

Maximum Angle of Light Source for Mobility in Visible Light Communication

Sudut Maksimum Sumber Cahaya untuk Mobiliti bagi Komunikasi Cahaya Nampak

Arba'iah Inn¹, Rosilah Hassan^{1}, Dina Fitria Murad², Noraimi Safie³*

¹*Faculty of Information Science and Technology, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor*

²*Information Systems Department, Binus Online Learning, Bina Nusantara University, Jakarta, Indonesia.*

³*Faculty of Artificial Intelligence, University Teknologi Malaysia, 54100 Kuala Lumpur.*

**Corresponding author: rosilah@ukm.edu.my*

Received 31 July 2024

Accepted 1 October 2024, Available online 5 October 2024

ABSTRACT

The Internet of Everything (IoE) makes connectivity more relevant across all smart devices. This has caused the use of Radio Frequency (RF) spectrum resources to become increasingly saturated. To overcome this issue, new wireless communication technologies are proposed to meet the demand and improve system performance and overcome existing bandwidth limitations. For short-range and indoor communication, the use of light is one of the significant techniques in Visible Light Communication (VLC) system. Studies shows that Light Fidelity (LiFi) based on VLC using Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) modulation technique is one of the promising technologies based on optical wireless communication. Since the coverage area of LiFi is small depending on the Light Emitting Diode (LED), there will be a frequent movement between one access point (PA) to another PA. The research done is using the Path Loss Model to get the minimum power of the receiver using a mathematical model, MATLAB R2021a. Studies were also conducted to obtain the maximum coverage area for PA with reference to Signal to Noise Ratio (SNR), data rate, and spectral efficiency. The minimum power of the receiver, refers to the minimum value of two separate simulations, which are Line of Sight (LOS) signal, SNR=633.4 dB and Non-Line of Sight (NLOS) signal, SNR=-194.5 dB. Findings from the SNR (LOS) is used to obtain reliable reception and enable a soft handover process between two PAs. The results of this study proved that it is possible to build a controllable PA that can expand the coverage area.

Keywords: Visible Light Communication (VLC), Light-Fidelity (LiFi), LED, MATLAB

ABSTRAK

Internet Segala (IoE) menjadikan sambungan kesemua peranti ini menjadi lebih relevan bagi semua peranti pintar. Hal ini telah menyebabkan penggunaan sumber spektrum Frekuensi Radio (RF) menjadi semakin tepu. Untuk mengatasi masalah ini, teknologi komunikasi tanpa wayar baru dicadangkan bagi memenuhi permintaan dan meningkatkan prestasi sistem serta mengatasi batasan lebar jalur yang sedia ada. Untuk komunikasi jarak dekat dan dalaman, penggunaan cahaya adalah salah satu teknik penting dalam sistem Komunikasi Cahaya Nampak (VLC). Kajian yang dilakukan menunjukkan bahawa Kesetiaan Cahaya (LiFi) berdasarkan kepada VLC dengan teknik pemodulatan Pemultipleksan Bahagian Frekuensi Ortogon (OFDM) merupakan salah satu teknologi yang dapat menjanjikan masa depan berdasarkan kepada komunikasi tanpa wayar optik (OWC). Oleh kerana kawasan liputan LiFi adalah kecil bergantung kepada Diod Pemancar Cahaya (LED), maka akan berlaku kekerapan pergerakan di antara satu pusat akses (PA) ke PA yang lain. Kajian yang dilakukan adalah menggunakan model kehilangan laluan bagi mendapatkan kuasa minimum penerima menggunakan model matematik, MATLAB R2021a. Kajian juga dijalankan untuk mendapatkan kawasan liputan maksimum bagi sesuatu PA dengan merujuk kepada Nisbah Isyarat Hingar (SNR), kadar data, dan kecekapan spektrum. Kuasa minimum penerima, merujuk kepada nilai minimum bagi dua kajian berasingan, iaitu isyarat Garis Nampak (LOS), SNR=633.4 dB dan isyarat Bukan Garis Nampak (NLOS), SNR=-194.5 dB. Dapatan daripada nilai SNR (LOS) digunakan untuk mendapatkan kebolehharapan penerima bagi membolehkan proses serahan lembut di antara dua PA. Hasil daripada kajian ini terbukti dapat membina satu PA boleh kawal yang dapat meluaskan kawasan liputan.

Kata kunci: Komunikasi Cahaya Nampak (VLC), Kesetiaan Cahaya (LiFi), LED, MATLAB

PENGENALAN

Komunikasi tanpa wayar merupakan satu perkara asas yang amat penting pada masa kini yang dapat memudahkan kehidupan manusia untuk berhubung sesama manusia dan juga dengan peranti yang lain. Oleh kerana pertambahan jumlah pengguna komunikasi tanpa wayar semakin meningkat dari masa ke semasa, menyebabkan kelajuan rangkaian semakin berkurangan. Hal ini menjadikan isu kepadatan penggunaan spektrum frekuensi perlu diambil berat, terutamanya berkaitan kemuatan (*capacity*), kecekapan (*efficiency*), ketersediaan (*availability*), dan keselamatan (*security*). Bagi mengatasi masalah ini, maka satu teknologi rangkaian optik tanpa wayar (OWC) yang berasaskan cahaya telah ditemui yang dikenali sebagai Kesetiaan Cahaya atau *Light Fidelity* (LiFi). Teknologi LiFi telah diperkenalkan oleh Haas (Haas 2018; Haas et al 2016), dimana kadar penghantaran data boleh mencapai lebih daripada 10 Gbps. Teknologi LiFi ini adalah saling melengkapi dengan penggunaan Kesetiaan Tanpa Wayar atau *Wireless Fidelity* (WiFi).

Sistem Komunikasi Cahaya Nampak (VLC) dapat membantu menyelesaikan pertambahan peranti di dalam sesuatu kawasan apabila penggunaan WiFi terlalu padat terutama di dalam

ruang dalaman (Burchardt et al. 2014; Vegni & Biagi 2019). Oleh kerana pancaran cahaya dari Diod Pemancar Cahaya (LED) mempunyai keluasan kawasan liputan yang kecil, maka kajian ini dilakukan untuk mendapatkan had maksimum kawasan pancaran satu LED dengan mengambil kira isyarat Garis Nampak (LOS) dan Bukan Garis Nampak (NLOS). Ianya adalah untuk mendapatkan anggaran berapakah jumlah pusat akses (PA) yang diperlukan di dalam satu ruang dalaman bagi memastikan komunikasi dalaman dapat dikekalkan tanpa ada sebarang kejatuhan isyarat.

Kehilangan laluan ataupun pengecilan laluan adalah pengurangan kuasa di dalam laluan pancaran isyarat di ruang kosong. Ia adalah penting di dalam merangka dan menganalisis satu sistem telekomunikasi. Kehilangan laluan ini biasanya digunakan dalam komunikasi tanpa wayar dan juga dalam perambatan isyarat. Kehilangan laluan mungkin disebabkan oleh kesan seperti pembiasan, pantulan, penyerapan, dan kehilangan ruang bebas.

Seterusnya, simulasi MATLAB (MATrix LABoratory) akan dijalankan berdasarkan kepada pemodelan sistem VLC mengikut fasa kajian bagi mendapatkan nilai kuasa minimum dan mendapatkan nilai Nisbah Isyarat Hingar (SNR) yang diperlukan dalam keadaan mobiliti di antara dua PA bagi memastikan tidak ada kejatuhan isyarat semasa pergerakan penerima di antara dua kawasan liputan PA yang berbeza. Nilai SNR ini akan digunakan sebagai nilai ambang ketika berlaku pergerakan penerima dari satu pusat akses ke pusat akses yang lain.

Justeru, kajian ini menetapkan tiga objektif iaitu:

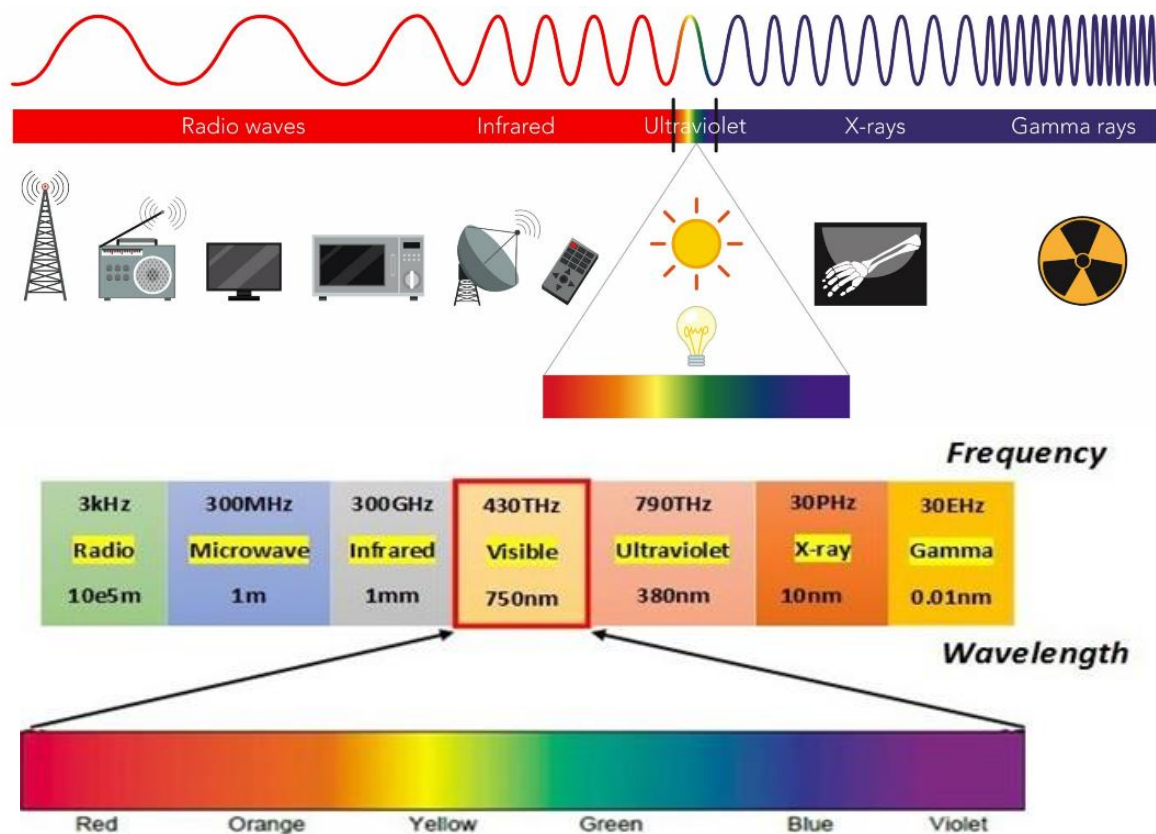
1. Untuk membina model kehilangan laluan bagi analisis proses penghantaran data yang digunakan di dalam VLC dengan mengambil kira isyarat LOS dan NLOS.
2. Untuk mengkaji dan mendapatkan had sudut maksimum kawasan liputan dengan penggunaan pusat akses LiFi yang mempunyai kawasan liputan yang kecil berbanding WiFi.
3. Untuk mendapatkan nilai SNR supaya boleh digunakan bagi proses serahan di dalam mobiliti.

KAJIAN LITERATUR

Bahagian ini akan membincangkan secara terperinci tentang komunikasi cahaya nampak, senibina kesetiaan cahaya, perisian simulasi MATLAB, dan perbandingan diantara LiFi dan teknologi wayar dan tanpa wayar.

1. Komunikasi Cahaya Nampak

Komunikasi Cahaya Nampak (VLC) adalah teknologi penghantaran yang menggunakan cahaya pada spektrum cahaya yang boleh dilihat. Rajah 1 menunjukkan jalur spektrum berada di dalam julat lingkungan 380 nm hingga 750 nm dengan julat frekuensi dari 430 THz ke 790 THz yang menggunakan teknologi penghantaran optik. Berdasarkan rajah spektrum cahaya, boleh dirumuskan bahawa penghantaran komunikasi melalui kelajuan cahaya dapat dihantar dengan lebih pantas berbanding dengan gelombang radio.



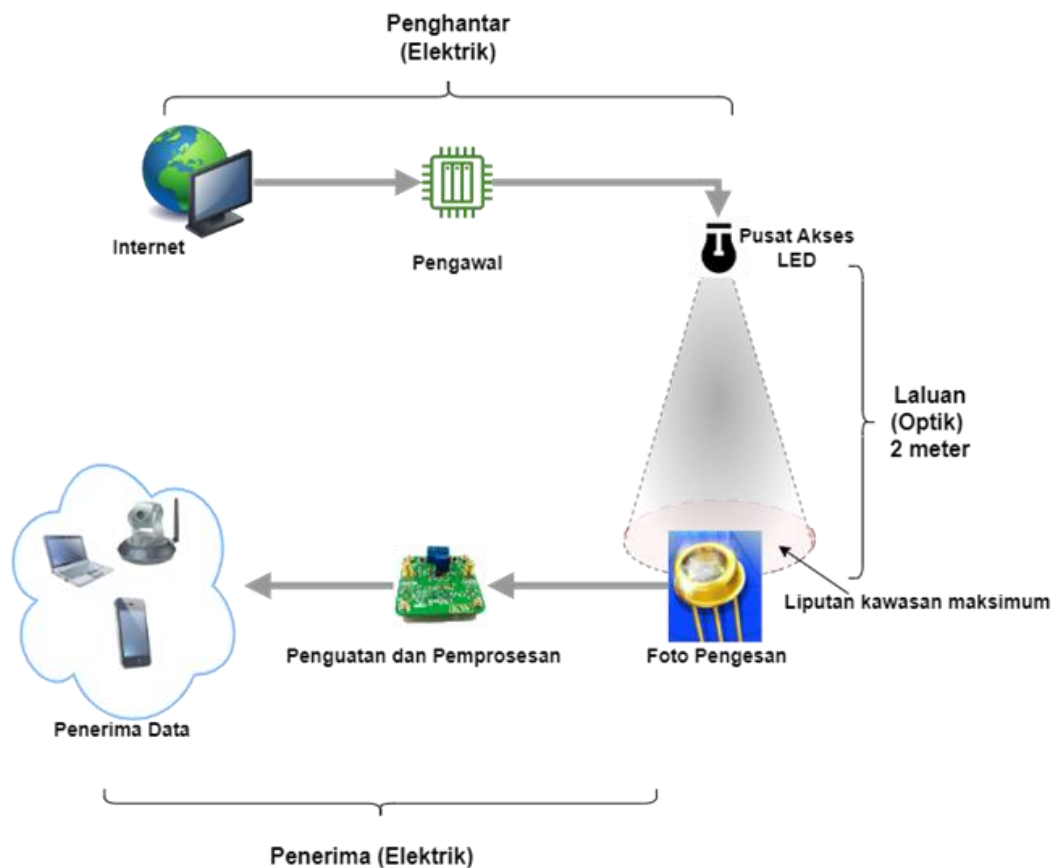
RAJAH 1. Spektrum cahaya.

VLC ialah teknologi optik tanpa wayar (OWC) baharu yang bertujuan untuk memenuhi keperluan yang sentiasa berkembang untuk sistem komunikasi setempat melalui spektrum radio. Ia mempunyai tenaga yang cekap kerana tidak memerlukan sumber tenaga tambahan untuk memindahkan data, kerana sumber cahaya yang sama digunakan untuk kedua-dua pencahayaan dan penghantaran data (Chun et al., 2016). Pengarang Abdallah et al. (2020) mengkaji reka bentuk rangkaian *backhaul* optik dengan penghantaran berkelajuan tinggi VLC menggunakan OFDM (*Orthogonal frequency-division multiplexing*). Pengarang Shi et al. (2019) juga menggunakan teknik OFDM untuk meningkatkan prestasi *Asynchronous Multi-Cell* dalam sistem VLC. Seterusnya, pengarang Li et al. (2015) turut mendedahkan kepekaan yang tinggi dengan menggunakan diod avalanche foton tunggal dengan penggunaan OFDM atau penghantaran data berkelajuan tinggi.

2. Senibina Sistem Kesetiaan Cahaya

Rajah 2 menunjukkan senibina sistem LiFi yang menggunakan cahaya sebagai medium penghantaran data. Isyarat elektrik pada bahagian penghantar akan ditukarkan kepada keamatan cahaya melalui Diod Pemancar Cahaya (LED). Penghantaran isyarat dari LED ke pengesan foto adalah isyarat penghantaran optik. Pada bahagian penerima, cahaya akan dikesan oleh pengesan foto seterusnya melalui proses penguatan isyarat dan juga pemodulatan. Pusat akses (PA) adalah merujuk kepada penggunaan LED secara boleh kawal, dimana ia akan

memberikan satu kawasan had liputan sudut maksimum pencahayaan daripada LED. Kawasan liputan adalah merujuk kepada had pergerakan sudut maksimum LED boleh kawal di antara kedudukan sudut 0° ke 90° ke kiri dan kanan pergerakan pusat akses tersebut yang dapat memberikan pencahayaan pada foto pengesan sebagai penerima. Ia bergantung juga kepada ketinggian kedudukan pusat akses yang akan memberikan keamatan pencahayaan yang berbeza. Pengawal pula adalah peranti yang digunakan untuk menyambungkan rangkaian LiFi kepada Internet.



RAJAH 2. Senibina sistem LiFi asas bagi penghantaran data sehalu dari pengawal kepada penerima

Bagi perkembangan teknologi masa depan, LiFi adalah alternatif yang cekap kepada sistem tanpa wayar yang berasaskan radio, dimana setiap lampu boleh digunakan sebagai bintik panas (*hotspot*) menggantikan WiFi. Ini boleh menyelesaikan masalah kekurangan lebar jalur frekuensi radio.

3. Perbandingan Antara LiFi dan Teknologi Lain

Jadual 1 menunjukkan perbandingan bagi kadar kelajuan penghantaran data bagi teknologi tanpa wayar, dimana LiFi mempunyai kadar data yang lebih tinggi, iaitu lebih daripada 1 GHz berbanding dengan Bluetooth, Inframerah, dan WiFi. Kajian juga telah dilakukan dari segi penerimaan, keselamatan, kos, dan lebar jalur bagi teknologi wayar dan tanpa wayar seperti dalam Jadual 2.

JADUAL 1. Perbandingan kadar penghantaran data

Teknologi	Kelajuan
Bluetooth	3 Mbps
Infrared	4 Mbps
WiFi	150 Mbps
LiFi	>1 Gbps

Jadual 2 menunjukkan perbandingan prestasi bagi tiga teknologi yang berbeza, dimana LiFi mempunyai kelebihan dari segi keselamatan dan juga lebar jalur. Beberapa kajian dan tinjauan awal juga membuat perbandingan teknologi tanpa wayar LiFi yang menjamin masa depan bagi menampung kesesakan lebar jalur disebabkan pertambahan peranti bagi memenuhi keperluan dan kehendak pengguna digital (Haas 2018; Perwej 2017; Vajpayee, Khandelwal & Ratawa 2015).

JADUAL 2. Perbandingan prestasi untuk teknologi yang berbeza

Teknologi	Sambungan	Pencapaian	Keselamatan	Kos	Lebar jalur
WiFi	Medan elektromagnet	Sangat Baik	Baik	Tinggi	Terhad
Kabel	Wayar	Baik	Sangat baik	Tinggi	Terhad
LiFi	Cahaya	Sangat Baik	Sangat baik	Rendah	Tidak terhad

Jadual 3 menunjukkan kajian berkaitan kadar penghantaran data dan penggunaan LED di dalam sistem LiFi. Kajian bagi kecekapan serahan dalam sistem hibrid LiFi/WiFi telah dijalankan oleh Haas et al. (2020). Penggunaan diod yang berlainan warna iaitu merah, biru, dan kuning dengan teknik OFDM telah dikaji oleh Bian, Tavakkolnia & Haas (2019) dari segi kadar penghantaran data yang boleh mencapai 15.73 Gb/s. Seterusnya, kajian serahan yang mengambil kira pergerakan dan putaran telefon bergerak telah dikaji oleh Soltani et al. (2017), manakala Wu & Haas (2019) pula mengkaji proses serahan menggunakan skema “*handover skipping*”.

JADUAL 3. Kajian yang telah dijalankan

Penulis, Tahun	Kaedah Kajian	Kekuatan	Kelemahan
Haas et al. 2020	Menggunakan diod pemancar cahaya putih untuk sistem hibrid LiFi/WiFi, meja uji menggunakan teknik SDN, dan menguji peningkatan kecekapan untuk kawasan serahan dengan teknik OFDM.	Peningkatan kecekapan dalam proses serahan untuk komunikasi dalaman di antara radio frekuensi dan LiFi.	Pengujian dilakukan hanya menggunakan satu jenis diod pemancar cahaya sahaja iaitu diod pemancar cahaya putih.
Bian et al. 2019	Menggunakan empat LED iaitu merah, biru, kuning dan	Kadar penghantaran data mencapai 15.73 Gb/s. Jarak	Pengujian hanya dibuat untuk mengkaji kadar penghantaran

	hijau di dalam satu rak dengan teknik OFDM.	di antara pusat akses ke penerima ialah 1.6 m	data dan tidak mengambil kira situasi mobiliti penerima.
Islim et al. 2017	Menggunakan GaN violet micro-LED dalam sistem pemodulatan OFDM.	Kadar penghantaran data mencapai 11.95 Gb/s menggunakan violet micro-LED. Jarak di antara pusat akses ke penerima ialah 16 cm	Pengujian hanya dibuat untuk mengkaji kadar penghantran data dan tidak mengambil kira situasi mobiliti penerima.
Alshaer et al. 2018	Memperkenalkan skema pemotongan sumber autonomi dan di analisa menggunakan OMNet++.	Memperkenalkan pengurusan autonomi dan konfigurasi pusat akses dalam rangkaian LiFi dengan pembekal perkhidmaan yang berlainan.	Pengujian hanya dibuat untuk mengkaji kadar penghantran data dan tidak mengambil kira situasi mobiliti penerima
Soltani et al. 2017	Mengkaji proses serahan pada pautan bawah iaitu daripada pusat akses ke penerima.	Mengkaji proses serahan daripada pusat akses ke penerima dengan mengambil kira pergerakan dan putaran telefon bergerak.	Pengujian hanya dibuat pada proses serahan ketika pautan bawah sahaja.
Wu, & Haas 2019	Mengkaji “handover skipping” di antara dua pusat akses	Menggunakan skema “handover skipping” berdasarkan “Reference Signal Received Power” (RSRP) bagi menentukan sasaran serahan.	Pengujian hanya dibuat menggunakan pusat akses yang statik

4. Perisian Simulasi MATLAB

MATLAB adalah singkatan daripada MATrix LABoratory yang telah diperkenalkan oleh Cleve Moler pada tahun 1960. Ia adalah bahasa pengaturcaraan berbilang paradigma tinggi dan persekitaran pengkomputeran berangka yang dikembangkan oleh MathWorks. Dalam rangkaian mudah alih moden, simulasi berasaskan MATLAB boleh menganalisis peristiwa yang tidak diinginkan seperti kegagalan berbilang pautan, kerumitan nisbah isyarat-ke-bunyi, analisis kecekapan, dan kekuatan saluran.

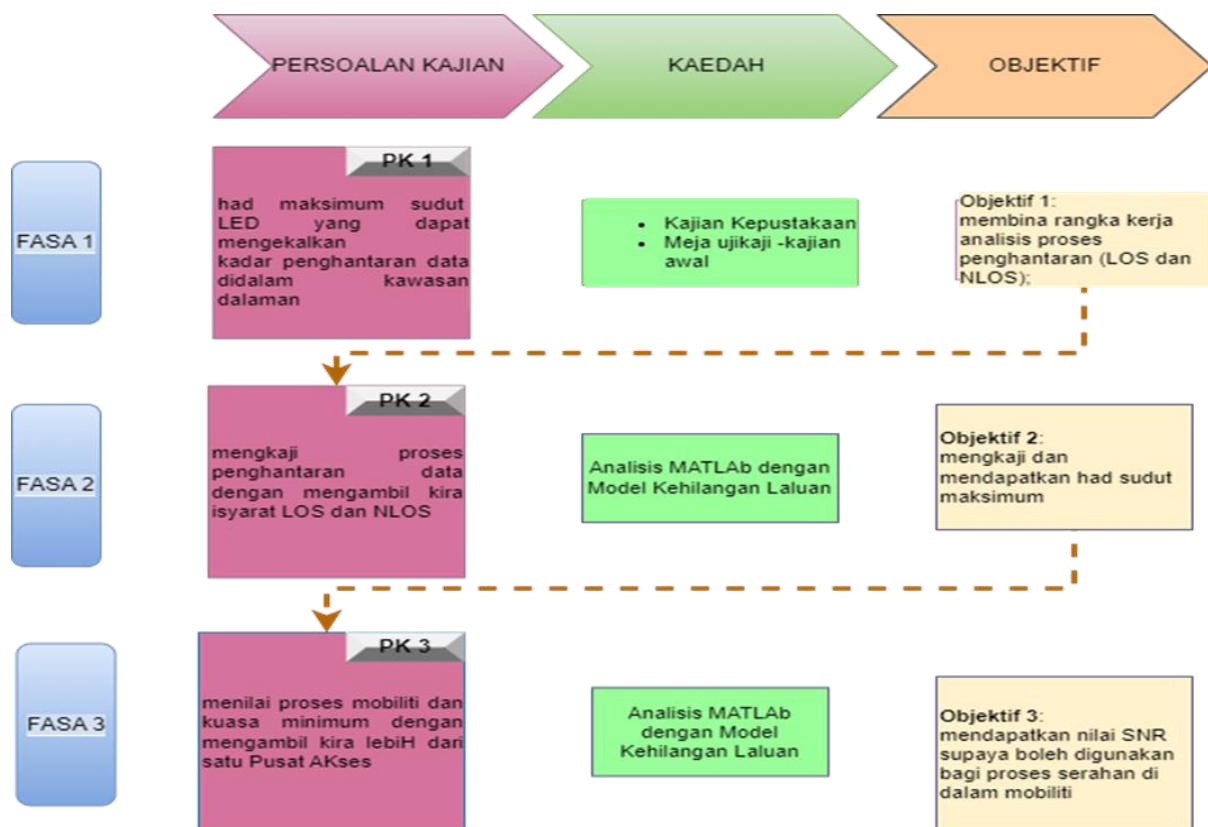
MATLAB juga menyediakan alat pembangunan berguna yang meningkatkan penyelenggaraan dan prestasi kod serta menyepadukan dengan bahasa pengaturcaraan lain seperti C/C++, NET, atau Java. Ia juga membantu untuk melaksanakan pengiraan matematik, reka bentuk, analisis dan pengoptimuman (struktur dan matematik), serta memberikan kelajuan dan ketepatan kepada keputusan.

Simulasi MATLAB juga digunakan secara meluas untuk penghantaran isyarat dan analisis penerimaan serta penggunaan sensor di dalam senario masa nyata, terutama dalam penggunaan

peranti pintar dalam teknologi Internet Benda (IoT) dan Internet Segala (IoE) (Shammar & Zahary 2020) dalam rangkaian Generasi Kelima (5G) dan Generasi Keenam (6G). Ciri penting bagi MATLAB adalah ia mempunyai kemudahan keupayaan pengaturcaraan dan platform untuk pengguna membangunkan sesuatu fungsi dan senario berdasarkan kajian yang dilakukan. Para penyelidik banyak menggunakan simulasi MATLAB berdasarkan kepada keupayaan simulasi ini yang mempunyai banyak *tools* yang dapat membantu dalam pelbagai bidang ilmu. Justeru, kajian ini memilih MATLAB sebagai perisian simulasi.

METODOLOGI KAJIAN

Kajian ini terdiri daripada tiga fasa, dimana setiap fasa mempunyai peringkat daripada persoalan kajian, kaedah, dan objektif kajian, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3.



RAJAH 3. Metodologi kajian

Fasa pertama adalah untuk mencapai objektif kajian yang pertama, iaitu bagi membina rangka kerja analisis proses penghantaran dengan mengambil kira isyarat LOS dan NLOS dari pemancar. Fasa kajian teori melibatkan kajian tentang perkembangan teknologi semasa yang berkaitan dengan pelbagai teknologi komunikasi yang akan dapat mengekalkan penghantaran data yang tinggi dengan menggunakan LiFi. Beberapa kajian (Albraheem et al. 2018; Haas et al. 2020) telah mencadangkan penggunaan teknologi WiFi sebagai platform pautan atas dari pengguna ke pusat akses dan kemudian menggunakan LiFi dari pusat akses ke pengguna sebagai komunikasi hiliran (*downstream*) yang biasanya memerlukan lebar jalur yang besar.

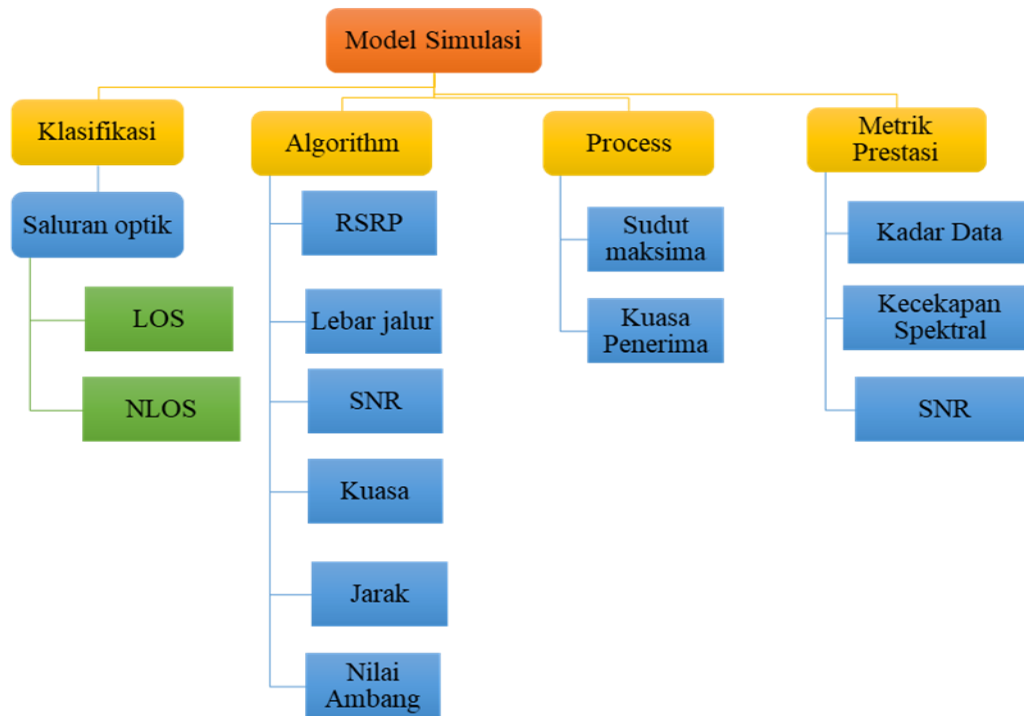
Disamping itu, komunikasi dalaman ini juga akan menyambung kepada rangkaian 5G untuk memanfaatkan kelajuan tinggi dan latensi rendah rangkaian 5G dengan menggunakan rangkaian tulang belakang gentian optik yang telah dicadangkan oleh Abdallah et al. (2020).

Fasa kedua adalah untuk mengkaji proses penghantaran data dengan mengambil kira isyarat satu LOS dan NLOS untuk mendapatkan had sudut maksimum bagi satu pusat akses. Analisis dijalankan bagi mendapatkan nilai kuasa di penerima, kadar penghantaran data, nilai kecekapan spektrum, dan Nisbah Isyarat Hingar (SNR). Seterusnya, hasil dari kajian fasa kedua pada had sudut maksimum dan juga nilai SNR yang didapati, digunakan untuk kajian fasa ketiga bagi mendapatkan nilai SNR supaya boleh digunakan bagi proses serahan di dalam mobiliti.

Fasa ketiga mengkaji mekanisme mobiliti LiFi dengan menggunakan pendekatan antenna yang boleh dikendalikan di pusat akses dengan mencari kuasa minimum bagi membolehkan serahan lembut berlaku. Konsep LiFi adalah berdasarkan kepada keamanan cahaya yang meliputi sel kecil yang dikenali juga sebagai “attocel”. Ini bermakna apabila pengguna bergerak, serahan antara sel adalah terlalu kerap dan ia akan mengatasi mekanisme serahan di peringkat pengawal. Menggunakan antenna yang boleh dikendalikan, liputan kawasan boleh diperluaskan dan seterusnya akan mengurangkan serahan yang kerap pada pengawal. Kajian ini dijalankan bagi mendapatkan nilai ambang serahan maksimum untuk memicu serahan apabila pengguna bergerak. Algoritma ini akan dibangunkan dan disimulasikan menggunakan MATLAB. Nilai ambang didasarkan pada pencahayaan yang diukur menggunakan RSRP. Nilai RSRP yang diperhatikan oleh sekurang-kurangnya dua pusat akses akan menunjukkan arah pergerakan pengguna dan oleh itu sistem akan dapat meramalkan serahan seterusnya.

1. Model dan Parameter Simulasi

Rajah 4 menunjukkan model simulasi yang dijalankan dengan mengambil kira dua isyarat, iaitu LOS dan NLOS. Parameter yang digunakan di dalam sistem adalah nilai isyarat dari pemancar, lebar jalur LED yang digunakan, jarak di antara pusat akses dan penerima, dan nilai SNR yang akan menjadi pengukur kepada simulasi seterusnya. Proses pengukuran adalah dengan mengubah nilai sudut pemancar bagi mendapatkan nilai kuasa penerima pada setiap sudut dari 0° hingga 90° . Prestasi simulasi adalah diukur dengan mengkaji kada data, kecekapan spektral, dan nilai SNR.



RAJAH 4. Model simulasi

Jadual 4 adalah parameter tetap yang digunakan di dalam simulasi kajian yang dijalankan dengan ketinggian pusat akses adalah 2 meter, gandaan optikal pengesan foto 0.9 dengan pemalar pengesan 0.53 A/W, dan nilai pantulan bagi dinding kaca ialah 50%.

JADUAL 4. Parameter simulasi

Parameter	Nilai
Permukaan fizikal pengesan foto	0.016
Gandaan penumpu optikal	0.9
Pemalar pengesan ' <i>responsivity</i> '	0.53 A/W
Bandwidth <i>LED</i>	10 MHz
Gandaan penapis optikal	1
Ruang dalaman	2 meter
Pantulan kaca	0.5 (50%)

KEPUTUSAN KAJIAN MODEL KEHILANGAN LALUAN

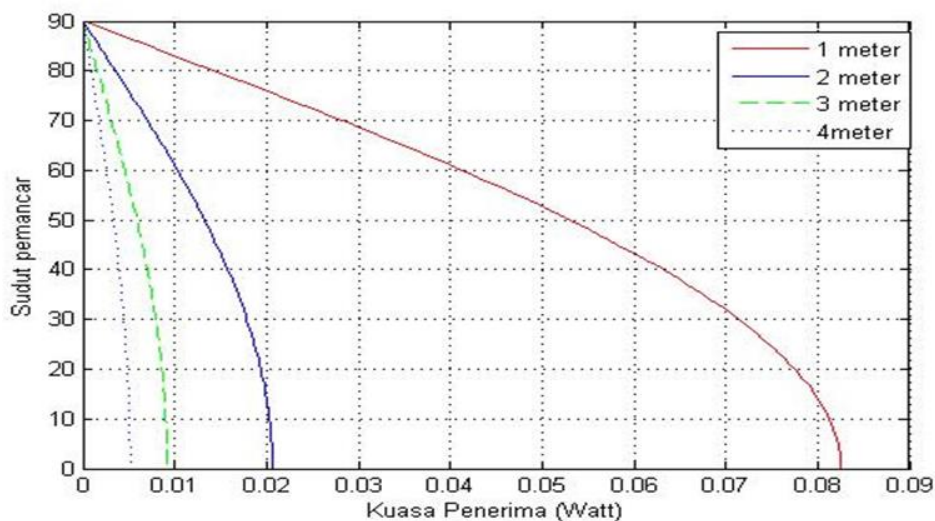
Untuk menambahbaik proses mobiliti di dalam sistem VLC, kajian menyeluruh telah dijalankan menggunakan teknik pembelajaran mendalam, seperti sistem VLC dan perbandingan diantara WiFi dan LiFi. Secara khusus, kajian ini telah dilakukan bagi mencadangkan dan melaksanakan model matematik bagi isu serahan ketika berlaku pergerakan

penerima dari satu pusat akses ke pusat akses yang lain di dalam sistem LiFi yang mempunyai kawasan liputan yang kecil.

Keputusan daripada hasil simulasi MATLAB diterangkan di bawah dengan mengambil kira ketinggian ruang dalaman adalah 2 meter dan persekitaraan adalah dalam vakum tanpa ada gangguan lain. Hasil kajian dari fasa pertama adalah membina rangka kerja bagi analisis proses penghantaran untuk isyarat LOS dan NLOS. Fasa kedua pula adalah untuk mendapatkan had maksimum pancaran sudut pemancar yang dapat mengekalkan proses komunikasi di antara pemancar dan penerima. Kuasa pada penerima pada ketinggian yang berbeza juga dijalankan bagi membuat perbandingan kejatuhan kuasa pada penerima berdasarkan ketinggian antara pemancar dan penerima. Daripada hasil kajian maka satu nilai SNR akan dijadikan sebagai nilai ambang bagi proses mobiliti.

1. Had Sudut Maksimum Dengan Satu Sumber PA

Rajah 5 menunjukkan jumlah kuasa penerima akan berkurangan apabila ketinggian jarak di antara PA berubah dari 1 meter ke 4 meter pada nilai kuasa minimum penerima 0.083 Watt kepada 0.0052 Watt. Pada isyarat satu garis nampak (LOS) sudut pemancar (ϕ) 0° , kuasa yang diterima adalah yang paling maksimum dengan kedudukan sudut pengesan foto adalah secara tegak dengan pusat PA. Apabila sudut pemancar berubah sebanyak 90° maka kuasa yang diterima adalah berkurangan.

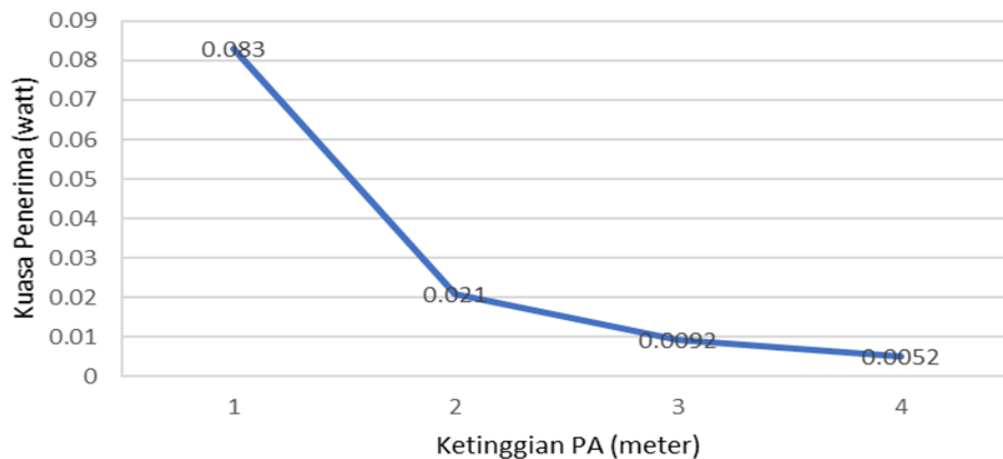


RAJAH 5. Kuasa penerima dengan jarak ketinggian berbeza

Jadual 5 adalah dapatan nilai simulasi bagi kedudukan jarak ketinggian yang berbeza dari 1 meter hingga 4 meter. Kekuatan isyarat akan berkurangan secara eksponen dengan jarak antara pemancar dan penerima. Nilai kuasa penerima akan semakin berkurangan apabila jarak PA lebih tinggi, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 6. Oleh itu, dalam simulasi kajian seterusnya, jarak pada ketinggian 2 meter adalah dipilih berdasarkan kepada standard ketinggian bilik secara umum di antara 2 meter hingga 3 meter.

JADUAL 5. Kuasa maksimum pada ketinggian yang berbeza

Ketinggian (meter)	Kuasa penerima maksimum (Watt)
1	0.083
2	0.021
3	0.0092
4	0.0052



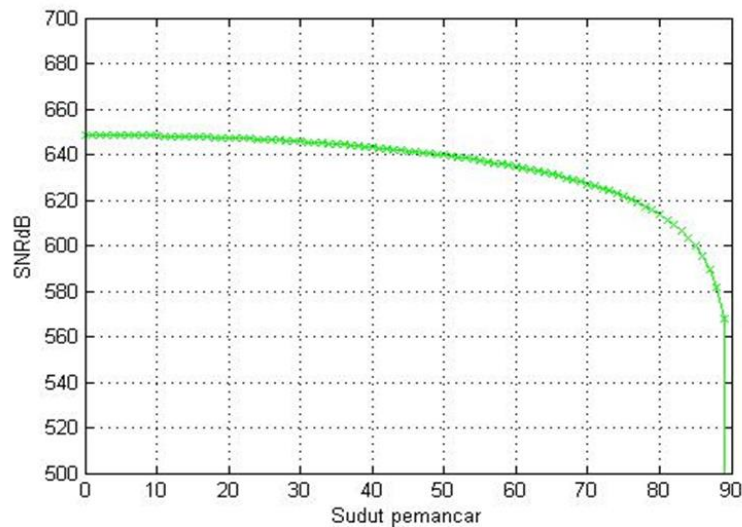
RAJAH 6. Kuasa penerima pada ketinggian PA berbeza

Jadual 6 menunjukkan semakin tinggi jarak antara pemancar dan penerima, peratus kehilangan kuasa pada penerima semakin meningkat dengan merujuk kepada kuasa penerima asal ialah pada jarak 1 meter.

JADUAL 6. Peratus kehilangan kuasa penerima

Ketinggian (meter)	Peratus penurunan kuasa (%)
2	74
3	88
4	93

Rajah 7 menunjukkan simulasi yang dijalankan bagi mendapatkan had sudut maksimum PA. Nilai SNR diperolehi dengan menetapkan nilai sudut tuju pada penerima dan sudut pada pemancar berubah dari 0° hingga 90°. Hasil daripada simulasi menunjukkan nilai SNR maksimum adalah ketika sudut pemancar menegak dengan penerima dan nilai SNR semakin berkurangan apabila sudut pemancar diubah dari 0° ke 90°. SNR adalah paling maksimum pada ketika sudut pemancar adalah 0°, iaitu bersudut tepat dengan penerima iaitu 642.2 dB. Rajah 7 juga menunjukkan nilai SNR semakin menurun pada dua sudut pemancar, iaitu 50° dan 80°. Oleh itu, bagi mendapatkan had sudut maksimum pemancar dan memastikan pencapaian data dapat dikekalkan, simulasi dilakukan sebanyak empat kali bagi mendapatkan had sudut maksimum bagi pencahayaan LED.



RAJAH 7. SNR pada sudut pemancar

Simulasi dilakukan sebanyak empat kali pada sudut pemancar yang berbeza bagi mendapatkan purata sudut jika SNR berubah. Jadual 7 menunjukkan pada ketika sudut tuju 30° dan 50°, di dapati peratus penurunan SNR adalah hampir sama berbanding dengan peratus penurunan SNR pada ketika sudut tuju 60° dan 70°.

JADUAL 7. Jadual perbandingan nilai SNR pada sudut tuju berbeza

Sudut Pemancar	SNR, sudut tuju =70	SNR, sudut tuju=60	SNR, sudut tuju =50	SNR, sudut tuju= 30
0	628.7	629.3	642.2	648.5
10	628.4	629.3	641.9	648.2
20	627.4	628	641.0	647.3
30	625.8	626.4	639.2	645.7
40	623.4	623.9	636.9	643.2
50	619.9	620.4	633.4	639.7
60	614.8	614.8	628.4	634.7
70	607.2	607.8	620.8	627.1
80	593.7	594.2	607.2	613.5
90	547.4	548.3	561.3	567.6

Berdasarkan keputusan dalam Jadual 7, had sudut maksimum pemancar adalah 50° bagi memastikan penghantaran data dapat dilakukan dalam kawasan pencahayaan LED. Jadual 8 menunjukkan peratus penurunan SNR adalah merujuk kepada nilai maksimum SNR pada ketika sudut pemancar ialah 0° dan menegak dengan penerima, iaitu 642.2 dB.

Hasil simulasi yang dijalankan pada nilai sudut tuju yang berbeza merujuk kepada Jadual 3, didapati sudut pemancar maksimum yang dicapai adalah ketika nilai sudut pemancar ialah 50°, dimana nilai SNR kurang dari 1.37% dipilih, iaitu pada sudut 50° dengan nilai SNR 633.4 dB.

JADUAL 8. Penurunan SNR pada sudut pemancar

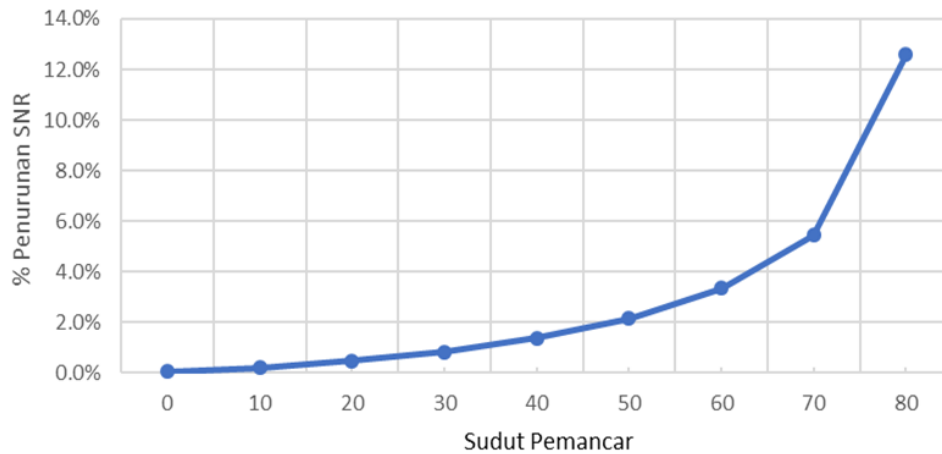
Sudut Pemancar	SNR (dB)	Peratus penurunan SNR (%)
0	642.2	0
10	641.9	0.05
20	641.0	0.19
30	639.2	0.47
40	636.9	0.83
50	633.4	1.37
60	628.4	2.15
70	620.8	3.33
80	607.2	5.45
90	561.3	12.6

Berdasarkan nilai SNR dengan sudut pemancar dalam Jadual 8, maka kekuatan isyarat pencahayaan LiFi dapat diringkaskan seperti dalam Jadual 9, dengan nilai SNR yang lebih besar daripada nilai ambang adalah mempunyai kekuatan isyarat yang sangat baik. Contohnya, untuk SNR yang cemerlang hendaklah lebih besar daripada 633dB, untuk sel tepi adalah 561dB, dan untuk kes lain, nilai SNR perlulah dari 561dB hingga 633dB. Nilai SNR yang cemerlang boleh digunakan sebagai nilai ambang apabila pengguna bergerak dari satu PA ke satu PA yang lain yang mempunyai ciri-ciri PA yang sama.

JADUAL 9. Kekuatan isyarat LiFi

Keadaan LiFi	SNR(dB)
Cemerlang	>633
Baik	620 hingga 633
Sel pertengahan	561 hingga 620
Sel tepi	561

Rajah 8 menunjukkan peratus penurunan nilai SNR adalah semakin meningkat apabila sudut pemancar berubah dari 0° hingga kepada 80°, iaitu daripada 0.05% hingga 12.6%. Pada sudut 0° adalah pada ketika PA berada dalam keadaan menegak dengan penerima dan pada ketika ini kuasa yang diterima adalah kuasa yang paling maksimum. Apabila sudut PA diubah, maka nilai kuasa pada penerima akan semakin berkurangan dan ia digambarkan dalam nilai nisbah isyarat hingar, SNR.



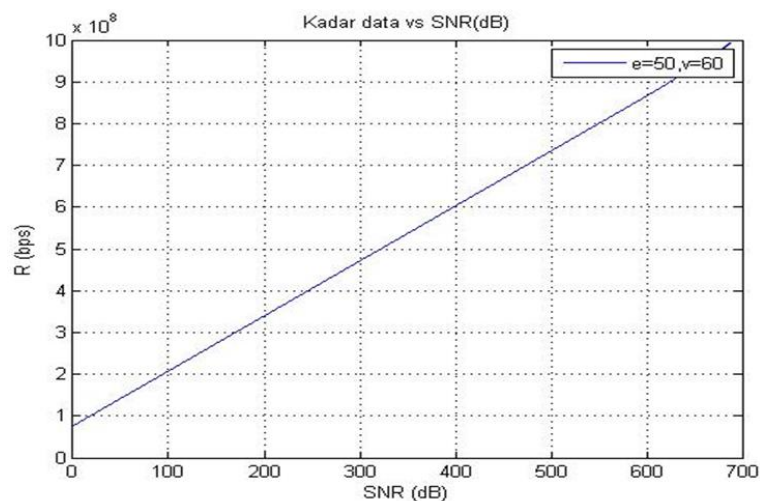
RAJAH 8. Penurunan SNR pada sudut pemancar

2. Hasil Simulasi Model Garis Nampak bagi Satu PA

Simulasi dijalankan dengan model tanpa gangguan iatu dengan hanya mengambil kira isyarat LOS pada sudut pemancar ke penerima 50° , iaitu had sudut maksimum yang telah di pilih.

Rajah 9 menunjukkan kadar penghantaran data adalah berkadar terus dengan SNR, iaitu meningkat daripada 10 dB sehingga 700 dB. Kadar data ini disimulasikan pada sudut pemancar maksimum, iaitu 50° dan pengiraan kadar data menggunakan persamaan (1).

$$R = B * \log_2(1 + SNR) \quad (1)$$



RAJAH 9. Kadar data pada sudut pemancar 50°

Jadual 10 menunjukkan kenaikan peratus perubahan kadar penghantaran data, iaitu 14% hingga 70% setiap kenaikan SNR sebanyak 100 dB. Peratusan perubahan kadar data ini juga ditunjukkan dalam Rajah 10 di mana semakin tinggi nilai SNR, peratus perubahan kepada kenaikan kadar data adalah semakin berkurangan.

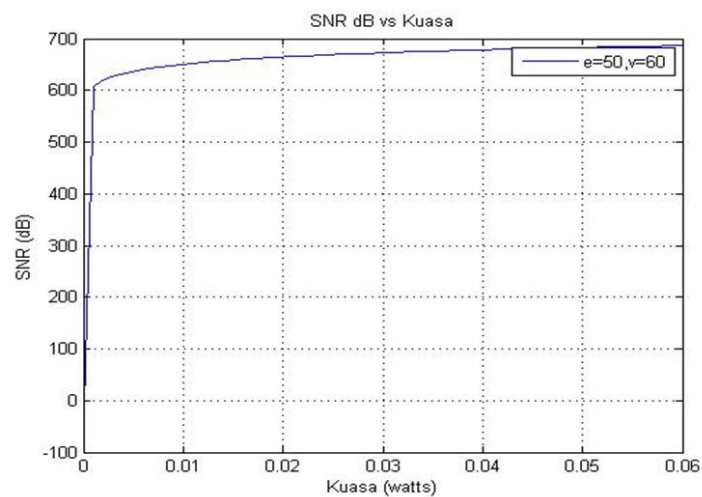
JADUAL 10. Jadual kadar data

Kadar data ($\times 10^8$) bps	SNR(dB)	Peratus perubahan kadar data (%)
2	100	0
3.4	200	70
4.8	300	41
6	400	25
7.4	500	23
8.8	600	19
10	700	14



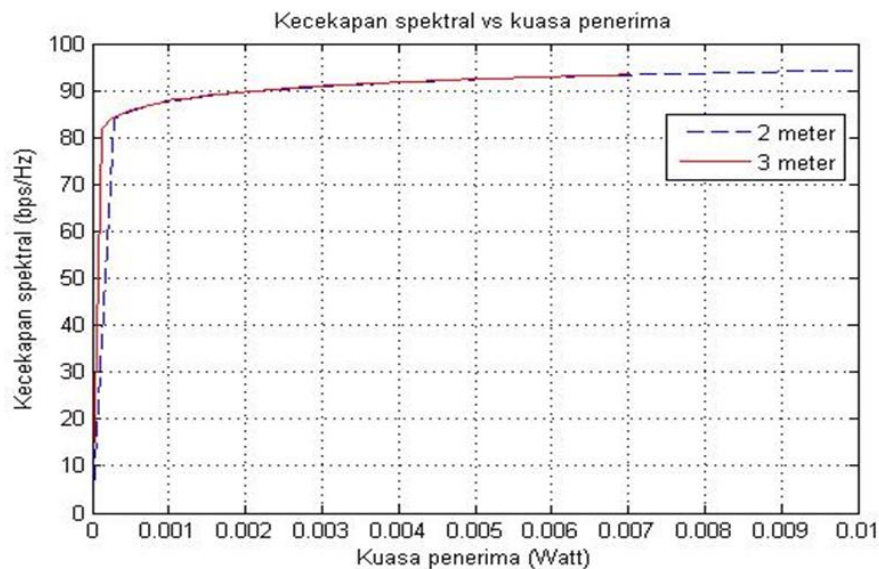
RAJAH 10. Kenaikan kadar data pada nilai SNR

Rajah 11 menunjukkan pada kawasan SNR yang rendah, kuasa pada penerima adalah rendah. Bermula pada kawasan SNR yang tinggi, iaitu pada nilai SNR 606 dB, dapat dilihat kuasa pada penerima dan kadar data juga semakin meningkat.



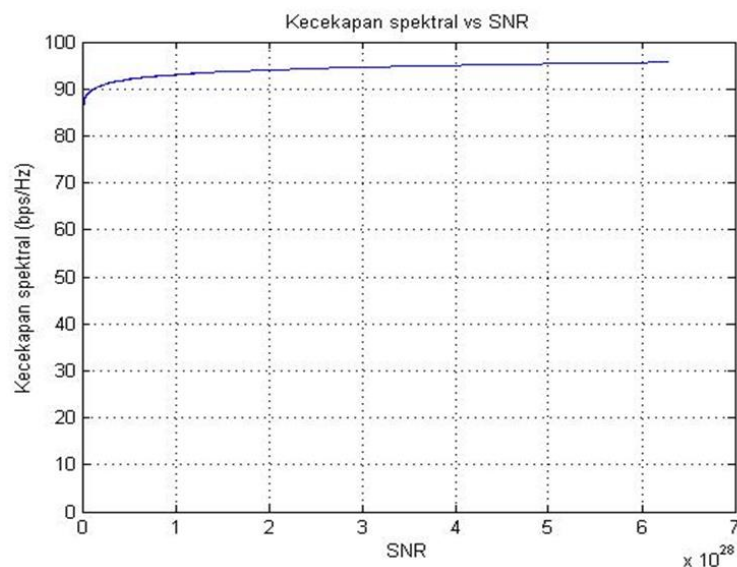
RAJAH 11. Penerimaan kuasa pada penerima

Rajah 12 menunjukkan perbandingan kecekapan spektrum pada dua ketinggian PA yang berbeza, iaitu pada 2 meter dan 3 meter pada kuasa di penerima. Kecekapan spektrum bagi dua ketinggian PA adalah sama pada nilai kuasa penerima sebanyak 0.0003 Watt. Walau bagaimanapun, pada ketinggian PA 2 meter, nilai kecekapan spektrum adalah tinggi berbanding pada ketinggian PA 3 meter.



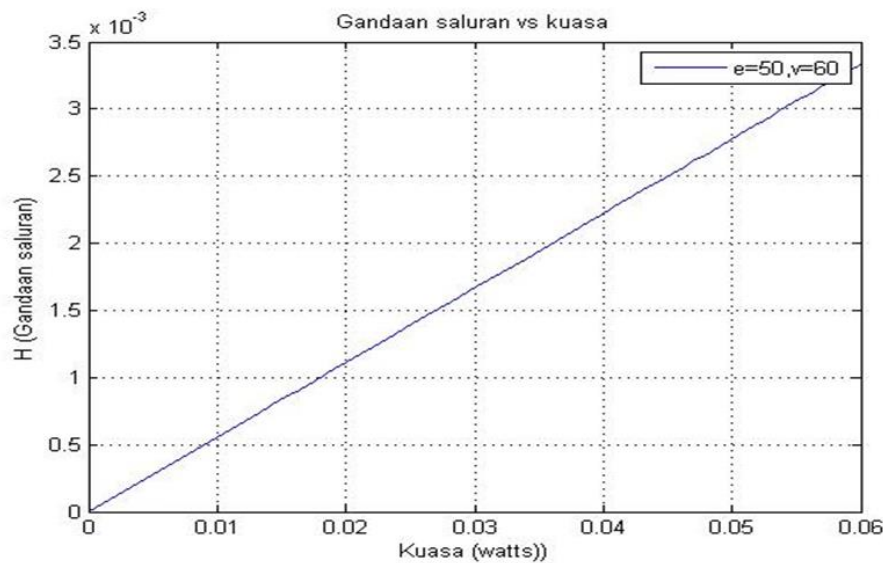
RAJAH 12. Kecekapan spektrum pada ketinggian PA berbeza

Rajah 13 menunjukkan kecekapan spektrum meningkat kepada 90 bps/Hz pada kawasan tinggi SNR apabila sudut pemancar berubah dari 0° hingga 50° ke penerima.



RAJAH 13. Kecekapan spektrum pada ketinggian PA 2 meter

Rajah 14 menunjukkan gandaan saluran bagi komunikasi optik adalah berkadar terus dengan kuasa pada penerima. Pada kuasa penerima 0.01Watt nilai gandaan bernilai 0.6×10^{-3} dan meningkat kepada 3.5×10^{-3} apabila kuasa pada penerima meningkat.

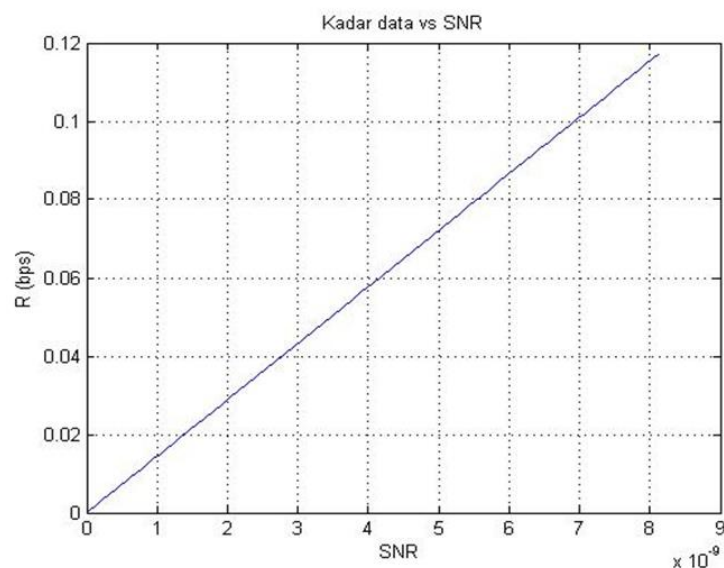


RAJAH 14. Gandaan saluran komunikasi

3. Hasil Simulasi Model Garis Nampak dan Bukan Garis Nampak Bagi Satu PA.

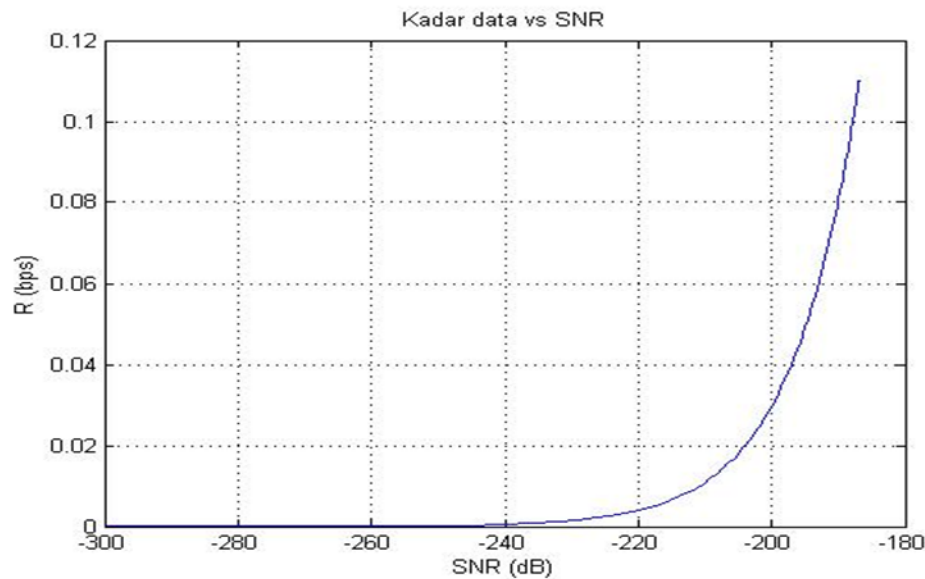
Simulasi dijalankan bagi model dengan gangguan, iaitu mengambil kira isyarat LOS dan NLOS. Dimana isyarat NLOS adalah disebabkan oleh pantulan daripada dinding kaca dengan indeks pantulan adalah 50%.

Bagi isyarat yang mengambil kira LOS dan NLOS, Rajah 15 menunjukkan kadar penghantaran data adalah berkadar terus dengan SNR. Walau bagaimanapun, nilai kadar data adalah berkurangan disebabkan oleh isyarat NLOS yang terhasil daripada isyarat pantulan dinding, iaitu kaca yang menyebabkan nisbah isyarat hingar juga akan kecil kerana kuasa pada penerima semakin berkurangan. Nilai indeks bagi pantulan kaca adalah sebanyak 50%.



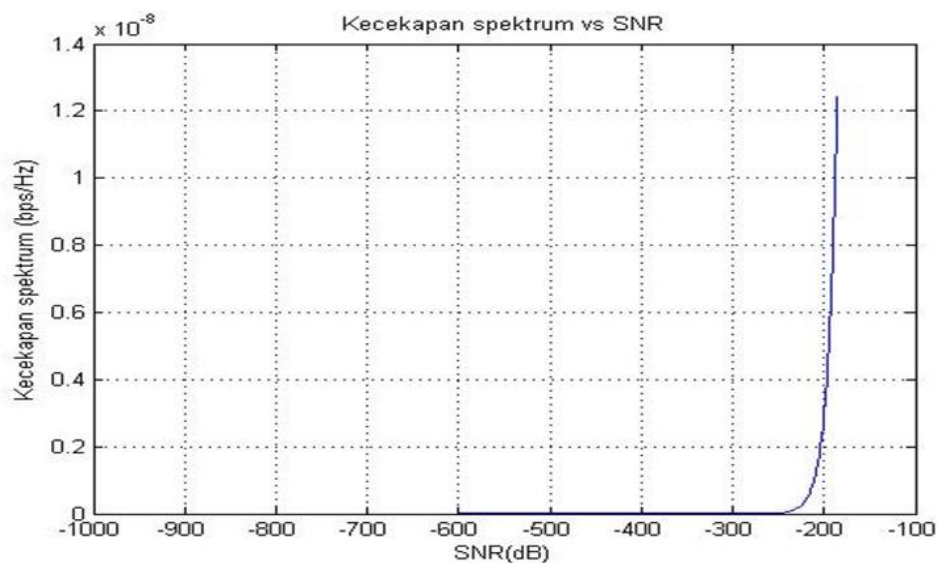
RAJAH 15. Kadar penghantaran data pada sudut pemancar 50°

Rajah 16 menunjukkan kadar penghantaran data yang diambil pada sudut pemancar 50° dengan nisbah isyarat hingar di dalam nilai dB. Oleh kerana kuasa yang diterima adalah daripada dua isyarat, iaitu LOS dan NLOS yang disebabkan oleh pantulan daripada dinding kaca, maka berlaku penurunan kuasa pada penerima. Kuasa pada penerima adalah kecil berbanding dengan nilai hingar yang ada secara rawak, dan ini memberikan nilai SNR pada nilai yang negatif. Nilai kadar data meningkat pada nilai SNR, -246 dB. Sedikit perubahan kenaikan pada kadar data pada ketika nilai SNR 192 dB disebabkan terdapat gabungan isyarat LOS dan NLOS pada penerima.



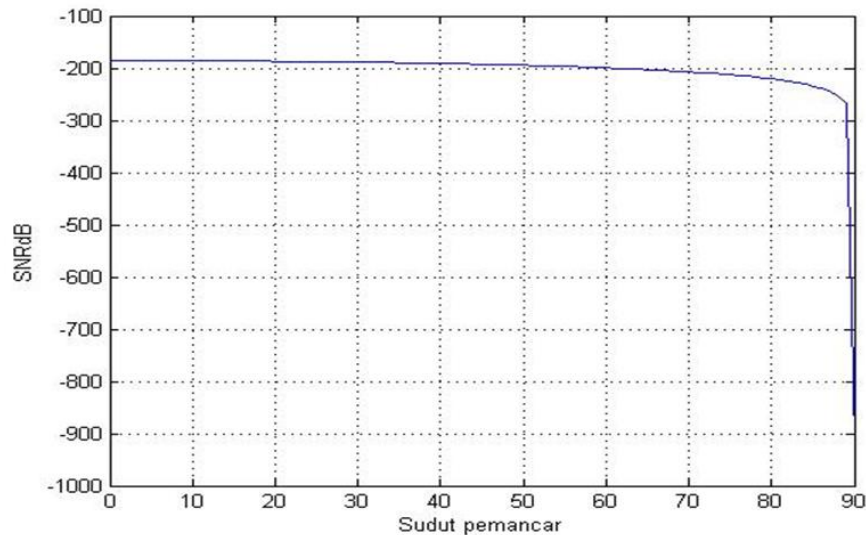
RAJAH 16. Kadar penghantaran data dan SNR (dB)

Rajah 17 menunjukkan kecekapan spektrum apabila mengambil kira isyarat LOS dan NLOS. Nilai kecekapan spektrum berkurangan disebabkan kuasa pada penerima yang berkurangan apabila terdapat isyarat NLOS pantulan daripada dinding.



RAJAH 17. Kecekapan spektrum pada sudut pemancar 50°

Rajah 18 menunjukkan nilai SNR yang diambil pada sudut pemancar di antara 0° hingga 90° . Hasil menunjukkan pada sudut 50° terdapat penurunan nilai SNR. SNR bernilai negatif adalah kerana kuasa pada penerima semakin berkurangan disebabkan gabungan isyarat LOS dan NLOS pada penerima.



RAJAH 18. SNR pada sudut pemancar

Hasil simulasi didapati pada pemancar bersudut 0° , iaitu bersudut tepat dengan penerima nilai SNR adalah -185.6 dB dan kekuatan isyarat semakin berkurangan apabila sudut pemancar mencapai 90° iaitu -266.6 dB. Pada sudut pemancar 50° nilai SNR ialah -194.5 dB.

Berdasarkan nilai SNR dengan sudut pemancar dalam Jadual 11, maka jadual kekuatan isyarat pencahayaan LiFi bagi gabungan isyarat LOS dan NLOS terhasil (Jadual 12). Kadar penghantaran data adalah cemerlang apabila nilai SNR lebih besar dari -194 dB.

JADUAL 11. SNR NLOS pada sudut pemancar 50°

Sudut Pemancar	SNR (dB)
0	-185.6
10	-185.9
20	-186.9
30	-188.5
40	-191
50	-194.5
60	-199.5
70	-207.1
80	-220.7
90	-266.6

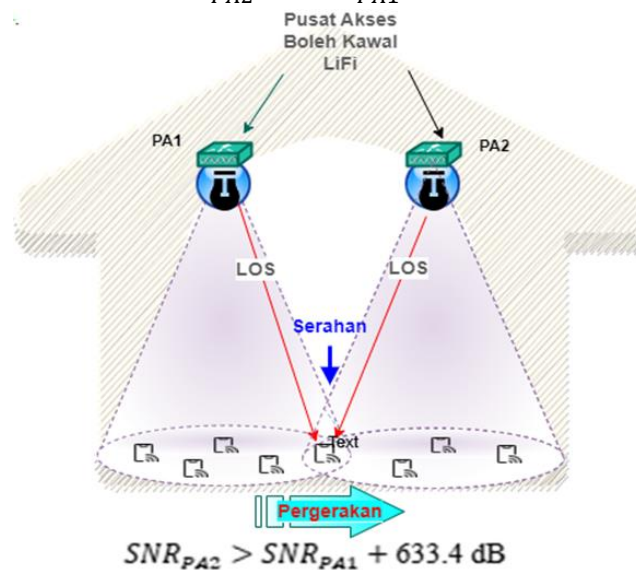
JADUAL 12. Kekuatan isyarat LiFi bagi LOS dan NLOS

Keadaan LiFi	SNR(dB)
Cemerlang	>-194
Baik	-207 hingga -194
Sel pertengahan	-266 hingga -270
Sel tepi	-266

4. Mobiliti Model Bagi Dua PA

Hasil simulasi daripada nilai sudut pemancar, satu nilai SNR purata telah dipilih bagi menjadikan nilai tersebut sebagai nilai ambang. Nilai SNR pada 633.4 dB adalah nilai yang dipilih, iaitu pada sudut 50° pemancar. Apabila penerima bergerak dari satu kawasan pusat akses 1 (PA1) ke kawasan pusat akses 2 (PA2) dengan ciri-ciri pusat akses yang sama (Rajah 19), maka bagi membolehkan serahan ke pusat akses baru dilakukan, pengawal akan membuat perbandingan nilai SNR di dalam ukuran dB seperti dalam persamaan (2). Proses mobiliti ini adalah merujuk kepada inter-sel yang mempunyai ciri-ciri pusat akses sama.

$$SNR_{PA2} > SNR_{PA1} + 633.4 \text{ dB} \quad (2)$$



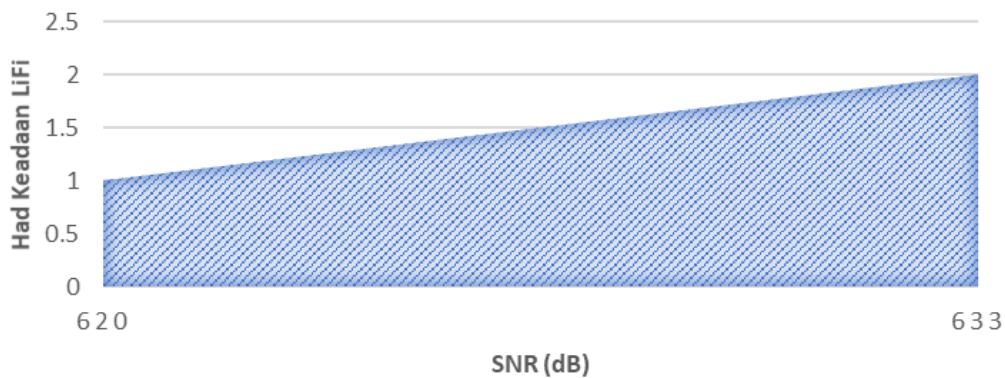
RAJAH 19. Mobiliti model

Jadual 13 menunjukkan apabila dua isyarat gabungan diambil kira, iaitu LOS dan NLOS, dapat dilihat nilai SNR adalah bernilai negatif disebabkan kehilangan kuasa pada saluran gandaan NLOS akibat pantulan, iaitu -194 dB. Oleh itu bagi mendapatkan nilai ambang, maka nilai SNR ketika LOS sahaja diambil kira.

JADUAL 13. Perbandingan nilai SNR bagi dua model

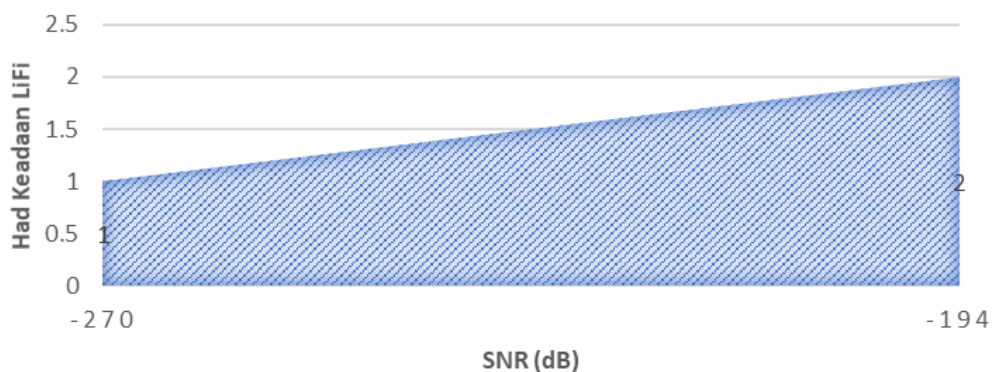
Keadaan LiFi	SNR(dB) LOS	SNR(dB) LOS dan NLOS
Cemerlang	>633	>-194
Baik	620 hingga 633	-207 hingga -194
Sel pertengahan	561 hingga 620	-266 hingga -270
Sel tepi	561	-266

Rajah 20 menunjukkan had kawasan penerimaan isyarat apabila mengambil kira isyarat LOS sahaja, apabila penerima bergerak di dalam kawasan pusat akses yang berlainan. Nilai SNR di antara 620 dB hingga 633 dB adalah julat kekuatan penerimaan isyarat apabila proses pergerakan berlaku.



RAJAH 20. Kawasan penerimaan isyarat LOS

Rajah 21 menunjukkan had kawasan penerimaan isyarat apabila mengambil kira dua isyarat, iaitu LOS dan NLOS akibat pantulan dari dinding apabila penerima bergerak di dalam kawasan pusat akses yang berlainan. Nilai SNR di antara -270 dB hingga -194 dB adalah julat kekuatan penerimaan isyarat apabila proses pergerakan berlaku.



RAJAH 21. Kawasan penerimaan isyarat NLOS

KESIMPULAN

Kesimpulannya, berdasarkan keputusan kajian, teknologi LiFi ini merupakan satu alternatif dalam mempertingkatkan kelajuan penghantaran data dan bukannya mempertingkatkan kelajuan jaringan Internet. Ini kerana kelajuan jaringan internet adalah ditentukan oleh syarikat-syarikat Telco ataupun *Internet Service Provider* (ISP). Tidak dinafikan juga gabungan sistem secara heterogenous iaitu LiFi dan Frekuensi Radio (RF) di dalam liputan dalaman juga dapat mempertingkatkan pencapaian data dalam kawasan yang padat dengan pengguna. LiFi adalah salah satu jalan penyelesaian bagi penghantaran tanpa wayar optik (OWC) yang dapat mempertingkatkan perhubungan dengan penggunaan LED yang mempunyai kebaikan untuk digunakan secara meluas, mempunyai kecekapan tenaga, dan kos yang efektif kerana penjimatan tenaga. Para penyelidik juga telah mula mengkaji sistem Generasi Keenam (6G) seiring dengan proses pengemaskinian 5G sebenar. Sistem pada masa kini dan masa hadapan yang beroperasi dalam jalur THz dan berasaskan kecerdasan buatan (AI) dan banyak penggunaan penderia akan digunakan secara global.

PENGHARGAAN

Kami ingin mengiktirafkan penghargaan kepada Kumpulan Penyelidik Teknologi Rangkaian dan Komunikasi (NCT) atas bantuan dan sokongan yang telah mereka berikan, Fakulti Teknologi dan Sains Maklumat (FTSM), UKM dan Geran KPT di bawah kod FRGS/1/2022/ICT11/UKM/02/1.

RUJUKAN

- Abdallah, W., Krichen, D. & Boudriga, N. 2020. An optical backhaul solution for LiFi-based access networks, *Optics Communications* 454, 124473.
- Albraheem, L. I., Alhudaithy, L. H., Aljaser, A. A., Aldhafian, M. R., & Bahliwah, G. M. 2018. Toward designing a Li-Fi-based hierarchical IoT architecture, *IEEE Access* 6: 40811-40825.
- Bian, R., Tavakkolnia, I. & Haas, H. 2019. 15.73 Gb/s Visible Light Communication With Off-the-Shelf LEDs, *Journal of Lightwave Technology* 37(10): 2418-2424.
- Burchardt, H., Serafimovski, N., Tsonev, D., Videv, S., & Haas, H. 2014. VLC: Beyond point-to-point communication, *IEEE Communications Magazine* 52(7): 98-105.
- Chun, H., Rajbhandari, S., Faulkner, G., Tsonev, D., Xie, E., McKendry, J. J. D., Gu, E., Dawson, M. D., O'Brien, D. C & Haas, H. 2016. LED based wavelength division multiplexed 10 Gb/s visible light communications, *Journal of lightwave technology* 34(13): 3047-3052.
- Haas, H. 2018. LiFi is a paradigm-shifting 5G technology, *Reviews in Physics* 3: 26-31.
- Haas, H., Yin, L., Chen, C., Videv, S., Parol, D., Poves, E., Alshaer, H. & Islim, M. S. 2020. Introduction to indoor networking concepts and challenges in LiFi, *Journal of Optical Communications and Networking* 12(2): A190-A203.
- Haas, H., Yin, L., Wang, Y., & Chen, C. 2016. What is LiFi?, *Journal of Lightwave Technology* 34(6): 1533-1544.

- Li, Y., Safari, M., Henderson, R. & Haas, H. 2015. Optical OFDM with single-photon avalanche diode, *IEEE Photonics Technology Letters* 27(9): 943-946.
- Perwej, Y. 2017. The next generation of wireless communication using Li-Fi (Light Fidelity) technology, *Journal of Computer Networks (JCN)* 4(1): 20-29.
- Shammar, E. A. & Zahary, A. T. 2020. The Internet of Things (IoT): a survey of techniques, operating systems, and trends, *Library Hi Tech* 38(1): 5-66.
- Shi, J., He, J., Wu, K. & Ma, J. 2019. Enhanced Performance of Asynchronous Multi-Cell VLC System Using OQAM/OFDM-NOMA, *Journal of Lightwave Technology* 37(20): 5212-5220.
- Soltani, M. D., Kazemi, H., Safari, M., & Haas, H. 2017. Handover modeling for indoor Li-Fi cellular networks: The effects of receiver mobility and rotation. In *2017 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, Francisco, CA, 19-22 March 2017:1-6.
- Vajpayee, A., Khandelwal, S. & Ratawa, R. 2015. 5G technology using LI-FI (light fidelity), *Journal of Global Research Computer Science & Technology* 3.
- Vegni, A. M., & Biagi, M. 2019. Optimal LED placement in indoor VLC networks, *Optics Express* 27(6): 8504-8519.
- Wu, X., & Haas, H. 2019. Handover skipping for LiFi, *IEEE Access* 7: 38369-38378.