

REKONSTRUKSI CITRA ENDOSKOPI MENGGUNAKAN PENGINDERAAN KOMPRESIF DAN ALGORITMA BASIS PURSUIT DENOISING PADA *BODY SENSOR NETWORK*

ENDOSCOPY IMAGE RECONSTRUCTION USING COMPRESSIVE SENSING AND BASIS PURSUIT DENOISING ALGORITHM IN BODY SENSOR NETWORK

Sarah Mahesa¹, Dr. Ida Wahidah, S.T., M.T.², Irma Safitri, S.T., M.Sc.³

^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung

¹sarahmahesaa@student.telkomuniversity.ac.id, ²wahidah@telkomuniversity.co.id,

³irmasaf@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Kerongkongan merupakan saluran penghubung antara mulut dengan lambung, kerongkongan sangat rentan terkena radang yang disebut *esophagitis*. Untuk mengetahui seseorang terkena *esophagitis* perlu pemeriksaan dengan *Wireless Capsule Endoscopy* (WCE). Citra WCE adalah citra yang dihasilkan dari endoskopi yang dapat memberikan foto saluran pencernaan untuk mengetahui kelainan yang ada di dalam tubuh manusia. Perkembangan teknologi *body sensor network* (BSN) terus meningkat di dalam dunia medis sebagai pemantauan kesehatan tubuh manusia. Namun, permasalahan pada BSN yaitu volume data dari sensor yang sangat besar mengakibatkan terbatasnya ukuran penyimpanan pada *storage*. Oleh sebab itu, dibutuhkan proses kompresi agar penyimpanan yang tersedia mencukupi dan dapat menjaga kualitas citra secara visual manusia. Pada Tugas Akhir ini telah dilakukan perancangan sistem untuk rekonstruksi citra menggunakan citra endoskopi saluran pencernaan manusia. Pada transformasi *sparsity* digunakan yaitu *discrete cosine transform* (DCT) sedangkan dalam transformasi proyeksi digunakan yaitu proyeksi *gaussian*. *Compressive sensing* (CS) merupakan teknik baru dalam proses kompresi data, untuk memperkecil ukuran citra agar lebih efisien serta dapat menjaga kualitas citra. Sedangkan *basis pursuit de-noising* (BPDN) dengan pemrograman *active set pursuit* (ASP) yang merupakan salah satu implementasi dari BPDN untuk memperbaiki gambar yang terotasi. Hasil yang diperoleh dari pengujian citra endoskopi nilai *peak signal to noise ratio* (PSNR) tanpa *noise* terkecil saat parameter *measurement rate* (MR) 90% resolusi 64×64 piksel yaitu 35,04 dB dan nilai PSNR tertinggi dengan resolusi 1024×1024 piksel yaitu 52,67 dB. Nilai PSNR dengan *noise* terkecil saat parameter MR 90% resolusi 64×64 piksel yaitu 32,99 dB dan nilai PSNR tertinggi dengan resolusi 1024×1024 piksel yaitu 52,2 dB. Perbandingan nilai PSNR terkecil *basis pursuit* (BP) kanal AWGN saat parameter MR 90% resolusi 64×64 piksel bernilai 32,24 dB dan pada BPDN kanal AWGN bernilai 32,99 dB dan nilai PSNR tertinggi dengan resolusi 1024×1024 piksel BP kanal AWGN bernilai 44,17 dB dan pada BPDN kanal AWGN bernilai 52,2 dB.

Kata Kunci: *Compressive Sensing*, Algoritma BPDN, WCE, BSN, ASP

Abstract

The esophagus is the connecting channel between the mouth and the stomach, the esophagus is very susceptible to inflammation called esophagitis. To find out a person affected by esophagitis needs to be examined by wireless capsule endoscopy (WCE). The WCE image is the image resulting from endoscopy that can give photos to the digestive channel to know the abnormality that is in the human body. The development of technology body sensor network (BSN) continues to increase in the medical world as a health monitoring of the human body. However, the problem with BSN is that the data volume from a very large sensor causes limited storage size in storage. Therefore, a compression process is needed so that the available storage is sufficient and can maintain the quality of human visual images.

In this final project, system design has been made for image reconstruction using endoscopic imagery in the digestive channel of the human body. In sparsity transformation, discrete cosine transform (DCT) is used and in projection transformation, gaussian projection is used. Compressive sensing (CS) is a new technique in data compression process. It compresses the size of image to be more efficient and maintain the quality of the image in human visual basis pursuit de-noising (BPDN) with active set pursuit (ASP) is one of BPDN implementation to fix rotated images.

PSNR result without noise has the lowest value at measurement rate (MR) 90% 64x64 pixel resolution which is 35,04 dB and the highest is on 1024x1024 pixel resolution valued 52,67 dB. Peak signal to noise ratio (PSNR) result with noise has the lowest value at MR 90% 64x64 pixel resolution which is 32,99 dB and the highest is on 1024x1024 pixel resolution valued 52,2 dB. Comparison of PSNR lowest result basis pursuit (BP) AWGN canal when parameter reaches MR 90% 64x64 pixel resolution valued 32.24 dB and basis pursuit de-noising (BPDN) AWGN canal valued 32.99 dB and the highest PSNR on 1024x1024 pixel resolution BP AWGN canal valued 44.17 dB and BPDN AWGN canal valued 52.2 dB.

Keyword: *Compressive Sensing*, Algoritma BPDN, WCE, BSN, ASP

1. Pendahuluan

Kerongkongan merupakan saluran penghubung antara mulut dengan lambung. *Esofagus* sangat rentan terkena radang yang disebut *esophagitis*. *Wireless capsule endoscopy* (WCE) adalah alat diagnostik yang terdiri atas kamera nirkabel di dalam sebuah kapsul. Kapsul ini mengambil puluhan ribu gambar yang dapat direkam mulai dari kerongkongan hingga usus kecil [1]. Teknologi *body sensor network* (BSN) merupakan jaringan sensor pada tubuh yang dapat menghubungkan sensor di dalam tubuh manusia digunakan untuk mengetahui informasi citra WCE yang dilakukan pada jarak tertentu [2].

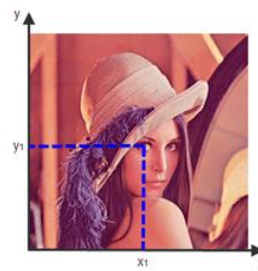
Permasalahan saat ini pada BSN adalah keterbatasan daya dan kemampuan komputasi dari sensor serta volume data yang sangat besar sehingga mengakibatkan terbatasnya ukuran penyimpanan. Oleh sebab itu dibutuhkan proses kompresi agar penyimpanan yang tersedia mencukupi dan dapat menjaga kualitas citra secara visual manusia. *Compressive sensing* (CS) merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk memperkecil ukuran file citra sehingga lebih efisien dalam media penyimpanan [3]. Sedangkan *basis pursuit de-noising* (BPDN) dengan pemograman *active set pursuit* (ASP) yang merupakan salah satu implementasi dari BPDN. ASP adalah sebuah teori yang bisa digunakan untuk memecahkan beberapa variasi masalah *optimization sparse*.

Perancangan dilakukan dalam transformasi *sparsity* dengan menggunakan *discrete cosine transform* (DCT) dan dalam transformasi proyeksi menggunakan proyeksi *gaussian* dengan memperhatikan nilai *peak signal to noise ratio*, *mean square error*, *structural similiary index measure* dan *processing time*.

2. Konsep Dasar

2.1 Citra Digital

Citra digital merupakan hasil representasi citra dari fungsi kontinyu menjadi nilai-nilai diskrit melalui proses digitalisasi. Citra digital dibentuk oleh kumpulan titik yang dinamakan piksel (*pixel* atau "*picture element*") [5]. Citra digital dapat dinyatakan sebagai fungsi f dua dimensi dimana x dan y adalah koordinat spasial [6]. Gambar 2.1 merupakan citra digital dalam sumbu koordinat:



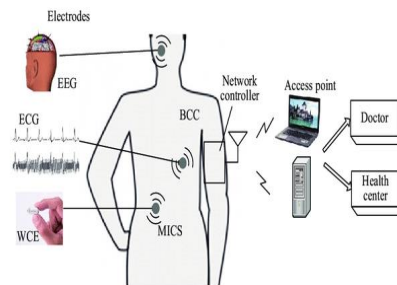
Gambar 2.1 Citra digital dalam sumbu koordinat [7].

2.2 Healthcare Monitoring Wireless Capsule Endoscopy (WCE)

Kapsul endoskopi adalah alat diagnostik yang terdiri atas kamera nirkabel di dalam sebuah kapsul. Kapsul endoskopi adalah kamera miniature nirkabel (panjang 26 mm dan diameter 11 mm) yang mentransmisikan gambar digital ke perekam data eksternal. Kapsul tersebut mengandung kamera chip CMIC (*metallic oxide semiconductor*) dan menggabungkan pencahayaan LED menggunakan baterai perak oksida.

2.3 Body Sensor Network (BSN)

Body sensor network (BSN), disebut juga sebagai jaringan sensor area tubuh yang dirancang untuk menghubungkan dan mengoperasikan sensor di dalam tubuh manusia. Tujuan dari sistem BSN adalah untuk mengukur kondisi kesehatan tubuh secara real-time dari jarak tertentu [13]. BSN di dalam dunia medis sebagai pemantauan kesehatan tubuh manusia.

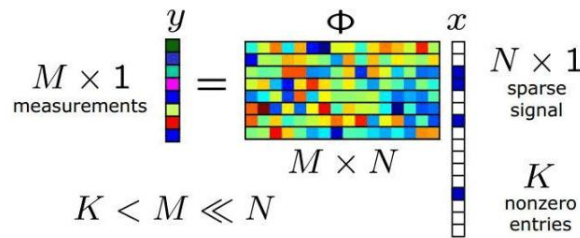


Gambar 2.6 Jaringan Sensor Tubuh [2].

Cara kerja BSN yaitu data yang telah dikumpulkan dan di analisis kemudian dikirim ke server database untuk pengarsipan data dan analisis lebih lanjut [2].

2.4 Model Akuisisi Compressive Sensing

Compressive sensing (CS) adalah salah satu teknik yang digunakan dalam proses sampling data dan kompresi data, tujuannya untuk memperkecil suatu ukuran file agar lebih efisien dalam penyimpanannya.



Tujuan dari CS adalah melakukan sampling dari sinyal sparse x sehingga diperoleh sinyal hasil sampling y yang memiliki jumlah sampel yang lebih sedikit dari x . [16].

2.5 Model Rekonstruksi

2.5.1 Basis Pursuit

Basis pursuit (BP) merupakan algoritma yang digunakan dalam proses rekonstruksi, bertujuan untuk merekonstruksi suatu sinyal yang telah melalui proses kompresi. BP menggunakan $L1$ -Norm sebagai berikut:

$$\hat{s} = \arg \min_s \|s\|_1; \text{ subject to } \Theta \cdot s = y \tag{1}$$

Di mana s adalah Vektor sinyal asli $N \times 1$, y adalah Hasil pengukuran vektor $M \times 1$, Θ adalah matriks transformasi $M \times N$ pengukuran dan $M < N$.

2.5.2 Basis Pursuit De-noising

Basis Pursuit Denoising (BPDN) berfungsi untuk menerima *noise* dalam pengukuran. BPDN sama dengan BP hanya saja fungsi *constraint* nya yang berbeda. Berikut persamaan ℓ_2 -norm yang dibatasi dengan ϵ :

$$\hat{s} = \arg \min_s \|s\|_1; \text{ subject to } \frac{1}{2} \|(y - \Theta \cdot s)\|_2^2 \leq \epsilon \tag{2}$$

Di mana, ℓ_2 juga dikenal sebagai norm *euclidean*, mewakili panjang atau ukuran vektor. Θ dapat berupa *sparse rectangular matrix* untuk menghitung vektor.

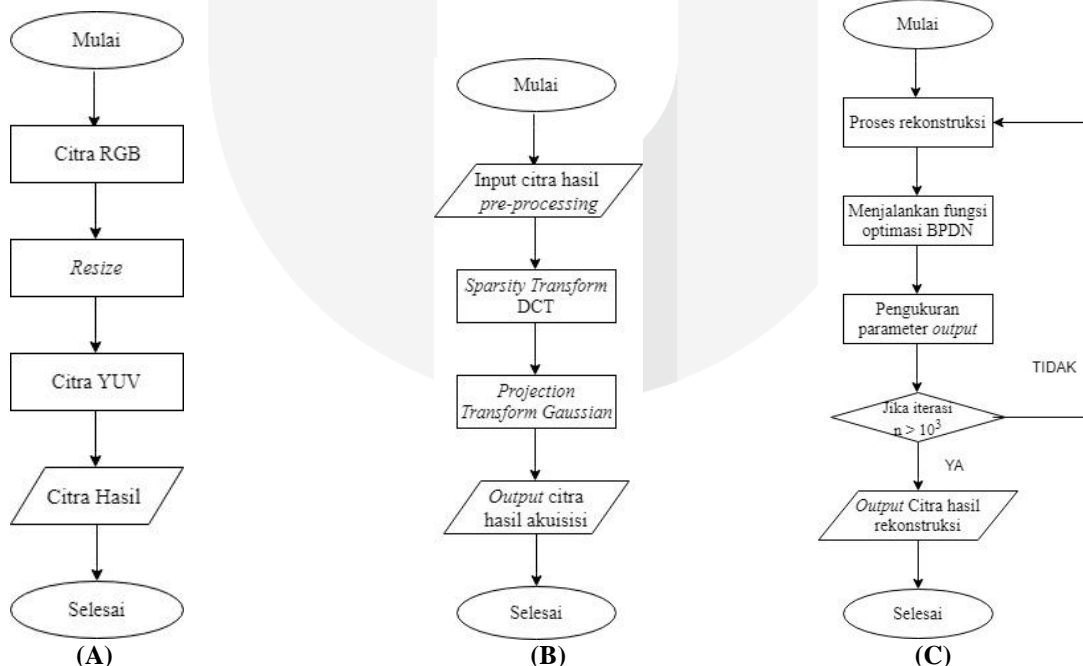
2.6 Algoritma Basis Pursuit Denoising Menggunakan Pemrograman ASP

Active set pursuit (ASP) yang merupakan salah satu implementasi dari BPDN untuk memperbaiki gambar yang terkena serangan kanal. ASP adalah sebuah teori yang bisa digunakan untuk memecahkan beberapa variasi masalah *optimization sparse* terdapat pada persamaan (2).

$$\hat{x} = \text{minimize } \lambda \|x\|_1 + \frac{1}{2} \|(AX - b)\|_2^2 \tag{3}$$

Di mana ASP meminimalkan *norm L1*, dengan λ sama dengan 0 dari x dikali $L2$ *norm* dikuadratkan. Bertujuan untuk suatu sinyal yang telah melalui proses kompresi.

3. Desain Sistem



Gambar (A) Diagram alir tahap *pre-processing*. **Gambar (B)** Proses Akuisisi Citra **Gambar (C)** Proses rekonstruksi di penerima.

3.1 Pre-processing

Pada proses *pre-processing* terdapat beberapa tahapan, yaitu citra RGB akan diubah ukuran pikselnya melalui tahap *resize* untuk mempermudah *software* dalam mengolah citra. Kemudian diubah menjadi citra YUV

untuk memudahkan proses pengiriman pada kanal AWGN. Hasil citra *pre-processing* menjadi citra masukan pada proses CS di akuisisi:

3.2 Proses Akuisisi

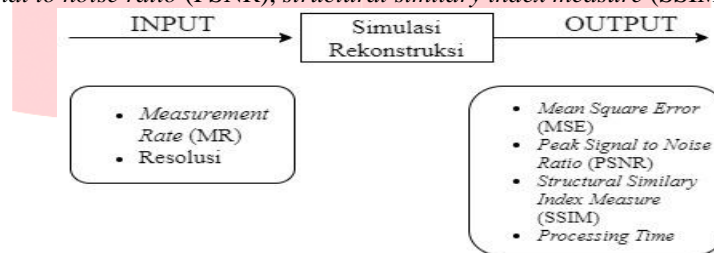
Proses akuisisi merupakan proses setelah dilakukan *pre-processing* pada citra dengan menginputkan data citra hasil ke dalam program untuk di akuisisi. Pada CS di akuisisi, secara general mempunyai dua proses utama yaitu *sparsity transform* menggunakan DCT dan *projection transform* menggunakan *gaussian*. Proses *projection transform* digunakan untuk mengurangi resolusi citra dengan menggunakan matriks acak *gaussian*.

3.3 Proses Rekonstruksi Citra

Setelah proses akuisisi, selanjutnya proses rekonstruksi yaitu dengan menjalankan fungsi optimasi dengan pemrograman ASP yang mengacu pada persamaan (3) dengan menggunakan algoritma BPDN. Iterasi pada program memiliki nilai tertentu dan akan mengulangi hingga kondisi terpenuhi. Setelah melalui proses rekonstruksi kemudian citra hasil tersebut akan disimpan.

3.4 Perancangan Eksperimen

Pada perancangan penelitian Tugas Akhir ini eksperimen pada proses rekonstruksi citra dengan metode CS dan algoritma BPDN menggunakan pemrograman ASP dengan memperhatikan dua parameter input yaitu *measurement rate* (MR) dan resolusi. Simulasi rekonstruksi memiliki empat parameter output yaitu *mean square error* (MSE), *peak signal to noise ratio* (PSNR), *structural simily index measure* (SSIM) dan *processing time*.

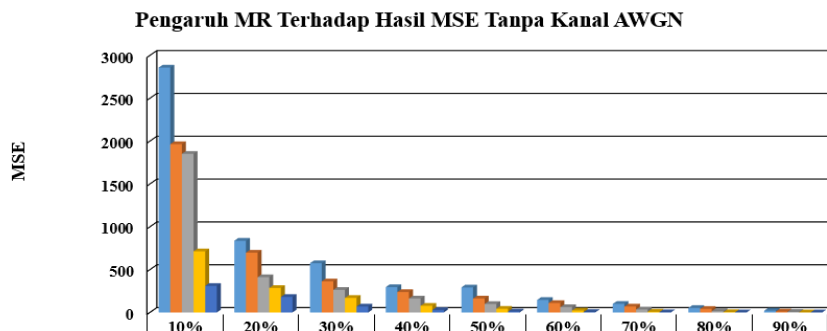


Gambar 3.4 Perancangan Sistem

(B) Pengujian dan Analisis Sistem

4.1 Pengaruh Pengujian Measurement Rate Terhadap Mean Square Error Tanpa Kanal AWGN

Pada pengujian sistem hasil rekonstruksi menggunakan pemrograman ASP dari algoritma BPDN yaitu MSE.

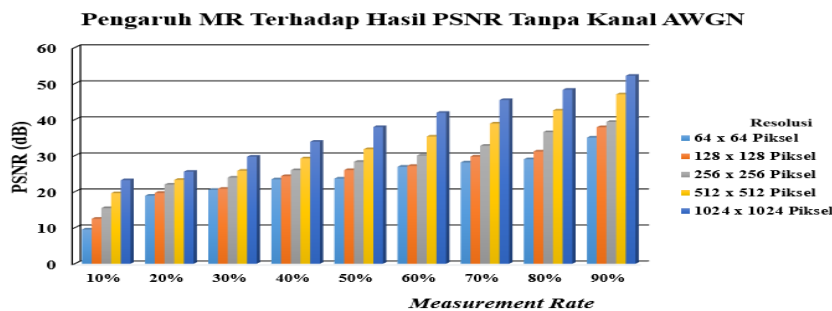


Gambar 4.1 Pengaruh MR Terhadap Hasil MSE Tanpa Kanal AWGN.

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari pengujian sistem dengan parameter MR didapatkan nilai *error* pada saat parameter MR 90% dengan resolusi 64×64 piksel yaitu 20,36 dan nilai *error* pada saat resolusi 1024×1024 piksel nilai *error* sebesar 0,35. Sehingga parameter MR berpengaruh terhadap hasil MSE, semakin besar nilai parameter MR maka semakin kecil nilai MSE yang didapatkan.

4.2 Pengaruh Pengujian Measurement Rate Terhadap peak signal yo noise ratio tanpa kanal AWGN

Pada pengujian sistem hasil rekonstruksi menggunakan pemrograman ASP dari algoritma BPDN yaitu PSNR.

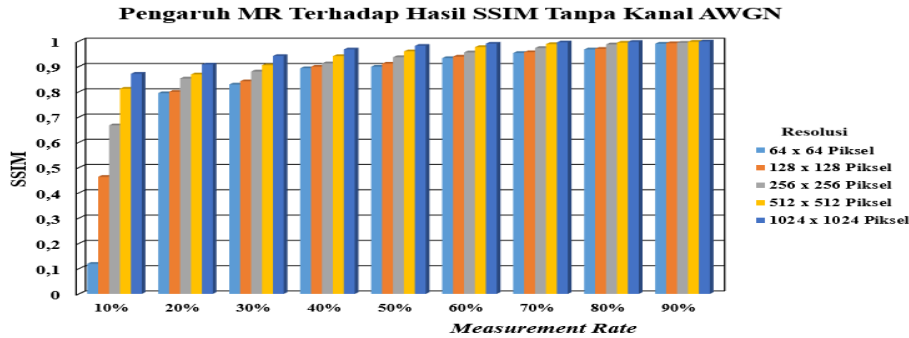


Gambar 4.2 Pengaruh MR Terhadap Hasil PSNR Tanpa Kanal AWGN.

Nilai PSNR dikatakan memiliki tingkat kemiripan yang tinggi jika nilai PSNR di atas 40 dB untuk *medical image* [20]. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari pengujian sistem dengan parameter MR didapatkan nilai PSNR terkecil pada saat parameter MR 90% saat resolusi 64×64 piksel yaitu 35,04 dB dan nilai PSNR tertinggi saat resolusi 1024×1024 piksel yaitu 52,67 dB,. Sehingga parameter MR berpengaruh terhadap hasil PSNR semakin besar nilai parameter MR maka semakin besar nilai PSNR.

4.3 Pengaruh Pengujian Measurement Rate Terhadap Structural Similary Index Measure (SSIM) tanpa kanal AWGN

Pada pengujian sistem hasil rekonstruksi menggunakan pemrograman ASP dari algoritma BPDN yaitu SSIM.



Gambar 4.3 Pengaruh MR Terhadap Hasil SSIM Tanpa Kanal AWGN.

Nilai SSIM dikatakan memiliki tingkat kemiripan yang tinggi jika nilai SSIM mendekati nilai 1 untuk *medical image* [21]. Berdasarkan hasil yang diperoleh dari pengujian sistem dengan parameter MR didapatkan nilai SSIM terkecil pada saat MR 90% saat resolusi 64×64 piksel yaitu 0,9902 dan nilai SSIM tertinggi saat resolusi 1024×1024 piksel terdapat nilai sebesar 0,9991. Sehingga parameter MR berpengaruh terhadap hasil SSIM, semakin besar nilai parameter MR maka semakin besar nilai SSIM.

4.4 Pengaruh Pengujian Measurement Rate Terhadap Processing Time tanpa kanal AWGN

Pada pengujian sistem dari *Processing Time* hasil rekonstruksi menggunakan pemrograman ASP seperti Tabel 4.1.

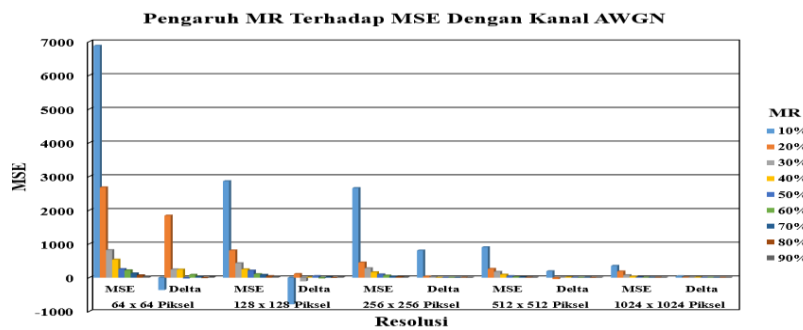
Tabel 4.1 Pengaruh MR Terhadap Processing Time Tanpa Kanal AWGN

Resolusi	Processing Time (s)									
	64x64 Piksel		128x128 Piksel		256x256 Piksel		512x512 Piksel		1024x1024 Piksel	
	Nilai Abs	Nilai Relatif	Nilai Abs	Nilai Relatif	Nilai Abs	Nilai Relatif	Nilai Abs	Nilai Relatif	Nilai Abs	Nilai Relatif
MR	2,22	0,021	4,34	0,04	11,71	0,109	102,74	0,9571	417,91	3,893
10%	1,69	0,016	4,91	0,046	23,48	0,219	130,24	1,2132	1730,74	16,12
20%	2,04	0,019	8,8	0,082	46,33	0,432	729,29	6,7939	7875,95	73,37
30%	2,54	0,024	10,34	0,096	63,44	0,591	637,28	5,9368	16301,2	151,9
40%	4,63	0,043	14,85	0,138	107,35	1	6984,47	65,066	31296	291,5
50%	5,33	0,05	22,06	0,206	129,38	1,205	1955,35	18,216	43631	406,5
60%	4,53	0,042	22,41	0,209	175,51	1,635	3598,87	33,526	90425	842,4
70%	6,29	0,059	30,89	0,288	444	4,136	4526,55	42,168	183426	1709
80%	4,58	0,043	35,62	0,332	271,5	2,529	6631,1	61,774	105900	986,5
90%										

Dari hasil pengujian pada parameter MR terhadap *processing time* didapatkan waktu paling cepat yaitu 1,69 *second* pada MR 10% dengan resolusi 64×64 piksel dan waktu paling lama 183426 *second* pada parameter MR 90% dengan resolusi 1024×1024 piksel. Semakin besar MR dan resolusi maka waktu yang dibutuhkan semakin lama.

4.5 Pengaruh Pengujian Measurement Rate terhadap MSE dengan kanal AWGN.

Pada pengujian sistem hasil rekonstruksi menggunakan pemrograman ASP dari algoritma BPDN yaitu MSE.

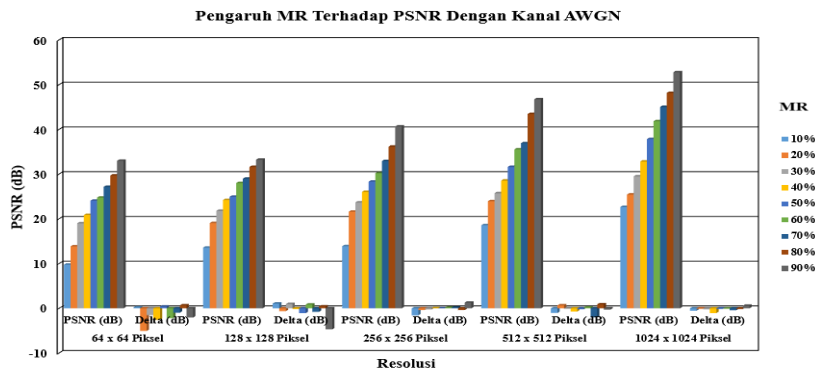


Gambar 4.4 Pengaruh MR Terhadap Hasil MSE Dengan Kanal AWGN.

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh dari pengujian sistem dengan parameter MR didapatkan nilai *error* pada saat parameter MR 90% dengan resolusi 64×64 piksel yaitu 32,68 dan nilai *error* pada saat resolusi 1024×1024 piksel nilai *error* sebesar 0,39. Sehingga hasil MSE setelah diberi *noise* memiliki nilai sedikit lebih besar dibandingkan tanpa *noise* jika semakin besar nilai parameter MR maka semakin kecil nilai MSE yang didapatkan pada saat pengujian.

4.6 Pengaruh Pengujian Measurement Rate terhadap PSNR dengan kanal AWGN

Pada pengujian sistem rekonstruksi menggunakan pemograman ASP dari algoritma BPDN kanal AWGN yaitu PSNR.

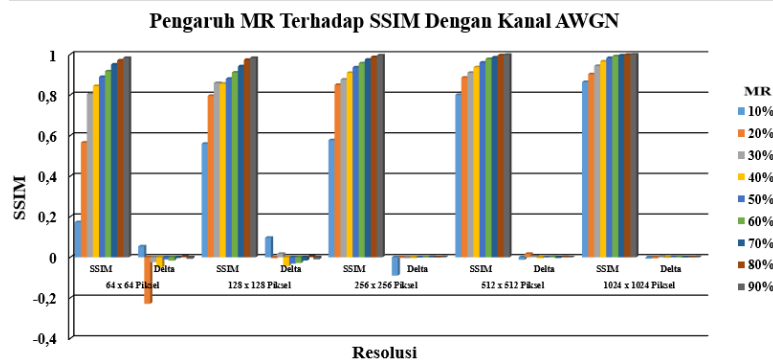


Gambar 4.5 Pengaruh MR Terhadap Hasil PSNR Dengan Kanal AWGN.

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari pengujian sistem dengan parameter MR didapatkan nilai PSNR terkecil pada saat parameter MR 90% dengan resolusi 64×64 piksel yaitu 32,99 dB dan nilai PSNR tertinggi saat resolusi 1024×1024 piksel yaitu 52,2 dB. Dapat disimpulkan bahwa nilai PSNR setelah diberi *noise* lebih kecil dibandingkan tanpa *noise*.

4.7 Pengaruh Pengujian Measurement Rate terhadap SSIM dengan kanal AWGN

Pada pengujian sistem hasil rekonstruksi menggunakan pemograman ASP dari algoritma BPDN yang terdapat *noise* pada kanal AWGN yaitu SSIM.



Gambar 4.6 Pengaruh MR Terhadap Hasil SSIM Dengan Kanal AWGN.

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari pengujian sistem dengan parameter MR didapatkan nilai SSIM terkecil pada saat MR 90% dengan resolusi 64×64 piksel yaitu 0,9825 dan nilai SSIM tertinggi saat resolusi 1024×1024 piksel terdapat nilai sebesar 0,9989. Dapat disimpulkan bahwa nilai SSIM setelah diberi *noise* lebih kecil bahkan hampir dibandingkan tanpa *noise*.

4.8 Pengaruh Pengujian Measurement Rate terhadap Processing Time dengan kanal AWGN

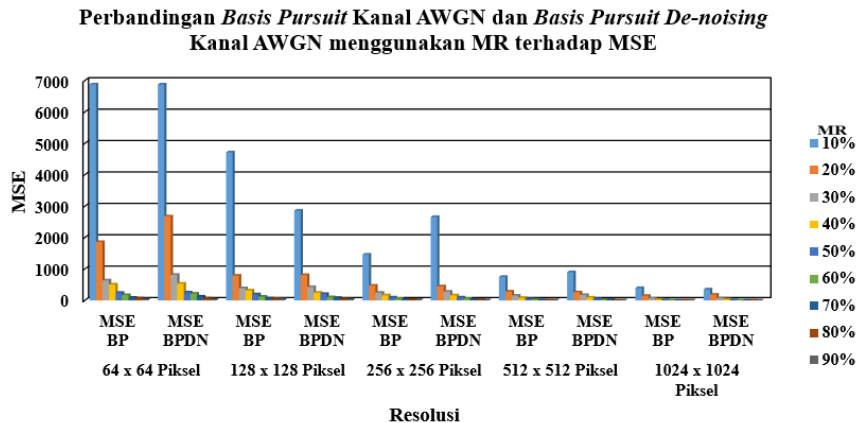
Tabel 4.2 Pengaruh MR Terhadap Processing Time Dengan Kanal AWGN

Resolusi	Processing Time (s)									
	64x64 Piksel		128x128 Piksel		256x256 Piksel		512x512 Piksel		1024x1024 Piksel	
	Nilai Abs	Nilai Relatif	Nilai Abs	Nilai Relatif	Nilai Abs	Nilai Relatif	Nilai Abs	Nilai Relatif	Nilai Abs	Nilai Relatif
10%	2,07	0,023	4,42	0,048	25,05	0,274	70,9	0,775	1314,89	14,37
20%	2,8	0,031	10,36	0,113	74,24	0,812	303,71	3,320	3363,63	36,77
30%	4,15	0,045	13,22	0,144	151,41	1,655	499,74	5,463	13603,6	148,7
40%	3,68	0,04	22,78	0,249	62,87	0,687	1150	12,572	29142,8	318,6
50%	4,5	0,049	23,5	0,257	91,47	1	2719,43	29,73	46528,7	508,7
60%	4,79	0,052	26,75	0,292	118,76	1,298	2781,01	30,403	86939	950,4
70%	7,3	0,08	72,86	0,797	183,65	2,008	2798,76	30,597	118119	1291
80%	6,88	0,075	28,12	0,307	250,73	2,741	3906,96	42,712	160539	1755
90%	6,56	0,072	41,63	0,455	282,81	3,092	5287,25	57,802	146646	1603

Dari hasil pengujian dengan kanal AWGN terhadap *processing time* didapatkan waktu paling cepat yaitu 1,973 *second* pada parameter MR 10% dengan resolusi 64×64 piksel dan waktu paling lama 160539 *second* pada parameter MR 80% dengan resolusi 1024×1024 piksel.

4.9 Perbandingan Basis Pursuit Kanal AWGN dan Basis Pursuit de-noising Kanal AWGN Terhadap MSE

Pada pengujian sistem skenario ini menunjukkan perbandingan dari algoritma BP dan BPDN menggunakan kanal AWGN terhadap parameter MSE.

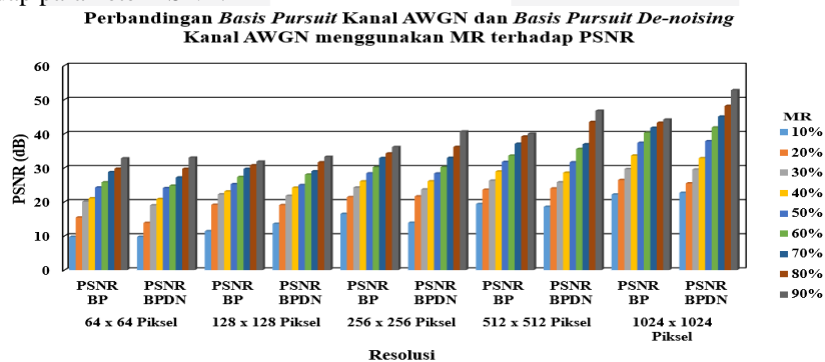


Gambar 4.7 Perbandingan BP Kanal AWGN dan BPDN Kanal AWGN Terhadap MSE.

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh pada algoritma BP kanal AWGN dan BPDN kanal AWGN pada saat parameter MR 90% nilai *error* dengan resolusi 64×64 piksel BP kanal AWGN bernilai 38,8 dan BPDN kanal AWGN bernilai 32,68, nilai *error* saat resolusi 1024×1024 piksel BP kanal AWGN bernilai 2,5 dan BPDN kanal AWGN bernilai 0,39. Sehingga hasil MSE pada algoritma BP kanal AWGN memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan BPDN kanal AWGN

4.10 Perbandingan Basis Pursuit Kanal AWGN dan Basis Pursuit de-noising Kanal AWGN Terhadap PSNR

Pada pengujian sistem skenario ini menunjukkan perbandingan dari algoritma BP dan BPDN menggunakan kanal AWGN terhadap parameter PSNR.

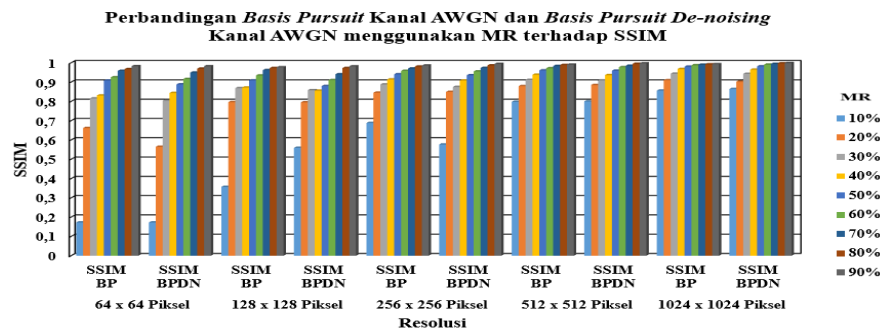


Gambar 4.8 Perbandingan BP Kanal AWGN dan BPDN Kanal AWGN Terhadap PSNR

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh dapat dilihat pada algoritma BP kanal AWGN dan BPDN kanal AWGN pada saat parameter MR 90% nilai PSNR dengan resolusi 64×64 piksel BP kanal AWGN bernilai 32,34 dB dan BPDN kanal AWGN bernilai 32,99 dB, nilai PSNR saat resolusi 1024×1024 piksel BP kanal AWGN bernilai 44,17 dB dan BPDN kanal AWGN bernilai 52,2 dB. Sehingga hasil PSNR pada algoritma BP kanal AWGN memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan BPDN kanal AWGN.

4.11 Perbandingan Basis Pursuit Kanal AWGN dan Basis Pursuit de-noising Kanal AWGN Terhadap SSIM

Pada pengujian sistem skenario ini menunjukkan perbandingan dari algoritma BP dan BPDN menggunakan kanal AWGN terhadap parameter SSIM.



Gambar 4.8 Perbandingan BP Kanal AWGN dan BPDN Kanal AWGN Terhadap SSIM

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh dapat dilihat pada algoritma BP kanal AWGN dan BPDN kanal AWGN pada saat parameter MR 90% nilai SSIM dengan resolusi 64×64 piksel BP kanal AWGN bernilai 0,981 dan BPDN kanal AWGN 0,9825, nilai SSIM saat resolusi 1024×1024 piksel BP kanal AWGN bernilai 0,93 dan BPDN kanal AWGN 0,9989. Sehingga hasil SSIM pada algoritma BP kanal AWGN memiliki nilai yang lebih kecil bahkan hampir sama dibandingkan BPDN kanal AWGN.

4.12 Perbandingan Basis Pursuit Kanal AWGN dan Basis Pursuit de-noising Kanal AWGN Terhadap Processing Time

Pada pengujian sistem terhadap *processing time* telah dilakukan pengujian algoritma BPDN kanal AWGN yang terdapat pada tabel 4.4. Berikut ini merupakan tabel dari algoritma BP kanal AWGN seperti tabel 4.6.

Tabel 4.6 Tabel Basis Pursuit Kanal AWGN Terhadap Processing Time

Reso- lusi	Processing Time (s)									
	64x64 Piksel		128x128 Piksel		256x256 Piksel		512x512 Piksel		1024x1024 Piksel	
	Nilai Abs	Nilai Relatif	Nilai Abs	Nilai Relatif	Nilai Abs	Nilai Relatif	Nilai Abs	Nilai Relatif	Nilai Abs	Nilai Relatif
10%	7,476	0,098	24,001	0,314	98,848	1,293	725,406	9,491	1495	19,561
20%	8,115	0,106	23,279	0,305	99,456	1,301	625,845	8,189	1404,1	18,372
30%	8,156	0,107	22,703	0,297	89,676	1,173	521,406	6,822	2052,1	26,85
40%	8,531	0,112	28,019	0,367	83,762	1,096	444,495	5,816	2419,3	31,654
50%	8,882	0,116	29,019	0,38	76,429	1	381,634	4,993	2658,5	34,784
60%	8,588	0,112	28,345	0,371	70,195	0,918	359,339	4,702	2883,5	37,728
70%	8,627	0,113	25,593	0,335	68,131	0,891	337,459	4,415	2811,1	36,781
80%	8,189	0,107	25,495	0,334	137,4	1,798	345,232	4,517	3059,3	40,028
90%	10,6	0,139	33,85	0,443	122,6	1,604	472,874	6,187	3620	47,365

Dari hasil pengujian *basis pursuit* kanal AWGN pada parameter MR terhadap *processing time* didapatkan waktu paling cepat yaitu 7,476 *second* pada parameter MR 10% dengan resolusi 64×64 piksel dan waktu paling lama 3620 *second* pada parameter MR 90% dengan resolusi 1024×1024 piksel. Sehingga perbandingan BP kanal AWGN dan BPDN kanal AWGN terhadap *processing time* waktu yang dibutuhkan oleh BPDN kanal AWGN lebih lama dibandingkan BP kanal AWGN.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis dari simulasi sistem yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Semakin tinggi nilai parameter MR dan resolusi, semakin rendah nilai *error*, semakin tinggi nilai PSNR, SSIM dan *processing* waktu semakin lama.
2. Hasil PSNR BP kanal AWGN lebih kecil dibandingkan BPDN kanal AWGN.
3. Hasil PSNR BPDN tanpa kanal AWGN lebih besar dibandingkan BPDN kanal AWGN.

6. Daftar Pustaka

- [1] w. Jing and Ye Li, "Low-complexity video compression for capsule endoscope based on compressed sensing theory," *IEEE*, 2009.
- [2] C. C. Y. Poon, M. R. Yuce, B. P. L. Lo, A. Alomainy and Y. Hao, "Body Sensor Networks: In the Era of Big Data and Beyond," *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, vol. 8, pp. 4-16, 2015.
- [3] A. M. Rohman, I. Wahida and G. Budiman, "Analisis Transformasi Proyeksi Gaussian Untuk Penginderaan Citra Kompresif," in *Telkom University*, 2011.
- [4] I. Safitri, N. Ibrahim and H. Yogaswara, "Compressive Sensing Audio Watermarking dengan Metode LWT dan QIM," *ELKOMIKA*, vol. 5, pp. 405-419, September 2018.
- [5] A. Kadir and A. Susanto, *Teori dan Aplikasi Pengolahan Citra*, Yogyakarta: Andi, 2013.

