

FILTER ESTIMATOR STATISTIK RATA-RATA BERBASIS ANAK MATRIKS ADAPTIF DAN SELEKTIF CEPAT DENGAN EKSPLORASI ACAK UNTUK MENGHILANGKAN GANGGUAN SALT-AND-PEPPER CITRA DIGITAL GUNA MENDUKUNG TEKNOLOGI SATELLITE-DERIVED BATHYMETRY

ADAPTIVE AND FAST SELECTIVE MATRIX CHILD-BASED AVERAGE STATISTICAL ESTIMATOR FILTER WITH RANDOM EXPLORATION TO ELIMINATE DIGITAL IMAGE SALT-AND-PEPPER INTERFERENCE TO SUPPORT SATELLITE-DERIVED BATHYMETRY TECHNOLOGY

Bima Ramadhan¹, Muhammad Rizki Herlangga¹, Fauzan Naufal Almutawakkil¹

¹) Jurusan Matematika, Fakultas MIPA Militer, Universitas Pertahanan RI
Kawasan IPSC Sentul, Sukahati, Kec. Citeureup, Kabupaten Bogor, Jawa Barat 16810
Email Korespondensi: Bima.Ramadhan@mipa.idu.ac.id

Abstrak

Indonesia, negara yang terdiri dari kepulauan dan terletak di garis khatulistiwa, mempunyai peran penting dalam perdagangan internasional dan lalu lintas maritim. Mengingat sebagian besar aktivitas transportasi dan perdagangan negara dilakukan melalui laut, memastikan navigasi yang aman di perairan Indonesia sangat penting untuk kelancaran dan keselamatan lalu lintas maritim. Untuk menjaga keselamatan pelayaran, data batimetri yang akurat sangat penting. Data batimetri mengacu pada pengukuran kedalaman perairan di perairan dangkal. Salah satu teknik yang berguna untuk memperoleh data ini adalah teknologi Batimetri Berasal dari Satelit. Pendekatan ini menggunakan prinsip-prinsip fisika optik dan model matematika untuk mengekstrak informasi kedalaman air dari citra satelit digital. Namun, penerapan praktis akuisisi citra satelit menghadapi tantangan, baik dalam pengambilan maupun transmisi citra. Salah satu masalah tersebut adalah adanya noise, yang menurunkan kualitas gambar dan menghambat pemrosesan lebih lanjut dalam analisis gambar. Salah satu jenis derau tertentu yang memengaruhi gambar digital disebut derau garam dan merica. Kebisingan ini secara acak mengubah nilai piksel menjadi hitam pekat (0) atau putih terang (255). Para peneliti telah mengusulkan beberapa metode filtrasi untuk mengatasi kebisingan jenis ini, seperti MF, AMF, PSMF, MDBUTM, DAMF, dan FASMF. Meskipun metode ini bermanfaat, metode ini cenderung berkinerja buruk saat menangani gambar dengan noise intensitas tinggi. Oleh karena itu, dalam penelitian ini, Fast Adaptive dan Selective Mean Filter Berbasis Eksplorasi Acak diterapkan untuk menyempurnakan citra satelit yang terdegradasi oleh noise garam dan merica. Tujuannya untuk menyempurnakan data batimetri yang dihasilkan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode ini menghasilkan peningkatan kualitas yang lebih baik dibandingkan metode lain yang disebutkan, baik dari segi pengukuran kuantitatif (SSIM dan PSNR) maupun penilaian kualitatif.

Kata Kunci: Batimetri Turunan Satelit, Penyaringan Citra, Salt-and-Pepper, Mean Estimator, REBFASMF

Abstract

Indonesia, a country composed of islands and situated on the equator, plays a significant role in international trade and maritime traffic. Given that most of the country's transportation and trade activities happen through its seas, ensuring safe navigation in Indonesian waters is crucial for smooth and secure maritime traffic. To maintain shipping safety, accurate bathymetry data is essential. Bathymetry data refers to the measurement of water depth in shallow waters. One useful technique for obtaining this data is Satellite-Derived Bathymetry technology. This approach uses principles from optical physics and mathematical models to extract water depth information from digital satellite images. However, practical implementation of satellite image acquisition faces challenges, both in capturing and transmitting images. One such issue is the presence of noise, which degrades the image quality and hinders further processing in image analysis. One specific type of noise that affects digital images is called salt-and-pepper noise. This

noise randomly changes pixel values to either solid black (0) or bright white (255). Researchers have proposed several filtration methods to address this type of noise, such as MF, AMF, PSMF, MDBUTM, DAMF, and FASMF. While these methods have been helpful, they tend to perform poorly when dealing with images with high-intensity noise. Thus, in this study, a Random Exploration Based Fast Adaptive and Selective Mean Filter is applied to enhance satellite imagery degraded by salt-and-pepper noise. The goal is to improve the resulting bathymetry data. The simulation results indicate that this method yields better quality improvements compared to the other mentioned methods, both in terms of quantitative measures (SSIM and PSNR) and qualitative assessment.

Keywords: *Satellite-Derived Bathymetry, Image Filtering, Salt-and-Pepper, Mean Estimator, REBFASMF*

1. PENDAHULUAN

Negara Kesatuan Republik Indonesia merupakan sebuah negara kepulauan yang terletak di garis khatulistiwa dengan peran yang sangat penting dalam perdagangan internasional dan lalu lintas maritim. Indonesia mempunyai lebih dari 17.000 pulau yang membentang di antara Samudera Pasifik dan Samudera Hindia serta berada di persimpangan dua benua, yaitu Asia dan Australia, sehingga negara ini menjadi salah satu jalur perdagangan paling strategis di dunia. Keberadaannya sebagai salah satu negara kepulauan terbesar di dunia telah memberikan kontribusi besar terhadap perekonomian global dan konektivitas internasional (Rahman Wahyudi, 2015).

Sebagai negara dengan transportasi dan perdagangan yang sebagian besar berbasis laut, keselamatan navigasi di perairan Indonesia menjadi faktor kritis dalam memastikan kelancaran dan keamanan lalu lintas maritim. Namun wilayah kepulauan yang luas dan rumit menyiratkan bahwa ada banyak tantangan dan potensi bahaya bagi pelayaran komersial maupun militer. Batu karang, terumbu karang, gugus kepulauan, dan perairan dangkal merupakan beberapa contoh potensi risiko yang harus diatasi oleh kapal-kapal yang berlayar di wilayah ini.

Untuk mengatasi tantangan ini dan menjaga keselamatan pelayaran, diperlukan data batimetri yang akurat (Agung Irawan, 2019). Data batimetri memberikan informasi tentang topografi dasar laut dan kedalaman perairan. Pemahaman yang baik tentang struktur dasar laut akan membuat kapal-

kapal dan navigasi laut dapat merencanakan jalur yang aman, menghindari rute berbahaya, dan mengatasi hambatan seperti perairan dangkal atau karang. Oleh karena itu, data batimetri yang akurat sangat penting bagi keberhasilan dan kelancaran lalu lintas perdagangan internasional di wilayah kepulauan Indonesia.

Teknologi *Satellite-Derived Bathymetry* (SDB) telah membuka era baru dalam survei batimetri (David Monahan dkk, 2017). SDB menggunakan data satelit, khususnya citra digital satelit yang diambil dari ruang angkasa, untuk menghitung kedalaman perairan. Teknologi ini memanfaatkan prinsip optik dan penginderaan jauh untuk mengidentifikasi tingkat gelombang dan intensitas cahaya yang dipantulkan oleh permukaan laut, yang kemudian diolah menjadi peta kedalaman perairan. SDB menawarkan keuntungan dalam efisiensi, cakupan area yang lebih luas, dan biaya yang lebih rendah dibandingkan metode survei batimetri tradisional.

Citra satelit digital diperoleh dari sensor cahaya berupa kamera, kemudian diterjemahkan menjadi kode digital berdasarkan tingkat intensitas cahaya yang ditangkap. Pada kenyataannya, proses penerimaan citra dari satelit (atau perangkat fotosensitif lainnya) sering mengalami kendala, baik dalam proses penerimaan maupun pengiriman citra (W. Luo dkk, 2006). Masalah umum adalah adanya *noise* yang menurunkan informasi dalam gambar dan

mengganggu pemrosesan gambar lebih lanjut (H. Van dkk, 2018).

Gangguan *salt-and-pepper* merupakan salah satu gangguan yang sering merusak citra digital. Gangguan ini secara acak mengubah nilai piksel pada citra digital menjadi 0 (hitam pekat) atau 255 (putih terang) (B. Karthik, 2020). Kerusakan informasi tersebut dapat diperbaiki dengan beberapa teknik pemfilteran seperti Median dan Mean Filter yang merupakan teknik pemfilteran dasar berbasis pendekatan statistika. Pada teknik ini, nilai piksel sekitaran (*neighborhood pixel/kernel*) dimanfaatkan sebagai referensi untuk mengembalikan informasi citra pada piksel yang rusak. Namun demikian, metode-metode tersebut memiliki kekurangan yaitu citra hasil perbaikan mengalami penurunan kualitas apabila gangguan yang merusak citra lebih dari 20% dari total piksel. Hal ini mengindikasikan metode tersebut tidak mampu bekerja secara efektif ketika berhadapan dengan dengan gangguan berintensitas tinggi (R. H. Chan, 2005). Selain itu, ketika ukuran kernel terlalu besar citra hasil perbaikan akan mengalami pengkaburan sehingga kualitas data batimetri yang dihasilkan akan berkurang.

Fareed dan Khader (2018) telah mengajukan metode *Fast Adaptive and Selective Mean Filter* (FASMF) untuk mengatasi gangguan *salt-and-pepper* (Fareed & Khader, 2018). Metode FASMF mampu mengatasi beberapa kekurangan yang dimiliki metode sebelumnya, seperti *Standard Median Filter* (MF) (R.H. Chan, 2005), *Switching Median Filter* (SMF) (T. Sun, 1994), *Adaptive Median Filter* (AMF) (Z. Wang, 1996), atau *Adaptive Centre Weighted Median Filter* (ACWMF) (T. Chen, 2001). Metode FASMF juga mampu bekerja dengan baik untuk citra dengan gangguan berintensitas tinggi. Namun demikian, metode FASMF dalam melakukan restorasi gangguan masih memiliki potensi untuk ditingkatkan. Ide ini muncul dari fakta bahwa

metode ini tidak menyimpan piksel hasil perbaikan sebagai referensi untuk mengganti piksel rusak yang lain. Akibatnya, dalam proses substitusi piksel yang rusak untuk citra dengan gangguan berintensitas tinggi, metode FASMF akan meningkatkan ukuran kernel secara berlebihan. Hal ini akan mengakibatkan algoritma FASMF kurang efisien dan tekstur gambar menjadi rusak. Hal ini akan mempengaruhi kelaikan citra saat dilakukan transformasi ke *Satellite-Derived Bathymetry* (SDB). Oleh karena itu, pada artikel ini kami mengajukan filter estimator statistik rata-rata berbasis anak matriks adaptif dan selektif cepat dengan eksplorasi acak untuk memperbaiki citra satelit yang terdegradasi oleh gangguan *salt-and-pepper*. Filter ini dipilih karena mampu melakukan perbaikan dengan eksplorasi piksel secara acak sehingga dapat meminimalisir terjadinya penumpukan galat (*error*) pada referensi piksel untuk perbaikan. Metode ini dikembangkan oleh Bima Ramadhan dkk (2022) dengan penamaan metode REBFASMF (*Random Exploration Based Fast Adaptive and Selective Mean Filter*). Selanjutnya hasil filtrasi metode ini akan digunakan untuk proses lanjut dalam ekstraksi data batimetri dengan teknologi *Satellite-Derived Bathymetry*.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Data eksperimen

Objek yang diteliti pada tulisan ini adalah citra digital yang standar digunakan pada penelitian pengolahan citra, seperti "Lena", "Cameraman", "Mandrill", "Plane", "Pepper", "Woman Blonde", "Lake", "Castle", "Living Room", "Pirates", "Bridge", dan "Woman Dark Hair". Penelitian ini juga menggunakan citra satelit pada Perairan Area Asbakin, Provinsi Papua Barat Daya sebagai data eksperimen. Gambar-gambar tersebut tersedia secara *online* di "Image Database" pada situs imageprocessingplace.com dan situs [Creodias Finder](http://Creodias.com).

2.2. Metode REBFASMF

Metode REBFASMF yang digunakan untuk memulihkan kerusakan pada citra bekerja dalam dua tahap utama, yaitu (i) tahap deteksi gangguan, dan (ii) tahap perbaikan piksel.

2.2.1 Tahap deteksi *noise*

Seperti prosedur dalam beberapa metode yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya, deteksi gangguan dilakukan dengan melakukan transformasi matriks citra menjadi matriks biner dengan transformasi T yang didefinisikan sebagai berikut:

$$T(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{jika } N(x, y) = 255 \text{ atau } N(x, y) = 0 \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} \dots\dots(1)$$

Pada persamaan 1, T berperan sebagai fungsi yang mengubah matriks *noisy image* N berukuran $m \times n$ di piksel (x, y) menjadi matriks biner A dengan $A(x, y) = T(x, y)$, $(x, y) \in (\mathbb{Z}_m + 1) \times (\mathbb{Z}_n + 1)$. Persamaan tersebut akan membuat matriks A menjadi matriks yang memuat indeks *noisy pixel* pada matriks N . $A(x, y)$ akan bernilai 1 jika $N(x, y)$ merupakan *noisy pixel* dan bernilai 0 jika sebaliknya. Matriks A kemudian akan menjadi acuan dalam melakukan restorasi pada citra yang ingin direstorasi.

2.2.2 Tahap perbaikan piksel

2.2.2.1 Pra-restorasi

Pada tahap ini dilakukan penyiapan himpunan piksel-piksel $(p, q) \in (\mathbb{Z}_m + 1) \times (\mathbb{Z}_n + 1)$ dalam N yang berkorespondensi indeks dengan A , dimana $A(p, q) = 1$. Himpunan tersebut disimpan dalam variabel $B = \{ (p, q) \in (\mathbb{Z}_m + 1) \times (\mathbb{Z}_n + 1), A(p, q) = 1 \}$. Formulasi ini akan membuat anggota B pasti unik dan anggotanya merupakan piksel-piksel pada N yang rusak oleh SnP. Setelah itu akan dipilih secara acak anggota B untuk masuk ke tahap restorasi.

2.2.2.2 Restorasi

Misalkan kardinal B , $kard(B) = k$, $k \in \mathbb{N}$. Anggota yang pertama terpilih secara acak pada himpunan B , misal $(p_1, q_1) \in B$ akan dijadikan indeks pada matriks N yang pertama kali dilakukan restorasi. Proses restorasi diawali dengan pembuatan kernel $W(p_1, q_1)$ untuk referensi data perbaikan mengganti piksel $N(p_1, q_1)$, dengan definisi $W(p_1, q_1)$ sebagai berikut:

$$W(p_1, q_1) = N(L \times M) \dots\dots\dots(2)$$

$$L = \bigcup_{g=0}^{2l} (p_1 - l + g) \cap [1, n] \cap \mathbb{Z}$$

$$M = \bigcup_{h=0}^{2l} (q_1 - l + h) \cap [1, n] \cap \mathbb{Z}$$

Sebagai inisiasi, lebar kernel l akan ditetapkan bernilai 1. Jika W tidak memuat sekurang-kurangnya dua anggota dengan entri bukan 0 atau 255 maka l akan membesar. Ketentuan tersebut ditentukan agar acuan data substitusi piksel $N(p_1, q_1)$ tidak bias serta menghindari kerusakan pada tekstur citra hasil perbaikan. Setelah didapatkan kernel yang memenuhi syarat (saat l berhenti membesar), dilakukan substitusi $N(p_1, q_1)$ dengan formulasi pemusatan data statistik rata-rata untuk semua entri yang tidak bernilai 0 maupun 255, sebagai berikut:

$$N(p_1, q_1) = \text{mean}(W_{W \neq 0 \cap W \neq 255}) \dots\dots(3)$$

Prosedur ini terus dilakukan hingga iterasi ke- k sehingga seluruh *noisy pixel* di N berhasil diperbaiki.

Cara kerja metode REBFASMF untuk mereduksi *noise* pada citra digital yang menjadi bahan dasar dalam ekstraksi batimetri menggunakan teknologi SDB disajikan dalam kode semu (*pseudocode*) dan diagram alir (*flowchart*) berikut:

a. Pseudocode

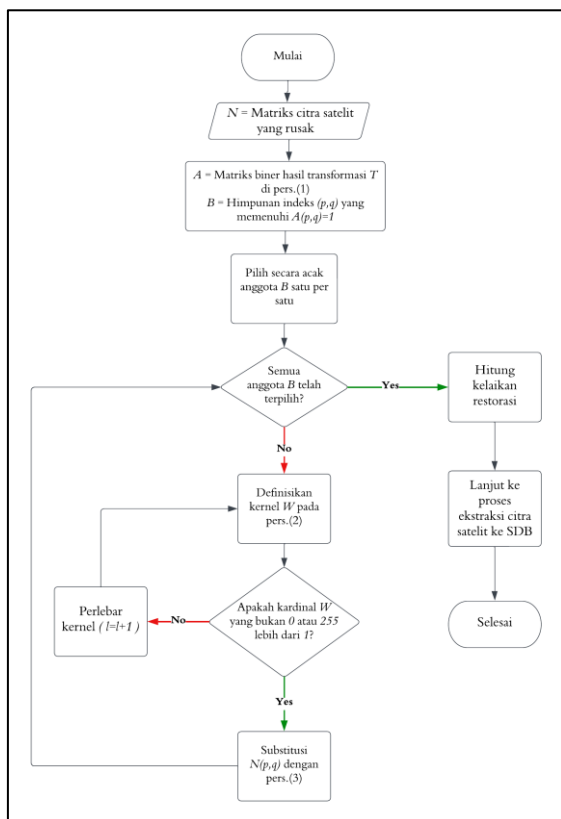
masukkan matriks N (citra digital yang ingin direstorasi)

definiskan A menggunakan transformasi T di pers.(1)

definiskan $B = \{ (p, q) \in (\mathbb{Z}_m + 1) \times (\mathbb{Z}_n + 1), A(p, q) = 1 \}$

untuk setiap anggota B secara acak:

b. Flowchart



2.3. Kelaikan restorasi

Setelah *noisy image* N diperbaiki menggunakan metode REBFASMF, dilakukan uji kelaikan metode dengan melakukan komparasi nilai *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR) dan waktu komputasi antara metode ini dengan metode-metode lain yang sudah ada.

PSNR merupakan perbandingan antara nilai maksimum dari sinyal/piksel yang diukur dengan besarnya gangguan yang berpengaruh pada sinyal/piksel

tersebut. PSNR biasanya diukur dalam satuan desibel (db). PSNR digunakan untuk mengetahui perbandingan kualitas citra orisinal dengan citra hasil perbaikan. Untuk menentukan PSNR, terlebih dahulu harus ditentukan nilai MSE (*Mean Square Error*). MSE adalah nilai error kuadrat rata-rata antara citra asli dengan citra hasil perbaikan. PSNR dan MSE dapat dihitung dengan formulasi berikut:

$$PSNR = 20 \log_{10} \frac{255}{\sqrt{MSE}} \dots \dots \dots (4)$$

$$MSE = \frac{1}{m \times n} \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n (S_{xy} - C_{xy})^2 \dots \dots \dots (5)$$

dengan (x, y) merupakan koordinat piksel, $m \times n$ adalah ukuran gambar, S_{xy} menyatakan citra hasil perbaikan, dan C_{xy} menyatakan citra asli. Semakin besar nilai PSNR citra hasil perbaikan mengindikasikan semakin bagus kualitas metode yang digunakan.

Sementara itu, waktu komputasi merupakan lamanya (dalam detik) waktu yang diperlukan untuk menjalankan algoritma dalam sekali proses restorasi citra. Waktu komputasi dapat menjadi indikator dalam menerka kompleksitas komputasi pada suatu algoritma.

2.4. Ekstraksi citra satelit ke SDB

Citra yang telah dibersihkan dari gangguan *salt-and-pepper* tersebut kemudian diekstraksi menjadi data batimetri menggunakan aplikasi WATCOR-X dan ArcMap. Data tersebut kemudian dapat dimanfaatkan sebagai referensi bagi navigator dalam melaksanakan pelayaran.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kelaikan performa metode REBFASMF dalam mereduksi *SnP noise* telah diuji dengan komparasi PSNR dan waktu komputasi terhadap beberapa metode, seperti MF, SMF, NAFSM (A. Ojha dkk, 2016), DAMF (U. Erkan, 2018), TMF (A. Abdurrazzaq, 2019), ACWMF, AMF, PSMF, DBA, UTMF, AMF_Haidi, AWMF, MDBUTMF, FASMF (Fareed dan Khader,

2018) dan ATF (A. Abdurrazzaq, 2020). Kualitas performa metode REBFASMF dalam mengatasi gangguan *salt and pepper*

berintensitas tinggi (90%) pada citra digital berdasarkan indikator PSNR terlampir pada Tabel 1.

Tabel 1. Komparasi PSNR (dB) metode pemfilteran gangguan SnP 90%

Met \ Citra	Lena	Bridge	Camera-man	Living-Room	Mandrill	Lake	Pirate	Woman-Blonde	Woman-DarkHair	Plane
MF	8.8822	8.5849	11.3936	8.9674	8.9641	8.2187	8.9258	9.0644	6.1872	6.0336
ACWMF	9.05	8.34	8.38	8.91	8.95	8.03	8.61	9.03	8.33	8.08
AMF	22.14	18.48	20.8	20.35	19.3	19.24	21.12	21.41	25.93	20.78
PSMF	12.83	11.98	10.67	13.7	13.05	10.69	12.52	13.93	9.97	12.64
DBA	16.03	16.2	15.97	17.19	16.5	15.16	16.59	16.98	18.32	16.67
UTMF	20.08	17.79	19.1	19.59	19.86	17.65	19.51	20.13	22.02	18.79
AMF_Haidi	25.26	20.87	23.15	22.58	21.27	21.87	23.92	23.42	30.48	23.04
AWMF	26.19	21.27	25.08	23.33	21.95	23.1	24.51	23.99	31.77	24.73
SMF	19.8207	16.7258	18.4115	18.6051	17.0046	16.7093	18.7374	19.4034	21.2703	17.8785
MDBUTMF	23.5689	19.8875	22.7497	21.7637	18.7724	20.7917	22.8026	22.2521	26.1941	23.5596
NAFSM	23.3963	19.4871	22.3513	21.5962	18.7874	20.9551	22.72	22.2452	25.9573	21.7626
DAMF	26.0265	20.3599	24.7937	23.1683	19.0355	22.4251	24.1841	23.6939	30.9092	23.768
TMF	21.2474	18.2437	20.404	20.0153	18.359	18.5968	20.3887	20.7155	22.6267	19.947
ATF	25.4725	20.58	24.1084	23.0063	19.9244	21.6663	24.0044	23.6929	28.386	22.8114
FASMF	26.42	21.6	25.08	23.58	22.09	23.32	24.85	24.37	32.14	24.75
REBFASMF	26.68	22.02	25.31	23.94	22.51	23.51	25.1	24.68	32.58	25.13

Pada Tabel 1 terlihat bahwa metode REBFASMF memiliki performa sangat baik dalam melakukan restorasi citra digital dengan gangguan *salt and pepper* berdensitas tinggi (90%). Hal ini menunjukkan metode ini mampu bekerja jauh lebih baik dibandingkan dengan metode

FASMF yang sudah diajukan sebelumnya. Metode ini mampu menghasilkan performa menakjubkan, baik untuk citra dengan ketelitian tekstur medium (Lena) maupun untuk citra dengan ketelitian tekstur yang tinggi (Mandrill).

Tabel 2. Komparasi PSNR (dB) metode pemfilteran variasi SnP 10% - 90% citra Lena

Met \ Noise	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
MF	32.5765	30.9487	29.1896	26.9319	23.8543	20.5479	16.6033	13.0222	8.8822
ACWMF	39.97	34.99	31.66	28.29	24.03	20.42	16.57	12.59	9.05
AMF	38.15	35.73	33.85	31.93	30.25	28.56	26.88	24.87	22.14
PSMF	32.97	30.79	30.23	27.93	25.12	21.55	18.9	15.59	12.83
DBA	35.14	31.43	29.14	27.01	25.09	23.35	21.34	19.1	16.03
UTMF	43.1	39.22	36.71	34.33	32.26	30.01	27.9	24.88	20.08
AMF_Haidi	37.59	37.12	35.21	33.63	32.11	30.68	29.36	27.43	25.26
AWMF	39.09	37.28	36.03	34.84	33.51	32.12	30.7	28.64	26.19
SMF	37.233	35.4375	33.458	31.4787	29.3336	27.4893	25.084	22.9348	19.8207
MDBUTMF	38.4817	34.7074	33.5645	32.3619	30.9523	29.9457	28.8016	27.5011	23.5689
NAFSM	38.7285	35.6433	33.8132	32.2798	30.9019	29.8365	28.6058	27.0768	23.3963
DAMF	43.2382	39.2584	36.8019	34.88	33.2411	31.8221	30.2175	28.5886	26.0265
TMF	42.48	38.2447	35.1539	32.7279	30.9961	28.8371	26.6734	24.3791	21.2474
ATF	43.0482	39.1393	36.5724	34.72	33.15	31.7666	30.2111	28.4632	25.4725
FASMF	42.51	39.16	37.09	35.4	33.84	32.31	30.93	28.81	26.42
REBFASMF	42.39916	39.10974	36.94057	35.26438	33.81535	32.47238	30.93	29.18629	26.68355

Keunggulan metode ini tergambar dengan lebih rinci dalam Tabel 2. Tampak bahwa metode ini bekerja lebih baik untuk citra Lena yang terdistorsi gangguan dengan intensitas 60%, 70%, 80%, dan 90%. Hal ini dapat menjadi bukti bahwa metode REBFASMF sangat cocok digunakan untuk

citra dengan intensitas gangguan yang tinggi, dibandingkan jika menggunakan metode yang lain di atas. Namun demikian, citra dengan gangguan SnP yang rendah dan sedang, metode DAMF dan FASMF tetap mempunyai performa yang lebih baik.

Tabel 3. Komparasi waktu komputasi (detik) metode pemfilteran variasi SnP 10% - 90% citra Lena

Met \ Noise	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
MF	11.02	11	10.76	10.85	10.84	10.8	10.74	10.79	10.79
ACWMF	42.95	42.99	43.18	42.37	41.65	41.64	41.67	41.58	41.57
AMF	14.4	16.97	14.77	14.5	15.77	20.36	21.84	31.51	65.89
PSMF	42.07	43.21	50.62	51.96	53.09	54.55	55.89	58.65	59.45
DBA	4.92	5.07	5.35	6.08	6.12	6.59	6.95	7.46	7.51
UTMF	5.74	6.44	7.6	8.61	9.78	10.74	11.77	12.98	14.56
AMF_Haidi	3.2	4.28	6.34	8.29	13.54	17.31	23.63	32.92	59.09
AWMF	71.21	51.78	42.19	37.67	32.02	32.2	31.25	33.34	42.2
FASMF	1.89	3.47	5.06	6.69	8.38	10.24	12.92	16.83	24.61
REBFASMF	0.335	0.601	0.797	1.085	1.315	1.571	1.852	2.109	2.422

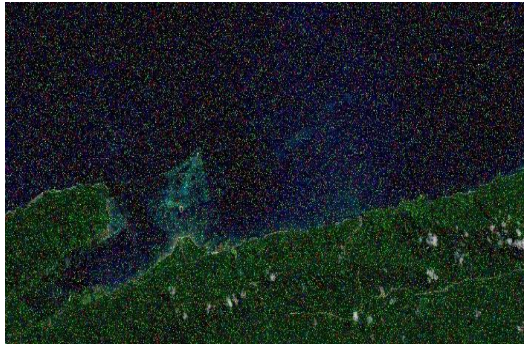
Tabel 3 merangkum data waktu yang diperlukan algoritma masing-masing metode untuk melakukan restorasi citra Lena yang terdistorsi oleh gangguan dengan intensitas 10% - 90%. Dapat dilihat bahwa metode REBFASMF memiliki kompleksitas algoritma yang rendah. Metode ini mampu menyelesaikan restorasi citra Lena dengan intensitas gangguan 90% selama 2.422 detik, atau sepuluh kali lebih cepat dibandingkan dengan metode FASMF. Metode ini juga mampu bekerja lebih baik untuk metode kernel tetap 3×3 (*fixed windows*) seperti MF dan UTMF maupun

kernel adaptif seperti AMF, AWMF, AMF_Haidi, dan FASMF.

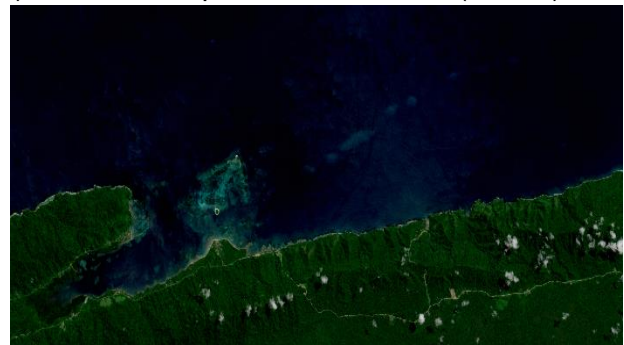
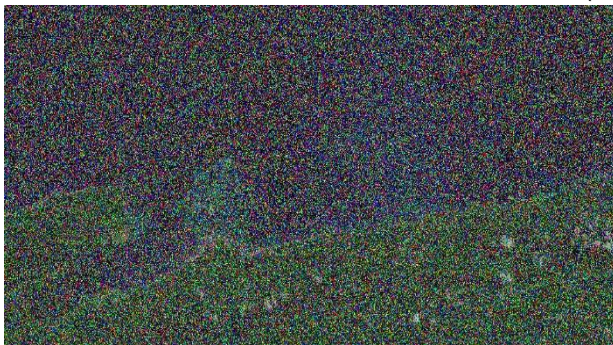
Beberapa data yang dilampirkan sebelumnya telah menunjukkan bahwa metode REBFASMF mampu mereduksi gangguan SnP pada citra digital. Berikutnya akan dilampirkan tampak visual hasil simulasi algoritma REBFASMF pada perbaikan citra satelit untuk area Perairan Asbakin, Provinsi Papua Barat Daya yang terdistorsi SnP berbagai intensitas.



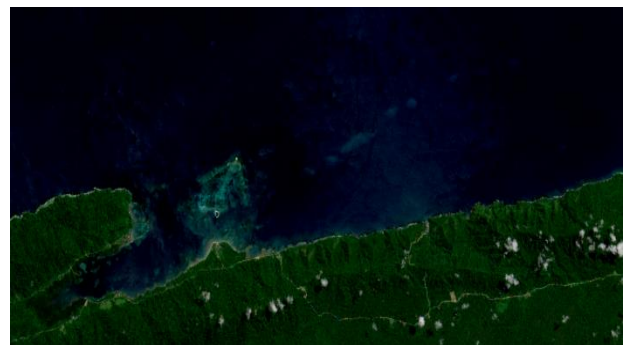
Gambar 1. Citra Asli Satelit Sentinel 2 (Perairan Asbakin, Provinsi Papua Barat Daya)



Gambar 2. Citra Terdistorsi *Noise* 15% (Kiri) dan Hasil Reparasi REBFASMF (Kanan)



Gambar 3. Citra Terdistorsi *Noise* 50% (Kiri) dan Hasil Reparasi REBFASMF (Kanan)



Gambar 4. Citra Terdistorsi *Noise* 90% (Kiri) dan Hasil Reparasi REBFASMF (Kanan)

Citra yang digunakan untuk simulasi didapatkan melalui Creodias Finder dengan sumber satelit Sentinel 2 (lihat Gambar 1). Citra tersebut merupakan citra RGB (*red, green, blue*) dengan ukuran piksel $3240 \times 1480 \times 3$. Citra tersebut kemudian dibubuhi gangguan *salt-and-pepper* beragam intensitas untuk mewakili densitas rendah, sedang, dan tinggi. Gangguan *salt-and-pepper* tersebut menyebar merata untuk tiap-tiap *layer* atau *band* warna.

Simulasi dilakukan dengan meninjau terlebih dahulu kode numerik intensitas piksel setiap *layer* untuk menjaga kode piksel. Setelah didapatkan gambaran kode numerik tersebut, citra dibubuhi *impulse*

noise salt-and-pepper untuk kemudian difiltrasi menggunakan algoritma REBFASMF. Simulasi menunjukkan bahwa algoritma REBFASMF mampu mengembalikan informasi citra satelit dengan kinerja yang sangat baik. Terlihat pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4, metode ini mampu mengembalikan warna dan tekstur gambar menyerupai citra asli untuk berbagai macam intensitas *noise*. Hasil perhitungan kelayakan restorasi yang diukur dengan PSNR menunjukkan data PSNR hasil perbaikan citra yang terdistorsi SnP dengan intensitas 15%, 50%, dan 90% berturut-turut yakni 44.76 dB, 38.52 dB, dan 32.82 dB. Semua data menunjukkan PSNR

yang cukup tinggi bahkan untuk intensitas gangguan 90%. Hal ini semakin memperkuat argumen bahwa metode REBFASMF lebih dari cukup untuk mengembalikan informasi pada citra satelit yang rusak oleh gangguan *salt-and-pepper*.

4. KESIMPULAN

Metode REBFASMF merupakan salah satu algoritma dalam *image filtering* yang mampu mengembalikan informasi pada citra digital (seperti pencitraan satelit) yang terdistorsi oleh gangguan *salt-and-pepper* beragam intensitas. Metode ini memiliki kelaikan kinerja yang baik jika ditinjau dari angka PSNR maupun kompleksitas algoritma.

Metode ini juga mampu menghasilkan performa yang memuaskan ketika diuji dengan pencitraan satelit untuk area Perairan Asbakin di Provinsi Papua Barat Daya. Hal tersebut akan sangat mendukung proses pengolahan citra untuk masuk ke tahap berikutnya, khususnya dalam proses ekstraksi data batimetri menggunakan teknologi *Satellite-Derived Bathymetry*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrazzaq A., Mohd. I., Junoh AK, and Yahya Z. 2019. Modified Tropical Algebra Based Median Filter for Removing Salt and Pepper Noise in Digital Image. *IET Image Process*, 13(14):2790–2795.
- Abdurrazzaq, A. Mohd I, Junoh AK, Yahya, Z. 2020. Tropical Algebra Based Adaptive Filter for Noiseremoval in Digital Image. *Multimed Tools Appl*, 79(27–28):19659–19668.
- Badan Informasi Geospasial (BIG). "Indonesia Sea Level Datum." <https://www.big.go.id/pengumuman/451-datum-tinjau-referensi-tinggi-muka-laut-untuk-navigasi-pelayaran-geodesi-dan-geofisika>.
- Chan, R. H., Chung-Wa, H., dan Nikolova, M. 2005. Salt-and-Pepper Noise Removal by Median-Type Noise Detectors and Detail-Preserving Regularization. *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 14, no. 10, pp. 1479–1485.
- Chandra, V., Deokar, S., Badhe, S., dan Yawle, R. 2011. Removal of High Density Salt and Pepper Noise Through Modified Decision Based Unsymmetric Trimmed Adaptive Median Filter. *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 18, no. 5, pp. 287–290.
- Chen, T., dan Wu, H.R. 2001. Adaptive Impulse Detection Using Center-Weighted Median Filters. *IEEE Signal Process. Lett.*, 8, pp. 1–3.
- Creodias Finder. <https://finder.creodias.eu/>
- Erkan, U., Gökrem, L., and Enginoğlu, S. 2018. Different Applied Median Filter in Salt and Pepper Noise. *Comput. Electr. Eng.* 70, 789–798.
- Fareed, S. B. S. dan Khader, S. S. 2018. Fast Adaptive and Selective Mean Filter for The Removal of High-Density Salt and Pepper Noise. *IET Image Process.* 12, 1378–1387.
- Harris, Peter T., et al. 2014. A Global Database of Submarine Volcanic Eruptions. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, vol. 119, no. 11, 2014, pp. 8121-8136. DOI: 10.1002/2014JB011579.
- International Hydrographic Organization (IHO). IHO Standards for Hydrographic Surveys. Edition 5.1, 2020. https://iho.int/uploads/user/pubs/standards/s-44/S-44_Ed5.1_EN.pdf.
- Irawan, Agung. 2019. The Role of Hydrographic and Oceanographic Data for Safety of Navigation in the Archipelagic Sea Lanes. *Journal of Indonesian Applied Economics*, vol. 9, no. 1, 2019. <http://journal.uui.ac.id/index.php/JAE/article/view/11300>.
- Karthik, B., Kumar, T. K., Vijayaragavan, S., dan Sriram, M. 2020. Removal of High

- Density Salt and Pepper Noise in Color Image Through Modified Cascaded Filter. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, pp. 1–8.
- Monahan, David, et al. 2018. Advancements in Satellite-Derived Bathymetry for Seabed Mapping. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, vol. 6, no. 1, 2018, pp. 33-46. DOI: 10.1139/juvs-2017-0032. [Online]. Available: <http://imageprocessingplace.com/rootles%20V3/image%20databases.TMF>.
- Ojha, A., and Tiwari, N. 2016. An Image Denoising Technique Using NAFSM with Evolutionary Algorithm. *Proc. - 2015 Int. Conf. Comput. Intell. Commun. Networks, CICN 2015* 272–277, doi:10.1109/CICN.2015.61.
- Ramadhan, B., Yulianto, I. P. R., Abdurrazzaq, A., Husein, F. K. A., Charmouti, B. 2022. A random exploration based fast adaptive and selective mean filter for salt and pepper noise removal in satellite digital images. *Desimal: Jurnal Matematika Vol 5 No 3 (2022)* 341-352.
- Singh, V., Dev, R., Dhar, N. K., Agrawal, P., dan Verma, N. K. 2018. Adaptive Type-2 Fuzzy Approach for Filtering Salt and Pepper Noise in Grayscale Images. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 26, no. 5, pp. 3170–3176.
- Sun, T., dan Neuvo, Y. 1994. Detail-Preserving Median Based Filters in Image Processing. *Pattern Recognit. Lett.*, 15, pp. 341–347.
- Todd, Brian J., et al. 2018. Satellite-Derived Bathymetry and Coastline Data as Baseline for Coastal Zone Management. *Coastal Zone Management*, vol. 46, no. 1, 2018, pp. 17-24. DOI: 10.1139/czm-2017-0213.
- Wahyudi, Rahman. 2015. Maritime Potential and Opportunities in the Indonesian Archipelago. *Jurnal Kelautan Nasional*, vol. 10, no. 1, 2015. <http://jurnalnasional.ump.ac.id/index.php/JKN/article/view/684>.
- Wang, Z., dan Zhang, D. 1996. Progressive Switching Median Filter for The Removal of Impulse Noise From Highly Corrupted Images. *IEEE Trans. Circuits Syst. II*, 46, pp. 78–80.
- Yuan, Y. 2019. Satellite-Derived Bathymetry: Methods and Applications. *Springer, Singapore*. DOI: 10.1007/978-981-10-7876-9.