

Analisa Unjuk Kerja *Software Defined Radio* (SDR) dengan Teknik *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM)

Jenny Putri Hapsari^{1*}, Munaf Ismail²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung

^{1,2}Jln. Raya Kaligawe Km 4, Semarang, 50112, Indonesia

E-mail: jenny@unissula.ac.id¹, munaf@unissula.ac.id²

Info Naskah:

Naskah masuk: 28 Mei 2021

Direvisi: 16 Agustus 2021

Diterima: 20 Agustus 2021

Abstrak

Perkembangan teknologi komunikasi nirkabel, menuntut adanya teknologi (*software* dan *hardware*) yang dapat mengikuti perubahan standar. Platform SDR (*Software Defined Radio*) merupakan teknologi nirkabel berbasis *software* yang dapat mengikuti perkembangan teknologi tanpa merubah *hardware*. WARP merupakan salah satu platform SDR yang dikembangkan oleh Universitas Rice Amerika. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja SDR dengan teknik QAM. Unjuk kerja sistem ditunjukkan pada BER yang dihasilkan dengan bervariasi jarak antara *transmitter* dan *receiver* dan level QAM. Penelitian dilakukan di dua lingkungan (*indoor* dan *outdoor*) dengan propagasi LOS. Hasil unjuk kerja menunjukkan bahwa nilai BER 4-QAM di kedua lingkungan paling kecil jika dibandingkan level lainnya. Nilai BER 4-QAM *indoor* adalah 0.0023 dan *outdoor* adalah 0 untuk jarak 6 meter, sehingga unjuk kerja 4-QAM *outdoor* lebih baik dibandingkan *indoor*. Unjuk kerja SDR dapat diperbaiki dengan menggunakan teknik QAM.

Keywords:

software defined radio;

QAM;

WARP;

BER.

Abstract

The development of wireless communication technology require technology (*software* and *hardware*) that can keep up with changing standards. SDR platform is a software-based wireless technology that can keep up with technological developments without changing hardware. WARP is one of SDR platforms developed by American Rice University. This research to determine the performance of the SDR with the QAM technique. The performance system can be seen from BER for different distance between transmitter and receiver and different level QAM. The research was carried in two environment (*indoor* and *outdoor*) with LOS propagation. The results show that the value of BER 4-QAM in the two environment is the smallest than another levels. The value of BER 4-QAM at indoor is 0.0023 and outdoors is 0 for a distance of 6 meters, so the performance of outdoor is better than indoor. SDR performance can be improved using QAM techniques.

*Penulis korespondensi:

Jenny Putri Hapsari

E-mail: jenny@unissula.ac.id

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi nirkabel sangatlah pesat, oleh sebab itu bidang komunikasi nirkabel sangatlah penting untuk dikembangkan. Perkembangan komunikasi data yang berupa video, gambar, suara melalui internet sejalan dengan perkembangan komunikasi bergerak. Pengguna menginginkan sebuah sistem komunikasi yang mempunyai kecepatan tinggi dengan QOS yang memadai serta mempunyai keamanan yang tinggi untuk komunikasi nirkabel. Sejalan dengan keinginan pengguna maka terjadi perubahan standar komunikasi sehingga timbul masalah kompatibilitas bagi penyedia jasa telekomunikasi. *Hardware* yang digunakan harus mengikuti perubahan standar komunikasi, sehingga perlu investasi *hardware* baru yang akan menyebabkan mahalnya biaya operasional. *Software Defined Radio* (SDR) merupakan teknologi nirkabel yang berbasis *software*, sehingga dengan adanya perubahan standar komunikasi tidak diperlukan perubahan *hardware*. SDR menggunakan pengolahan sinyal digital dimana *hardware* akan dikoneksikan ke *bus* kemudian mengunduh *software*. SDR dapat menyesuaikan *software* terbaru, sehingga dapat mengurangi waktu perkembangan produk [1][2]. Platform SDR berbiaya rendah, andal, serbaguna, fleksibel, dan *open source* serta mendukung pengembangan untuk eksperimen secara *realtime*. Perangkat SDR menggunakan spektrum RF dan mendigitalkan sinyal I/Q yang dikirim dengan rentang spektrum frekuensi 25 MHz hingga 1.75 GHz. Rentang spektrum yang sangat luas ini memungkinkan digunakan pada radio FM, sinyal ISM, radio seluler GSM, 3G, LTE, GPS, dan sebagainya.[3], [4], [5], [6], [7].

Salah satu *platform* SDR yang dikembangkan oleh Universitas Rice Amerika adalah *Wireless Open Access Research Platform* (WARP). WARP merupakan platform *open-access* yang *scalable*, *extensible*, dan secara *real time* mampu menerapkan algoritma di layer PHY dan MAC. WARP terdapat lima komponen yaitu *hardware* yang fleksibel, platform, paket yang mendukung, repositori yang dapat diakses secara terbuka, dan aplikasi untuk penelitian [8], [9], [10], [11].

Penelitian yang menggunakan WARP sudah dilakukan di berbagai bidang, yaitu penerapan BidMAC pada WARP[12], skema penambahan *Partial Transmit Sequence* (PTS)[13], metode *energy saving Parctical Energy Detection* (PED)[14], sistem SC-FDMA.[15], [16] Penelitian tentang sistem komunikasi multihop dengan WARP dilakukan di tahun 2016. Penelitian ini menggunakan modulasi PSK dan memberikan kesimpulan bahwa komunikasi multihop lebih baik dari komunikasi SISO berdasarkan nilai BER yang didapat dengan memvariasikan daya pancar [17].

Algoritma deteksi energi yang diterapkan menggunakan WARP dilakukan penelitian di tahun 2016. Penelitian ini menggunakan modulasi QPSK. Hasil SNR -4 dBm dan -7 dBm, serta waktu deteksi 4 μ s.[18] Penelitian WARP dalam komunikasi SISO yang dimanfaatkan untuk mendeteksi objek dan pengukuran RCS dilakukan 2015. Penelitian ini menggunakan modulasi M-PSK. Penelitian ini berguna untuk organisasi pertahanan dan dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari [19].

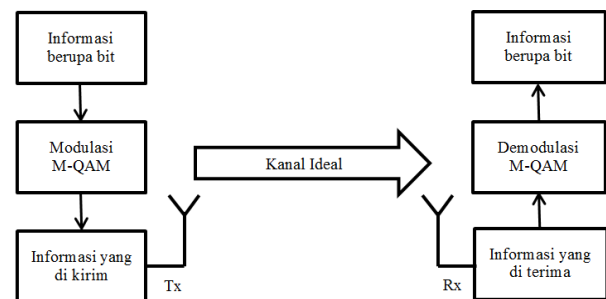
Tahun 2016 WARP telah digunakan untuk penerapan sistem komunikasi kooperatif. Penelitian ini menggunakan modulasi QPSK dan dilakukan pada kondisi berpenghalang dan tanpa penghalang. Penelitian ini mengukur nilai BER dengan memvariasikan daya pancar.[20] WARP digunakan untuk mengevaluasi MC DS CDMA. Penelitian ini menggunakan modulasi QPSK dan mengukur BER dengan memvariasikan daya pancar untuk dua variasi jarak.[21] Teknik pemilihan relay dan skema *network coding* telah diterapkan pada modul WARP. Penelitian ini dilakukan di tahun 2021, dan mengukur throughput untuk mengetahui unjuk kerjanya [22].

Penelitian yang telah dilakukan menggunakan teknik modulasi PSK untuk penerapan WARP, dimana PSK hanya memperhatikan pergeseran fase. Sehingga nilai BER akan cukup tinggi untuk daya pancar yang tinggi. Pada penelitian ini, penerapan SDR dengan modul WARP menggunakan teknik QAM, dimana QAM ini memperhatikan pergeseran fase dan amplitudo. QAM memiliki keunggulan dapat meminimalisir ketidaksesuaian fase dan penundaan waktu, dapat menurunkan nilai BER, efisiensi daya dan bandwidth.[23], [24], [25] Teknik QAM sudah di terapkan pada komunikasi menggunakan media fiber optik dan komunikasi MIMO tetapi bukan pada platform SDR [26], [27].

Penelitian yang telah dilakukan masih menggunakan teknik modulasi PSK. Di sisi lain, teknik QAM mempunyai keunggulan dibandingkan dengan teknik PSK. Sehingga, pada penelitian ini akan menerapkan teknik QAM pada SDR. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja SDR dengan menggunakan teknik QAM. Unjuk kerja SDR dilihat dari nilai BER dengan memvariasikan jarak antar antenna yang dilakukan di dua lingkungan (*indoor* dan *outdoor*).

2. Metode

Penelitian ini dimulai dengan melakukan simulasi teknik QAM pada sistem komunikasi SISO menggunakan kanal ideal. Simulasi menggunakan Matlab dan banyaknya bit yang dikirimkan adalah 10^3 bit. Analisa unjuk kerja teknik QAM didapatkan dari nilai *Bit Error Rate* (BER) dengan variasi nilai *Energy per Bit to the Spectral Noise Density* (Eb/No). Design simulasi ditunjukkan Gambar 1.



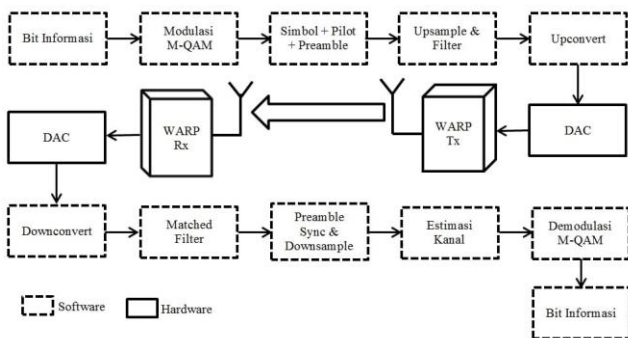
Gambar 1. Desain Simulasi Teknik QAM Pada Sistem SISO

Tahap selanjutnya dilakukan penerapan teknik QAM sistem komunikasi SISO di WARP. Adapun parameter yang disetting di modul WARP ditunjukkan pada Tabel 1.

Design penerapan teknik QAM ke WARP ditunjukkan Gambar 2.

Tabel 1. Parameter setting WARP

No	Parameter	Nilai
1	Jumlah bit	30000
2	delay	200
3	Kanal Carrier	12
4	T_x_BB	1
5	T_x_Rf	30
6	$T_x_Rf\ (dBm)$	-25.16 dBm
7	Rx_BB	10
8	Rx_Rf	1



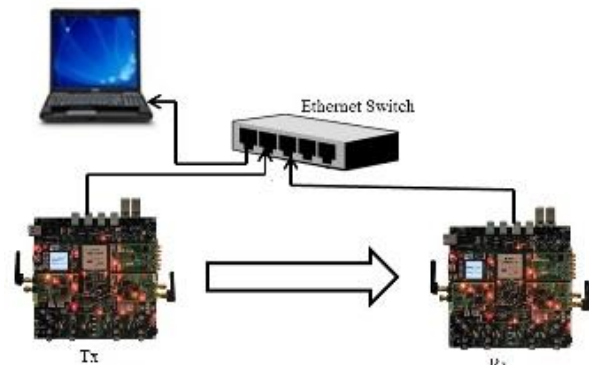
Gambar 2. Desain Teknik QAM di Modul WARP

Tahap penerapan ada yang dilakukan dengan *software* yaitu Matlab dan *hardware* yaitu modul WARP. Tahap yang dilakukan menggunakan *software* adalah pembangkitan bit sebagai informasi, teknik QAM, penambahan pilot dan *preamble*, *up-sampling*, filter, *upconverter* di sisi pengirim, dan *down-converter*, *match filter*, *down-sampling*, deteksi *preamble* dan estimasi kanal, demodulasi di sisi penerima. *Hardware* modul WARP sendiri digunakan untuk pengirim dan penerima dimana dipasang masing-masing satu antenna yang terletak 40 cm di atas lantai. Pada *hardware* WARP dilakukan proses normalisasi yang bertujuan untuk mengoptimalkan DAC di sisi pengirim dan ADC di sisi penerima.

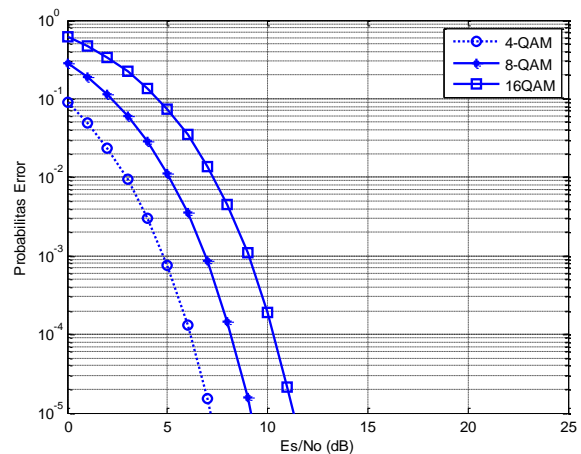
Pembangkitan bit sebagai informasi yang dikirim berupa bit acak biner. Bit tersebut kemudian dilakukan pemetaan simbol sesuai dengan level QAM. Simbol yang dihasilkan digunakan sebagai input pada proses modulasi. Hasil modulasi, setiap simbol akan menjadi simbol kompleks. Proses selanjutnya adalah menambahkan deretan simbol tersebut dengan pilot, bertujuan untuk proses mengestimasi kanal. Tipe estimasi kanal yang digunakan adalah *flat fading* dan jumlah tap yaitu satu.

Tahap selanjutnya adalah penambahan deretan *preamble*, yang bertujuan untuk mendeteksi letak awal simbol informasi yang diterima. Jumlah simbol *preamble* adalah 13 simbol. Korelasi antara *preamble* dan informasi yang diterima digunakan untuk proses pendeteksian. *Sampling rate* ditingkatkan dengan menggunakan *upsample*, dimana menggunakan nilai 8 untuk *oversampling rate*. *Match filter* di sisi penerima digunakan untuk menghilangkan frekuensi tinggi. Pelemahan DC dihindari dengan menggunakan proses *upconvert* di sisi pengirim dan *downconvert* di sisi penerima.

Penelitian ini dilakukan di dua lingkungan dengan propagasi LOS untuk mendapatkan nilai BER. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan jarak antar antenna. Pada lingkungan *indoor*, jarak dimulai dari 1 meter sampai 6 meter dengan interval 1 meter. Jarak maksimal di lingkungan *indoor* adalah 6 meter dikarenakan keterbatasan ruangan yang dapat digunakan untuk LOS. Pada lingkungan *outdoor*, jarak dimulai dari 1 meter sampai 10 meter dengan interval 1 meter. Skema pengukuran dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema konfigurasi modul WARP



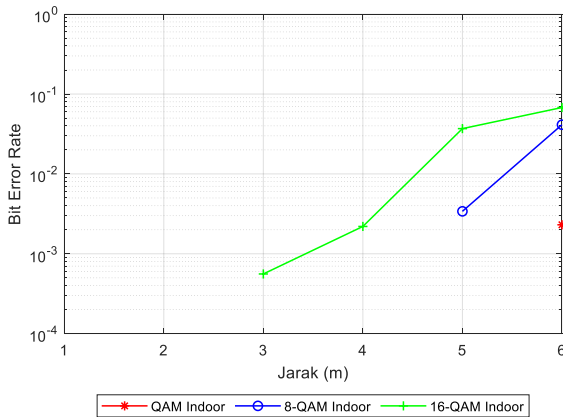
Gambar 4. E_b/N_0 Vs BER hasil simulasi

3. Hasil dan Pembahasan

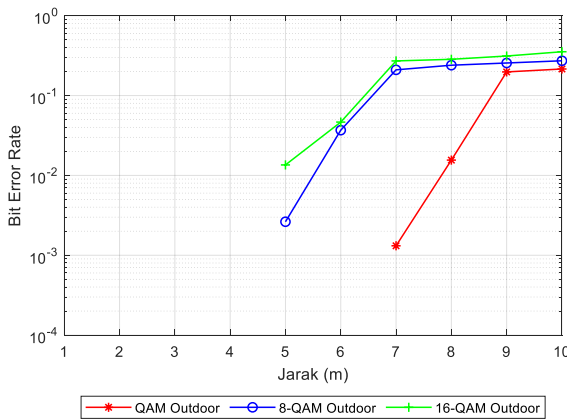
Penelitian ini menguraikan hasil simulasi dan hasil penerapan secara *realtime* platform *Software Defined Radio* (SDR) di modul WARP dengan teknik QAM untuk sistem komunikasi SISO. Nilai M-Aray/ level modulasi yang diterapkan pada QAM adalah 4, 8, dan 16. Gambar 4 menunjukkan hasil simulasi unjuk kerja modulasi QAM untuk level 4, 8, dan 16. Simulasi yang dilakukan merupakan fungsi E_b/N_0 terhadap BER.

Nilai BER untuk masing-masing level secara berurutan adalah 7.5×10^{-4} , 1.12×10^{-2} , dan 7.2×10^{-2} ; untuk E_b/N_0 5 dB. Pada Gambar 4 tersebut juga memperlihatkan bahwa teknik QAM dengan level 4 mempunyai nilai BER yang paling baik dibandingkan dengan level 8 dan 16 untuk semua nilai E_b/N_0 . Hasil penerapan secara *realtime* platform *Software Defined Radio*

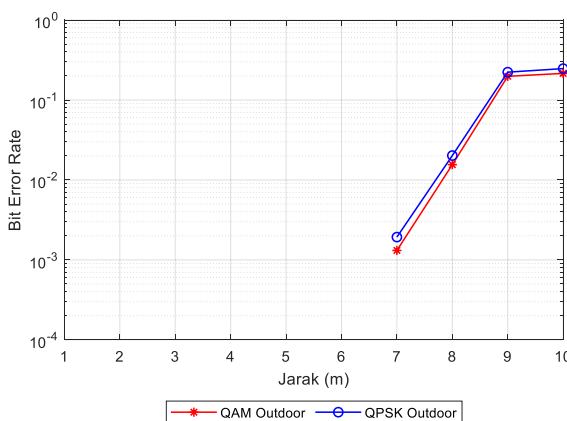
(SDR) di modul WARP dengan teknik QAM untuk sistem komunikasi SISO di *indoor* diperlihatkan Gambar 5.



Gambar 5. Hasil unjuk kerja dari QAM, 8-QAM, dan 16-QAM di *indoor*



Gambar 6. Hasil unjuk kerja dari QAM, 8-QAM, dan 16-QAM di *outdoor*



Gambar 7. Hasil unjuk kerja dari QAM dan QPSK di *outdoor*

Teknik modulasi 4-QAM/QAM memiliki hasil BER yang paling baik dibandingkan 8-QAM dan 16-QAM untuk semua variasi jarak, terlihat pada Gambar 5. Pada jarak 1

dan 2 meter, nilai BER masih 0 untuk semua level, karena jarak antar *node* yang dekat sehingga *noise* yang ada relatif kecil dan tidak mempengaruhi sinyal yang dikirimkan. Pada jarak 3 meter dan seterusnya terjadi perubahan nilai BER yang cukup signifikan untuk semua level, hal ini disebabkan besarnya *noise* yang terdapat pada kedua jarak tersebut, serta *euclidean distance* untuk setiap level. Hubungan jarak dan *noise* berbanding lurus, dimana jika jarak semakin panjang maka *noise* semakin besar. Sedangkan, *euclidean distance* untuk level 16 lebih kecil dibandingkan level 8 dan 4, sehingga banyak *bit error* pada level 16 lebih banyak dibandingkan dengan level 8 dan 4. Hubungan antara *euclidean distance* dan jumlah *bit error* berbanding terbalik. Gambar 6 menunjukkan hasil penerapan di lingkungan *outdoor*.

Pada Gambar 6, level 4 juga memiliki unjuk kerja yang paling baik di lingkungan *outdoor*. Nilai BER untuk jarak 1 meter sampai 4 meter masih 0, sedangkan mengalami kenaikan yang signifikan di jarak 5 meter dan seterusnya untuk level 8 dan 16. Level 4 mulai mengalami kenaikan pada jarak 7 meter dan seterusnya. Perubahan nilai BER diakibatkan banyaknya *noise* untuk setiap jarak dan *euclidean distance* untuk setiap level.

Pada penerapan yang dilakukan di lingkungan *indoor* dan *outdoor* didapatkan unjuk kerja QAM dengan level 4 paling baik. Hasil BER level 4 untuk *outdoor* lebih baik daripada di *indoor*, hal ini dapat dilihat dari nilai BER level 4 saat jarak 6 meter. BER dari level 4 untuk *indoor* adalah 0.002 dan *outdoor* adalah 0. Pada gambar 5 dan 6 terlihat bahwa kelandaian grafik berbeda dengan simulasi, hal ini karena saat penerapan terjadi kondisi multipath.

Pada Gambar 7 menunjukkan perbandingan unjuk kerja 4-QAM dan QPSK/4-PSK yang merupakan hasil dari penelitian sebelumnya.[28] Pada gambar 7 menunjukkan bahwa QAM memiliki unjuk kerja yang lebih baik dibandingkan QPSK. BER QAM adalah 0.001314 dan QPSK adalah 0.00193 untuk jarak 7 meter. Pada jarak yang lain, nilai BER QAM selalu lebih kecil dibandingkan QPSK

4. Kesimpulan

Hasil penerapan platform *Software Defined Radio* (SDR) di modul WARP dengan teknik QAM secara *realtime* untuk sistem komunikasi SISO menunjukkan bahwa level 4 mempunyai unjuk kerja yang paling baik di kedua lingkungan. Nilai BER QAM level 4 lebih kecil dibandingkan level 8 dan 16. Unjuk kerja teknik QAM lebih baik dibandingkan dengan teknik PSK untuk sistem komunikasi SISO, hal ini ditunjukkan dengan melihat nilai BER untuk kedua teknik. Sehingga dengan menggunakan teknik QAM dapat memperbaiki unjuk kerja platform SDR. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan menerapkan teknik QAM pada modul SDR lainnya dan menggunakan sistem komunikasi yang lebih kompleks misal sistem komunikasi MIMO ataupun kooperatif.

Daftar Pustaka

- [1] B. Li, "Analysis and Design of Software Defined Radio," *Int. Conf. Internet Comput. Inf. Serv.*, pp. 415-418, 2011.
- [2] E. Grayver, *Implementing Software Defined Radio*. 2013.
- [3] A. Carolina *et al.*, "Why Software-Defined Radio (SDR) Matters in Healthcare?," *Med. Technol. J.*, vol. 3, no.

- September, pp. 421–429, 2019.
- [4] A. M. Wyglinski, D. P. Orfino, M. N. Ettus, and T. W. Rondeau, “Revolutionizing software defined radio: case studies in hardware, software, and education,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, no. 1, pp. 68–75, 2016.
- [5] R. W. Stewart *et al.*, “A low-cost desktop software defined radio design environment using MATLAB, simulink, and the RTL-SDR,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 9, 2015.
- [6] R. Krishnan, R. G. Babu, S. Kaviya, N. P. Kumar, C. Rahul, and S. S. Raman, “Software defined radio (SDR) foundations, technology tradeoffs: A survey,” in *2017 IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering (ICPCSI)*, 2017, pp. 2677–2682.
- [7] D. Sinha, A. K. Verma, and S. Kumar, “Software defined radio: Operation, challenges and possible solutions,” *10th Int. Conf. Intell. Syst. Control*, 2016.
- [8] “warp.” [Online]. Available: <http://warp.rice.edu/trac/>. [Accessed: 20-Apr-2021].
- [9] P. Murphy, A. Sabharwal, and B. Aazhang, “Design of WARP: A wireless open-access research platform,” *Eur. Signal Process. Conf.*, no. Eusipco, 2006.
- [10] L. Li, M. Beach, R. Nejabati, and D. Simeonidou, “Building SDN Agent for Wireless Local Area Networks,” *IEEE Wirel. Commun. Netw. Conf.*, 2019.
- [11] O. Holland, H. Bogucka, and A. Medeisis, *Opportunistic spectrum sharing and white space access: The practical reality*. John Wiley & Sons, 2015.
- [12] R. Palacios, F. Franch, F. Vazquez-Gallego, J. Alonso-Zarate, and F. Granelli, “Experimental evaluation of reverse direction transmissions in WLAN using the WARP platform,” in *2015 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2015, pp. 6139–6145.
- [13] S. W. Yoga, T. Suryani, and Suwadi, “Application PTS technique for PAPR reduction in MIMO OFDM using WARP,” *Int. Semin. Intell. Technol. Its Appl.*, 2016.
- [14] T. Manna and I. S. Misra, “Design of Resource/Energy-Efficient Energy Detector for Real-Time Cognitive Radio using WARP,” *Int. Conf. Opto-Electronics Appl. Opt.*, 2019.
- [15] K. S. Ramtej and S. Anuradha, “Experimental Validation of Improved Exponential Companding Technique for SC-FDMA Systems Using WARP Hardware,” *J. Circuits, Syst. Comput.*, vol. 29, no. 10, p. 2050154, 2020.
- [16] S. R. Kondamuri and S. Anuradha, “Walsh-Hadamard-transform-based SC-FDMA system using WARP hardware,” *ETRI J. Wiley*, 2021.
- [17] I. Anisah and H. Briantoro, “Implementation of relay demodulate and forward on multihop communication system using wireless open access research platform (WARP) module,” *Int. Electron. Symp.*, 2016.
- [18] H. Yerranna, S. L. Sabat, D. K. Sunil, and S. K. Udgate, “Real time performance evaluation of energy detection based spectrum sensing algorithm using WARP board,” *Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Informatics*, 2016.
- [19] S. Shome, R. Bera, B. Maji, S. N. Sur, and S. Bera, “Embedded Digital SISO Radar using Wireless Open Access Research Platform for Object Detection and RCS Measurement,” *I.J. Image, Graph. Signal Process.*, vol. 12, no. November, pp. 47–53, 2015.
- [20] G. E. W. Pratama, Suwadi, and T. Suryani, “Implementasi Sistem Komunikasi Kooperatif OFDM pada Wireless Open Access Research Platform,” *Semin. Nas. Inov. dan Apl. Teknol. di Ind.*, pp. 173–178, 2016.
- [21] Suwadi, T. Suryani, D. Kuswidiastuti, V. Hariadi, and D. A. Gunastut, “Performance Evaluation of MC DS CDMA using Wireless Open Access Research Platform,” *J. Adv. Res. Electr. Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 49–54, 2018.
- [22] N. Hidayati, R. A. Wijayanti, A. W. Yulianto, and D. Marya, “Skema network coding dan teknik pemilihan relay pada modul WARP di lingkungan indoor,” *J. ELTEK*, vol. 19, no. 1, pp. 43–51, 2021.
- [23] M. S. Faruk and K. Kikuchi, “Compensation for In-Phase / Quadrature Imbalance in Coherent-Receiver Front End for Optical Quadrature Amplitude Modulation Compensation for In-Phase / Quadrature Imbalance in Coherent-Receiver Front End for Optical Quadrature,” *IEEE Photonics J.*, vol. 5, no. 2, p. 7800110, 2013.
- [24] D. Yoon, K. Cho, and J. Lee, “Bit error probability of M-ary quadrature amplitude modulation,” *Veh. Technol. Conf. Fall 2000. IEEE VTS Fall VTC2000. 52nd Veh. Technol. Conf. (Cat. No.00CH37152)*, 2000.
- [25] X. Li, “Simulink-based Simulation of Quadrature Amplitude Modulation (QAM) System,” *Proc. 2008 IAJC-IJME Int. Conf.*, vol. 11, 2008.
- [26] T. Fehenberger, A. Alvarado, G. Böcherer, and N. Hanik, “On Probabilistic Shaping of Quadrature Amplitude Modulation for the Nonlinear Fiber Channel,” *J. Light. Technol.*, vol. 34, pp. 5063–5073, 2016.
- [27] P. Shaik, P. K. Singya, and V. Bhatia, “Performance analysis of QAM schemes for non-regenerative cooperative MIMO network with transmit antenna selection,” *AEU-International J. Electron. Commun.*, vol. 107, pp. 298–306, 2019.
- [28] J. P. Hapsari, “Implementasi Sistem Komunikasi Single-Input Single-Output Pada Lingkungan Indoor Dan Outdoor Menggunakan Teknik Modulasi PSK Berbasis WARP,” *Media Elektr.*, vol. 9, no. 1, pp. 6–24, 2016.