

Pengiriman Citra pada Komunikasi Cahaya Tampak IEEE 802.15.7 Lapisan Fisik II.f-n

Eny Sukani Rahayu¹, Rabani Rashif Sanity Alfarisi¹, Iswandi¹

Abstract—Visible light communication (VLC) is a communication technology using visible light as a transmission medium that can have larger bandwidth than other wireless communications. VLC has a standard of IEEE 802.15.7 which has two layers. One of the layers is Physical Layer (PHY) II which has characteristic for indoor and line of sight communication. In this layer, the standard for data rate and optical clock rate is higher than the other types of layers using on off keying (OOK) modulation. This research investigated variation effect of clock rate, data rate, and Reed Solomon (RS) coding to bit error rate (BER) of the received signal. Nowadays, mostly data are pictures and videos. So, this research also test the VLC PHY II to transmit a picture under the varied conditions using peak signal to noise ratio (PSNR). All investigations are built in simulation. The results show that the lower RS coding rates, the lower BER values, and the higher optical clock rate, the higher data rate obtained. Good quality of picture is obtained with BER 10^{-4} and PSNR 39 dB.

Intisari—Komunikasi cahaya tampak atau *visible light communication* (VLC) merupakan komunikasi dengan menggunakan gelombang cahaya tampak sebagai media transmisinya. VLC memiliki standar IEEE 802.15.7 yang mendefinisikan dua lapisan, salah satunya lapisan fisik atau *Physical layer* (PHY). Lapisan PHY ini ada tiga jenis dan di antaranya merupakan standar lapisan untuk *indoor* dan *line of sight* (LOS), yaitu lapisan PHY II. Pada lapisan ini, standar untuk pesat data dan *optical clock rate* yang tinggi menggunakan modulasi *on off keying* (OOK). Dengan asumsi derau yang ada hanya *shot noise* yang bersifat AWGN, makalah ini menguji unjuk kerja PHY II modulasi OOK untuk pesat data, *optical clock rate*, dan jenis penyandian kanal Reed Solomon (RS) yang bervariasi dengan melihat nilai *bit error rate* (BER) yang dihasilkan. Selain itu, tren pengiriman informasi saat ini lebih banyak berupa pengiriman video atau citra. Karena itu, pada PHY II modulasi OOK ini juga diuji untuk pengiriman citra atau citra yang kualitas citra diukur dengan nilai *peak signal to noise ratio* (PSNR). Penelitian dalam makalah ini menggunakan MATLAB sebagai alat simulasinya. Hasil menunjukkan bahwa *coding rate* RS yang lebih kecil mengakibatkan BER yang lebih kecil. *Optical clock rate* yang lebih tinggi menjadikan pesat data yang lebih tinggi pula. Kualitas citra yang baik diperoleh dengan BER 10^{-4} dan PSNR 39 dB.

Kata Kunci—VLC, PHY II, OOK, BER, PSNR

I. PENDAHULUAN

Komunikasi cahaya tampak atau *visible light communication* (VLC) merupakan sistem *optical wireless*

communication yang membawa informasi dengan cara memodulasi cahaya tampak. Cahaya tampak pada prinsipnya digunakan untuk keperluan penerangan. Pada konsep VLC, cahaya tampak disandikan dan dimodulasi sehingga dapat membawa informasi dengan tetap menjaga fungsinya sebagai keperluan penerangan. Dengan begitu, energi yang digunakan dapat lebih efisien karena dengan jumlah energi yang sama keperluan penerangan dan komunikasi dapat tercapai [1].

Terdapat berbagai macam aplikasi yang dapat diterapkan dari teknologi VLC, di antaranya adalah komunikasi di dalam air, komunikasi antar kendaraan, komunikasi di rumah sakit, dan *wireless local area network* (WLAN). Gelombang radio tidak merambat dengan baik di dalam air laut karena memiliki konduktivitas yang bagus. Oleh karena itu komunikasi di dalam air dapat dilakukan dengan lebih baik menggunakan cahaya tampak. Komunikasi antar kendaraan juga dapat dilakukan menggunakan VLC dengan lampu pada kendaraan dan infrastruktur *traffic light* yang sudah ada. Dengan begitu, kendaraan dapat mempunyai sistem yang lebih *smart* seperti peringatan akan terjadi tabrakan, dan sebagainya. Di rumah sakit terdapat area-area yang sensitif terhadap gelombang elektromagnetik. Dengan begitu, VLC dapat menjadi opsi yang baik [1], [2].

Seperti halnya WLAN pada radio, WLAN untuk VLC kini telah diatur oleh IEEE melalui standar nomor 802.15.7. Pada standar ini, ditunjukkan bahwa VLC memiliki beberapa lapisan fisik atau disebut juga *Physical layer* (PHY) yang berbeda penerapannya baik untuk *indoor* ataupun *outdoor*. Standar tersebut juga menyebutkan beberapa macam modulasi untuk jenis lapisan yang berbeda dan pesat data yang mampu dicapai pada WLAN VLC. Hanya saja standar ini hanya mengklaim pesat data yang dapat dicapai pada mode tertentu. Adapun parameter *bit error rate* (BER) dari VLC PHY tersebut belum ditunjukkan. Lapisan fisik yang dipilih untuk diuji dalam penelitian ini adalah *Physical layer II* (PHY II) yang sesuai standarnya untuk komunikasi *indoor* misalnya ruangan kantor, laboratorium, ruangan kelas, dan sebagainya, yang dapat diarahkan untuk penelitian selanjutnya. Karena itu, penelitian tentang pengujian unjuk kerja lapisan fisik VLC PHY II perlu dilakukan. Pada makalah ini, pengujian dipilih menggunakan modulasi *on off keying* (OOK) dengan variasi *clock rate* yang lebih beragam.

Selain itu, pengujian unjuk kerja sistem VLC PHY II untuk transmisi citra juga dilakukan. Hal ini untuk mengetahui seberapa besar pengaruh perubahan parameter pada standar IEEE 802.15.7 PHY II tersebut terhadap informasi citra yang diterima. Ukuran kualitas citra yang digunakan adalah perbandingan pengiriman dan penerimaan citra dengan parameter *peak signal to noise ratio* (PSNR). PSNR ini biasanya digunakan untuk mengetahui kualitas rekonstruksi

¹Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No.2, Yogyakarta 55281, INDONESIA (telp: Telp. 0274-552305; e-mail: eny_sr@ugm.ac.id)

suatu citra. Parameter ini diperlukan untuk melihat apakah VLC PHY II ini mempunyai unjuk kerja yang baik untuk mengirimkan citra ataupun video. Perlunya analisis kualitas VLC PHY II dalam mengirimkan video yang merupakan sekumpulan *frame* citra didasarkan pada semakin tingginya trafik video pada tiap tahunnya.

Perkiraan Trafik *Mobile* pada Tahun 2014 hingga 2019 menunjukkan bahwa sejak tahun 2014 jumlah trafik jenis video, yang merupakan citra bergerak, sudah memiliki porsi terbesar dari semua jenis data. Ditambah lagi, diperkirakan trafik video naik sangat signifikan setiap tahunnya dengan nilai yang terpaut jauh dari tipe *web/data* dan lainnya [2].

Penelitian tentang kualitas pengiriman citra pada kanal VLC PHY II dengan modulasi OOK ini belum pernah dilakukan sebelumnya guna menunjukkan parameter yang tepat sehingga citra yang dikirimkan masih dapat diterima oleh pengguna. Pada makalah ini diasumsikan kanal ideal yaitu dengan konfigurasi *link* transmisinya adalah LOS tanpa adanya *path loss* dan *multipath*. Derau yang diperhitungkan pada penerima adalah derau yang dominan, yaitu *background shot noise* yang diasumsikan sebagai AWGN. Simulasi hanya dilakukan dengan perangkat lunak MATLAB.

II. VLC DAN IEEE 802.15.7 LAPISAN FISIK II DENGAN MODULASI OOK

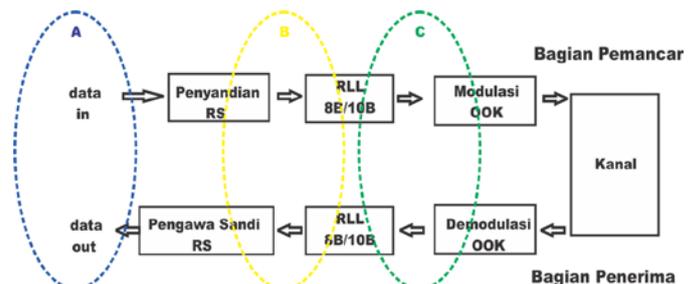
VLC merupakan komunikasi yang memanfaatkan cahaya tampak sebagai media transmisinya. Keuntungan pemakaian cahaya tampak sebagai media transmisi adalah tersedianya *bandwidth* yang lebar untuk rentang cahaya tampak 430 THz sampai dengan 790 THz pada spektrum gelombang elektromagnetik, sehingga memungkinkan pesat data yang tinggi. Selain itu, gelombang cahaya tidak akan mengalami interferens dengan gelombang radio lain yang telah digunakan untuk komunikasi. Cahaya memiliki sifat yang berbeda dari gelombang radio yaitu tidak dapat menembus benda tertentu dan juga dapat dilihat oleh mata manusia. Karena manusia dapat melihat gelombang pembawa komunikasi ini maka LED harus berada kecepatan yang tidak dapat dideteksi oleh mata manusia. Hal ini bertujuan untuk menghindari *flickering* atau kedipan cahaya yang dapat terlihat oleh mata manusia. *Flickering* harus dihindari karena berbahaya untuk kesehatan mata manusia. *Dimming* atau peredupan juga menjadi faktor penting lain yang harus diperhatikan pada VLC. Cahaya harus dapat diatur tingkat kecerahannya untuk keperluan pencahayaan selagi transmisi data berlangsung. Faktor yang paling penting lainnya adalah LED merupakan elemen *noncoherent* sehingga metode yang dapat digunakan pada VLC adalah modulasi intensitas dan pendeteksian langsung yang sering disebut *Intensity Modulation and Direct Detection (IM/DD)*.

Standar IEEE 802.15.7 mengatur tentang komunikasi optis nirkabel dengan menggunakan cahaya tampak pada jarak dekat. Standar ini memberikan aturan pada dua lapisan yang ada pada VLC yaitu *medium access control layer (MAC)* dan *PHY*. *PHY layer* pada VLC memberikan spesifikasi fisik dari perangkat dan juga menghubungkan antara perangkat dengan medium. Pada *PHY layer* juga terdapat fungsi *forward error*

correction (FEC) yang memungkinkan kemampuan koreksi galat pada penerima. *PHY layer* juga memberikan spesifikasi modulasi dan demodulasi yang digunakan agar informasi yang dikirimkan dapat dipulihkan dengan baik pada penerima. Pada standar IEEE 802.15.7 terdapat tiga tipe *PHY layer* yang dapat digunakan untuk tiga skenario keadaan yang berbeda berdasarkan tempat dan jenis LED yang dipakai.

Tipe PHY II merupakan standar yang dibuat untuk skenario lampu LED dengan sumber cahaya tunggal. Tipe PHY II ini ditujukan untuk penggunaan di dalam ruangan dengan kecepatan sedang, yaitu hingga puluhan Mbps [3].

Gbr. 1 merupakan diagram blok tipe PHY II yang dipergunakan untuk skema dalam ruangan. Pertama, data dimasukkan melalui penyandi *Reed Solomon (RS)*. Pada penyandi RS akan terjadi penambahan bit-bit untuk mengatasi terjadinya galat.



Gbr. 1 Diagram blok VLC menurut Standar VLC PHY II.

Jumlah bit yang ditambahkan akan ditentukan dengan mode standar yang dipakai pada saat itu. Data yang sudah tersandi kemudian dimasukkan pada penyandi *Run Length Limited (RLL)*. RLL diperlukan untuk menghindari terjadinya *flickering* karena RLL mempunyai kapabilitas untuk membatasi bit 1 atau 0 yang terlalu panjang. Dengan RLL 8B/10B tidak akan ada bit 1 atau 0 yang berurutan sebanyak 5 bit atau lebih. Pada makalah ini yang digunakan adalah sandi 8B10B yang merupakan mode standar untuk modulasi OOK. Kemudian bit tersandi akan dimodulasi intensitas dengan OOK. Setelah itu data termulasi dikirimkan oleh LED melalui ruang bebas dan mendapat tambahan derau. Pada sisi penerima, sensor menerima cahaya dan didemodulasi OOK. Kemudian data dibaca kembali dengan membaca sandi 8B10B. Terakhir, data akan dapat dipulihkan dan dibaca kembali dengan RS.

Tabel I menunjukkan berbagai macam mode yang ada pada standar IEEE 802.15.7 PHY II. Pada makalah ini modulasi yang digunakan adalah OOK, maka sandi RLL yang digunakan adalah 8B10B [4]. *Optical clock rate* yang digunakan pada modulasi OOK bervariasi mulai dari 15 MHz, 30 MHz, 60 MHz, 120 MHz.

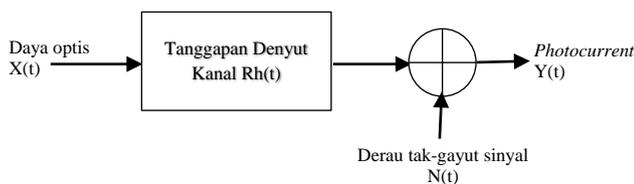
III. KANAL OPTIS DAN DERAU

Metode IM/DD dipercayai peneliti merupakan metode paling praktis untuk sistem komunikasi optis nirkabel dikarenakan implementasinya yang sederhana dan murah untuk aplikasi jarak dekat di dalam ruangan [5]. Gbr. 2 merupakan diagram blok sistem komunikasi IM/DD. Informasi yang akan dikirimkan dimodulasi dengan mengatur

daya cahaya tampak yang dihasilkan oleh LED. Daya cahaya tampak yang dihasilkan oleh LED ini akan sesuai dengan arus *input* yang digunakan menyalakan LED. Pada sisi penerima *photodetector* berguna untuk mengkonversi cahaya tampak kembali menjadi arus listrik (*photocurrent*).

TABEL I
OPERATING MODE TIPE PHY II [6]

Operating Mode	Pesat data (Mbps)	Modulasi	RLL Code	Optical Clock Rate (MHz)	FEC
PHY II.a	1,25	VPPM	4B6B	3,75	RS(64,32)
PHY II.b	2				RS(160,128)
PHY II.c	2,5			RS(64,32)	
PHY II.d	4			RS(160,128)	
PHY II.e	5			None	
PHY II.f	6	OOK	8B10B	15	RS(64,32)
PHY II.g	9,6				RS(160,128)
PHY II.h	12			30	RS(64,32)
PHY II.i	19,2				RS(160,128)
PHY II.j	24			60	RS(64,32)
PHY II.k	38,4				RS(160,128)
PHY II.l	48			120	RS(64,32)
PHY II.m	76,8				RS(160,128)
PHY II.n	96				None



Gbr. 2 Model IM/DD dengan kanal [6].

Gbr. 2 ini juga merupakan diagram blok IM/DD apabila dilewatkan pada sebuah kanal. $X(t)$ merupakan isyarat optis yang ditransmisikan oleh LED yang kemudian akan melalui kanal dengan *impulse response* $h(t)$. R merupakan *responsivity* dari *photodetector*. Model ini dapat dinyatakan secara matematis sebagai berikut:

$$Y(t) = R X(t) \otimes h(t) + N(t) \tag{1}$$

Impulse response $h(t)$ dari kanal inilah yang dapat digunakan untuk menganalisis atau mensimulasikan pengaruh dari *path loss* dan *multipath* pada kanal optis nirkabel. Pada makalah ini pengaruh dari *path loss* dan *multipath* tidak masuk dalam cakupan, sehingga yang menyebabkan galat adalah derau yang ada pada *receiver*.

$N(t)$ merupakan derau yang dominan pada kebanyakan sistem optis nirkabel, yaitu *shot noise*. $N(t)$ bisa dimodelkan sebagai AWGN dan *independent* terhadap sinyal $X(t)$. *Single-Sided Power Spectral Density* (PSD) dari *shot noise* ini dinyatakan dengan (2).

$$N_0 = 2 q I_B \tag{2}$$

dengan q = muatan elektron (Coulomb),

I_B = total rerata *photocurrent* yang dihasilkan oleh *shot noise* (Ampere), dan

N_0 = *Noise spectral density* (Watt/Hz).

Nilai I_B yang disebabkan oleh cahaya matahari pada kasus dalam ruangan adalah sebesar $200\mu A$. Sedangkan apabila terdapat interferens oleh sumber cahaya lain seperti lampu *fluorescent* yang memiliki nilai I_B sebesar $2\mu A$, maka nilai total rerata *photocurrent shot noise* adalah sebesar $202\mu A$.

Perbedaan yang paling penting antara *link* optis dan radio terdapat pada masukan kanal $X(t)$ yang disebutkan pada (1). Pada kanal optis, nilai $X(t)$ tidak bisa bernilai negatif karena daya optis yang ditransmisikan selalu positif, maka SNR pada sistem optis nirkabel didefinisikan sebagai:

$$SNR = \frac{R^2 H^2(0) P_t^2}{R_b N_0} \tag{3}$$

dengan R = *Responsivity* penerima

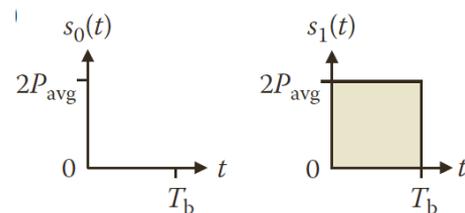
$H(0)$ = DC *channel gain*

P_t = Rerata daya optis yang ditransmisikan (Watt)

R_b = pesat bit (bit/s).

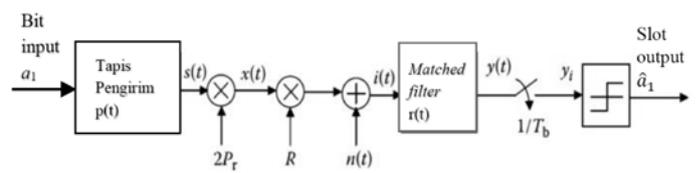
IV. MODULASI ON OFF KEYING (OOK)

OOK merupakan teknik modulasi untuk IM/DD pada komunikasi optis yang paling banyak digunakan [7]. Hal ini disebabkan oleh metodenya yang sederhana. Bit 1 direpresentasikan dengan sinyal optis selama satu durasi bit (T_b), yaitu $s_1(t)$. Bit 0 direpresentasikan dengan tidak adanya sinyal optis selama satu durasi bit, yaitu $s_0(t)$.



Gbr. 3 Bentuk gelombang keluaran modulasi OOK [7].

Gbr. 3 menunjukkan bentuk gelombang yang ditransmisikan dengan modulasi OOK. Bit 0 ditunjukkan pada gambar sebelah kiri dan bit 1 ditunjukkan pada gambar sebelah kanan. P_{avg} merupakan rerata daya yang dipancarkan. Adapun diagram diagram blok modulator dan demodulator ditunjukkan oleh Gbr. 4.



Gbr. 4 Blok diagram modulator dan demodulator OOK

Pada pemancar terdapat filter dengan *impulse response* $p(t)$ yang berbentuk kotak seperti pada gambaran bentuk gelombang. Filter dari pemancar diberi durasi satu bit (T_b) dan keluaran dari pemancar diskalakan dengan sinyal puncak dari *photocurrent* $2P_r$. P_r merupakan rerata daya sinyal optis yang diterima. R merupakan *responsivity* dari penerima yang

nilainya bergantung pada jenis *photodetector* yang dipakai. $n(t)$ merupakan *shot noise* yang dapat dimodelkan sebagai AWGN.

Pada penerima, sinyal $i(t)$ yang telah ditambah derau akan dimasukkan pada *matched filter*. *Matched filter* ini merupakan filter kontinu dengan *impulse response* $r(t)$ yang disesuaikan dengan bentuk pulsa yang ditransmisikan $p(t)$. Setelah itu sinyal keluaran akan dicuplik setiap akhir periode bit dan dilihat apakah sinyal berada di atas atau di bawah nilai *threshold* yang di atur pada nilai tengah dari level 1 dan 0.

V. KUALITAS PENGIRIMAN CITRA

Mean Square Error (MSE) merupakan ukuran kontrol kualitas yang digunakan untuk mengetahui kualitas dari suatu proses. MSE menghitung seberapa besar pergeseran data antara sinyal sumber dan sinyal hasil keluaran, dengan sinyal sumber dan sinyal hasil keluaran memiliki ukuran yang sama. Nilai MSE mendekati angka nol berarti kualitas proses tersebut semakin baik. Pada Gbr. 5, nilai MSE dihitung dengan membandingkan *array pixel* yang sama pada dua citra. MSE dapat dihitung dengan (4).

$$MSE = \frac{1}{m \cdot n} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I(i,j) - K(i,j)]^2 \quad (4)$$

dengan (m,n) adalah ukuran *pixel* dari dua citra I dan K yang dibandingkan.

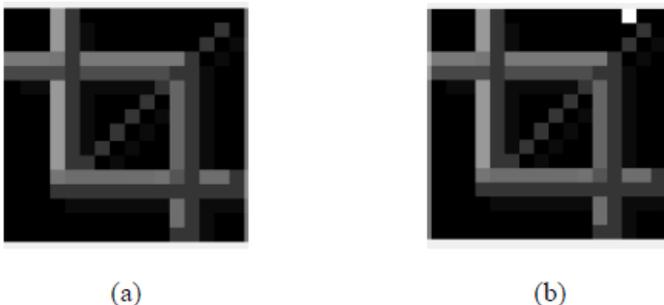
Parameter ukur yang digunakan untuk mengetahui citra digital yang dihasilkan dari proses restorasi dalam makalah ini adalah PSNR. PSNR merupakan nilai perbandingan antara nilai maksimum dari citra hasil *filtering* dengan nilai MSE, yang dinyatakan dalam satuan desibel (dB). Secara matematis, nilai PSNR dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PSNR (dB) = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{Max^2}{MSE} \right) \quad (5)$$

dengan MSE = *Mean Square Error*

Max = Nilai maksimum satu *pixel* (contoh: *grayscale* 8 bit mempunyai nilai Max 255)

Gbr. 5 menunjukkan citra ikon *crop* yang memiliki ukuran *pixel* 16 kali 16 dengan tipe *grayscale*. Gbr. 5(a) di sebelah kiri menunjukkan citra asli dan Gbr. 5(b) di sebelah kanan menunjukkan citra yang telah terkena derau.



Gbr. 5 Perbandingan citra; (a) Citra asli, (b) Citra terkena derau.

Untuk mengetahui nilai MSE dari citra tersebut maka digunakan (4) dengan nilai misalnya $m = 16$ dan nilai $n = 16$.

Setelah itu dibandingkan nilai setiap *pixel* dari citra tersebut mulai dari *pixel* (1,1) hingga *pixel* ke (16,16). Pada Gbr. 5, yang terkena derau terlihat hanya terdapat pada satu *pixel* dengan nilai berbeda pada bagian kanan atas. Sebelumnya *pixel* tersebut bernilai 255, sedangkan *pixel* pada citra baru bernilai 0. Selisih kedua *pixel* tersebut kemudian dikuadratkan dan dibagi ukuran m kali n sehingga diperoleh MSE bernilai 254.

Untuk mengetahui nilai PSNR citra tersebut digunakan (5). Citra ini menggunakan tipe *grayscale* 8-bit yang memiliki rentang simbol dari 0 sampai 255. Dengan begitu variabel Max yang ada dalam (5) dimasukkan dengan nilai 255 sedangkan nilai MSE diketahui dari perhitungan sebelumnya. Pada citra ini nilai PSNR yang dihasilkan adalah 24,08 dB.

VI. METODOLOGI

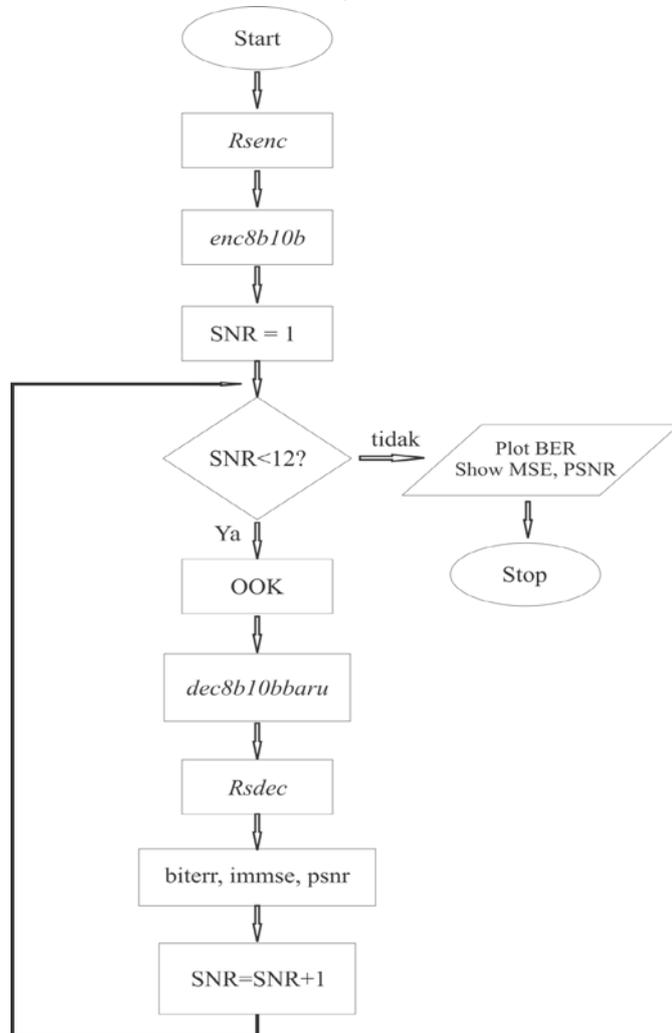
Proses paling awal dari simulasi adalah RS [8]. Kemudian, parameter VLC PHY II.f-n yang diuji adalah perubahan *clock rate*. Masukan dari RS ini bisa berupa data maupun citra, bergantung pada parameter yang ingin diketahui pada simulasi. Baik data maupun citra, masukan RS ini selalu berupa *integer*. Keluaran RS adalah kumpulan data dengan bentuk medan Galois, sehingga harus dikonversi terlebih dahulu menjadi *data stream* biner sebelum memasuki *encoding* 8B/10B. Setelah itu terjadi *looping* untuk beberapa nilai SNR. SNR yang dilihat pada simulasi ini dimulai dari 1 dB sampai 12 dB, kecuali pada kasus tertentu. Apabila SNR masih dalam keadaan kurang dari yang dikehendaki maka proses yang selanjutnya dijalankan yaitu OOK. Pada bagian ini terjadi modulasi, penambahan *derau*, dan demodulasi. Setelah itu terjadi *decoding* 8B/10B dengan keluaran data biner. Untuk melakukan *decoding* RS, maka data harus diubah kembali dalam bentuk medan Galois, barulah data bisa diproses. Hasil *decoding* dari RS ini kemudian dibandingkan dengan pada bagian *input* untuk mencari nilai galat. Hal ini dapat dilakukan dengan fungsi *biterr* yang sudah ada pada *library* MATLAB. Tidak hanya BER, parameter-parameter yang ingin diketahui lainnya kemudian dihitung setelah proses *decoding* RS ini. Untuk menghitung MSE dari tipe data citra dapat digunakan fungsi *immse*, sedangkan untuk menghitung nilai PSNR dapat digunakan fungsi *psnr*, yang keduanya juga sudah ada dalam *library* MATLAB.

Setelah parameter-parameter yang diinginkan diperoleh maka variabel SNR akan diubah menjadi $SNR+1$, *loop* akan kembali ke atas dan mengecek apakah kondisi $SNR < 12$ terpenuhi. Apabila kondisi SNR sudah terpenuhi maka dilakukan *plotting* dan penampilan parameter-parameter yang tadi sudah diperoleh dari setiap iterasi.

Untuk melakukan analisis tentang bagaimana unjuk kerja lapisan fisik seperti BER dan PSNR, maka perlu dilakukan simulasi. Salah satu perangkat lunak yang mampu dan mudah digunakan untuk melakukan simulasi untuk analisis ini adalah MATLAB. Penggunaan MATLAB untuk simulasi dan analisis pada lapisan fisik VLC diharapkan mampu membantu dalam memberikan gambaran lebih jelas tentang unjuk kerja dan kualitas VLC PHY II. Diagram alir penelitian ditunjukkan oleh Gbr. 6.

VII. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan analisis dari penelitian yang telah dilakukan akan dibagi dalam dua kategori. Yang pertama adalah pengujian dengan masukan berupa data *random integer* untuk melihat bagaimana unjuk kerja galat dari sistem, sedangkan yang kedua adalah pengujian dengan masukan berupa citra untuk mengetahui kualitas sistem VLC untuk transmisi citra.



Gbr. 6 Diagram alir simulasi VLC PHY.II.

A. Perbandingan Unjuk kerja Tiap Mode

Pada standar VLC IEEE 802.15.7 terdapat berbagai macam mode dengan pesat data, penyandian RS, dan *clock rate* yang bervariasi. Simulasi kali ini dimaksudkan untuk mengetahui unjuk kerja tiap mode standar yang diberikan, mulai dari PHY II.f sampai dengan II.n.

Gbr. 7 menunjukkan unjuk kerja dari PHY II.f hingga PHY II.i. Untuk unjuk kerja PHY II.j-m ditunjukkan oleh Gbr. 8. Terlihat dari grafik setiap mode bahwa nilai BER pada kualitas SNR yang sama pada setiap simulasi yang menggunakan penyandian kanal RS akan mempunyai kecenderungan BER menuju angka nol jauh lebih cepat daripada simulasi yang tidak menggunakan RS. Dapat dilihat

bahwa mode PHY II.f, II.h, II.j, II.l yang menggunakan RS(64,32) hanya mempunyai grafik nilai BER sampai pada SNR 6 dB dan 7 dB, sedangkan mode PHY II.g, II.i, II.m yang menggunakan RS(160,128) mempunyai grafik nilai BER sampai pada SNR 8 dB. Mode PHY II.k juga menggunakan RS(160,128), namun hanya memiliki grafik BER sampai pada SNR 7dB. Tetapi jika dibandingkan dengan PHY II.j yang menggunakan *optical clock rate* yang sama, maka unjuk kerja PHY II.k terlihat memiliki nilai BER lebih tinggi.

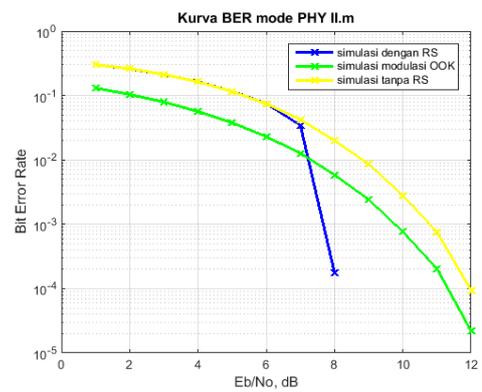
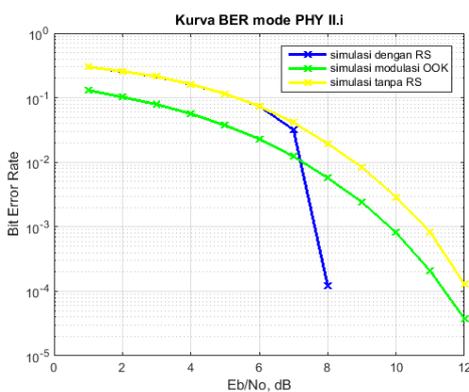
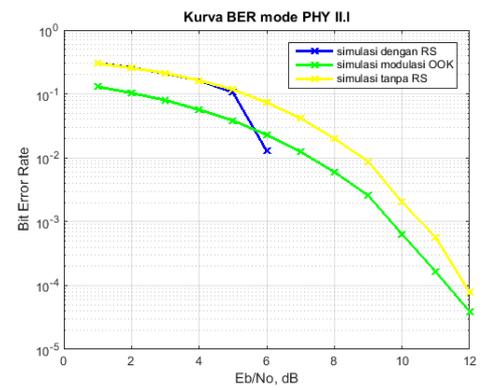
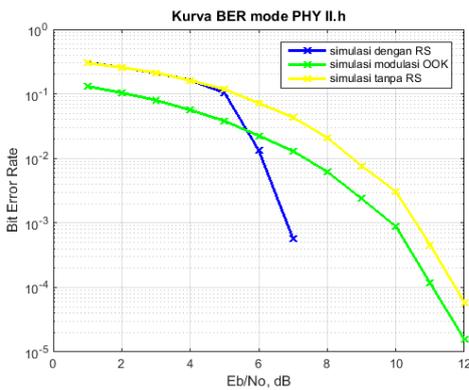
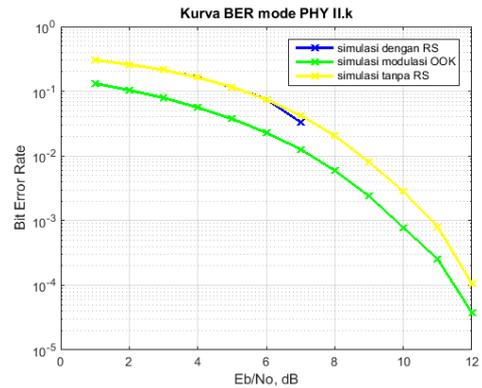
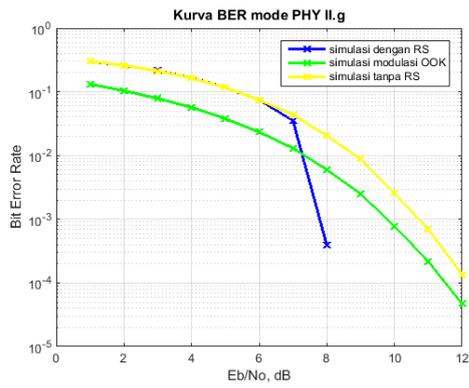
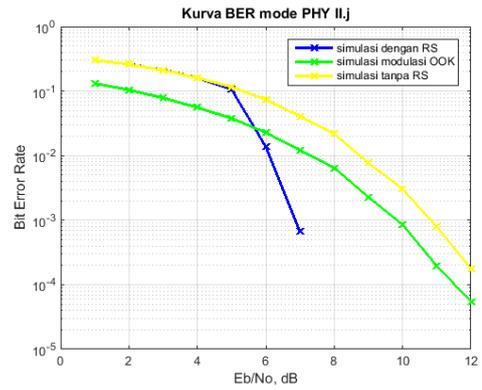
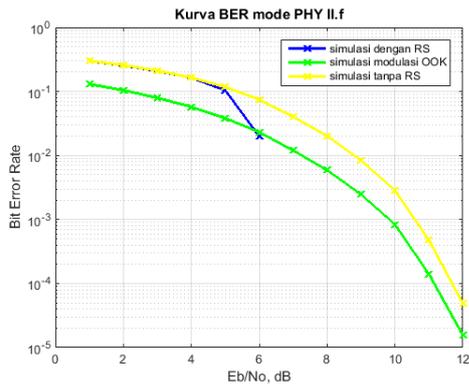
Dari hasil tersebut dapat dikatakan bahwa nilai BER yang lebih rendah akan lebih cepat dicapai pada mode PHY II.f, II.h, II.j, II.l, kemudian mode PHY II.g, II.i, II.k, II.m akan mencapai nilai BER yang sama dengan selisih nilai SNR sekitar 2 dB lebih besar. Untuk simulasi tanpa menggunakan RS diperlihatkan pada tiap mode dan juga untuk PHY II.n pada Gbr. 9 Terlihat jelas bahwa unjuk kerja tanpa menggunakan RS mempunyai grafik jauh lebih landai daripada mode yang menggunakan RS, artinya mode ini akan mencapai nilai BER kecil dengan SNR yang jauh lebih besar. Hal inilah yang membuat skema tanpa menggunakan RS hanya dipakai pada PHY II.n karena mode ini diperuntukkan pada kualitas SNR yang baik.

Pada setiap mode standar dari PHY II.f hingga II.n diketahui bahwa pesat data yang digunakan selalu meningkat secara berurutan. Padahal pada grafik tidak terlihat bahwa unjuk kerja yang ditunjukkan oleh kurva setiap kali pesat data meningkat menunjukkan perubahan yang signifikan, kecuali apabila RS yang digunakan berbeda jenis. Ditambah lagi, kurva yang dibentuk oleh simulasi tanpa RS menunjukkan bahwa unjuk kerja dari setiap mode menunjukkan hasil yang hampir sama. Hal ini dikarenakan walaupun saat setiap mode mengirimkan pesat data yang lebih tinggi, *optical clock rate* yang dipakai pada saat itu juga meningkat. Hubungan antara pesat data yang berbeda pada setiap *optical clock rate* yang sama, dan juga hubungan apabila pesat data yang sama dikirimkan pada *optical clock rate* yang berbeda ditunjukkan pada pembahasan selanjutnya.

Pada Gbr. 7 dan Gbr. 8 juga terlihat bahwa di setiap simulasi kurva yang ditunjukkan dengan warna hijau yang menunjukkan simulasi modulasi OOK saja selalu mempunyai nilai BER yang lebih kecil daripada kurva warna kuning yang menunjukkan kurva tanpa RS. Terlihat bahwa simulasi modulasi OOK saja memiliki nilai BER kira kira setengah kali daripada simulasi tanpa menggunakan RS. Hal ini dikarenakan simulasi tanpa menggunakan RS bekerja dengan membandingkan bit masukan dari *encoding* 8B/10B dengan hasil *decoding* 8B/10B, sedangkan simulasi OOK hanya membandingkan masukan dari OOK dan keluaran OOK saja, tanpa melalui RLL 8B/10B.

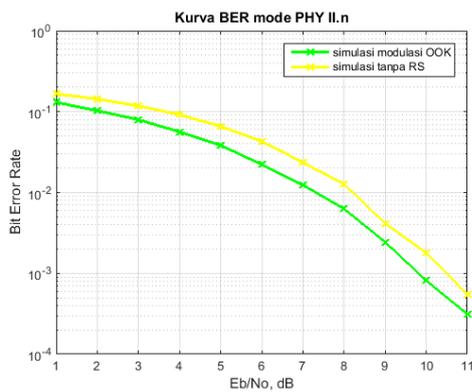
B Pengaruh Pesat Data dan Optical Clock Rate

Pada simulasi sebelumnya telah dilihat unjuk kerja yang dimiliki oleh setiap mode pada standar VLC IEEE 802.15.7 PHY II.f hingga II.n. Dari simulasi tersebut perubahan pesat data tidak terlihat, sehingga pada simulasi kali ini dijalankan dan dibandingkan untuk kondisi pesat data yang dikirimkan divariasikan pada *optical clock rate* yang sama.



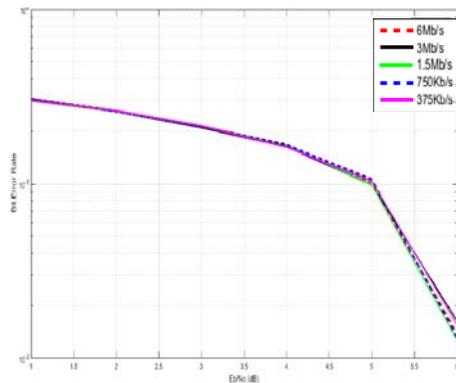
Gbr. 7 Hubungan BER dengan SNR pada mode PHY II.f-i.

Gbr. 8 Hubungan BER dengan SNR pada mode PHY II.j-m.



Gbr. 9 Hubungan BER dengan SNR pada mode PHY II.f-n.

Perbandingan BER dan SNR untuk berbagai pesat data

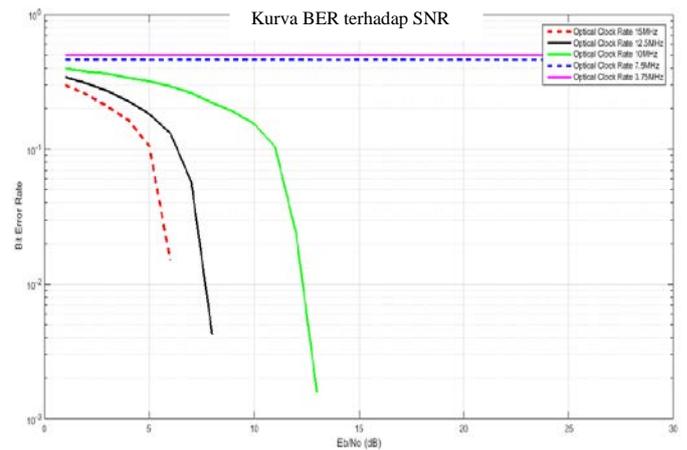


Gbr. 10 Kurva BER berbagai pesat data pada optical clock rate 15MHz.

Gbr. 10 menunjukkan hubungan BER dan SNR pada mode PHY II.f yang menggunakan RS(64,32) dan optical clock rate 15 MHz. Terlihat bahwa kurva yang dibentuk saat pesat data yang dikirimkan sebesar 6Mb/s, 3Mb/s, 1,5 Mb/s, 750 Kb/s, dan 375 Kb/s memiliki kecenderungan yang sama. Kelima nilai pesat data akan mencapai BER 0,1 pada SNR 5 dB, kemudian mencapai nilai yang terpaut sangat kecil pada SNR 6 dB. Pada SNR 7 dB kelimanya sudah menunjukkan bahwa tidak ada galat yang terjadi. Hal ini menunjukkan bahwa pesat data yang bervariasi pada mode yang sama akan memiliki unjuk kerja yang relatif sama.

Setelah melihat pengaruh pesat data yang divariasikan pada optical clock rate dan RS yang sama, selanjutnya dilakukan analisis variasi optical clock rate pada sebuah mode. Gbr. 11 menunjukkan unjuk kerja dari optical clock rate yang berbeda-beda dari PHY II.f yang mengirimkan 6Mb/s data memakai RS(64,32). Terlihat dari grafik bahwa pada optical clock rate sesuai standar IEEE yaitu 15 MHz nilai BER 0,1 dicapai pada SNR 5 dB dan kurva terlihat memiliki galat hanya sampai SNR 6 dB. Pada optical clock rate 12,5 MHz unjuk kerja terlihat memburuk dengan nilai BER 0,1 dicapai pada SNR 7 dB dan kurva terlihat memiliki galat sampai pada SNR 8 dB. Pada optical clock rate 10 MHz unjuk kerja sistem sudah sangat buruk, mencapai nilai BER 0,1 pada SNR 11 dB. Sedangkan pada optical clock rate 7,5 MHz dan 3,75 MHz dapat dikatakan sistem sudah tidak berfungsi sebagaimana

mestinya karena selalu memiliki galat lebih dari 0,1 pada SNR besar sekalipun.



Gbr. 11 Hubungan BER dengan SNR dari beberapa optical clock rate.

Melihat dua grafik dan analisis dari Gbr. 10 dan Gbr. 11 dapat ditemukan suatu hubungan tertentu. Apabila pesat data diubah-ubah pada suatu optical clock rate, maka unjuk kerja tidak berubah, sedangkan apabila optical clock rate diubah menjadi lebih kecil pada pesat data yang sesuai standar, maka unjuk kerja akan semakin memburuk. Hal ini menunjukkan bahwa pesat datayang tertera dalam standar adalah pesat data maksimum yang dapat dikirimkan pada suatu mode tersebut.

C. Pengaruh Coding Rate RS

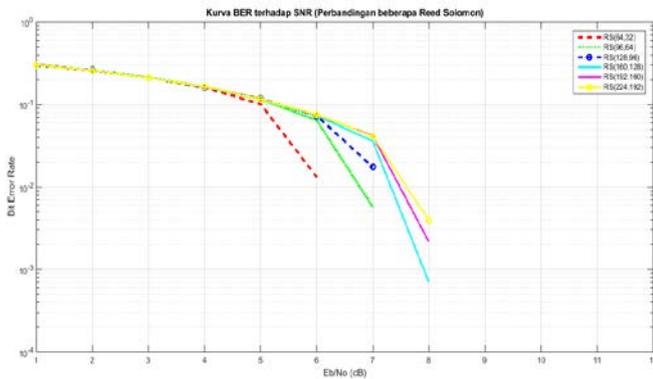
Dari tabel standar VLC IEEE 802.15.7 diketahui terdapat dua jenis RS dengan coding rate yang berbeda, yaitu RS (64,32) dan RS (160,128). Simulasi kali ini bertujuan untuk melihat perbedaan unjuk kerja keduanya dengan melihat nilai error rate yang ada pada tiap nilai SNR. Selain itu, empat jenis RS lain yang mungkin dilakukan juga disimulasikan untuk mengetahui alasan standar tersebut hanya menyebutkan penggunaan dua jenis RS.

Gbr. 12 menunjukkan perbandingan BER enam jenis RS yang disimulasikan melalui sistem VLC dalam ruangan, yaitu RS(64,32), RS(96,64), RS(128,96), RS(160,128), RS(192,160), dan RS(224,192). Semua jenis RS tersebut memiliki kemampuan deteksi galat yang sama yaitu sebanyak 16 simbol. Perbedaannya adalah pada coding rate (k/n) yang dimiliki, yaitu sebesar 0,5; 0,667; 0,75; 0,8; 0,833; 0,8571.

Dapat terlihat bahwa RS(64,32) dengan nilai coding rate paling kecil hanya mempunyai grafik nilai BER sampai pada SNR 6 dB. Hal ini dikarenakan pada SNR 7 dB nilai BER RS(64,32) sudah bernilai 0. Sedangkan RS(96,64) dan RS(128,96) sama-sama memiliki nilai 0 pada SNR 8 dB. Namun dapat dilihat bahwa BER yang dimiliki oleh RS(96,64) bernilai lebih kecil daripada RS(128,96). Sedangkan pada RS(160,128), RS(192,160), dan RS(224,192), nilai BER pada SNR 9 dB sudah memiliki nilai 0, tetapi RS(160,128) memiliki nilai BER yang lebih kecil daripada kedua RS dengan coding rate di atasnya pada SNR 8 dB.

Dengan begitu dapat terlihat kecenderungan dari variasi coding rate RS yang dipakai, yaitu bahwa nilai coding rate

yang kecil akan mempunyai nilai BER yang lebih kecil juga pada kualitas SNR yang sama. Selain itu, semakin kecil *coding rate* yang dipakai maka nilai BER akan lebih cepat menyentuh nilai 0 pada SNR yang semakin membesar.



Gbr. 12 Hubungan BER dengan SNR pada beberapa jenis RS.

Hal ini menunjukkan bahwa unjuk kerja dari RS dengan *coding rate* yang lebih kecil dapat dikatakan lebih baik karena memiliki nilai BER yang lebih kecil. Namun, dalam standar VLC IEEE 802.15.7 sendiri terdapat dua mode RS yang dipakai, yaitu RS(64,32) dan RS(160,128) pada *optical clock rate* yang sama. Dua RS tersebut dapat memiliki unjuk kerja baik pada dua kondisi SNR yang berbeda. RS (64,32) memiliki unjuk kerja koreksi galat baik pada SNR 6 dB sedangkan RS(160,128) akan memiliki unjuk kerja koreksi galat yang baik pada SNR 8 dB. RS(96,64) dan RS(128,96) memang memiliki unjuk kerja yang lebih baik dari RS(160,128), namun kondisi tersebut terjadi pada SNR 7 dB, tidak cukup jauh dari saat RS (64,32) memiliki unjuk kerja baik.

Maka dari itu disimpulkan bahwa pemilihan RS pada standar VLC IEEE 802.15.7 PHY II ditunjukkan untuk dua kualitas kanal yang berbeda. Kualitas kanal yang lebih buruk akan menggunakan *coding rate* yang lebih kecil sehingga unjuk kerja BER-nya lebih baik. Namun hal ini menyebabkan pelebaran *bandwidth* yang lebih besar sehingga pesat data menurun. Hal ini menunjukkan adanya *trade off* antara kualitas atau unjuk kerja BER dengan pesat data.

D. Pengaruh SNR terhadap Kualitas Citra Mode PHY II.f

Pada pembahasan ini ditunjukkan hasil simulasi sistem VLC dengan menggunakan masukan berupa citra. Citra yang digunakan adalah citra Cameraman.tif yang tersedia dalam direktori MATLAB. Citra ini berukuran 256 kali 256 *pixel* dengan tipe *grayscale*. Untuk memperjelas komputasi maka citra diubah ukurannya menjadi 128 kali 128 *pixel* sebelum dikirimkan melalui sistem VLC. Hasil simulasi kali ini dapat digunakan untuk menganalisis bagaimana unjuk kerja sistem VLC sebagai media transmisi citra.

Tabel II menunjukkan hasil keluaran citra yang dikirimkan melalui sistem VLC mode PHY II.f. Terlihat bahwa pada SNR 1 dB sampai dengan 5 dB kualitas citra keluaran berbeda jauh dengan citra aslinya. Hal ini dikarenakan PSNR citra hingga saat SNR 5 dB baru mencapai angka 12,6 dB, padahal

saat itu nilai BER sudah berada pada 0,10441. Hal ini menunjukkan untuk transmisi tipe data citra nilai BER tersebut tidak menggambarkan unjuk kerja yang cukup baik. Pada SNR 6 dB kualitas citra meningkat menjadi lebih baik dan mulai dapat dikenali seperti citra aslinya. Hal ini terjadi pada saat nilai PSNR 20,79 dB. Namun, kualitas citra yang sudah sangat mendekati aslinya diperoleh pada SNR 7 dB dengan nilai PSNR 39,47 dB dan nilai BER 0,00027. Pada SNR 8 dB dan seterusnya, citra yang dihasilkan sudah benar-benar tidak memiliki derau. Hal ini ditunjukkan dengan nilai MSE dan BER nol dan nilai PSNR tidak terhingga.

Di bawah PSNR 20 dB, citra sudah dapat dikatakan rusak. Semakin tinggi nilai SNR atau semakin baik kualitas kanal yang dilalui, maka kualitas citra akan semakin baik. Kualitas citra yang membaik ini tidak hanya dapat dilihat secara langsung namun juga dapat dilihat dari nilai MSE yang semakin menurun dan PSNR yang semakin naik.

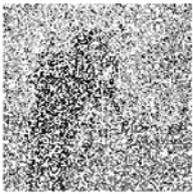
E. Simulasi Pengaruh Jenis RS terhadap Pengiriman Citra

Dari hasil simulasi sebelumnya diketahui bahwa untuk transmisi citra, sistem VLC memiliki unjuk kerja baik mulai dari SNR 7 dB. Hasil tersebut diperoleh dari simulasi PHY II.f yang memiliki RS(64,32), pesat data 6Mb, dan *optical clock rate* 15 MHz. Dari analisis sebelumnya telah diketahui bahwa unjuk kerja mode lainnya yang memiliki jenis RS sama pada kondisi ideal, yakni pada saat *optical clock rate* yang dipakai sesuai dengan pesat data maksimal yang ditentukan, unjuk kerja BER yang dimiliki akan cenderung sama. Dengan begitu, maka unjuk kerja dari PHY II.f, II.h, II.j, II.l cenderung sama, sedangkan unjuk kerja dari PHY II.g, II.i, II.k, II.m juga cenderung sama.

Satu-satunya mode yang memiliki unjuk kerja berbeda adalah PHY II.n yang tidak menggunakan penyandian RS. Berdasarkan analisis tersebut, maka kali ini akan dilihat perbandingan kualitas citra ketiga mode, yaitu mode RS(64,32), RS(160,128), dan tanpa RS, pada SNR yang sama. Tabel III menunjukkan hasil pengiriman citra yang dilakukan pada SNR 7 dB dan 8 dB pada ketiga mode tersebut. Terlihat bahwa RS(64,32) memperoleh kualitas citra yang paling baik pada saat SNR 7 dB. RS(64,32) memiliki PSNR 39,47 dB yang terpaut cukup besar dibandingkan RS(160,128) dan tanpa RS, yang memiliki nilai PSNR hanya 17,91 dB dan 16,48 dB. Hal ini menunjukkan juga menunjukkan bahwa pada SNR 7 dB kualitas citra yang dihasilkan RS(160,128) dan tanpa RS tidak berbeda jauh. Pada SNR 8 dB, RS(64,32) telah memperoleh nilai PSNR *infinite*, sedangkan RS(160,128) juga telah memperoleh kualitas citra yang baik pada saat ini dengan nilai PSNR 36,01 dB, padahal pada hasil keluaran tanpa RS citra yang dihasilkan masih terlihat memiliki cukup banyak derau dengan nilai PSNR 18,98 dB.

Hal ini menunjukkan bahwa untuk transmisi citra, semua mode PHY II yang menggunakan RS(64,32) akan memiliki kualitas citra yang baik mulai dari SNR 7 dB. Mode PHY II yang menggunakan RS(160,32) akan memiliki kualitas citra yang baik mulai dari SNR 8 dB, sedangkan mode PHY II.n tanpa RS memerlukan SNR lebih dari 8 dB untuk memperoleh kualitas citra yang baik. Pada citra ini kualitas citra baik dapat dilihat pada nilai PSNR berkisar 36 dB ke atas.

TABEL II
PENGARUH SNR PADA PENGIRIMAN CITRA VLC PHY II.F

SNR (dB)	Hasil Gambar	MSE	PSNR (dB)	BER
1		10473	7,93	0,31165
2		9045	8,57	0,26740
3		7265	9,52	0,21667
4		5728	10,55	0,16632
5		3574	12,60	0,10441
6		543	20,79	0,01691
7		7	39,47	0,00027
8		0	Inf	0

TABEL III
PENGARUH SANDI RS PENGIRIMAN CITRA PADA VLC PHY II.F

SNR (dB)	Jenis	Hasil Gambar	MSE	PSNR (dB)	BER
7	RS(64,32)		7	39,47	0,00027
	RS(160,128)		1052	17,91	0,03103
	Tanpa RS		1463	16,48	0,04322
8	RS(64,32)		0	inf	0,00000
	RS(160,128)		16	36,01	0,00057
	Tanpa RS		823	18,98	0,02248

Namun hal ini tidak berarti bahwa mode PHY II yang paling baik adalah yang memiliki RS(64,32). Perlu diingat bahwa unjuk kerja yang baik tersebut hanya mampu dicapai pada pesat data yang telah disebutkan pada standar. Apabila pesat data tersebut dikirimkan pada *optical clock rate* yang di bawah standar maka unjuk kerjanya juga akan menurun yang telah dibuktikan sebelumnya. Hal inilah yang sebenarnya membuat standar VLC pada PHY II mempunyai beberapa mode. Pesat data yang mampu dikirimkan selalu bergantung pada kemampuan LED yang ditunjukkan dengan parameter *optical clock rate*. Selain itu, pesat data yang dikirimkan juga dipengaruhi kualitas kanal yang ada. Apabila kualitas kanal lebih baik, maka dipakai RS (160,128), sedangkan jika kualitas kanal lebih buruk maka dipakai RS (64,32).

VIII. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh adalah semakin kecil nilai *coding rate* sandi RS yang digunakan, maka nilai BER kecil akan lebih cepat dicapai pada SNR yang lebih rendah. Misalnya, *coding rate* 0,5 mencapai BER 0 pada SNR 7 dB, sedangkan *coding rate* 0,8 mencapai BER 0 pada SNR 9 dB. Pada setiap mode PHY II.f sampai II.n pesat data yang mampu dikirimkan adalah sama seperti yang tertera dalam standar IEEE 802.15.7. Jika pesat data yang dikirimkan melebihi itu, maka unjuk kerja sistem menjadi buruk. Pada nilai RS yang sama, semakin tinggi nilai *optical clock rate*, maka semakin tinggi pula pesat data yang dapat dikirimkan.

Untuk dapat mentransmisikan citra dengan nilai PSNR 39,47 dB yang berkualitas baik, BER yang ditargetkan adalah pada 10^{-4} dan didapat untuk SNR 7dB. Pengaruh *coding rate* pada kualitas citra lebih tampak perbedaannya untuk SNR yang lebih rendah. Sementara untuk SNR yang lebih tinggi, kualitas citra tampak lebih stabil dengan perubahan *coding rate*. Namun, tanpa RS, kualitas citra menjadi buruk dengan PSNR di bawah 20 dB.

REFERENSI

- [1] L.U. Khan. (2016), *Visible light communication: Applications, architecture, standardization and research challenges*, Digital Communications and Networks, <http://dx.doi.org/10.1016/j.dcan.2016.07.004>.
- [2] Jiang, J., Huo, Y., Jin, F., Zhang, P., Wang, Z., Xu, Z., & Hanzo, L., "Video Streaming in the Multiuser Indoor Visible Light Downlink", *IEEE Access*, 3, 2959-2986, 2015.
- [3] 802.15.7, 2011, *IEEE standard for local and metropolitan area networks. Part 15.7: Short Range Wireless Optical Communication using Visible Light*, pp.1-309
- [4] Lattice Semiconductor (2015), *8b/10b Encoder/Decoder*, <http://www.latticesemi.com>, diakses 17 September-2016
- [5] Lee, Kwonghyung, et.al., "Indoor Channel Characteristics for Visible Light Communications", *IEEE Communication Letter*, 2011.
- [6] Sarbazi, E., & Uysal, M., "PHY layer performance evaluation of the IEEE 802.15. 7 visible light communication standard. In *Optical Wireless Communications (IWOW)*", *2013 2nd International Workshop on* (pp. 35-39). *IEEE*, 2013.
- [7] Ghassemlooy, Z., Popoola, W., & Rajbhandari, S., *Optical wireless communications: system and channel modelling with Matlab®*. CRC Press, 2012.
- [8] Galvieux, A., *Channel Coding in Communication Networks*, Wiley ISTE. 2013.