

# Kinerja Sandi Koreksi Kesalahan LDPC pada Transmisi Citra

Wiwien Widyastuti

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Sanata Dharma  
Jl. Kampus III Paingan Maguworharjo Depok, Sleman, 55282, Indonesia  
E-mail: [wiwien@usd.ac.id](mailto:wiwien@usd.ac.id)

\*penulis korespondensi

Published: 30 Maret 2024

---

**Abstrak** – Sandi Low Density Parity Check (LDPC) merupakan sandi koreksi kesalahan linier yang digunakan untuk mengoreksi kesalahan dalam proses transmisi pesan pada saluran transmisi yang berderau. Sandi LDPC adalah sandi yang mendekati kapasitas, yang memungkinkan ambang batas derau diatur sangat dekat dengan ambang batas maksimum secara teoritis (batas Shannon). Salah satu jenis pesan yang sering ditransmisikan berupa citra. Penelitian ini bertujuan untuk melihat kinerja LDPC pada transmisi citra. Penelitian dilakukan dengan cara simulasi transmisi citra menggunakan penyandi dan pengawasandi LDPC yang laju sandi dan kepadatan matriks periksa paritas serta Signal to Noise Ratio (SNR) dibuat bervariasi. Performa sandi LDPC diukur dengan menggunakan Bit Error Rate (BER). Hasil penelitian menunjukkan bahwa BER sangat dipengaruhi oleh laju sandi, kepadatan matriks parity check dan SNR.

**Kata kunci:** LDPC, BER, matriks periksa paritas, SNR, pengawasandi

---

**Abstract** - The Low Density Parity Check (LDPC) code is a linear error correction code that is used to correct errors in the message transmission process over a noisy transmission channel. LDPC codes are capacity-approaching codes, which means that practical constructions exist that allow the noise threshold to be set very close to the theoretical maximum (the Shannon limit). One type of message that is often transmitted is in the form of images. This research aims to see the performance of LDPC in image transmission. The research was carried out by simulating image transmission using LDPC encoder and decoder where the code rate, the density of the parity check matrix and the Signal to Noise Ratio (SNR) were varied. LDPC code performance is measured using the Bit Error Rate (BER). The research results show that BER is strongly influenced by code rate, parity check matrix density and SNR.

**Keywords:** LDPC, BER, parity check matrix, SNR, decoder

---

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang sangat pesat membutuhkan suatu sistem yang semakin handal. Pada bidang telekomunikasi, proses transmisi data merupakan hal yang sangat penting dan terus dikembangkan untuk semakin meningkatkan kinerja komunikasi. Salah satu masalah pada proses transmisi data adalah data yang dikirim oleh pengirim kemungkinan besar berbeda dengan data yang diterima oleh penerima. Hal tersebut disebabkan oleh derau dan fading pada saluran transmisi.

Untuk mengatasi masalah tersebut, pada komunikasi data digital terdapat error-correcting codes (sandi koreksi kesalahan). Sandi ini digunakan untuk mengubah data digital yang akan dikirimkan ke suatu bentuk sandi tertentu yang biasanya diberi tambahan bit yang disebut bit paritas. Kemudian pada sisi penerima sandi tersebut akan diawasandikan untuk mendapatkan data asli. Pengawasandi harus mempunyai kemampuan untuk mendeteksi dan mengoreksi kesalahan yang terjadi pada data yang diterima sehingga seperti data yang dikirimkan.

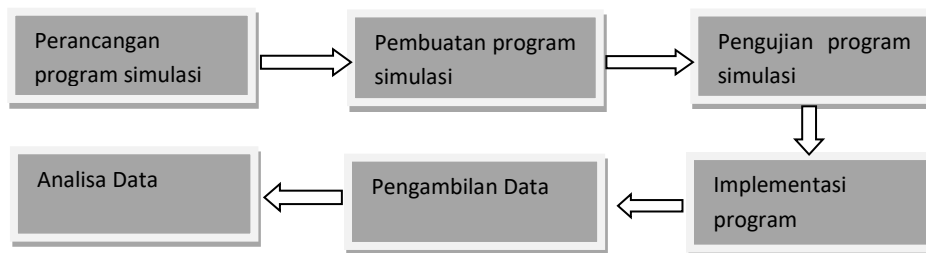
Low-Density Parity-Check (LDPC) adalah salah satu jenis sandi koreksi kesalahan yang digunakan dalam komunikasi digital. Mereka pertama kali diperkenalkan oleh Robert Gallager pada awal tahun 1960 [1]. Sandi LDPC dibuat menggunakan matriks periksa paritas jarang, yang berarti jumlah angka 1 pada setiap baris dan kolom lebih kecil dibandingkan dengan ukuran matriks. Properti dari kejarangan matriks periksa paritas inilah yang membuat kode LDPC efisien untuk disandikan dan diawasandikan. LDPC banyak digunakan dalam sistem komunikasi modern seperti Wi-Fi, televisi digital, dan komunikasi satelit.[2]

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja sandi LDPC dalam transmisi citra. Seberapa handal sandi ini dalam mengoreksi kesalahan pada citra berderau. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk melihat pengaruh laju sandi dan kepadatan matriks periksa paritas terhadap BER dan waktu yang diperlukan untuk pengawasandian.

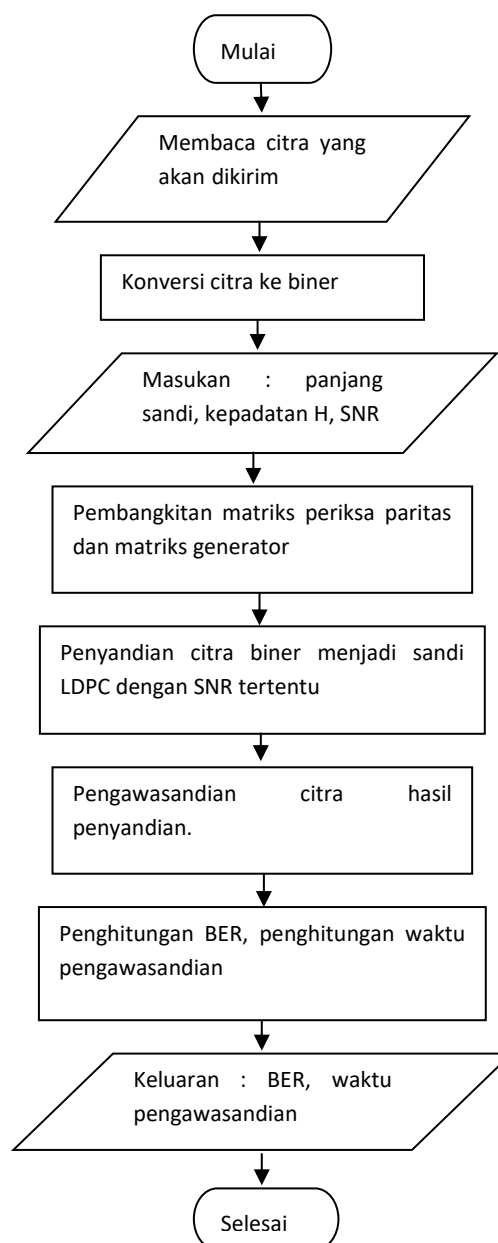
## 2. METODE

### 2.1 Tahapan Penelitian & Simulasi sandi LDPC

Penelitian dilakukan melalui tahap-tahap seperti diagram gambar 1. Pada tahap ini, dilakukan pembuatan diagram alir untuk simulasi penyandi dan pengawasandi sandi LDPC seperti tampak pada Gambar 2.



Gambar 1. Tahap metode penelitian



Gambar 2. Diagram alir program simulasi sandi LDPC

- a) Pembuatan program: Pada tahap ini, diagram alir rancangan program diimplementasikan dengan pembuatan program dengan Bahasa pemrograman Python.
- b) Pengujian Program: Pada tahap ini, program diuji apakah sudah berjalan dan memberikan keluaran yang sesuai.
- c) Implementasi program: Pada tahap ini, program digunakan untuk melakukan simulasi penyandi dan pengawasandi LDPC untuk pesan berupa citra aras keabuan dengan ukuran 125x 125 piksel. Kemudian program diberi masukan berupa kepadatan matriks periksa paritas dan SNR yang bervariasi. Untuk setiap konfigurasi kepadatan matriks periksa paritas, simulasi penyandi dan pengawasandi diatur dengan variasi SNR sebesar 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 dan 10
- d) Pengambilan Data: Pada tahap implementasi program, dilakukan juga pengambilan data. Data yang diambil adalah panjang blok sandi (N), panjang blok pesan (K), laju sandi, kepadatan matriks periksa paritas, matriks periksa paritas, matriks generator, Bit Error Rate (BER) dan waktu pengawasandian. Program dicoba dengan 5 variasi kepadatan matriks periksa paritas. Untuk setiap variasi kepadatan matriks periksa paritas, simulasi dilakukan dengan memberikan 9 variasi nilai SNR yang berbeda.
- e) Analisa Data: Data yang telah diambil pada tahap sebelumnya kemudian dioleh dan dibuat grafik supaya dapat diketahui pengaruh dari suatu parameter bagi kinerja sandi LDPC.

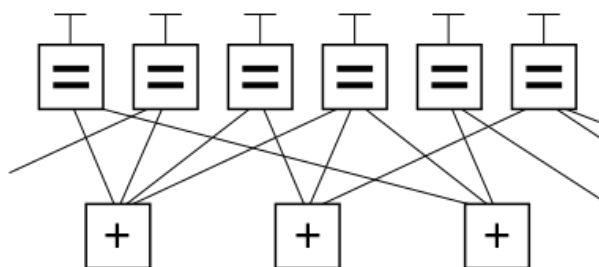
## 2.2 Sandi LDPC

Dalam teori informasi, sandi *Low-Density Parity-Check* (LDPC) adalah sandi koreksi kesalahan linier yang digunakan untuk menjaga supaya data yang dikirim melalui kanal transmisi berderau tidak mengalami kerusakan/kesalahan [3]. Pada dasarnya sandi ini dibuat memakai *Tanner graph* jarang [4]. Sandi LDPC dikenal memiliki kemampuan mengoreksi kesalahan mendekati batas Shannon (batas maksimum pengoreksi kesalahan secara teoretis). Batas deraunya dapat dibuat memiliki batas atas mendekati nilai probabilitas dari hilangnya informasi sekecil-kecilnya. Dengan menggunakan teknik *belief propagation* iteratif, sandi LDPC dapat diawasandi atau diurai kembali dalam rentang waktu linear terhadap panjang bloknya.

Sandi LDPC cukup populer pemakaiannya pada aplikasi-aplikasi yang membutuhkan kehandalan dan efisiensi tinggi untuk mengirimkan informasi, terutama jika informasi tersebut dikirimkan melalui kanal berderau tinggi. Implementasi kode LDPC terbilang cukup terlambat dibanding sandi koreksi kesalahan lainnya karena membutuhkan spesifikasi perangkat keras yang cukup tinggi. Begitu perkembangan kemampuan perangkat keras semakin berkembang, LDPC menjadi lebih memungkinkan untuk diimplementasikan.

Sandi LDPC juga dikenal sebagai sandi Gallager, sebagai bentuk penghargaan kepada Robert G. Gallager yang telah mengembangkan konsep LDPC [5].

Sandi LDPC secara fungsional ditentukan oleh matriks periksa paritas jarang. Matriks jarang ini sering kali dihasilkan secara acak, sesuai dengan batasan ketersebaran. Gambar 3 adalah potongan grafik dari contoh sandi LDPC menggunakan notasi grafik faktor Forney. Dalam grafik ini,  $n$  *node* variabel di bagian atas grafik dihubungkan ke  $(n-k)$  *node* pembatas di bagian bawah grafik. Cara ini adalah cara populer untuk merepresentasikan sandi LDPC  $(n, k)$  secara grafis. Bit-bit pesan yang valid, bila ditempatkan pada tanda T di bagian atas grafik, memenuhi batasan grafis. Secara khusus, semua garis yang terhubung ke *node* variabel (kotak dengan tanda '=') memiliki nilai yang sama, dan semua nilai yang terhubung ke *node* faktor (kotak dengan tanda '+') harus dijumlahkan, modulo dua, menjadi nol.



Gambar 3. Sandi LDPC dengan notasi grafik factor Forney [6]

Mengabaikan garis apa pun yang keluar dari gambar, ada delapan kemungkinan string enam bit yang sesuai dengan kata sandi yang valid: (yaitu, 000000, 011001, 110010, 101011, 111100, 100101, 001110, 010111). Fragmen sandi LDPC ini mewakili pesan tiga-bit yang disandikan sebagai enam bit. Redundansi digunakan untuk meningkatkan kemungkinan pemulihan dari kesalahan saluran. Sandi tersebut adalah sandi linier  $(6, 3)$ , dengan  $n = 6$  dan  $k = 3$ . Dengan mengabaikan garis yang keluar dari gambar, matriks periksa paritas yang mewakili fragmen grafik ini adalah :

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Dalam matriks ini, setiap baris mewakili salah satu dari tiga batasan periksa paritas, sedangkan setiap kolom mewakili salah satu dari enam bit dalam kata sandi yang diterima. Dalam contoh ini, delapan kata sandi dapat diperoleh dengan memasukkan matriks pemeriksa paritas H ke dalam bentuk berikut  $[-P^T | I_{n-k}]$  dengan operasi baris dasar pada GF(2) :

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \sim \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \sim \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \sim \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Dari matriks H tersebut, matriks generator G dapat diperoleh sebagai  $[I_k | P] : G = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$

Kemudian dengan mengalikan semua delapan kombinasi pesan 3 bit dengan G akan diperoleh delapan kata sandi yang valid. Sebagai contoh pesan 101 disandikan dengan cara berikut:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Laju sandi (*code rate*) suatu sandi LDPC didefinisikan sebagai rasio jumlah bit informasi dengan jumlah total bit dalam sandi. Laju sandi merupakan parameter penting dalam sandi LDPC, karena menentukan efisiensi sandi dalam hal jumlah bit informasi yang dapat dikirimkan per satuan waktu. Laju sandi yang lebih tinggi menghasilkan transmisi informasi yang lebih efisien, namun kemampuan koreksi kesalahan juga cenderung lebih rendah. Oleh karena itu, pilihan laju sandi bergantung pada aplikasi spesifik dan keseimbangan yang diinginkan antara efisiensi dan kemampuan koreksi kesalahan [7][8]. Rumus dari laju sandi :

$$\text{laju sandi} = \frac{\text{jumlah bit pesan}}{\text{jumlah bit sandi}} \quad (1)$$

### 2.3 Signal- to- Noise Ratio (SNR)

*Signal- to- Noise Ratio* (SNR) adalah ukuran kekuatan sinyal yang diinginkan relatif terhadap derau dalam komunikasi analog dan digital [9]. SNR biasanya dinyatakan sebagai nilai numerik tunggal dalam desibel (dB), dan rasio yang lebih tinggi menunjukkan kualitas sinyal yang lebih baik [10].

SNR dapat dihitung dengan membandingkan kekuatan sinyal dengan kekuatan derau, yang keduanya harus diukur pada titik yang sama atau setara dalam suatu sistem dan dalam bandwidth sistem yang sama[11]. Rumus SNR bergantung pada cara pengukuran tingkat sinyal dan derau, namun biasanya menggunakan logaritma basis 10 dari rasio daya sinyal terhadap daya derau[9][10][11]. SNR adalah metrik penting dalam teknologi nirkabel, karena membantu memastikan fungsionalitas nirkabel dan kinerja perangkat yang tepat[12]. Rumus SNR adalah sebagai berikut :

$$SNR(dB) = 10 \log_{10} \left( \frac{\text{daya sinyal}}{\text{daya derau}} \right) \quad (2)$$

Dengan :            daya sinyal : daya dari sinyal yang diinginkan  
                       Daya derau : daya dari derau latar

### 2.4 Bit Error Rate (BER)

*Bit Error Rate* (BER) merupakan ukuran jumlah kesalahan bit per unit waktu, atau jumlah kesalahan bit dibagi dengan total jumlah bit yang ditransfer selama interval waktu yang diteliti. BER adalah ukuran kinerja tanpa satuan, sering kali diekspresikan sebagai persentase. BER adalah metrik penting dalam sistem komunikasi digital, dan digunakan untuk menilai kualitas transmisi sinyal. BER dihitung dengan membandingkan jumlah bit yang diterima dengan kesalahan terhadap total jumlah bit yang ditransmisikan dalam periode waktu yang sama. BER yang lebih rendah menunjukkan kualitas sinyal yang lebih baik, dan merupakan parameter penting untuk mengevaluasi kinerja sistem komunikasi [13], [14], [15]. Rumus BER adalah sebagai berikut:

$$BER = \frac{\text{jumlah bit salah}}{\text{jumlah bit yang diterima}} \quad (3)$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Citra yang digunakan pada penelitian ini adalah citra keabuan dengan ukuran 125x125 piksel. Sebelum disandikan, citra ini dikonversi terlebih dahulu ke biner. Hasil konversi citra menghasilkan matriks biner berukuran (125x125x8). Simulasi penyandi dan pengawasandi LDPC dilakukan dengan memberikan variasi masukan pada program. Masukan berupa panjang blok sandi (N) dan kepadatan matriks periksa paritas (dv dan dc). Dv adalah rata-rata jumlah nilai 1 pada tiap kolom dan dc adalah rata-rata jumlah nilai 1 pada tiap baris, sehingga nilai dv dan dc akan menentukan kepadatan matriks periksa paritas. Berdasarkan eksekusi program, program berhasil membuat penyandi dan pengawasandi sandi LDPC berupa matriks periksa paritas (H) dan matriks generator (G) dengan ukuran seperti pada tabel. Banyaknya baris matriks G menunjukkan panjang blok sandi (N), sedangkan banyaknya kolom matriks G menunjukkan panjang blok pesan (K). Berdasarkan ukuran matriks G, dapat dihitung laju sandi (K/N).

Tabel 1. Tabel Parameter LDPC

N	dv	dc	Ukuran matriks H	Ukuran Matriks G	K	Kepadatan	Laju sandi= K/N
200	4	5	(160x200)	(200x43)	43	0.000625	0.215
200	5	8	(125x200)	(200x79)	79	0.0016	0.395
200	5	10	(100x200)	(200x104)	104	0.0025	0.52
200	10	25	(80x200)	(200x129)	129	0.015625	0.645
200	5	20	(50x200)	(200x154)	154	0.01	0.77

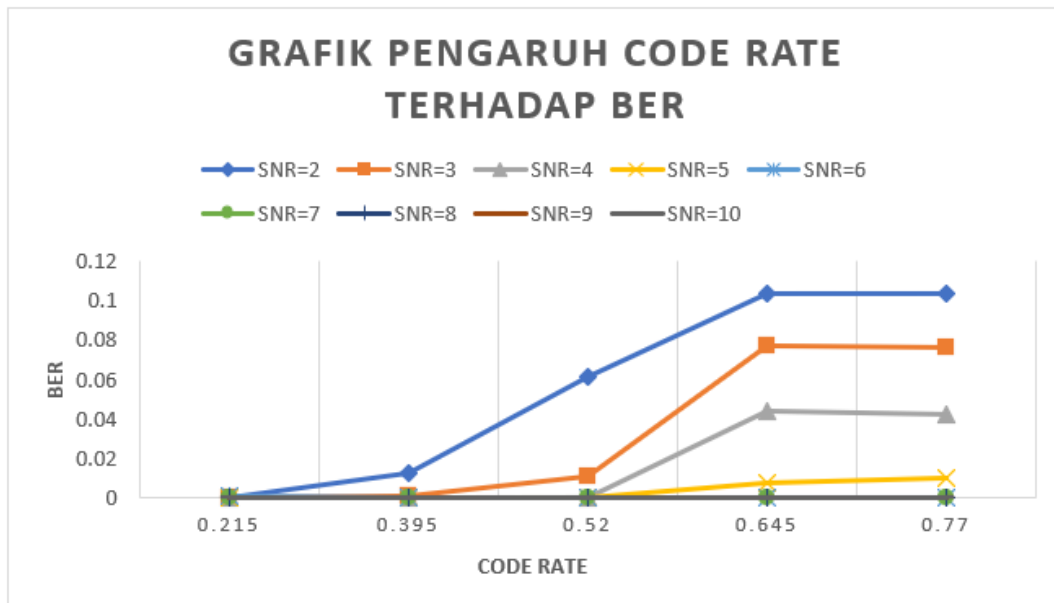
Penyandi dan pengawasandi dengan pengaturan parameter seperti tabel 1, kemudian masing-masing disimulasikan dengan memberi masukan SNR yang bervariasi. Pemberian SNR yang bervariasi digunakan untuk melihat seberapa handal kinerja sandi jika citra yang diawandikan mengandung derau. Keluaran program simulasi berupa Bit Error Rate (BER) atau laju bit yang mengalami kesalahan dan waktu yang diperlukan untuk pengawasandian. BER dapat diperoleh dengan menghitung banyaknya bit hasil pengawasandian yang berbeda dengan bit pesan asli (citra biner), kemudian dibagi dengan jumlah keseluruhan bit citra biner. BER digunakan untuk mengukur kinerja sandi dalam mengoreksi kesalahan transmisi. Semakin kecil nilai BER maka semakin baik kinerja koreksinya.

Hasil keluaran simulasi program dibuat grafik untuk melihat beberapa hal berikut:

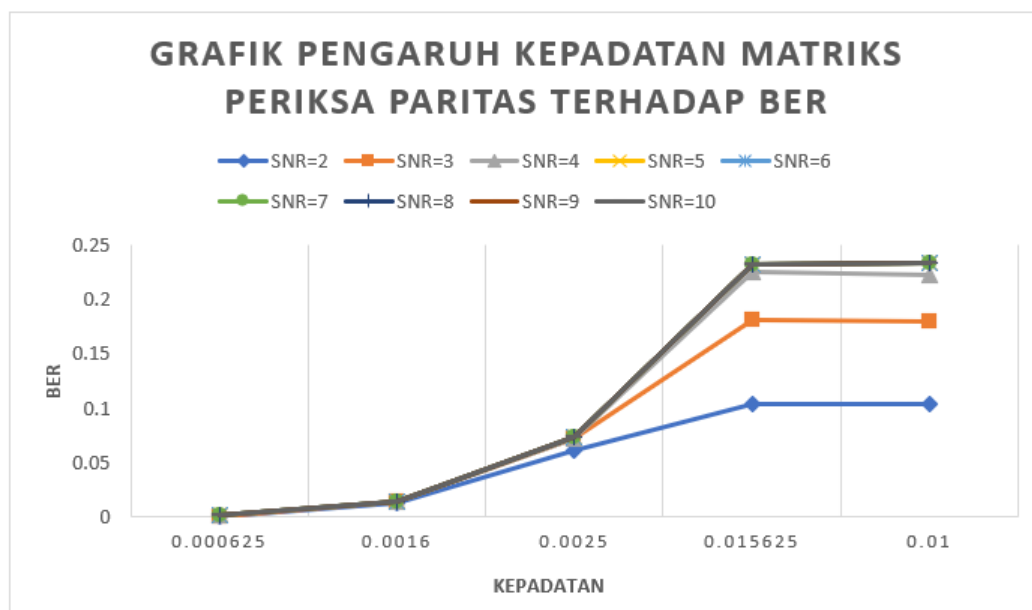
- Pengaruh laju sandi terhadap BER.
- Pengaruh kepadatan matriks periksa paritas terhadap BER.
- Pengaruh laju sandi terhadap waktu pengawasandian.
- Pengaruh kepadatan matriks periksa paritas terhadap waktu pengawasandian.

Grafik pengaruh laju sandi terhadap BER dapat dilihat pada Gambar 4. Dari grafik tersebut tampak bahwa selain SNR, laju sandi sangat mempengaruhi kinerja BER transmisi. Semakin tinggi SNR diperoleh kinerja BER yang lebih baik (nilai BER lebih rendah). Semakin tinggi laju sandi diperoleh kinerja BER yang semakin buruk.

Grafik pengaruh kepadatan matriks periksa paritas terhadap BER dapat dilihat pada Gambar 5. Dari grafik tersebut tampak bahwa kepadatan matriks periksa paritas juga sangat berpengaruh terhadap kinerja BER transmisi. Semakin padat matriks periksa paritas diperoleh kinerja BER yang semakin buruk. Grafik gambar 4 dan gambar 5 kecenderungannya terlihat mirip karena ada keterkaitan antara laju sandi dan kepadatan matriks periksa paritas. Laju sandi berbanding lurus dengan kepadatan matriks periksa paritas.

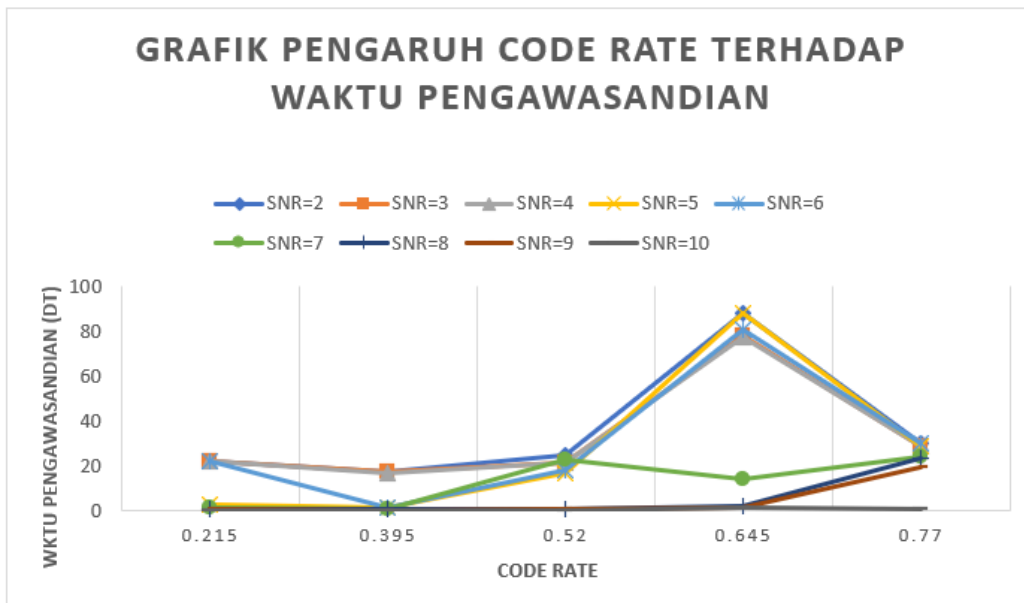


Gambar 4. Grafik pengaruh laju sandi terhadap BER

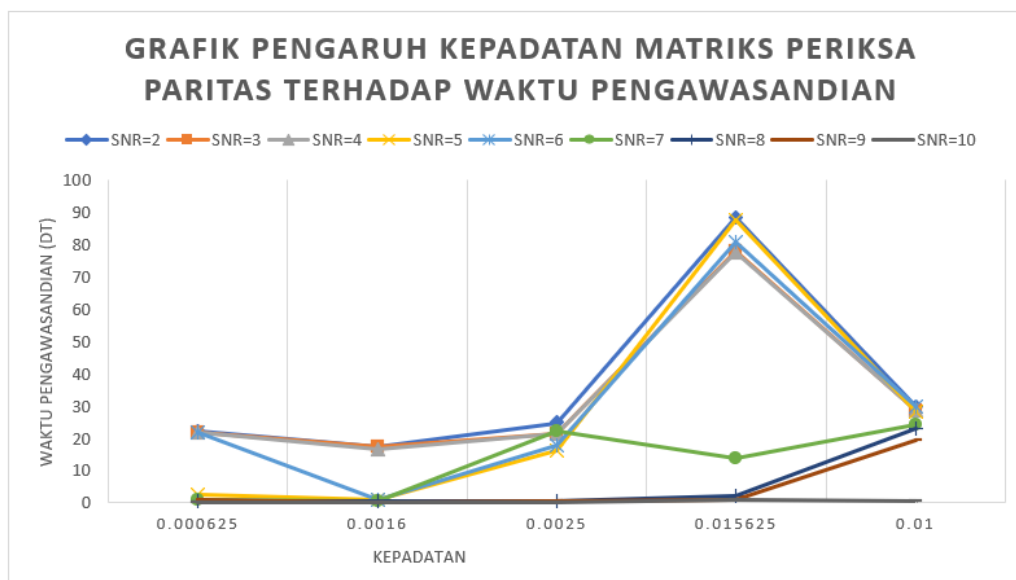


Gambar 5. Grafik pengaruh kepadatan matriks periksa paritas terhadap BER

Grafik pengaruh laju sandi terhadap waktu pengawasandian dapat dilihat pada Gambar 6. Grafik pengaruh kepadatan matriks periksa paritas terhadap waktu pengawasandian dapat dilihat pada gambar 7. Dari grafik tersebut tampak bahwa semakin rendah nilai SNR membutuhkan waktu pengawasandian yang semakin lama. Semakin rendah nilai SNR berarti derau pada citra yang ditransmisikan semakin banyak sehingga pengawasandi akan bekerja lebih berat dan lama karena algoritmanya bersifat iteratif. Sedangkan laju sandi dan kepadatan matriks periksa paritas juga mempengaruhi waktu pengawasandian walaupun ada beberapa titik yang anomali. Semakin tinggi laju sandi dan semakin padat matriks periksa paritas dibutuhkan waktu pengawasandian yang lebih lama.



Gambar 6. Grafik pengaruh laju sandi terhadap waktu pengawasan



Gambar 7. Grafik pengaruh kepadatan matriks periksa paritas terhadap waktu pengawasan

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka diperoleh beberapa kesimpulan bahwa sandi LDPC sangat handal digunakan untuk sebagai sandi koreksi kesalahan dalam transmisi citra dengan SNR kecil. Semakin tinggi laju sandi dan semakin padat matriks periksa paritas diperoleh kinerja BER yang semakin buruk serta waktu pengawasan yang semakin lama.

#### Daftar Pustaka

- [1] Gallager, R. G., "Low-density parity-check codes, " *IRE Transactions on Information Theory*, 8(1), 21-28, 1963
- [2] Richardson, T., & Urbanke, R., " *Modern coding theory*". Cambridge University Press, 2008.
- [3] Moon, Todd K. , " *Error Correction Coding, Mathematical Methods and Algorithms*", Wiley. ISBN 0-471-64800-0, 2005.
- [4] Amin Shokrollahi, " *LDPC Codes: An Introduction*", 2003.
- [5] Hardesty, L., " *Explained: Gallager codes*". MIT News, 2010.

- [6] [https://en.wikipedia.org/wiki/Low-density\\_parity-check\\_code](https://en.wikipedia.org/wiki/Low-density_parity-check_code)
- [7] Zhang, Y., & Liu, Y., "A construction of the high-rate regular quasi-cyclic LDPC codes. " *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2018(1), 1-10.
- [8] Wang, Y., & Zhang, Y., "A high-rate LDPC code design for 5G new radio. *IEEE Access*", 7, 10798-10806., 2019
- [9] TechTarget, "Signal-to-noise ratio (S/N or SNR)". diambil dari <https://www.techtarget.com/searchnetworking/definition/signal-to-noise-ratio>, 2003
- [10] Tutorialspoint., "What is Signal to Noise Ratio? ", diambil dari <https://www.tutorialspoint.com/what-is-signal-to-noise-ratio>, 2021.
- [11] Wikipedia., "Signal-to-noise ratio", diambil dari [https://en.wikipedia.org/wiki/Signal-to-noise\\_ratio](https://en.wikipedia.org/wiki/Signal-to-noise_ratio), 2023
- [12] Cisco Meraki, "Signal-to-Noise Ratio (SNR) and Wireless Signal Strength", diambil dari [https://documentation.meraki.com/MR/Wi-Fi\\_Basics\\_and\\_Best\\_Practices/Signal-to-Noise\\_Ratio\\_\(SNR\)\\_and\\_Wireless\\_Signal\\_Strength](https://documentation.meraki.com/MR/Wi-Fi_Basics_and_Best_Practices/Signal-to-Noise_Ratio_(SNR)_and_Wireless_Signal_Strength), 2023
- [13] Thuneibat, S. A., Al\_Issa, H., & Ijeh, A., "A Simplified Model of Bit Error Rate Calculation", *Computer and Information Science*, 9(1), 41,2015.
- [14] Mahjabeen, D., Tarafder, M. R., & Ahmed, T. S., "Bit Error Rate Analysis In Different Terrains For Lte", *International Journal of Research - GRANTHAALAYAH*, 7(7), 331–339., 2019.
- [15] Thuneibat, S. A., Al\_Issa, H., & Ijeh, A.. "A Simplified Model of Bit Error Rate Calculation", *Computer and Information Science*, 9(1), 41, 2015.