

## PERBANDINGAN DAN KOMBINASI KINERJA ALGORITMA *LEAST SIGNIFICANT BIT* DENGAN *PIXEL VALUE DIFFERENCING* PADA STEGANOGRAFI CITRA WARNA

Ibnu Utomo Wahyu Mulyono<sup>1</sup>, Yupie Kusumawati<sup>2</sup>, Karis Widyatmoko<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Program Studi Teknik Informatika, Universitas Dian Nuswantoro

<sup>2</sup>Program Studi Sistem Informasi, Universitas Dian Nuswantoro

e-mail :<sup>1</sup>ibnu.utomo.wm@dsn.dinus.ac.id,<sup>2</sup>yupie@dsn.dinus.ac.id, <sup>3</sup>karis.widyatmoko@dsn.dinus.ac.id

### ABSTRACT

One of the most common problems in this digitalization era is data security issues, such as being compromised by digital data. Actually, there are many ways to protect digital data, one of which is by using steganography techniques. Where the steganography technique is a technique for inserting a secret message into an image media. In this study, we will discuss how the performance of two steganographic methods, namely Least Significant Bit (LSB) and Pixel Value Differencing (PVD) and how the results if the two methods are combined in implementing color image steganography. To determine the quality of the method studied, MSE, PSNR, and SSIM were used as testing methods. As a result, the PVD algorithm on the red tifanny layer image obtained an MSE value of 0.051, PSNR 60,974, and SSIM 0.998. For the LSB algorithm, the flax image in the green layer obtained MSE values of 0.0039, PSNR 72.218, and SSIM 1.000. Finally, the combination algorithm between PVD and LSB on tifanny's image in the red layer obtained an MSE value of 0.054, PSNR 60,734, and SSIM 0.998.

**Keywords :** Least Significant Bit (LSB), Pixel Value Differencing (PVD), Steganography.

### INTISARI

Salah satu permasalahan yang paling banyak terjadi di era digitalisasi ini adalah masalah keamanan data, seperti misalnya kebobolan data digital. Sebenarnya, ada banyak cara untuk melakukan pengamanan data digital, salah satunya adalah dengan memanfaatkan teknik steganografi. Dimana Teknik steganografi adalah teknik penyisipan pesan rahasia ke dalam suatu media gambar. Pada penelitian ini akan membahas bagaimana kinerja dari dua metode steganografi, yaitu Least Significant Bit (LSB) dan Pixel Value Differencing (PVD) serta bagaimana hasilnya jika kedua metode tersebut dikombinasikan dalam mengimplementasikan steganografi citra warna. Untuk mengetahui kualitas yang metode yang di teliti, digunakan MSE, PSNR, dan SSIM sebagai metode pengujian. Hasilnya, algoritma PVD pada citra tifanny layer merah memperoleh nilai MSE 0,051, PSNR 60,974, dan SSIM 0,998. Untuk algoritma LSB citra lena di layer hijau memperoleh nilai MSE 0,0039, PSNR 72,218, dan SSIM 1,000. Terakhir, pada algoritma kombinasi antara PVD dan LSB pada citra tifanny di layer merah memperoleh nilai MSE 0,054, PSNR 60,734, dan SSIM 0,998.

**Kata kunci :** Least Significant Bit (LSB), Pixel Value Differencing (PVD), Steganografi.

## 1. PENDAHULUAN

Steganografi dapat menjaga kerahasiaan suatu pesan dengan cara yang unik. Keunikan tersebut dapat dilihat dari cara Steganografi melakukan penyembunyian pesan rahasianya, yaitu dengan menyisipkan pesan rahasia ke dalam sebuah media, terutama media citra. Pada dasarnya, steganografi bukan hanya bisa menyisipkan pesan rahasia pada media citra saja, tetapi juga dapat menyisipkan pesan ke dalam media audio, video, dan bahkan ke dalam sesama teks (Darabkh, 2017; Hameed dkk, 2019; Pradhan dkk, 2018; Sahu dkk, 2021). Steganografi (Swain, 2019) merupakan salah satu penyedia layanan terkait keamanan yang kuat, terutama jika pesan rahasia digabungkan dengan media citra digital. Hal tersebut dikarenakan gambar digital memiliki format yang berbeda untuk penerapannya.

Secara umum steganografi merupakan seni dari penyembunyian pesan rahasia sehingga tidak dapat diprediksi keberadaannya jika diamati dengan mata manusia saja. Perbedaan antara steganografi dan kriptografi

adalah, kriptografi merahasiakan makna dari pesan yang dikirim (pesan masih ada, hanya terlihat acak jika belum dilakukan dekripsi) tetapi steganografi menyembunyikan pesan tersebut sehingga benar-benar tidak terlihat (ada pesan) (Mahesh, 2019). Metode PVD bekerja pada sepasang nilai piksel yang saling berdekatan. Modifikasi perbedaan nilai piksel merupakan cara bagaimana proses penyisipan pesan dilakukan. Peningkatan kualitas visual dan keamanan data citra dapat ditingkatkan oleh metode PVD, karena PVD menargetkan area gambar yang halus dan edged areas dari sampel data citranya untuk kapasitas *embedding* yang besar dan rendah (Darwis, 2021; Jung, 2018; Solak, 2018; Swain, 2016). Dalam barisan bit, posisi bit yang berada paling kanan merupakan bagian dari bit yang bernilai paling kecil atau paling tidak berarti, dan posisi tersebut bernama *Least Significant Bit* (LSB) (Ilaga, 2018; Irawan, 2020; Rachmawanto dkk, 2018; Sari dkk, 2018). Metode LSB dapat melakukan penyembunyian informasi dalam jumlah yang sangat besar, meskipun terdapat dampak lain dari hal tersebut, yaitu menghasilkan distribusi nilai piksel yang tidak seimbang (Apriansyah dkk, 2020; Hafiz, 2019; Ramdhani, 2021; Setiadi dkk, 2018). Konsep kerja metode *Least Significant Bit* dalam menyisipkan pesan ke dalam data citra adalah dengan melakukan pemodifikasian dari bit-bit pada setiap piksel citra penampung pesan. Bit paling akhir dari setiap piksel yang ada pada data citra digantikan oleh bit-bit yang berasal dari pesan yang ingin disisipkan. Kemudian, cara untuk mengembalikan pesan tersebut adalah dengan melakukan proses pengambilan bit-bit piksel paling akhir dari citra yang telah disisipi oleh bit-bit dari pesan rahasia, kemudian bit-bit yang sudah di ambil itu dikonversikan kembali menjadi karakter.

Beberapa penelitian terkait dengan implementasi LSB dan PVD seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Sahu pada tahun 2018 membahas tentang peningkatan teknik penyembunyian data yang menggunakan *Bit Differencing* dan pencocokan *Least Significant Bit*. Tujuan dari dilakukannya penelitian tersebut adalah untuk meningkatkan kualitas dari data citra yang akan digunakan sebagai media penyisipan pesan. Digunakan LSB substitusi yang telah dimodifikasi dan pencocokan LSB untuk meningkatkan kapasitas dan *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR). Dilakukan tiga eksperimen dan diberikan nama varian-1, varian-2, dan varian-3. Hasil dari eksperimen tersebut menunjukkan bahwa varian-1 memberikan hasil lebih baik dalam penyediaan kapasitas, sedangkan varian-3 memberikan nilai PSNR yang dihasilkan lebih baik, yaitu sebesar 54,38 dB (Sahu, 2018). Apriansyah dalam penelitiannya pada tahun 2020, membahas tentang pemanfaatan teknik steganografi dengan menggunakan Metode *Least Significant Bit* yang diimplementasikan pada system keamanan pesan teks. Pada eksperimen tersebut, digunakan perhitungan *Mean Square Error* (MSE) dan PSNR untuk menilai bagaimana kualitas gambar yang telah disisipi oleh pesan rahasia. Proses penyisipan pesan ke dalam media gambar berhasil, dan dari pengujian gambar yang telah dilakukan, pesan tersebut tampak invisible atau tidak tampak secara kasat mata yang berarti tujuan dari dilakukannya eksperimen ini berhasil, yaitu mampu meningkatkan keamanan pesan rahasia yang dikirim agar sampai ke penerima dengan aman (Apriansyah dkk, 2020). Sedangkan, penelitian yang dilakukan oleh Aliy Hafiz pada tahun 2019 membahas tentang penggunaan metode *Least Significant Bit* untuk melakukan penyembunyian pesan ke dalam data citra. Eksperimen tersebut menjelaskan secara rinci terkait bagaimana proses penyisipan data ke dalam media citra, yaitu dengan menyisipkan bit-bit data ke dalam bit citra digital sehingga bit data akan menyembunyikan dirinya di dalam bit wadah citra digital tersebut. Kesimpulan yang didapatkan dari eksperimen tersebut adalah penyisipan pesan dapat dilakukan dengan baik ke dalam wadah citra digital yang berformat JPEG, namun hal itu membuat kualitas citra menurun tetapi tidak begitu

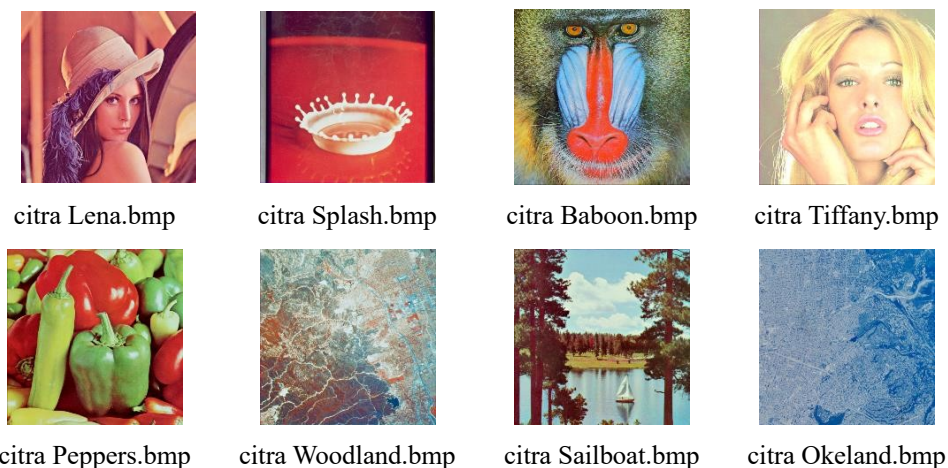
terlihat secara kasat mata. Selain itu, kecepatan proses enkripsi dan dekripsi dipengaruhi oleh kecepatan komputer dalam memproses aktivitas tersebut (Hafiz, 2019). Menurut Sharif Shah Newaj dkk pada tahun 2018 membahas tentang meningkatkan kualitas gambar sebagai pengimplementasian dari algoritma steganografi yang berbasis pada PVD. Eksperimen ini melakukan modifikasi Algoritma PVD dengan tujuan untuk mengurangi nilai perbedaan dari tepi piksel dari tiga tetangga (horizontal, vertikal, dan diagonal). Penyematan data hanya dilakukan ke area yang memiliki nilai intensitas piksel lebih rendah. Eksperimen tersebut memberikan hasil bahwa algoritma yang diusulkan dapat meningkatkan performa yang lebih baik pada citra RGB dan *Grayscale* dibandingkan dengan algoritma lainnya, justru performa terhadap citra RGB lebih baik dari citra *Grayscale*. Selain itu, hasil nilai yang ditunjukkan pada perhitungan PSNR dan MSE dinilai cukup stabil termasuk terhadap serangan steganalisis (Newaj, 2018).

Bedasarkan penjelasan di atas, maka implementasi penyisipan pesan dengan teknik steganografi pada citra RGB (red, green, blue) menjadi topik yang menarik untuk penulis kembangkan. Dengan mengkombinasikan dua metode *Pixel Value Differencing* (PVD) dan *Least Significant Bit* (LSB) dengan membandingkan metode asli untuk mengetahui kualitas visual citra atau dikenal dengan nama *imperceptibility*.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Kebutuhan Data Citra

Data citra yang digunakan pada penelitian ini didapatkan dari sebuah situs yang menyediakan *dataset* citra. Situs tersebut adalah <http://sipi.usc.edu/database/> dan [http://www.imageprocessingplace.com/root\\_files\\_V3/imaage\\_database.html](http://www.imageprocessingplace.com/root_files_V3/imaage_database.html). Citra yang digunakan merupakan citra RGB sebanyak 8 gambar dan setiap citra memiliki ukuran piksel sebesar 512x512. Data citra inilah yang akan disisipi oleh pesan.

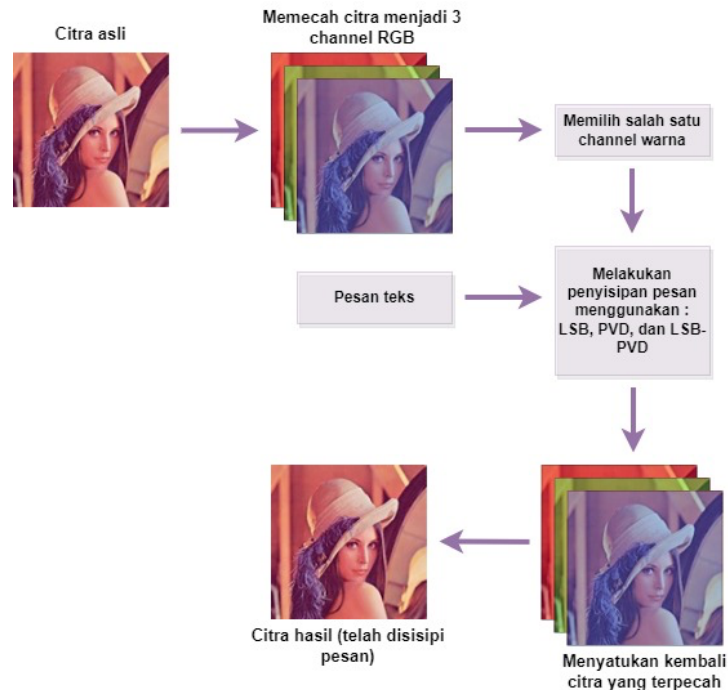


**Gambar 1.** Data citra yang akan disisipkan pesan

### 2.2 Alur Penyisipan Pesan

Pada Gambar 2 ditampilkan bahwa data citra yang akan disisipkan pesan akan terlebih dahulu di pecah atau di bagi ke dalam 3 layer warna, yaitu *Red Green Blue* (RGB). Kemudian, dari perpecahan warna tersebut di

pilih salah satu *channel* warnanya untuk kemudian disisipkan pesan ke dalam pikselnya. Penyisipan akan dilakukan dengan tiga metode sebagai perbandingan, yaitu Metode *Least Significant Bit*, Metode *Pixel Value Differencing*, dan ketiga dengan menggunakan metode kombinasi antara *Least Significant Bit* dengan *Pixel Value Differencing*. Setelah dilakukan penyisipan data, selanjutnya tiga *channel* RGB yang terpecah disatukan kembali dan menjadi citra hasil yang telah berisi pesan rahasia.



Gambar 2. Alur penyisipan pesan

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil Implementasi Metode PVD

Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian dari pengimplementasian metode *Pixel Value Differencing*. Pengimplementasian ini di uji dengan menggunakan perhitungan MSE, PVD, dan SSIM pada setiap layer warna RGB. Pada Tabel 1, hasil yang di beri warna hijau merupakan nilai terbaik yang didapatkan, sedangkan hasil yang di beri warna merah merupakan nilai terendah yang didapatkan.

Tabel 1. Hasil pengujian dari implementasi metode PVD

Nama Citra	PVD								
	MSE			PSNR			SSIM		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
Lena	0,135	0,179	0,223	56,801	55,580	54,635	0,997	0,997	0,995
Baboon	3,733	4,314	3,926	42,41	41,781	42,190	0,995	0,996	0,996
Tiffany	0,051	0,091	0,082	60,974	58,496	58,965	0,998	0,997	0,997
Worldland	0,645	0,529	0,655	50,034	50,891	49,963	0,997	0,997	0,996
Peppers	0,335	0,345	0,305	52,878	52,742	53,276	0,997	0,999	0,998

Sailboat	0,456	0,743	0,810	51,537	49,418	49,045	0,997	0,998	0,998
Splash	0,089	0,166	0,098	58,588	55,919	58,207	0,998	0,997	0,997
Okeland	1,440	0,677	0,136	46,545	49,822	56,771	0,996	0,996	0,997
<b>Rata-rata</b>	<b>0,861</b>	<b>0,881</b>	<b>0,779</b>	<b>52,471</b>	<b>51,831</b>	<b>52,881</b>	<b>0,997</b>	<b>0,997</b>	<b>0,997</b>

Pada keseluruhan pengujian dalam Tabel 1, hasil terbaik didapatkan oleh citra Tiffany pada layer warna *Red*, dimana skor yang didapatkan adalah 0,051 untuk perhitungan MSE; 60,974 untuk perhitungan PSNR; dan 0,998 untuk perhitungan SSIM. Sementara itu, nilai terendah didapatkan oleh citra Baboon pada layer warna *Green* dengan skor 4,314 pada perhitungan MSE; 41,781 pada perhitungan PSNR; dan 0,996 pada perhitungan SSIM. Sedangkan skor rata-rata tertinggi didapatkan pada layer warna *Blue*, dan terendah pada layer warna *Green*.

### 3.2 Hasil Implementasi Metode LSB

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian dari pengimplementasian metode *Least Significant Bit*. Pengimplementasian ini diuji dengan menggunakan perhitungan MSE, PVD, dan SSIM pada setiap layer warna RGB. Hasil yang diberi warna hijau merupakan nilai terbaik yang didapatkan, sedangkan hasil yang diberi warna merah merupakan nilai terendah yang didapatkan. Pada keseluruhan pengujian dalam Tabel 2, hasil terbaik didapatkan oleh citra Lena pada layer warna *Green*, dimana skor yang didapatkan adalah 0,0039 untuk perhitungan MSE; 72,218 untuk perhitungan PSNR; dan 1,000 untuk perhitungan SSIM. Sementara itu, nilai terendah didapatkan oleh citra Woodland pada layer warna *Green* dengan skor 0,0041 pada perhitungan MSE; 71,961 pada perhitungan PSNR; dan 1,000 pada perhitungan SSIM. Sedangkan skor rata-rata tertinggi didapatkan pada layer warna *Green*, dan terendah pada layer warna *Red*.

**Tabel 2.** Hasil pengujian dari implementasi metode LSB

Citra	LSB								
	MSE			PSNR			SSIM		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
Lena	0,0040	0,0039	0,0039	72,086	72,218	72,173	0,999	1,000	0,999
Baboon	0,0041	0,0041	0,0041	71,968	72,002	71,99	1,000	1,000	1,000
Tiffany	0,0041	0,0040	0,0040	71,973	72,026	72,018	0,999	0,999	0,999
Worldland	0,0040	0,0041	0,0040	72,053	71,961	72,063	1,000	1,000	1,000
Peppers	0,0040	0,0040	0,0040	72,008	72,052	72,086	0,999	0,999	0,999
Sailboat	0,0039	0,0040	0,0040	72,125	72,035	72,031	1,000	1,000	1,000
Splash	0,0040	0,0039	0,0041	72,057	72,129	71,971	0,999	0,999	0,999
Okeland	0,0040	0,0040	0,0040	72,053	72,023	72,067	1,000	1,000	0,999
<b>Rata-rata</b>	<b>0,0040</b>	<b>0,0040</b>	<b>0,0040</b>	<b>72,040</b>	<b>72,056</b>	<b>72,050</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>

### 3.3 Hasil Implementasi Metode LSB dan PVD

Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian dari pengimplementasian dari kombinasi metode *Least Significant Bit* dan *Pixel Value Differencing*. Pengimplementasian ini di uji dengan menggunakan perhitungan MSE, PVD, dan SSIM pada setiap layer warna RGB. Hasil yang diberi warna hijau merupakan nilai terbaik yang didapatkan, sedangkan hasil yang diberi warna merah merupakan nilai terendah yang didapatkan. Pada keseluruhan pengujian, hasil terbaik didapatkan oleh citra Tiffany pada layer warna *Red*, dimana skor yang didapatkan adalah 0,054 untuk perhitungan MSE; 60,734 untuk perhitungan PSNR; dan 0,998 untuk perhitungan SSIM. Sementara itu, nilai terendah didapatkan oleh citra Baboon pada layer warna *Green* dengan skor 4,320 pada perhitungan MSE; 41,752 pada perhitungan PSNR; dan 0,996 pada perhitungan SSIM. Sedangkan skor rata-rata tertinggi didapatkan pada layer warna *Blue*, dan terendah pada layer warna *Green*.

**Tabel 3.** Hasil pengujian dari implementasi metode LSB dan PVD

Citra	PVD + LSB								
	MSE			PSNR			SSIM		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
Lena	0,140	0,181	0,221	56,646	55,546	54,686	0,997	0,997	0,995
Baboon	3,733	4,320	3,930	42,409	41,752	42,186	0,995	0,996	0,996
Tiffany	0,054	0,094	0,085	60,734	58,381	58,821	0,998	0,997	0,997
Worldland	0,648	0,530	0,658	50,011	50,886	49,947	0,997	0,997	0,996
Peppers	0,338	0,346	0,309	52,841	52,727	53,228	0,997	0,999	0,998
Sailboat	0,457	0,743	0,811	51,527	49,419	49,039	0,997	0,998	0,998
Splash	0,092	0,167	0,101	58,489	55,893	58,090	0,997	0,997	0,997
Okeland	1,442	0,681	0,138	46,54	49,795	56,718	0,996	0,996	0,997
Rata-rata	0,863	0,883	0,781	52,400	51,800	52,839	0,997	0,997	0,997

## 4. KESIMPULAN

Dari paparan eksperimen yang dilakukan, kesimpulan yang didapatkan adalah bahwa algoritma yang mampu memberikan hasil terbaik untuk dilakukannya proses penyisipan pesan ke dalam gambar adalah *Least Significant Bit*. Hal tersebut dibuktikan dengan hasil pengujian pada citra Lena dalam layer warna *Green* yang memberikan nilai skor terbaik, yaitu 0,0039 pada perhitungan MSE, 72,218 pada perhitungan PSNR, dan 1,000 pada perhitungan SSIM. Dari hasil yang telah didapatkan juga, dapat dilihat bahwa algoritma *Least Significant Bit* tidak mengalami banyak perubahan piksel, hal ini dapat diungkapkan bahwa algoritma tersebut mampu menghasilkan nilai PSNR hingga 60,734 dB pada layer warna *Red*.

## DAFTAR PUSTAKA

Apriansyah, Apriansyah, Mitra Unik, and Harun Mukhtar. 2020. "Implementasi Sistem Keamanan Pesan Text Dengan Teknik Steganografi Menggunakan Metode Least Significant Bit (LSB)." *Jurnal Computer Science and Information Technology* 1(1): 8–12.

- Darabkh, Khalid A. 2017. "A New Steganographic Algorithm Based on Multi Directional PVD and Modified LSB." *Information Technology and Control* 46(1): 16–36. <http://itc.ktu.lt/index.php/ITC/article/view/15253>.
- Darwis, D, N B Pamungkas, and Wamiliana. 2021. "Comparison of Least Significant Bit, Pixel Value Differencing, and Modulus Function on Steganography to Measure Image Quality, Storage Capacity, and Robustness." *Journal of Physics: Conference Series* 1751(1): 012039. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1751/1/012039>.
- Hafiz, Aliy. 2019. "STEGANOGRAFI BERBASIS CITRA DIGITAL UNTUK MENYEMBUNYIKAN DATA MENGGUNAKAN METODE LEAST SIGNIFICANT BIT(LSB)." *Jurnal Cendikia XVII*: 194–98.
- Hameed, Mohamed Abdel, M. Hassaballah, Saleh Aly, and Ali Ismail Awad. 2019. "An Adaptive Image Steganography Method Based on Histogram of Oriented Gradient and PVD-LSB Techniques." *IEEE Access* 7: 185189–204. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8935197/>.
- Ilaga, Kas Raygapurta, and Christy Atika Sari. 2018. "Analysis of Secure Image Crypto-Stegano Based on Electronic Code Book and Least Significant Bit." *Journal of Applied Intelligent System* 3(1): 28–38.
- Irawan, Candra, Eko Hari Rachmawanto, Christy Atika Sari, and Castaka Agus Sugianto. 2020. "SUPER ENKRIPSI FILE DOKUMEN MENGGUNAKAN BEAUFORT CIPHER DAN TRANSPOSISI KOLOM." In *Semnas LPPM UMP*, , 556–63.
- Jung, Ki-Hyun. 2018. "Data Hiding Scheme Improving Embedding Capacity Using Mixed PVD and LSB on Bit Plane." *Journal of Real-Time Image Processing* 14(1): 127–36. <http://link.springer.com/10.1007/s11554-017-0719-y>.
- Mahesh AA, and Raja KB. 2019. "Design of an Efficient Steganography Model Using Lifting Based DWT and Modified-LSB Method on FPGA." *IJACSA International Journal of Advanced Computer Science and Applications* 10(10). [www.ijacsa.thesai.org](http://www.ijacsa.thesai.org).
- Newaj Bhuiyan, Sharif Shah, Norun Abdul Malek, Othman Omran Khalifa, and Farah Diyana Abdul Rahman. 2018. "An Improved Image Steganography Algorithm Based on PVD." *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science* 10(2): 569. <http://ijeecs.iaescore.com/index.php/IJECS/article/view/11856>.
- Pradhan, Anita, K. Raja Sekhar, and Gandharba Swain. 2018. "Digital Image Steganography Using LSB Substitution, PVD, and EMD." *Mathematical Problems in Engineering* 2018: 1–11. <https://www.hindawi.com/journals/mpe/2018/1804953/>.
- Rachmawanto, Eko Hari et al. 2018. "Secured PVD Video Steganography Method Based on AES and Linear Congruential Generator." In *2018 International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI)*, IEEE, 163–67. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8864466/>.
- Sahu, Aditya Kumar, and Gandharba Swain. 2018. "An Improved Data Hiding Technique Using Bit Differencing and LSB Matching Digital Image Steganography View Project." *INTERNETWORKING INDONESIA JOURNAL* 10(1): 17–21. <https://www.researchgate.net/publication/325144650>.
- Sahu, Aditya Kumar, Gandharba Swain, Monalisa Sahu, and J. Hemalatha. 2021. "Multi-Directional Block Based PVD and Modulus Function Image Steganography to Avoid FOBP and IEP." *Journal of Information Security and Applications* 58: 102808. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S221421262100048X>.

- Sari, Christy Atika, Titi Suhartini Sukanto, Dan Eko, and Hari Rachmawanto. 2018. "ANALISA ROBUSTNESS CITRA DIGITAL PADA WATERMARKING DCT-DWT." In *ProsidingSNST Ke-9Tahun2018*, 19–22.
- Setiadi, De Rosal Ignatius Moses, Heru Agus Santoso, Eko Hari Rachmawanto, and Christy Atika Sari. 2018. "An Improved Message Capacity and Security Using Divide and Modulus Function in Spatial Domain Steganography." In *2018 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)*, IEEE, 186–90. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8350670/>.
- SOLAK, Serdar, and Umut ALTINIand350IK. 2018. "LSB Substitution and PVD Performance Analysis for Image Steganography." *International Journal of Computer Sciences and Engineering* 6(10): 1–4. [http://www.ijcsonline.org/full\\_paper\\_view.php?paper\\_id=2971](http://www.ijcsonline.org/full_paper_view.php?paper_id=2971).
- Swain, Gandharba. 2016. "A Steganographic Method Combining LSB Substitution and PVD in a Block." *Procedia Computer Science* 85: 39–44. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877050916305142>.
- Swain, Gandharba, and Aditya Kumar Sahu. 2019. "Data Hiding Using Adaptive LSB and PVD Technique Resisting PDH and RS Analysis." *International Journal of Electronic Security and Digital Forensics* 11(4): 458. <http://www.inderscience.com/link.php?id=10021739>.