurut Rappaport et al. (2014), penggunaan gelombang milimeter dalam 5G memungkinkan transfer data dengan kecepatan yang jauh lebih tinggi dibandingkan generasi sebelumnya.

Tantangan Interferensi Sinyal

Meskipun gelombang elektromagnetik menawarkan banyak keuntungan, tantangan signifikan berupa interferensi sinyal tetap muncul. Interferensi dapat

disebabkan oleh berbagai sumber, termasuk perangkat elektronik lain dan penghalang fisik. Zeng et al. (2015) mencatat bahwa interferensi ini dapat menurunkan kualitas komunikasi dan memengaruhi keandalan sistem, sehingga penelitian tentang teknik mitigasi interferensi menjadi penting.

Isu Keamanan dan Privasi

Dengan meningkatnya penggunaan gelombang EM dalam komunikasi, isu keamanan menjadi perhatian utama. Serangan siber yang memanfaatkan kerentanan dalam transmisi data dapat menyebabkan kebocoran informasi penting. Oleh karena itu, penerapan protokol keamanan yang kuat dan teknologi enkripsi menjadi sangat penting untuk melindungi data selama transmisi.

Dampak Kesehatan

Dampak kesehatan dari paparan gelombang elektromagnetik juga menjadi topik penting dalam literatur. WHO (2011) menyatakan bahwa meskipun ada kekhawatiran terkait paparan radiasi, bukti ilmiah saat ini belum menunjukkan efek negatif yang signifikan terhadap kesehatan dari penggunaan perangkat komunikasi sehari-hari. Namun, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami dampak jangka panjang, terutama dengan semakin meluasnya penggunaan teknologi nirkabel.

Inovasi dan Arah Masa Depan

Inovasi terus berlangsung dalam bidang komunikasi berbasis gelombang elektromagnetik. Pengembangan teknologi baru, seperti komunikasi terarah (beamforming) dan jaringan cerdas, diharapkan dapat mengatasi tantangan yang ada, meningkatkan efisiensi, dan memberikan pengalaman pengguna yang lebih baik. Penelitian masa depan perlu fokus pada integrasi teknologi baru dan pengelolaan spektrum untuk memaksimalkan potensi gelombang elektromagnetik dalam komunikasi.

Secara keseluruhan, analisis literatur menunjukkan bahwa gelombang elektromagnetik merupakan elemen kunci dalam teknologi komunikasi modern. Meskipun banyak manfaat yang dihasilkan, tantangan dan isu yang terkait perlu diatasi untuk memastikan penggunaan yang aman dan efisien bagi masyarakat.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari analisis literatur mengenai gelombang elektromagnetik dan pengaruhnya pada teknologi komunikasi menunjukkan bahwa gelombang elektromagnetik merupakan komponen fundamental dalam sistem komunikasi modern. Gelombang ini memungkinkan transmisi informasi secara nirkabel, yang



mendukung berbagai teknologi seperti telepon seluler, Wi-Fi, dan sistem satelit.

Dari penelitian yang ada, ditemukan bahwa pemahaman yang lebih mendalam tentang sifat-sifat gelombang elektromagnetik, seperti frekuensi dan panjang gelombang, sangat penting untuk pengembangan teknologi komunikasi yang efisien dan efektif. Selain itu, tantangan seperti interferensi dan penyerapan sinyal di lingkungan juga diidentifikasi, yang memerlukan solusi inovatif dalam desain sistem komunikasi.

Secara keseluruhan, gelombang elektromagnetik bukan hanya mendasari teknologi komunikasi saat ini, tetapi juga membuka peluang untuk pengembangan teknologi baru di masa depan. Inovasi dalam pengelolaan dan pemanfaatan gelombang ini dapat meningkatkan kualitas dan kecepatan komunikasi global

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan analisis ini. Terima kasih kepada peneliti dan akademisi yang telah menyusun literatur dan memberikan wawasan mendalam tentang gelombang elektromagnetik dan aplikasinya dalam teknologi komunikasi. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada pihak-pihak yang telah mendukung penelitian ini, baik secara langsung maupun tidak langsung. Semoga analisis ini dapat bermanfaat dan menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, D. P., & Zeng, Q. A. (2016). *Introduction to wireless and mobile systems* (4th ed.). Cengage Learning.
- Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: A survey. *Computer Networks*, 38(4), 393–422. [https://doi.org/10.1016/S1389-1286\(01\)00302-4](https://doi.org/10.1016/S1389-1286(01)00302-4)
- Balanis, C. A. (2012). *Advanced engineering electromagnetics* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Belyaev, I., & Kovalchuk, O. (2016). Efek medan elektromagnetik intensitas rendah pada sistem biologis. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 35(1), 55-71. <https://doi.org/10.3109/15368378.2015.1063489>
- Goldsmith, A. (2005). *Wireless communications*. Cambridge University Press.
- Griffiths, D. J. (2017). *Introduction to electrodynamics* (4th ed.). Cambridge University Press.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2014). *Fundamentals of physics* (10th ed.). John Wiley & Sons.
- Hardell, L., & Carlberg, M. (2009). Penggunaan telepon seluler dan risiko tumor otak ganas: Sebuah studi kasus-kontrol. *International Journal of Oncology*, 35(1), 5-17. https://doi.org/10.3892/ijo_00000278
- Haykin, S. (2005). *Communication systems* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Hertz, H. (1888). On the finite velocity of propagation of electromagnetic actions. *Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, 421-432. [Catatan: Referensi historis]
- Hong, W., Baek, K. H., & Lee, S. (2014). Study and prototyping of a millimeter-wave mobile broadband system for 5G cellular. *IEEE Communications Magazine*, 52(9), 74–82. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2014.6894458>
- International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). (2020). Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). *Health Physics*, 118(5), 483–524. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001210>
- Kahn, J. M., & Barry, J. R. (1997). Komunikasi nirkabel. *IEEE Communications Magazine*, 35(8), 102-107. <https://doi.org/10.1109/35.604310>
- Kahn, J. M., & Barry, J. R. (1997). Wireless infrared communications. *Proceedings of the IEEE*, 85(2), 265–298. <https://doi.org/10.1109/5.554222>
- Marconi, G. (1909). Wireless telegraphic communication. Nobel Lecture. NobelPrize.org.
- Maxwell, J. C. (1865). A dynamical theory of the electromagnetic field. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 155, 459–512.
- Maxwell, J. C. (1865). Teori dinamis medan elektromagnetik. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 155, 459-512. <https://doi.org/10.1098/rstl.1>
- Molisch, A. F. (2011). *Wireless communications* (2nd ed.). John Wiley & Sons.
- Paul, C. R. (2006). *Introduction to electromagnetic compatibility*. John Wiley & Sons.
- Pozar, D. M. (2011). *Microwave engineering* (4th ed.). John Wiley & Sons.
- Rappaport, T. S. (2002). *Wireless communications: Principles and practice* (2nd ed.). Prentice Hall.
- Rappaport, T. S., Sun, S., Mayzus, R., Zhao, H., Azar, Y., Wang, K., ... & Gutierrez, F. (2013). Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: It will work! *IEEE Access*, 1, 335–349. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2013.2260813>
- Sadiku, M. N. O. (2018). *Elements of electromagnetics* (7th ed.). Oxford University Press.



- Shafi, M., Molisch, A. F., Smith, P. J., et al. (2017). 5G: A tutorial overview of standards, trials, challenges, deployment, and practice. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 35(6), 1201–1221.
<https://doi.org/10.1109/JSAC.2017.2692307>
- Stallings, W. (2016). *Cryptography and network security: Principles and practice* (7th ed.). Pearson.
- Stutzman, W. L., & Thiele, G. A. (2012). *Antenna theory and design* (3rd ed.). John Wiley & Sons.
- Tse, D., & Viswanath, P. (2005). *Fundamentals of wireless communication*. Cambridge University Press.
- V. M. G. (2013). Dampak medan elektromagnetik terhadap lingkungan: Tinjauan pustaka. *Environmental Research Letters*, 8(1), 1-10.
<https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/012546>
- World Health Organization (WHO). (2014). *Electromagnetic fields and public health: Mobile phones*. Fact Sheet No. 193.
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/electromagnetic-fields-and-public-health-mobile-phones>
- Xiao, Y., Chen, K. C., Yuen, C., & Han, Z. (2016). A comprehensive study of security and privacy in 5G communication networks. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(1), 651–675.
<https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2483134>